



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos

La arquitectura de los terremotos en Chile
(1929-1972)

Marco A. Barrientos Monsalve

Tesis de Doctorado en Arquitectura y Estudios Urbanos

Profesor Guía: Dr. Horacio Torrent

Comité de Tesis: Dra. Nancy Dembo
Dr. Claudio Vásquez
Dr. Claudio Galeno

Santiago de Chile | Octubre del 2016

© 2016. Marco Antonio Barrientos Monsalve

Índice

Introducción	7
---------------------	---

Primera Parte. Aproximaciones Teóricas.

Capítulo 1. Arquitectura en medios sísmicos.

Aproximaciones a la Unidad Edificada como Sistema.

Destrucción edilicia: forma, esqueleto y materia.

Introducción.	35
Seísmos, sistemas y configuración arquitectónica.	36
Destrucción sísmica y los edificios como sistemas.	38
La arquitectura como sistema.	41
Sistema arquitectónico. Configuración y programa.	49
Sistema estructural. Esqueleto y resistencia.	51
Sistema constructivo y material.	53
La unidad arquitectónica como sistema.	56

Capítulo 2. Teoría de los Espectros.

Utopía de la forma resistente.

Variaciones entre máxima magnitud sísmica, mínima sección estructural y los contornos de la unidad arquitectónica.

Sismología, tectónica y lógicas mecánicas: De fluidos a sólidos	58
Seísmos, aeronáutica y física mecánica. Aproximaciones a la Teoría de los Espectros.	60
La Escuela de California: mediciones y registros espectrales de simulaciones sísmicas.	62
Seísmos, cargas estáticas y distribución de masa.	66
La utopía del diseño estructural sismorresistente.	74
El método Computor. Un sistema eléctrico análogo	78
De las vibraciones sísmicas a los espectros de comportamiento de la edificación.	84

Capítulo 3. El terremoto de Chillán de 1939.

Testeos, ajustes y el dominio científico en la Nueva Ordenanza General de Construcciones (1936-1949).

Introducción	86
La destrucción de los centros urbanos y zonas rurales de la zona central.	87
Síntesis de los principales contenidos de los Informes Técnicos	105
El proceso de modificación. Debates técnicos, decretos oficiales y ajustes correctivos.	108

Institucionalidad y normalización.	
Los cimientos de la edificación sismorresistente.	115
Epílogo de ajustes y cambios:	
La Nueva Ordenanza General de Construcciones de 1949.	121
Cambios cualitativos en la Nueva Ordenanza.	
La dinámica morfológica, estructural y matérica.	126
La resistencia por rigidez y sobredimensionamiento en el proceso de regulación sísmica de la edificación.	134

Capítulo 4. La Norma Chilena 433. Of.72.

Cálculo Antisísmico de Edificios (1959-1972).

Del paradigma determinista al paradigma probabilístico de diseño estructural.

Introducción	137
Antecedentes de la Norma Chilena NCh433 Of.72	139
El proyecto de Norma de los ingenieros Arias y Husid.	
Referente directo de la Norma Oficial NCh433 Of.721	142
Estructura y contenidos de la Norma Chilena 433, 1972	144
La normalización del hormigón armado y del acero.	153
Industria de la construcción en hormigón armado.	
De la fabricación a la prefabricación.	159
Hacia un cambio de paradigma estructural y la autonomía de la Norma de edificación sismo-resistente.	162

Segunda Parte. Análisis Arquitectónico.

Capítulo 5. La obra del Ministerio de Hacienda.

Resistencia sísmica por masa gravitacional en hormigón armado.

Cuerpo monolítico, contundencia formal y resistencia por rigidez.

Introducción.	164
Antecedentes y fuentes documentales inéditas del Ministerio de Hacienda.	167
Sistema arquitectónico en el Ministerio de Hacienda.	
Configuración geométrica y programa.	169
El problema de la planta libre en Chile. Algunas aproximaciones.	176
Planta libre en el Ministerio de Hacienda y sismo-resistencia por inercia.	180
Sistema estructural: La triangulación como recurso de rigidización. De la envolvente aparente a las nervaduras ocultas.	185

Sistema constructivo-material: La fábrica monolítica del Ministerio de Hacienda. Articulación de fundaciones, marcos rígidos, muros y losas.	190
Louis Sullivan, Frank Lloyd Wright y la Escuela de Chicago.	194
Más allá de la utilidad: Louis Sullivan y la configuración morfológica del esqueleto estructural.	203
Unidad arquitectónica compacta y la resistencia por rigidez.	209

Capítulo 6. Masa y levedad en la Estación de Biología Marina de Montemar. Expresión plástica y tectónica en el borde costero.

Introducción.	214
Sistema arquitectónico en el Conjunto Montemar: liberación de la planta, topografía, y geometría.	215
Breve síntesis de la historia del proyecto y obra.	219
Consideraciones generales del conjunto.	223
Sistema estructural, esqueleto a la vista y resistencia sísmica: de la transición de las masas a la levedad de las formas.	224
Segunda etapa y cambios en la estructura.	228
Materia: sistema de construcción, materiales y sus propiedades.	243
La búsqueda plástica, tectónica y formal del pilar en V.	246
La Estación de Biología Marina, despojo material y ligereza estructural.	262

Capítulo 7. Edificio Corporativo ENDESA.

Síntesis arquitectónica del nuevo paradigma sismorresistente.

La expresión plástica de la forma sismorresistente: tectónica, estructura vista y planta libre.

Introducción.	266
Sistema arquitectónico en el edificio Endesa y el cuerpo singular.	267
Dos anteproyectos, dos equipos de arquitectos y la materialización de la unidad arquitectónica.	271
El anteproyecto de Emilio Duhart. Variables plástico-estructurales y prevalencia del orden geométrico.	275
Estructuras a la vista como expresión plástica de la edificación.	280
Sistema estructural: Aparente simpleza, velada complejidad y la materialización del paradigma probabilístico.	296
Sistema constructivo y sistema material en Endesa.	
La firmeza y la rigidez monolítica en hormigón armado.	304
La arquitectura porosa de la torre Endesa.	310

**De la unidad arquitectónica compacta a la unidad arquitectónica
porosa.** 313

Créditos de Imagen. 325

Fuentes y bibliografía. 331

Introducción

Primera Parte

Planteamiento del Problema de Investigación:

Esta investigación estudia la relación entre los sismos y la arquitectura en Chile a la luz del proceso de regulación y normalización de la edificación sismorresistente desarrollada entre 1929 y 1972. Se plantea que este proceso fue parte de una fase más amplia y compleja, en que confluyeron diversas materias, disciplinas, agentes y actores. Entre ellos, se cuenta el rol decisivo que les cupo a un cuerpo de profesionales y técnicos cruciales en el debate nacional –e internacional- con incidencia en el diseño de políticas públicas, instrumentos de regulación, y formación universitaria. Adicionalmente, el desarrollo en el área científico-técnico del período propició condiciones que permitieron la difusión y experimentación del conocimiento crítico en materia de resistencia sísmica en edificios.

La tesis plantea que el proceso de regulación y normalización sísmica de la edificación en Chile, condensó las bases fundadas en conceptos arquitectónicos, criterios estructurales, métodos científicos y recursos tecnológicos y técnicos vinculados a la construcción, que permitieron constituir una determinada arquitectura en el país. Se trata de un proceso de ajustes correctivos condicionado por el fenómeno sísmico y la destrucción de la edificación, el perfeccionamiento de los instrumentos de regulación, ajustes de criterios y métodos de diseño sismorresistente. Recursos que sirvieron de medio para la materialización de aproximaciones arquitectónico-espaciales determinadas. En un sentido más amplio, se trata de un proceso en que inicialmente se “suprimió la condición contemplativa de la estética de la arquitectura, (...) [por] una dimensión técnica y científica subsidiaria de la experiencia (...) [que] impulsó la necesidad de una nueva cultura material que abandonó los sistemas constructivos masivos.” (Torrent, 2013:17).

Los terremotos adquieren importancia en la medida que afectan zonas pobladas, y donde los edificios constituyen focos potenciales de destrucción. Por ello, estudiar la relación entre la edificación y los sismos es un problema fundamental, cuyos efectos constituyen parte de la condición geográfica del país. No obstante lo anterior, la escasa historiografía especializada lo ha abordado mayormente como una cuestión secundaria dentro de un proceso histórico más amplio. Por ello, desarrollar una investigación desde una perspectiva histórico-arquitectónica puede contribuir al conocimiento disciplinar.

Ahondar en la relación entre los sismos y su incidencia en la configuración edilicia y de la ciudad en un periodo significativo en las disciplinas y urbanas del país permite comprender también -desde una aproximación distinta a las ciencias que lo estudian, como la sismología y la ingeniería- el desarrollo de la arquitectura como parte de un proceso de modernización cultural amplio.

A diferencia de otros países latinoamericanos, el proceso de regularización de las construcciones con criterio sísmico desarrollado en Chile estuvo determinado, en parte, por las restricciones y por los criterios contenidos en los instrumentos de regulación, estableciendo así un marco que definió la práctica profesional (de la arquitectura y el cálculo estructural), de la forma edificada y de las ciudades¹. En la práctica, significó también la diferenciación de aquellos edificios normalizados respecto de aquellos proscritos y que quedaban al margen de la ley. Asimismo, su aplicación supuso el reemplazo paulatino y sistemático de una arquitectura nueva por las viejas construcciones heredadas de la tradición o de carácter histórico. En efecto, este tipo de edificios quedaron fuera de los parámetros de resistencia antisísmica, y por tanto, quedaron (y han quedado aun en el presente) en situación de vulnerabilidad por destrucción sísmica.

El tópico en estudio cruza un conjunto de disciplinas que complejizan y enriquecen su análisis. Requiere por ello, el aporte de diversos campos de estudio necesarios para una adecuada lectura e interpretación de los procesos disciplinares del período, en especial de la arquitectura. En este sentido, los conocimientos de la sismología desarrollados también durante los inicios del siglo XX fueron clave en su aplicación a la ingeniería y, en consecuencia, en la arquitectura y en las obras construidas. Tales avances estuvieron orientados en la comprensión del fenómeno sísmico (teoría de las placas tectónicas)², como la identificación de los tipos de ondas y su medición de los sismos, fueron insumos fundamentales aportados por la ciencia de la sismología al diseño estructural y arquitectónico. Dicho de otro modo, no es posible comprender el desarrollo que tuvo el cálculo estructural antisísmico, desde sus inicios en adelante, si no fuera por el avance que experimentaba la sismología.

La incorporación intensiva de nuevas técnicas y sistemas constructivos, y de materiales -tal como el hormigón armado, primero, y el acero,

¹ En la primera versión de la Ordenanza General, las disposiciones orientadas a la urbanización eran obligatorias para aquellos centros urbanos con un número superior a los 20.000 habitantes. Mientras que las materias sobre las construcciones, debían ser aplicadas a todas las poblaciones con un número mayor a 5.000 habitantes. Ver: Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, Imprenta Nacional, Santiago, 1930, p. 4, 5.

² La teoría de la tectónica de placas fue propuesta alrededor de 1950 y 1960. Fue planteada como resultado de la colaboración entre geólogos (Tuzo Wilson, Walter Pitman), geofísicos (Harry Hammond Hess, Allan V. Cox) y sismólogos (Linn Sykes, Hiroo Kanamori, Maurice Ewing), que en conjunto y mediante aportes parciales, contribuyeron a la formulación de una teoría en torno a la estructura de los continentes, las cuencas oceánicas y el interior de la Tierra. Los antecedentes de esta teoría se encuentran en los estudios desarrollados por Alfred Wegener a comienzos del siglo XX (teoría de la deriva continental y la teoría de la expansión del fondo oceánico). En: http://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica_de_placas

posteriormente-, fue determinante en la consolidación formal de la arquitectura desarrollada a lo menos durante la primera mitad del siglo XX, que en conjunto con los instrumentos de regulación, propiciaron un cambio fisionómico de los edificios y, por extensión, de las principales ciudades en el país. La ingeniería y los criterios aplicados al diseño de las construcciones se constituyó así en un medio de aplicación efectiva de aquellas nuevas técnicas, mediante un método racional y de mayor exactitud que los usos masivos empleados en las construcciones edificadas mediante sistemas tradicionales, guiados principalmente por la intuición y la experiencia empírica tras cada desastre. Como señala Torrent, la “experiencia no pudo ser despreocupada y especulativa, la destrucción tenía detrás componentes materiales que la cultura despreciaría por su baja calidad resistente principalmente el barro en forma de adobe y ladrillo.” (Torrent, 2013:1).

Algo que se vio reflejado en lo que el autor denomina como un *cambio de la cultura material* impulsado por los sismos durante el siglo XX (Torrent, 2013) que se tradujo, en último término, en el reemplazo paulatino y sostenido de los materiales de construcción empleados, pero también en la configuración de los edificios. Se trata, por tanto, de un cambio expresado en la cultura material y representado en la forma construida de la edificación y de la fábrica urbana delineado sobre la base de la “racionalidad científica, la seguridad de las construcciones y la figura de la planificación” (Torrent, 2013:1). La redacción y puesta en vigencia de la Ley y la Ordenanza General fue, así, una respuesta a la necesidad de regular las construcciones con el fin de evitar la destrucción y muerte de la población, pero también una forma de expresión de tales transformaciones disciplinares enmarcadas en un ámbito cultural, político y social. Expresión que colocó a Chile en una posición adelantada en comparación a otros países sísmicos del contexto regional, como el caso de México, Perú, Ecuador o Argentina, por mencionar algunos. Y, al mismo tiempo, como una de las naciones que lideraron la regulación sísmica de edificios.

Pregunta de Investigación e Hipótesis: La investigación, titulada *La Arquitectura de los Terremotos en Chile (1929-1972)* plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué modo el fenómeno sísmico y el proceso de regulación y de normalización sismorresistente -desarrollado entre 1929 y 1972 en Chile-, condicionó la forma arquitectónica y posibilitó la superación de limitaciones constructivas y materiales del país?

A modo de hipótesis, la investigación plantea que el proceso de regulación y normalización sísmica en Chile, desarrollando entre 1929 y 1972, posibilitó la materialización de obras arquitectónicas que sintetizaron conceptos,

cualidades espaciales y preceptos constructivo-materiales, fundados sobre aproximaciones teóricas en arquitectura e ingeniería sísmica ajustadas al medio local.

Más que una secuencia de hechos correlativos, el período que cubre este estudio denota un cambio gradual que va desde una aproximación al problema caracterizada por una lógica causa-efecto (y prueba y error), hacia una lógica de orden probabilístico, formalizado hacia el final del período.

En este proceso de regulación y de normalización sismoresistente, confluyeron un conjunto de factores que posibilitaron la materialización de una arquitectura sísmicamente eficiente, a la vez que dotada de ciertos rasgos recurrentes. Uno de los principales, fue el empleo de estructuras y de obras monolíticas de hormigón armado.

Este estudio se aproxima desde la teoría de los sistemas y desde la teoría de los espectros, y se examina a través del análisis crítico de tres casos significativos de la arquitectura local. Estas obras no solo materializaron parte importante de dichos fundamentos teóricos, sino que expresan las posibilidades de una arquitectura condicionada por el fenómeno sísmico, y propiciada por medios científicos y tecnológicos locales.

Objetivos de Investigación.

Objetivo General: Comprender y analizar el proceso de regulación y de normalización sismorresistente desarrollado en Chile y la forma en que condicionó la forma arquitectónica

Objetivos Específicos:

Comprender los antecedentes y etapas del proceso de regulación y de normalización sismoresistente en Chile y en perspectiva de discusiones internacionales.

Identificar conceptos vinculados a la interpretación de la pieza arquitectónica como sistema estructural, sistema constructivo y sistema material y con la teoría de los espectros, y relacionarlos a los casos de estudio propuestos.

Comprender y relacionar la forma sismoresistente de los casos de estudios a través de los conceptos teóricos (arquitectónicos y estructurales) identificados.

Discutir, desde los casos de estudio analizados, el modo en que la edificación sismoresistente en Chile posibilitó ciertas formas de solución arquitectónica (espaciales, estructurales y constructivas) que implicaron la superación de las limitaciones sísmicas del país durante el período de estudio.

Metodología: La investigación se desarrolla con una aproximación metodológica cualitativa orientada al análisis interpretativo del proceso de regulación y normalización sismoresistente en Chile entre 1929 y 1972. El intervalo temporal planteado corresponde al año de promulgación de la Ley General de Construcciones y Urbanización y culmina en 1972, fecha en que fue oficializada la Norma NCh433 Of.72 Diseño Antisísmico de Edificios. Debido a que la tesis examina las conexiones entre la Ordenanza, la Norma y sus efectos en la arquitectura, la investigación se fundamenta en una parte sobre la base del análisis de casos de estudio seleccionados. El análisis se aborda desde una perspectiva arquitectónico-histórica con énfasis en las cualidades morfológicas, estructurales y constructivas, basado en una aproximación interpretativa de fuentes documentales -escritas y gráficas- que proporcionan el material necesario para una comprensión profunda de cada pieza arquitectónica. El criterio de selección de las obras obedece, además de las significativas cualidades, plásticas y estructurales arquitectónicas que las caracterizan, y que destacan del repertorio de la historia de la arquitectura en Chile, pues sintetizan parte importante de los conceptos espaciales, teorías estructurales y avances técnicos propios de cada período.

La metodología propuesta exige hacer una referencia a las fuentes primarias, las que se pueden organizar en tres grupos. El primero, vinculado a la cuestión legal que va desde la discusión parlamentaria hasta la propia Ordenanza, en sus distintas versiones. El segundo, agrupa el material relacionado con la disciplina arquitectónica y las obras construidas, constituyéndose como fuentes fundamentales para el análisis de los casos propuestos. Un último grupo está conformado por los medios de difusión masiva o académica del tópico de estudio, que incluye disciplinas relacionadas, como la ingeniería.

Si bien la investigación cuenta con las fuentes esenciales (como la Ley N°4563 y las Ordenanzas de 1930-6 y 1949), así como la discusión parlamentaria que antecedió su promulgación, se debe destacar que una parte importante de la información relacionada, por ejemplo, con los terremotos de Copiapó (1922), Talca (1928), Las Melosas (1958) o La Ligua (1965) es reducida, en especial en lo que respecta a informes técnicos arquitectónicos y estructurales.

Asimismo, existen escasos planos catastrales de la destrucción, documento gráfico que podría proporcionar información relevante de las construcciones. Otra limitante en relación a las fuentes ha sido la dificultad de contar con expedientes municipales de las obras ejecutadas bajo –en especial- la primera Ordenanza, y en menor grado, bajo la segunda. Los expedientes contienen documentos como el Permiso de Edificación, especificaciones técnicas, planos y presupuestos. También es posible encontrar planos o estudio de cálculo, dependiendo del caso y fecha de construcción. De todos modos, estas debilidades no representan necesariamente un obstáculo para el análisis que propone. Las fortalezas, en tanto, se concentran, además de las fuentes relacionadas con la Ley, con aquellas en torno a la disciplina arquitectónica –enseñanza y práctica- a través de casos de estudio contruidos o que cuenten con significativos registros. Por último, en términos de difusión, el aporte que representan las publicaciones de difusión masiva y especializadas –prensa y congresos disciplinares- constituyen un valioso material vinculado a los procesos culturales en que el trabajo se inscribe. A continuación se detalla la aproximación metodológica orientada para cada objetivo específico:

Objetivo específico 1. *Comprender los antecedentes y etapas del proceso de regulación y de normalización sismoresistente en Chile y en perspectiva de discusiones internacionales*, se utilizó la siguiente estrategia:

- Análisis crítico de Programas y contenidos de la carrera de arquitectura en la Universidad de Chile y en la Pontificia Universidad Católica de Chile comprendidos en el período de estudio; de Congresos Panamericanos de Arquitectos; y de Congresos Arquitectura y de Urbanismo en Chile.
- Identificación y análisis de los contenidos relacionados con la regulación sísmica.
- Análisis interpretativo y comparativo entre la primera Ordenanza general (1929-1949) y la segunda (1949-1972).

Algunas fuentes primarias esenciales para el cumplimiento de este objetivo son las vinculadas a la Ley y Ordenanza General, entre las que se encuentran la Historia de la Ley de 1929 (Biblioteca del Congreso Nacional); Ley General de Construcciones y Urbanización (1930); Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (1930); Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (1949); Informes Técnicos (ingenieros y arquitectos).

Para el objetivo específico 2. *Identificar conceptos vinculados a la interpretación de la pieza arquitectónica como sistema estructural, sistema constructivo y sistema material y con la teoría de los espectros*, y relacionarlos a los casos de estudio propuestos, se utilizó la siguiente estrategia:

Revisión y análisis crítico de referentes internacionales relevantes vinculados a la Teoría de Sistemas.

Revisión y análisis crítico de referentes internacionales relevantes vinculados a la Teoría de los Espectros.

Análisis críticos de los planteamientos teóricos en relación al proceso chileno y su incorporación a los instrumentos de regulación nacional.

Para el objetivo específico 3. *Comprender y relacionar la forma sismoresistente de los casos de estudios a través de los conceptos teóricos (arquitectónicos y estructurales) identificados, se utilizó la siguiente estrategia:*

- Identificación y análisis de las principales componentes arquitectónicas que cualifican la unidad arquitectónica.

- Identificación de los criterios y método de diseño estructural empleado en las principales soluciones estructurales de la unidad.

- Identificación y análisis de las técnicas y recursos constructivos empleados en cada caso que contribuyeron a su materialización.

Estas tres aproximaciones de análisis fueron desarrolladas a la luz de los conceptos arquitectónicos contenidos en cada obra, y los avances teóricos y técnicos de período.

Entre las fuentes primarias fundamentales consultadas, se cuentan Revistas y Boletines especializados nacionales e internacionales (Arquitectura, Construcción, Sismología, Ingeniería Sísmica). En cuanto al material planimétrico y documental general sobre los casos de estudio, se consultaron diversos archivos: Ministerio de Obras Públicas, Municipales, y Bibliotecas y Archivos de universidades nacionales). Otras fuentes relevantes consultadas corresponden a Actas de Congresos Profesionales, Informes Técnicos y Profesionales, Cuerpos legales y Normativos, Anales de Ingeniería en Chile, Textos académicos y artículos científicos.

Para el objetivo específico 4. *Discutir, desde los casos de estudio analizados, el modo en que la edificación sismoresistente en Chile posibilitó ciertas formas de solución arquitectónica (espaciales, estructurales y constructivas) que implicaron la superación de las limitaciones sísmicas del país en cierto período, se utilizó la siguiente estrategia:*

Análisis crítico de las obras en relación a cualidades arquitectónicas presentes en cada caso, que expresan rasgos espaciales y formales representativos de una cierta superación de limitaciones edificatorias.

Poner en perspectiva la síntesis teórico-conceptual contenida en cada caso en función a la contribución arquitectónico-estructural contenida en cada obra.

5. Estructura de tesis:

La tesis se estructura en dos partes. La primera abarca la dimensión teórica del problema y está ordenada en cuatro capítulos. Mientras que la segunda

parte corresponde al análisis crítico de tres obras (en tres capítulos) de arquitectura en Chile, correspondiente a un período específico del arco temporal de la investigación.

El primer capítulo contiene una aproximación teórico conceptual relacionado con la Teoría de los Sistemas y la Teoría de los Espectros. En el primer caso, se establecen algunos de los principios en que se inscribe esta investigación que se sintetiza fundamentalmente en la comprensión de la edificación como unidad arquitectónica que frente al fenómeno sísmico, actúa y responde bajo la dinámica de un sistema. En el segundo caso, se elabora una aproximación a los conceptos, criterios y métodos científicos en que se fundamentó la Teoría de los Espectros en edificios, una de las claves que marcó el paradigma del diseño sismorresistente hacia el tercer tercio del siglo XX.

El capítulo dos examina los antecedentes históricos, técnicos, profesionales y científicos que nutrieron el proceso de regulación y normalización edilicia en Chile, y los contenidos de los diversos instrumentos legales oficializados entre la promulgación de la Ley General de Construcciones y Urbanización de 1929 y la oficialización de la Norma NCh433 Of. 72 de 1972.

El capítulo tercero analiza la llamada Nueva Ordenanza General, cuya revisión crítica y modificación de sus contenidos estuvo condicionada de modo sustancial por la destrucción provocada por el terremoto de Chillán de 1939.

Concluye la primera parte de la tesis examinando el proceso de redacción y oficialización de la Norma Chilena NCh433 Of.72 que marcó un punto de inflexión en la historia de la regulación sísmica del país, en tanto instrumento autónomo de la Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización que cristalizó la concepción bajo un nuevo paradigma estructural fundado en una aproximación probabilística de la resistencia sísmica de la edificación.

La segunda parte de la tesis se concentra en el análisis crítico de tres obras de arquitectura significativa en la historia de la arquitectura del país – durante el siglo XX- y significativas desde la perspectiva de análisis que propone este trabajo. Los casos escogidos se corresponden con los tres momentos del proceso de regulación y normalización: 1929-1939; 1939-1949; y 1949-1972.

El capítulo V analiza el edificio del Ministerio de Hacienda, emplazado en el casco histórico de la ciudad de Santiago y construido en 1929, proyectado por los arquitectos Josué Smith Solar y José Smith Miller. La obra forma parte del conjunto de *rascacielos* erigidos en torno al Palacio de La Moneda

en el denominado Barrio Cívico. Una parte sustancial del partido general estuvo condicionado por la intención de liberar las plantas, al tiempo que dotar de resistencia –estática y sísmica- a la unidad, en un período en que los cocimientos científicos y técnicos locales eran principalmente experimentales y condicionados de modo importante por el empirismo y determinismo.

El Capítulo VI examina la Estación de Biología Marina Montemar, proyectada por el arquitecto Enrique Gebhard y construida en dos etapas (1941-5 y 1956-9). El conjunto se emplaza en un sector rocoso del borde costero próximo a la ciudad costera de Viña del Mar, V Región de Chile y constituye un caso de interés, entre otras razones, por la solución arquitectónica y estructural empleada en los elementos soportantes. Esta obra representa un período en que se dio un paso importante en materia de regulación sísmica. Pero también porque incorporó conceptos y soluciones estructurales y constructivas para entonces avanzadas.

Por último, el capítulo VII estudia el edificio corporativo de oficinas de la Empresa Nacional de Electricidad S.A., proyectada y construida entre 1961 y 1969 y emplazada en las cercanías del casco histórico de Santiago. Esta torre de oficinas supuso la materialización efectiva de la planta libre de apoyos intermedios a la vez que la materialización del paradigma estructural probabilístico. La tesis cierra con las conclusiones, que recogen y sintetizan los aspectos medulares de las conclusiones parciales de cada capítulo.

Segunda Parte

Aproximaciones a la relación entre el fenómeno sísmico, la edificación y la regulación: El estudio de la arquitectura en relación a los sismos, obliga comprender ciertos aspectos relacionados a la ciencia que estudia el fenómeno, pues las ondas generadas por los seísmos -que se propagan a través de la superficie terrestre- afectan de forma directa las fundaciones y, por extensión, al todo el cuerpo edificado.

Los tipos y calidades de suelo, condicionados a determinados emplazamientos, suponen factores que pueden ser decisivos para el diseño arquitectónico y estructural de una construcción, pues determinan la forma de propagación (horizontal y/o vertical) de los distintos tipos de onda generadas a partir de la fricción entre placas. La violencia de un sismo (en menos o mayor medida) se traduce a fin de cuentas, por un estado disruptivo, “brusco aparentemente imprevisible y de una duración relativamente corta.” (Maldonado, Pfenning, 1965:3), en que se presenta una relación entre fuerzas en aceleración multidireccionales acotadas a un período de tiempo. Es importante destacar que la capacidad destructiva de un sismo está relacionada no sólo a su magnitud, sino también a la profundidad de ubicación del foco o hipocentro, la calidad de la construcción que afecta, entre muchos otros factores.

La relevancia del tipo de suelo, y por extensión de las fundaciones de un edificio afecto a un determinado seísmo, fue incorporado en los instrumentos de regulación en su verdadera dimensión recién a partir de la segunda mitad del siglo XX en Chile. Hasta entonces, el fenómeno sísmico relacionado a la edificación, fue interpretado como fuerzas horizontales. En efecto, con posterioridad a los terremotos de San Francisco (1906) y Sicilia (1908), expertos norteamericanos, japoneses e italianos, pudieron constatar que los edificios que consideraron los seísmos como vector horizontal aplicado en los planos de fachada, “habían reaccionado en mejor forma ante los efectos del sismo.” (Maldonado, Pfenning, 1965:20). Es decir, como una “fuerza lateral proporcional al peso de la estructura” –análoga a la carga del viento- y que, según el ingeniero japonés Rikki Sano, era equivalente a una fuerza tal en “que todas las partes de una estructura se desplazan en un mismo instante, en la misma dirección y a igual velocidad, hecho que no es efectivo...” porque el comportamiento tiene un factor de aceleración, en función de la altura y variable en dirección y magnitud (Maldonado, Pfenning, 1965:21).

Otro factor clave reside en la medición de los seísmos. El primer registro de un sismo en la historia de la sismología se produjo durante el terremoto de Tokio (1923) y permitió, por medio de un sismógrafo de desplazamiento, medir y graficar las ondas principales de un gran terremoto (Ibáñez, 1989).

Se trata de un hecho que marcó un punto de inflexión en la historia de la sismología y de la ingeniería sísmica. Posteriormente, Carl Richter formuló en 1935 una escala basada en la medición de la energía liberada (magnitud) durante un evento (Cereceda et. al, 2011:45). Método que en la actualidad se ha adoptado como parámetro válido para el cálculo estructural. La escala de Mercalli (1948), en tanto, mide la intensidad del evento y es de orden cualitativo, pues está condicionada a la percepción del fenómeno de un observador determinado y un rango estimativo de daños en la edificación. Si bien supone un método inexacto y subjetivo, su aporte radica, entre otras cosas, en el reporte de los grados de daños en los edificios. Así, ambas escalas constituyen métodos y criterios de medición complementarios, que pueden aportar la interpretación de relaciones y aproximar modos de comportamiento, resistencia y destrucción en sistemas que, por sus cualidades constructivo-materiales, no siempre responden a estándares cuantitativos, como por ejemplo, edificios en adobe, albañilerías sin refuerzos, sistemas mixtos e incluso, edificios de hormigón armado mal ejecutados.

Bajo el supuesto que “el sismo es un movimiento oscilatorio de la tierra, y que los edificios son estructuras que poseen masa y elasticidad, [se formuló] la (...) teoría [1960c] que sostiene que desde el punto de vista analítico, el comportamiento de una estructura es un problema esencialmente vibratorio.” (Maldonado, Pfenning, 1965:22) que se transmite a través de la estructura de un edificio y sus elementos secundarios. Por ende, la ingeniería sísmica tuvo entre sus primeras tareas, interpretar la fuerza de los sismos sobre la estructuras por un medio matemático. Posterior al terremoto de Tokio de 1923, la norma de Japón dictada al año siguiente, incluyó por primera vez el factor sísmico en el cálculo estructural, considerado como “la relación entre la fuerza horizontal de un temblor y el peso de la estructura en estudio.” (Maldonado, Pfenning, 1965:25). Aunque en su momento representó un gran avance, la experiencia de destrucción en otros terremotos llevó a la ingeniería a plantear que la fuerza de los sismos no son cargas aplicadas perpendicularmente al plano de una o más fachadas, sino que a la estructura en su conjunto. Es un problema mucho más complejo que la simple abstracción física que lo suponía como un vector, fundamentalmente porque las ondas sísmicas que se propagan a través de las estructuras en altura, a medida que alcanzan niveles superiores adquieren valores en aceleración. Es decir, asociado a un movimiento dinámico (no lineal o estático).

Antecedentes de regulación sismorresistente y normalización de la edificación en Chile: El problema de la destrucción edilicia en relación a su legislación suele estar asociada al Estado y las medidas adoptadas por los gobiernos de turno para enfrentar la emergencia. Históricamente el ejecutivo y legislativo han debido hacer frente, por ejemplo, a la

especulación de precios de bienes de consumo de primera necesidad (a través de leyes especiales) o, en una dimensión, el control en la cobertura de las pólizas de seguro de bienes inmuebles afectados por la destrucción – parcial o total- de la edificación. Una tercera arista del problema fue el debate en torno a la necesidad de legislar y reglamentar la edificación en un sentido preventivo frente a la destrucción sísmica. Así por ejemplo, con posterioridad al terremoto de 1928, el ingeniero arquitecto Carlos Carvajal acusaba la necesidad de que se legislara con prontitud a fin de prevenir catástrofes por incendio y terremotos. En el primer caso planteó la necesidad de exigir muros cortafuego en viviendas adosadas. Y en el segundo, el empleo del hormigón armado y acero como alternativas materiales asociadas a la resistencia sísmica. Es interesante destacar que este punto pone de relieve el rol del privado en la ciudad pero también en sus intereses respecto a lo que se está regulando (Carvajal, 1928)³. Señalaba así, por ejemplo, en una carta enviada al diario El Mercurio, que

Desde el gran terremoto del año 1906, que destruyó Valparaíso y otras ciudades, [donde] los técnicos hemos pedido con insistencia la reglamentación obligatoria de las construcciones, tanto públicas como particulares.” (Carvajal, 1928) Y agrega que gran parte de los daños detectados en los edificios encuentran su origen en el “empleo de materiales inadecuados y defectos de construcción. Los más afectados han sido aquellos de mucha altura contruidos de adobe o ladrillo con mezcla de cal, o construcciones mixtas de ambos materiales, ejecutados sin amarra alguna y con pesados y altos cornisamientos, jarrones, antetechos, otros adornos y corta-fuego, que, al estar sueltos sobre los muros, se rasgan y desprenden, cayendo al suelo, donde han producido víctimas. (Carvajal, 1928).

Institucionalmente, la creación del Instituto Sismológico de la Universidad de Chile en 1908, como reacción a la destrucción producida por el sismo e incendio de Valparaíso dos años antes, contribuyó en parte a la promoción decidida de la reglamentación de las construcciones urbanas. Carvajal sostiene en este sentido que

³ Las relaciones y tensiones entre la catástrofe sísmica, la destrucción edilicia y urbana y el negocio inmobiliario (desarrollo inmobiliario, industria de la construcción y sus agentes promotores) será desarrollado en mayor profundidad en el Capítulo II de esta investigación.

nuestros últimos artículos sobre Estética Urbana, decíamos que en el Congreso del Gobierno Local, de 1914, se aprobaron las bases principales de la Ordenanza General de Construcciones, y entre los requisitos más importantes figuraba (...) las condiciones que deben presentar los materiales de construcción y sus resistencias mínimas aceptables; los sistemas y materiales, cuyo empleo deben excluirse de ciertas zonas de las ciudades y en ciertos edificios, las condiciones que deben presentar los edificios de material sólido, los de esqueleto de madera, metálicos y concreto armado; las especificaciones que deben reunir los edificios públicos y privados para resistir a los incendios y a los temblores, etc. (Carvajal, 1928).

Entendido como denuncia o como argumento de la rama profesional, Carvajal intentó así colocar un problema de escala nacional dentro de la agenda de Estado y del gobierno, aprovechando la coyuntura y sensibilidad que toda catástrofe —en especial la sísmica— deja como secuela, en la población y en las autoridades de gobierno. Queda medianamente claro así que el terremoto de Talca no fue la causa de la creación de la norma, sino un factor que incidió antes que nada en su acelerada tramitación y aprobación parlamentaria, determinada también, en parte, por las presiones o alusiones a la necesidad de contar con este instrumento de ordenación edilicia y urbana. Contrario a lo que algunos autores plantean,⁴ se puede afirmar que el proceso de regulación y normalización de la edificación sismorresistente en Chile, ha estado condicionada a secuencias sísmicas, antes que eventos aislados, como ha sido el caso del estado de California (EE.UU).

Y si bien el terremoto de Talca de 1928 (**figs. 1 y 2**) fue en efecto un factor acelerador de un proceso iniciado con anterioridad a la catástrofe, es interesante el punto propuesto por Tapia Moore, al decir que no obstante “en un país ocurran los trastornos más graves, en lo primero que se piensa, después del sacudón, es enmarcarlo todo dentro del cauce legal.” (Tapia M., 1961:9). Dicho de otro modo, el proceso de regulación fue también un intento por delimitar concretamente, en un sentido determinista, la incertidumbre que un terremoto supone al ser fenómenos impredecibles tanto en ocurrencia como en magnitud y por tanto, destrucción probable.

⁴ Larraín y Simpson-Housley, quienes señalan que “[a] propósito del sismo que afectó al ciudad de Talca el 1 de diciembre de 1928, el Gobierno de la época redactó un proyecto de ley (...) dando origen a la primera Ordenanza General de Construcciones y Urbanización” (Larraín, Simpson-Housley:98).



Fig. 1. Oraciones de la población posterior al terremoto de Talca. Fuente: www.memoriachilena.cl



Fig. 2. Terremoto de Talca, 1928. Fuente: www.memoriachilena.cl

Con todo, la Ley General de Construcciones y Urbanización y la Ordenanza homónima, marcaron un hito a partir del cual se sucedieron una serie de modificaciones de dicho instrumento. Es importante en este sentido aclarar una parte que la historiografía suele reproducir erróneamente, al plantear que fechas distintas de la *primera* Ordenanza. El primer texto de carácter provisional por un año fue aprobado en 1930. Al año siguiente, una vez vencido el plazo, debió ser aprobado un segundo texto, cuya tramitación se prolongó hasta 1935. En 1936 fue oficializado en forma definitiva el texto de la Ordenanza, habiendo atravesado así un proceso de ajustes, modificaciones y rectificaciones en sus primeros cinco años. Una segunda fase estuvo marcada por el terremoto de Chillán (1939), lo que motivó un conjunto de críticas al documento vigente para entonces. El debate centrado en la modificación de la Ordenanza General se prolongó por diez años, siendo en 1949 la fecha en que fue oficializada la denominada Nueva Ordenanza General de Construcciones y Urbanización. La tercera fase en tanto, corresponde al período durante el cual se redactó un cuerpo normativo elaborado específicamente para el diseño sísmico de edificios (cálculo estructural) y que cobró forma en la Norma Chilena N°433 (NCh. 433).

Para comprender parte de los contenidos y alcances de la Ley y Ordenanza General, es importante considerar fuentes anteriores a éstas, algunas de las cuales sirvieron de referente para su redacción.

De este modo, conviene tener en cuenta que los primeros antecedentes obtenidos en este trabajo, dan cuenta de documentos publicados ya hacia la primera década de 1900. Mientras que el debate en torno a la necesidad de regular la edificación, se remonta incluso hasta la Ley de Municipalidades, y cuya primera versión fue promulgada en 1854. Pero,

A pesar de que (...) ha correspondido a los Municipios reglamentar las construcciones, hasta el año 1918 no se había dictado ni aún por el Municipio de la capital ningún reglamento general al respecto (...) [salvo] algunas disposiciones aisladas sobre murallas cortafuego (Ordenanza de 10 de Febrero de 1873) y las leyes de transformación de Santiago en 1876 y 1909 y algunos reglamentos especiales sobre teatros y salas de espectáculos y habitaciones obreras...” (Schmidt, 1935:16).

Así, la Ley y Ordenanza General de Construcciones de Urbanización, constituyeron un medio concreto centrado en regular la propiedad privada, ateniendo fundamentalmente razones de orden, salubridad y seguridad públicos (Schmidt, 1935). Se trató, por tanto, de un proceso que intentó rebasar las trabas que supuso el respeto al derecho a la propiedad, consagrado ya en la Constitución de 1833 (Schmidt). La regulación de la edificación de propiedad privada estuvo así tensionada por un debate que intentó limitar las atribuciones del poder central (ejecutivo) en orden a exigir condiciones de salubridad y seguridad que imponían un cierto estándar a la construcción.⁵

Otras fuentes de interés identificadas en esta investigación (muchas de ellas inéditas), corresponden a volúmenes publicados con anterioridad al período que esta investigación aborda. Por ello, se examinarán aquí brevemente, a objeto de desterrar la idea de que la Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización fueron los primeros instrumentos de regulación sísmica en el país, y enfatizar que fueron más bien instrumentos que sirvieron para la regulación de la edificación a nivel nacional (Torrent, 2013).

⁵ “... existen en la actualidad (...) numerosas leyes que establecen limitaciones al derecho de propiedad y expropiaciones y gravámenes colectivos o por zona en favor de las obras y servicios de interés público (...) [como la] Ley de Municipalidades (...) la Ley N.º 4563, de 30 de Enero de 1929 y la Ordenanza General de Construcciones” (Schmidt, 1935:8-9).

Entre el conjunto de fuentes halladas, se cuenta el Cuaderno de Condiciones para la Aceptación del Cemento en las Obras Públicas (**fig. 3**). Este documento una de las normas, anteriores a la Ordenanza General, que tuvo por objeto la “conveniencia que existe de uniformar las normas de recepción de los cementos que hayan de emplearse en las obras públicas por las diversas reparticiones de la Administración...” (Döll, 1911:3). Una segunda fuente, referida específicamente a los procedimientos de cálculo estructural de obras de hormigón armado, corresponde al Pliego de Normas Chilenas para el Cálculo y Construcción de Obras de Concreto Armado, elaborado por el Departamento de Caminos del Ministerio de Fomento (a través del Decreto N°997 de 15 de octubre de 1925) y publicado en 1928 (**fig. 4**). En cuanto a la redacción de la Ordenanza General, se puede afirmar que su antecedente directo corresponde al informe elaborado por los ingenieros Bruno Elsner, Jorge Ewerbeck y Gustavo Lira, titulado “Normas de cálculo y construcción que deben contemplarse en los proyectos de las obras públicas, considerando los perjuicios que pueden producir los temblores.” (**fig. 5**). Parte importante del contenido fue incluido en forma de anexo en una de las dos ediciones de la Ordenanza General publicada en 1930.



Fig. 3. Cuaderno de Condiciones para la Aceptación de Cemento en las Obras Públicas, Imprenta y Encuadernación El Globo, Santiago, 1911.



Fig. 4. Normas Chilenas para el Cálculo y Construcción de Obras de Hormigón Armado, Ministerio de Fomento, Decreto N°997, Santiago, 1928.



Fig. 5. Normas de cálculo y construcción que deben contemplarse en los proyectos de las obras públicas, considerando los perjuicios que pueden producir los temblores, Dirección General de Obras Públicas, Editorial Nascimento, Santiago, 1929.

Estructura y contenidos de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización: La Ordenanza General (provisoria) publicada en 1930, fue resultado de la iniciativa elevada desde el Gobierno al Congreso Nacional en 1913, para hacer frente a las pérdidas humanas, económicas y materiales producidas por la destrucción sísmica sobre la propiedad privada, lo que se concretó en 1919 mediante el nombramiento de la Comisión encargada para llevar adelante los estudios preparatorios anteriores a su redacción (Schmidt, 1935). Pero el carácter provisional se explica por el hecho que “el Presidente dispuso que se procediera a aprobar la Ordenanza, sin perjuicio de que se sometiera al Congreso más tarde o se pidiera a éste autorización, para sancionarla en aquellos puntos en que así fuera necesario.” (Schmidt, 1935:25). Es decir, que “la Ordenanza pasara por período de prueba de dos años (...) [para] que transcurrido este plazo continuara con carácter definitivo...” (Schmidt, 1935:25).

Fue así que al año siguiente, mediante decreto con fuerza de ley en mayo de 1931, se aprobó un segundo instrumento que incluyó algunas modificaciones.⁶ Sin embargo, “el nuevo Gobierno no puso en aplicación la ley General ni la Ordenanza de Construcciones y Urbanización (...) de 1931 (...) [con lo que] ha quedado en vigencia la primitiva Ordenanza (...) de 1930 [y] (...) que ha seguido rigiendo hasta ahora [1935] en virtud de los decretos sucesivos que la prorrogan...” (Schmidt, 1935:24). Finalmente, la Ordenanza modificada entró en vigencia en 1935 y fue publicada en el Diario Oficial en 1936. Las modificaciones que le siguieron serán examinadas en los capítulos siguientes, y que corresponden en los sustancial a los ajustes gatillados por la destrucción que provocó el terremoto de Chillán de 1939.

La Ordenanza General de Construcciones y Urbanización ha mantenido una cierta estructura y orden ya desde sus inicios hasta el presente. Sin embargo, esta investigación ha identificado dos ediciones distintas de la Ordenanza General, ambas publicadas en 1930. Una de ellas, lanzada por Imprenta Nacional (**fig. 6**); la otra por Imprenta Lagunas & Quevedo. Pero solo esta última contiene dos apartados correspondientes a un Informe de la Comisión Redactora del Proyecto de Ordenanza y a la inclusión del Decreto N°304 suscrito por el Presidente Ibáñez del Campo y el Ministro Jaramillo.⁷ Además, se establecen, a modo de Título Preliminar, dos capítulos introductorios en los que se definen disposiciones generales y la definición de los principales conceptos utilizados.

El texto se estructura en dos partes: una primera sobre la edificación, desarrollada en 27 capítulos. Y la segunda, en lo relativo a la urbanización,



Fig. 6. Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, Imprenta Nacional, Santiago, 1930.

⁶ Para examinar en detalle las principales diferencias entre las versiones de la Ordenanza General que esta investigación ha podido recopilar y reproducir, consultar Anexo 1 de esta tesis.

⁷ mediante el cual se aprueba la Ordenanza en cuestión, se establece el carácter provisorio y definen los plazos para su aprobación definitiva (OGCU, 1930:12).

desarrollada en otros 19 capítulos. Ambas partes suman así 46 capítulos con un total de 618 artículos.

Los primeros cinco capítulos se concentran en materias relativas a los tipos de edificación (clasificados en función a la naturaleza constructiva y material); los procedimientos administrativos para tramitar permisos de edificación y recepción de obras; y exigencias respecto a las condiciones de higiene y habitabilidad mínimas en edificios y recintos. El capítulo 6 (titulado “De la asismicidad de las construcciones y de las precauciones contra maremotos y ciclones”), es el único que aborda específicamente la relación entre la edificación y los terremotos. Otros tipos de catástrofe, como maremotos, ciclones e incendios, se mencionan, aunque de modo mucho más escueto. Entre los capítulos 8 y 19 se establecen categorías de edificios en función al uso y la carga de ocupación (teatros, establecimientos educacionales, templos, infraestructura hospitalaria, entre otros), y se establecen restricciones y delimitaciones vinculadas con las condiciones de habitabilidad, higiene, iluminación, ventilación, circulaciones, instalaciones, entre varias otras.

Aunque el problema de sísmico se aborda específicamente en el citado capítulo sexto, otros artículos relacionados -directa o indirectamente- al problema de la destrucción sísmica son, por ejemplo, los que identifican y establecen diversos sistemas constructivos y materiales, las disposiciones relativas a las fundaciones y los tipos de suelo, pesos unitarios y tensiones admisibles en determinados materiales, dosificaciones (mínimas) en morteros y cementos y concretos, por mencionar los más relevantes. Mientras que en lo relativo a la estabilidad de la edificación, se establecen sobrecargas superficiales (m²) diferenciadas en función al uso y carga de ocupación de la obra, sea habitación, oficina, equipamiento, talleres, patios, entre otros (OGCU, 1930:45). Específicamente, se señala por ejemplo, que las categorías de edificios erigidos en dos pisos y fabricados en hormigón armado, albañilería confinada (en hormigón o acero) y los edificios de estructura de hormigón o acero (clase A, B, y C respectivamente), “será obligatoria la presentación de los cálculos de estabilidad” (...) siendo en otros casos, exigidos para aquellos “elementos importantes de cualquier edificio de las otras clases.” OGCU, 1931:30, Art. 26).

Si el problema del arriostramiento es más evidente de percibir o deducir a simple vista en los planos de fachadas de los edificios, las disposiciones normativas no lo consideró en el plano horizontal de la cubierta, más que en el plano frontal, como por ejemplo, en cubierta estructuradas por cerchas. En contraposición, sí se pone énfasis en la necesidad de garantizar la estabilidad de antetechos, muros cortafuegos, y en general, cualquier elemento saliente a la cubierta, que por lo general, han representado mayor vulnerabilidad de desprendimiento durante un evento sísmico,

principalmente por problemas de construcción y ausencia de refuerzos en la base y en la coronación.

En lo relativo al factor de los suelos y las fundaciones de los edificios, la Ordenanza no sólo estableció un esquema de clasificación de éstos (segregados en función a la calidad), sino que incluyó también, por ejemplo, la potestad a la autoridad municipal que le permitiese “exigir el empleo de un pilotaje de consolidación, plataforma de hormigón armado u otros sistemas tendientes al mismo fin; y además, el empleo de vigas de hormigón armado que ligen o amarren las fundaciones entre sí.” (Art. 59. OGCU, 1936:27). Y en determinados casos, se facultaba incluso la posibilidad de exigir al propietario o interesado hacer sondeos “para determinar la calidad de éste, la existencia de aguas subterráneas, etc.” (Art. 32, OGCU, 1936:32).

El impulso por normalizar los procedimientos proyectuales y de construcción de la edificación en Chile, supuso también el aumento de los costos en la edificación, que en comienzo, como se mencionó anteriormente, estuvo vinculado principalmente al diseño sismorresistente garantizado por los amplios márgenes de seguridad del sobredimensionamiento.

Es cierto que la Ordenanza, al menos en sus primeras versiones hasta 1949, fue más bien un documento reglamentario cuyos contenidos caían por lo general, en recomendaciones, algunas vagas, otras más específicas. Este rasgo puede ser observado en las distintas materias que allí se tratan: desde los procedimientos proyectuales, la clasificación de las construcciones, hasta los criterios específicos orientados a la sismorresistencia. Cabe agregar aquí también, que la mayoría de los artículos hacen alusión a cuestiones relacionadas con las construcciones en un sentido amplio, y que tan solo unos pocos, se refieren específicamente al problema sísmico. Es por tanto, un producto que recogió las preocupaciones de la agenda política y profesional del período (y de fines del siglo XIX), más allá del problema endémico generado por los terremotos. Ejemplo de ello, son los artículos que hacen mención a las condiciones mínimas de higiene, salubridad, habitabilidad e instalaciones con que debían contar los edificios, y en particular, en vivienda.⁸

En términos generales, la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, fue un instrumento que sentó las bases sobre las cuales se llevó a cabo un proceso de regulación de la edificación en el país. Pero también significó una contribución decisiva en el proceso de normalización, que abarcó un conjunto de aristas como procedimientos de construcción, de fabricación de materiales, estandarización de dosificaciones, reglamentación

⁸ Ver Capítulo IV y V, O.G.C.U., Santiago, 1938.

de procedimientos de construcción, instituciones y profesionales responsables en la obtención de permisos de edificación y fiscalización de obras, entre otros.

Referentes internacionales de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización: Establecer con precisión el primer instrumento normativo sísmico es un trabajo que excede las limitaciones de esta investigación. Sin embargo, es importante tener en cuenta algunas consideraciones. Así, por ejemplo, Guevara sitúa el “primer código sísmico (no publicado)” aproximadamente en 1755⁹, como consecuencia del terremoto de Lisboa, mencionado anteriormente. En Hispanoamérica, en tanto, las regulaciones contenidas en las Leyes de Indias, dictadas por el rey Felipe V en 1573, son el primer intento de regulación de las ciudades y sus edificaciones. Sin embargo, no constituyen un referente directo de normalización sísmica y por lo demás, estas leyes actuaron en la práctica como recomendaciones -escasamente adoptadas por las colonias- orientadas al ordenamiento urbano de los asentamientos, como de los tipos edificatorios y sus materialidades. Un ejemplo notable en este sentido, lo representa el edificio de la catedral de Santiago, cuya fábrica fue construida

Un caso relevante en la historia de la regulación sísmica está marcado por el terremoto de San Francisco (Estados Unidos, 1906),¹⁰ En pues “intensificó el interés por el estudio de los sismos y sus efectos sobre las ciudades y la población” (Ibáñez, 1985:26). Sin embargo, tuvieron que pasar veintisiete años para que fuera redactado el primer código de carácter oficial orientado explícitamente al problema sísmico en las edificaciones¹¹, a consecuencia del terremoto de Long Beach, California (1933)¹². El terremoto de Long Beach aceleró “la acción oficial hacia leyes de seguridad en temblores en California” (Maldonado, Pfenning, 1965:143) a través de la redacción de la Ley Field (10 de abril de 1933). Iniciativa que tuvo como objetivo principal asegurar específicamente la estabilidad de los establecimientos educacionales¹³, dejando de lado otro tipo de uso. En este caso, se trató de una iniciativa reactiva frente al riesgo que representa el derrumbe potencial de escuelas durante un evento sísmico en horario de funcionamiento. Es pues, una ley

⁹ Sin embargo, el texto no proporciona antecedentes ni fuentes que permitan pesquisar esta primera normativa. Ver Guevara, Teresa. *Arquitectura Moderna en Zonas Sísmicas*, editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2009, p. 19.

¹⁰ Guevara sitúa el National Building Code de Estados Unidos en 1905. Sin embargo, La referencia carece de fuentes que permitan sostener que en efecto, este cuerpo normativo fue el primero en su categoría a comienzos del siglo XX en Estados Unidos.

¹¹ “By requiring that structures be designed withstand horizontal forces, revisions to the City of Santa Barbara’s building code of 1925 were the first explicit policy and legal consideration of the seismic safety of structures in California.” En: quake06.stanford.edu.

¹² Si bien esta fue en efecto la primera norma antisísmica, se debe destacar la existencia de regulaciones edilicias anteriores, pero que no consideraron medidas de seguridad ni comportamiento estructural de los edificios frente a los movimientos telúricos.

¹³ Setenta escuelas fueron completamente destruidas. Ciento veinte resultaron con daños severos. Y trescientas con daños leves. Meehan, 2000. En: State of California, Alquist, Alfred e., Seismic Safety Commission. *The Field Act and its Relative Effectiveness in Reducing Earthquake Damage in California Public Schools*, October 2009, State of California, USA.

que regula parcialmente cierto tipo de edificio y de carácter público, enfocado a prevenir la vulnerabilidad asociada al programa y uso. La ordenanza de Estados Unidos estuvo en un comienzo “influenciada por el hecho que en Tokio los edificios que fueron proyectados para resistir una fuerza lateral de 10%” (Maldonado, Pfenning, 1965:119) resultaron sin daños o menores. En función de este precedente, las construcciones localizadas en el Estado de California, adoptaron un valor de resistencia a la fuerza horizontal de entre el 2% y el 10%.

En Italia, en tanto, el primer antecedente se remonta al año 1627, cuando fue emanado el primer decreto relacionado con el problema sísmico, posterior al sismo de la Campania. Este decreto definió un sistema de construcción llamado “baraccato alla beneventana basato su una struttura intelaiata in legno, con ritti infissi in un basamento di muratura e con le spechiature chiuse con material laggeri (canne, legname) cementate con malta ed intonacate.”¹⁴ Este sistema perduró hasta el siguiente gran sismo, ocurrido en 1783, cuando “el gobierno borbónico (...) emitió normas para la construcción antisísmica, prescribiendo el <baraccato>” (Maldonado, Pfenning, 1965:156). En tanto, la primera norma moderna en la historia de las regulaciones fue redactada tras el terremoto de Messina en 1908¹⁵, con un número aproximado de muertes cercano a las cien mil personas. En ella se incorporaron conocimientos relacionados al cálculo de resistencia, que consistió en “substituir la acción dinámica, por la fuerza estática representativa de los efectos del terremoto, estableciendo una aceleración sísmica y con la masa de cada parte de la construcción y de la sobrecarga solidaria con ellas...” (Maldonado, Pfenning, 1965:156)¹⁶. Esta reglamentación precursora estuvo también marcada por las nociones y la expresión matemática y de cálculo de la acción sísmica sobre una estructura. Basado en “estos conceptos [efecto de vibración vertical y fuerza horizontal] la primera norma oficial del año 1909 prescribía como relaciones entre las fuerzas horizontales, y el correspondiente peso” (Maldonado, Pfenning, 1965:158) del edificio, en función de los rangos de altura total. A lo anterior, se agregaban una zonificación determinada por la frecuencia sísmica de la región en Italia, y la inclusión del tipo y calidad de suelo como factores determinante en la consideración del cálculo.

La norma italiana de 1909 incorporó un criterio del “cálculo de resistencia” a los sismos basado en la estática del edificio. Es decir, en el entendido que las construcciones poseen una determinada masa, sísmicamente resistente por gravedad, lo que se traduce a su vez en márgenes superiores de sobrecarga

¹⁴ Associazione ISI, Ingegneria Sismica Italiana. En: www.ingegneriasismicaitaliana.com

¹⁵ A partir del desastre de 1908, una comisión ministerial nombrada por el gobierno italiano, “emitió una serie de instrucciones técnicas que fueron hechas obligatorias [sic] por decreto real N°198 del 18 de abril de 1909.” En: Maldonado, Pfenning, 1965:156).

¹⁶ Según los autores: relación entre la “aceleración sísmica [y] la masa de cada parte de la construcción y de la sobrecarga solidaria”



Fig. 7. Norma de construcciones, The Great Earthquake Of 1924 in Japan, The Bureau of Social Affairs Home Office, Japón, 1926.

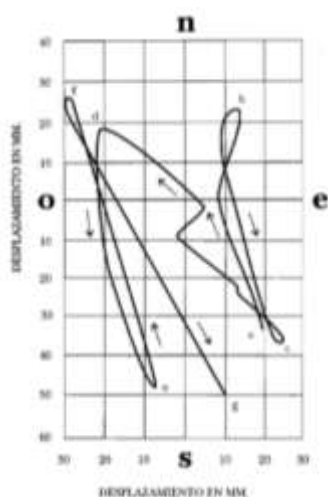


Fig. 8. Diagrama de desplazamiento del terremoto de Tokio, 1923. En: Julio Ibáñez, Breve historia de la ingeniería antisísmica, Anales de la Universidad de Chile, 5ª. Serie, N°21, 1989.

propia de la construcción. Un segundo aspecto apuntaba a la vibración de la estructura, que consideraba un aumento del “peso de la construcción y la sobrecarga” (Maldonado, Pfenning, 1965:157) de la estructura, estimando un 12% adicional para el primer piso y 8% el superior, con una altura máxima de 10 metros. El movimiento de ondulación (fuerza horizontal), en tanto, fue interpretado “en base a una aceleración igual a una fracción de la gravedad” (Maldonado, Pfenning, 1965:157).

Este último, de carácter casuístico, condicionaba el cálculo estructural de una determinada edificación a su emplazamiento y la zonificación establecida para la geografía de las distintas regiones de Italia¹⁷. La regulación de 1909 fue ajustada sucesivamente a través de un conjunto de modificaciones introducidas principalmente en 1927. Posteriormente entró en vigencia otra norma (Real Decreto Ley de 22 de Noviembre de 1937 – XVI N° 2105), en la que se introdujeron nuevos estándares para estructuras de hormigón armado y en la que se establecieron zonificaciones según criterios geográficos definidos de acuerdo a “su grado de sismicidad y (...) su constitución geológica”. Asimismo, se establecieron restricciones de altura de la edificación que oscilaba entre los 16 y 20 metros, dependiendo de su relación con las calles, así como con el plano de fundación (en pendiente o recto). La norma italiana fue uno de los referentes directos que tomó la Ordenanza General chilena (Flores, 1993), y que permitió incorporar el sistema de albañilería armada como alternativa sísmicamente eficiente en comparación a las albañilerías simples predominantes en la zona central del país. En efecto, la vulnerabilidad sísmica presente en edificios de ladrillo – sin refuerzo, se debe entre otras causas, al hecho que “muchos albañiles emplean más este material, el que resulta a veces de mala clase, porque se fabrica y se vende sin ningún control de las autoridades; en cambio, los edificios sólo de tabiques de madera, de concreto armado, el de esqueleto metálico o de ladrillo, con pilares y cadenas de concreto armado, han resistido muy bien a las oscilaciones de los temblores (...) [destacando que] los muros y los pisos deben estar sólidamente unidos y amarrados, para que resistan los movimientos sísmicos.” (Carvajal, 1928).

Otro caso importante fue Japón, cuyo proceso de normalización de las construcciones se desarrolló a consecuencia del terremoto de Kanto de 1923. La catástrofe arrasó casi completamente la capital y la ciudad de Yokohama, además de otros centros urbanos.¹⁸ Los muertos estimados en este caso

¹⁷ Estas prescripciones fueron sucesivamente modificadas con otros decretos, como conclusión de los estudios de una segunda Comisión gubernativa, la cual discutió en su relato un valioso estudio teórico del profesor Panetti y un método de cálculo con numerosos ejemplos, redactado por el profesor Canavazzi, cuyo texto (<Giornale del Genio Civile>), 31 de Octubre de 1913 es utilísimo para el proyectista.” (Maldonado, Pfenning, 1965:157).

¹⁸ Terremoto ocurrido el 1° de septiembre de 1923 que prácticamente devastó la capital de Japón, Tokio, y Yokohama. Otras divisiones administrativas también fueron severamente afectadas: Kanagawa, Chiba, Shizouka, Yamanashi, Saitana e Iribaki. En: The Great Earthquake of 1923 in Japan, Compiled by the Bureau of Social Affairs, Home Office, Japan, 1926.

rondaron los 130 mil. Al año siguiente, se publicó un reglamento orientado a la regulación de la edificación sísmica en dos volúmenes. En el primero contiene dos edictos del emperador Taisho (reinado entre 1912 y 1926) y un reglamento nacional de construcción (**fig. 7**). El segundo volumen contiene a su vez un conjunto de gráficos y planos de Tokio y Yokohama. En estos últimos se grafican las áreas urbanas devastadas. Otros planos representan las zonas evaluadas para ser reconstruidas.

El relación al cálculo estructural, el terremoto de Kanto es importante porque representa el primer evento registrado en que pudieron ser medidas cuantitativamente “las ondas principales de un gran terremoto” por medio de una acelerógrafo. A partir de esta medición, los investigadores Imamura, Omori, Tanabashi, entre otros, “emprendieron serios estudios sobre el fenómeno sísmico, sus consecuencias y cómo paliarlas.” (Ibáñez, 1985:26). Dos conclusiones principales arrojaron estos trabajos: que las ondas sísmicas tienen distintos períodos de vibración, donde las “las ondas sísmicas peligrosas tenían un período de vibración de alrededor de un segundo...” (Ibáñez, 1985:26); y la invención del acelerógrafo, que permitió “obtener registros instrumentales fidedignos de terremotos de cualquier intensidad.” (Ibáñez, 1985:26), (**fig. 8**). La importancia de ambos aportes radica en la comprensión del efecto sísmico sobre las construcciones como movimiento en aceleración en relación con la altura del edificio.

Desde el punto de vista constructivo, la norma de Japón asignó un valor de 0,1 para el coeficiente sísmico (k) aplicadas a “estructuras ordinarias”; y un valor de 0,15 para “estructuras tipo estaca, (chimenea, torres, etc.)” [sic] (Maldonado, Pfenning, 1965:149). La altura en tanto, fue restringida a un máximo de 30 metros. Es importante destacar que, según los autores, la restricción de altura estuvo ajustada más bien a la morfología de la ciudad más que a un problema puramente sísmico. Esta norma estuvo vigente hasta el año 1950, año durante el cual fue reemplazada por “el Japonese [sic] Engineering Standard (JES-3001)” en la cual se especificó un valor $k=0,2$ para ciertos tipos de materiales (con menor elasticidad) sometidas a cargas de mayor duración (Maldonado, Pfenning, 1965:149-50). Esta modificación incluyó también rangos de alturas máximas en función del factor sísmico, las que variaban entre los 16m a 31m, como máximo.

Además del caso italiano, que en sus inicios se orientó en la regulación de las construcciones en albañilería, las normas de Estados Unidos, Japón y Rusia “marcan tres escuelas diferentes de diseño” donde los dos primeros casos han asumido mayor predominancia. Maldonado y Pfenning sostienen que éstos han sido referentes de casi todos los reglamentos sísmicos de aquellos países que han regulado las construcciones, incorporando criterios y especificaciones de diseño. “La llamada escuela de Tokio, toma como modelo



Fig. 9. Terremoto de Valparaíso, 1906.
Fuente: www.memorichilena.cl



Fig. 10. Terremoto de Talca, 1928.
Fuente: www.memorichilena.cl



Fig. 11. Terremoto de Chillán, 1939.
Fuente: www.memorichilena.cl

los diseños de Naite [sic] que resistieron en buena forma el sismo de Tokyo [sic] de 1923. Estas estructuras eran excepcionalmente rígidas y los discípulos de Naito sostienen que el diseño sísmico de estructuras es solo concebible buscando una gran rigidez” (Maldonado, Pfenning, 1965:155), mientras que “la escuela norteamericana ha tenido grandes éxitos diseñando estructuras muy flexibles con coeficientes sísmicos bajos.” (Maldonado, Pfenning, 1965:155).

Avance disciplinar y profesional: ingeniería y arquitectura: Una segunda consideración al surgimiento de la Ordenanza Generales debe entenderse bajo la perspectiva del desarrollo disciplinar de la ingeniería y de la arquitectura. Los arquitectos, que se agruparon en distintas instancias de asociación profesional, al tiempo que disponían de medios de difusión ampliados a diversas líneas editoriales de revistas de arquitectura. Institucionalmente, se creó primero la agrupación profesional en la Sociedad Central de Arquitectos, en 1907; la Asociación de Arquitectos, en 1923; y, posteriormente, el Colegio de Arquitectos de Chile, en 1942. (Aguirre, 2012:36). Es importante destacar que la Sociedad Central de Arquitectos colocó en la agenda nacional temas relacionados con las incipientes ideas de planificación de las ciudades (en este caso Santiago) y del problema de la vivienda que marcó de forma importante las políticas públicas en gran parte del siglo XX. En lo que se refiere a este trabajo, la asociación profesional de arquitectos, en sus distintas formas de agrupación, ocupó también un activo y crítico rol frente al problema sísmico.

La formación universitaria y la práctica profesional representó asimismo, uno de los pilares decisivos en la presencia y rol llevado adelante por los arquitectos, no sólo en el ámbito académico y profesional, sino también en un sentido más amplio, en la discusión pública y en la agenda política. Esta arista, escasamente estudiada en relación con la redacción de las Ordenanzas (1930, 1931, 1935-6 y 1949), abre un campo clave para comprender las conexiones de la profesión con el mundo político, pero sobre todo, porque pone de relieve el rol protagónico que jugaron los ingenieros-arquitectos en la promoción, redacción y puesta en vigencia de una norma que trazó un derrotero de la arquitectura y el urbanismo en Chile. Postura crítica manifestada en debates -publicados en prensa y revistas- que fue reflejo también de una profunda posición ética y sentido de responsabilidad frente a la ciudad. Y en el caso particular de los sismos, una responsabilidad asociada esencialmente frente a la vulnerabilidad de las construcciones y los riesgos de destrucción: una suerte de reivindicación de las responsabilidades

y competencias en la sociedad, tanto en términos urbanos como en el diseño arquitectónico¹⁹.

La creación en 1849 de la carrera de arquitectura en la Universidad de Chile primero, y en 1894 en la Universidad Católica después, contribuyeron al país en la conformación de un cuerpo profesionalizado de formación local, no ya foránea²⁰, aunque con estudios marcados por la escuela de Beaux Arts de París. Más allá de la conocida discusión en torno a los lenguajes desarrollados durante el período, es importante señalar que la formación en la Universidad de Chile, tenía un plan común de estudios de ingeniería y arquitectura, integrado por los conocimientos científicos asociados al cálculo estructural y al diseño arquitectónico. Entre 1922 y 1929 se incorporó al plan común de estudios de ingeniería y arquitectura, la enseñanza del urbanismo. A continuación, en 1933 se “consolidó el enfoque científico y tecnológico que venía forjándose al interior de la escuela de la Universidad de Chile a partir de 1901. Posteriormente, en 1944 se creó la Facultad de Arquitectura y luego, en 1946 el Colegio de Arquitectos.” (Aguirre, 2012:50-1). Todos estos aspectos fueron recogidos y quedaron plasmados en la Ordenanza. Por ello, no es de extrañar la participación activa que les cupo a los ingenieros-arquitectos en las comisiones nombradas para la redacción de la primera ordenanza y siguientes, como en otros estudios anteriores²¹. La integración disciplinar de ambas especialidades permeó desde el ámbito académico a la sociedad, los estamentos políticos y en último, cristalizó en una reglamentación legal nacional. Fue un momento histórico nutrido de sentido crítico y aproximado desde la arquitectura y la ingeniería.

Es importante destacar que posterior al terremoto de Talca y entrada en vigencia de la primera Ordenanza General, a partir de 1933 se “consolidó el enfoque científico y tecnológico que venía forjándose al interior de la escuela de la Universidad de Chile a partir de 1901.” (Aguirre, 2012:50-1). Esta integración científico-arquitectónica perduró sólo hasta 1944, año en que se creó la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, y por tanto, la carrera de arquitectura dejó de pertenecer a la Facultad de Física y Matemáticas²². Una de las consecuencias que implicó esta separación, quedó graficada en la disputa entre ambas facultades por el Instituto de Estabilidad. A pesar de los esfuerzos del ingeniero Julio Ibáñez por anexar el Instituto a la nueva Facultad, su destino fue finalmente formar parte de los programas de Física y Matemáticas. La defensa sostenida por Ibáñez se fundaba sobre la base de comprender que “esta especialidad [Instituto de Estabilidad] era de primera

¹⁹ La cuestión vinculada al problema ético en lo profesional será desarrollado en el segundo capítulo de este trabajo.

²⁰ El primer arquitecto con formación profesional que llevó adelante obras fue Joaquín Toesca, a fines del siglo XVIII. Durante el siglo XIX, se produjo el influjo de otros arquitectos, italianos y franceses, que aportaron al país tanto con algunas destacadas obras como en la academia.

²¹ Agregar las comisiones de la OG 1931-6 y 1941-9.

²² En: <http://www.fau.uchile.cl/facultad/presentacion/63270/historia>

recurrencia en arquitectura”. Perdida la pugna, Ibáñez reaccionó simbólicamente “cuando se le quiso nombrar profesor emérito de esta facultad [y] declinó el honor argumentando que no había tenido éxito en hacer conciencia entre los arquitectos de esta condicionante del diseño.” (Márquez, 1985:21). Esta bifurcación en el desarrollo disciplinar –de la ingeniería pero en especial de la arquitectura- marcó una distancia que con el tiempo solo se fue profundizando y derivó en una especificidad disociada. Pero tal gesto explicita (al menos en la figura de Ibáñez) una responsabilidad a los arquitectos al haberse desprendido del Instituto.

En esta línea, el ingeniero Elías Arze agrega que “los cálculos antisísmicos (...) tienen una alto grado de incertidumbre tanto por la dificultad de predecir las características de los terremotos probables como por la complejidad para determinar la respuesta de las estructuras a ellos.” (Arze, 1985:39). Es decir, tanto la sismología como la ingeniería estructural se despliegan en campos del conocimiento en que no hay predominio de las certezas sino todo lo contrario. Cada nuevo evento sísmico con efectos de destrucción parcial o masiva, genera escenarios que obligan replanteos y nuevos ajustes tanto en el marco de regulación normativo, como de los edificios y sus sistemas y tecnologías de la construcción. Por ello, “la ingeniería antisísmica está en estado de <arte> y no, aún, en estado de ciencia o tecnología, para indicar que los fenómenos sísmicos no pueden ser tratados sólo analíticamente, sino que se debe recurrir parcialmente a las capacidades propias de la intuición, que asociamos corrientemente con la creación y percepción del arte.” (Depetris, 1985:34). Esta posición pone de manifiesto, por un lado, las limitaciones de la ingeniería estructural, y por otro, agrega rasgos o condicionantes propios de la arquitectura.

Si Guevara plantea la relación entre arquitectura moderna y los sismos como un problema eminentemente morfológico y compositivo, Pérez de Arce lo sitúa como una condición programática, y no meramente formal. Sostiene así que “(...) the notion of the project’s materiality, as well as the relationship between firmness and precariousness, constitute a legitimate framework for the discussion of modern architecture in Chile.” (Pérez de Arce, 2010:45). Se trata de una nueva aproximación que sugiere un debate más amplio, en el que la ambivalencia que constituye un sismo (resistencia y precariedad) se transforman en clave de la arquitectura en Chile.

En el ámbito regional, el problema sísmico fue abordado en el segundo Congreso Panamericano de Arquitectos celebrado en Santiago de Chile (1923) y retomado en el siguiente realizado en Buenos Aires (1927). Aun cuando la agenda estuvo marcada por tópicos que parecían más urgentes y transversales a la gran mayoría de las naciones participantes, como el problema de la vivienda popular, el rol profesional en la sociedad y la regulación de las ciudades, el problema sísmico fue parte de la discusión.

Especialistas dieron cuenta de la preocupación por los sismos representan fundamentalmente para algunas naciones americanas y de una cierta tendencia hacia la prevención de la destrucción donde se hizo hincapié en la necesidad de normar las edificaciones al tiempo que regular las ciudades. Ambos aspectos recogidos posteriormente en la primera Ordenanza General (1930).

Durante esta segunda celebración sólo se limitó a recomendar a los gobiernos nacionales “la creación de gabinetes y cátedras de sismología y construcciones asísmicas a cargo de especialistas del ramo [además de] incluir este tema en el próximo congreso.” (II Congreso Panamericano de Arquitectos, 1923:117). Parte de las conclusiones de la Segunda Sesión de la Comisión referidas al plan de transformación de Santiago dan cuenta de algunos de los temas que serían posteriormente recogidos en la redacción de la primera Ordenanza. Por ejemplo, cuando se solicita “autorizar a las Municipalidades de la República en las ciudades de más de 20.000 habitantes a fijar alturas máximas y mínimas, calidad e intensidad de edificios en cada manzana del radio urbano...” (II Congreso Panamericano de Arquitectos, 1923:116), (**Fig. 12**).



Fig. 12. III Congreso Panamericano de Arquitectos, Actas y Trabajos, Buenos Aires, 1927.

Reposicionamiento historiográfico del proceso de regulación sísmica de la edificación en Chile:

Sobre la base del material consultado y revisado, se puede afirmar que previo al proyecto de Ley General de Construcciones y Urbanización, su aprobación y entrada en vigencia, junto con la redacción de la Ordenanza homónima, hubo una serie de instrumentos de regulación, instructivos y normas aplicados específicamente a la edificación fiscal. Y en ciertos casos, como las Normas suscritas por los ingenieros Elsner, Ewerbeck y Lira, instrumentos de regulación de construcciones sísmicas. Este hecho es importante por dos razones. En primer lugar, porque establece la existencia de un conjunto de instrumentos de regulación anteriores a la promulgación de la Ley y Ordenanza General (1929 y 1930 respectivamente), si bien acotados a la edificación fiscal, pero atinentes a los métodos de diseño y cálculo estructural y procedimientos de construcción.

Por otro lado, las fuentes que antecedieron la promulgación de la Ordenanza General de 1930, dejan en evidencia la existencia previa de instrumentos normativos que regularon la edificación fiscal, particularmente en hormigón armado. Tales fuentes permiten observar además, la conexión –a través del cálculo estructural- entre el diseño de obras civiles (y particularmente infraestructura de puentes) y la edificación, mediados por el hormigón armado, en tanto material de alta resistencia, calculable y –potencialmente- eficiente desde un punto de vista sísmico. Esta transferencia se desarrolló en

el medio académico y profesional, en conjunto con el aparato estatal como promotor de la ejecución de obras fiscales.

De acuerdo a los contenidos expresados en las citadas fuentes, se observa un estado del conocimiento sobre el hormigón, cruzado por ensayos y ajustes correctivos a prueba y error. Se trata por tanto, de un momento que conjugó aproximaciones teóricas en desarrollo y una determinación empírica parcial y de orden determinista.

Primera Parte.

Aproximaciones teóricas.

Capítulo 1. Arquitectura en medios sísmicos. Aproximaciones a la Unidad Edificada como Sistema.

Destrucción edilicia: forma, esqueleto y materia:

Introducción: El presente capítulo, vincula la relación entre el fenómeno sísmico, sus efectos en los edificios y la Teoría General de Sistemas. Esta aproximación parte del supuesto tratado por Benjamin Handler en 1970¹, y Teresa Guevara en 2008, que sitúan el objeto arquitectónico en su condición de unidad morfológica cuyas lógicas y relaciones entre sus componentes, se vinculan con ciertas definiciones y principios propios de los sistemas. Mientras que Handler propone ese vínculo en relación a la función y programa, Guevara lo traslada como cuerpo cuya reacción frente al estado de perturbación que supone un sismo, es esencialmente sistémica, pues se ven afectadas todas y cada una de sus componentes.

Profundizar sobre los alcances de los efectos de los terremotos en la unidad edilicia implica, entre otras cosas, considerar no sólo su esqueleto estructural como parte fundamental en la resistencia sísmica, sino que también los elementos no estructurales que, independientemente de su condición secundaria, constituyen igualmente una parte del cuerpo construido y de la obra arquitectónica.

Uno de los argumentos que sostienen la necesidad de establecer una relación entre los sismos, los edificios y su forma de reacción (desempeño y resistencia), se fundamenta en el hecho que el comportamiento de toda construcción durante el desarrollo de un sismo, incide en la totalidad de la unidad y no sólo en sus partes estructurales. Este aspecto puede ser relevante no sólo desde un punto de vista estructural y de la ingeniería que calcula la resistencia debida, sino que también desde la arquitectura, porque supone un factor que puede ser incidente en su diseño, morfología, configuración y constitución matérica y constructiva. O al menos, en los criterios considerados para un determinado escenario sísmico. Los capítulos que siguen al presente, abordarán algunos casos de interés que pueden iluminar concretamente el conjunto de estas relaciones, analizados en función del conjunto de factores y determinantes que han incidido en los procesos de regulación, normalización y desarrollo de una parte de la arquitectura en Chile en el periodo de estudio.

¹ Ver: Handler, Benjamin, Systems Approach to Architecture, American Elsevier Publishing Company, Inc., New York, 1970.

Si bien el cuerpo edificado es uno solo, y sus partes constitutivas son indivisibles (no obstante estar sujetas a eventuales ajustes, modificaciones y alteraciones), para efectos de esta investigación, que se concentra en el comportamiento del edificio durante un terremoto y su estado posterior, se comprenderá la unidad edilicia como una serie de subsistemas que en conjunto, conforman un solo sistema. Así, el edificio está integrado por un sistema arquitectónico (que se refiere al cuerpo edificado en su totalidad y que encarna un determinado programa para el cual ha sido diseñado); un sistema (o subsistema) estructural; un sistema (o subsistema) material; y un sistema (o subsistema) constructivo. Todos y cada uno de ellos actúan e interactúan como parte de un total durante un evento sísmico. Asimismo, es importante destacar que no todos pueden tener desempeños equivalentes, siendo evidentemente, el sistema estructural, el más relevante cuando lo que se propende, es la disminución de daños pero sobre todo, asegurar la resistencia sísmica y evitar el colapso parcial o total de la construcción.

Esta aproximación es relevante también, porque considera elementos y factores que en el campo de la ciencia, y en particular de la ingeniería y cálculo estructural, suelen ser omitidos, o solo considerados como valores cuantitativos derivados de los métodos de cálculo. Un ejemplo de ello son las cargas muertas que representan tabiques o los índices estimativos de carga de ocupación de una unidad, dependiendo de la función y uso asignado.

Por último, establecer conexiones entre la Teoría General de Sistemas y el proceso de transformación de la arquitectura en Chile a la luz del fenómeno sísmico, excede las consideraciones y alcances puramente morfológicos. Tras este proceso, se plantea que hubo una cierta permeabilidad entre disciplinas (en sus diversos campos de acción) que se tradujo, en parte, en la asimilación de nuevas concepciones y modos de comprender la arquitectura, los procesos de construcción, y la obra material.

Seísmos, sistemas y configuración arquitectónica:

Cuando ocurre un sismo, toda construcción se ve sometida a esfuerzos multidireccionales. Esta es una condición incondicional a cualquier tipo de obra edificada que se traduce en fuerzas aplicadas a cada una de todas las componentes de la unidad edilicia, y que se expresan a su vez, en deformaciones, fracturas o incluso el colapso de una parte o todo el edificio. Esto es importante, porque uno de los principales objetivos del diseño estructural sismorresistente es, antes que nada, evitar el derrumbe y procurar la disminución de daños. Estos últimos, son asumidos, sin embargo, como una consecuencia inevitable, y que se coloca en función de los márgenes de seguridad incluidos en las fórmulas de cálculo de estabilidad.

En este sentido, las investigaciones y estudios especializados – principalmente en la ingeniería estructural- han estado centrados en la anticipación simulada del comportamiento estructural de un edificio determinado sometido a un evento supuesto de ciertas características, que vela por la prevalencia de la resistencia de su esqueleto soportante, relegando a un segundo plano los elementos no estructurales. Además, el diseño sismorresistente parte de la premisa que asume algún grado de deformación, distorsión o alteración de las componentes del cuerpo edificado lo que supone, por tanto, algún grado de transformación de su estado previo. Ello se asocia con la delimitación del campo de trabajo de la ingeniería estructural. En efecto, los índices y factores considerados durante el primer tercio de siglo establecieron valores máximos y mínimos más amplios a los vigentes en la actualidad. Tales factores pueden ser considerados como externos (es decir, propios del fenómeno y no del objeto), pues provienen de la medición asociados a la magnitud, el período y la aceleración del seísmo, o las características propias del desplazamiento, como el tipo de onda y tipo de movimiento (subducción, cizalle o divergencia).

Aún cuando el edificio es objeto de proyecto común a la arquitectura e ingeniería estructural, las aproximaciones que establece cada una de estas disciplinas, en escenarios condicionados por el fenómeno sísmico, son distintas. Así, mientras la primera centra sus esfuerzos en lograr un diseño que cumpla con los requerimientos programáticos para el cual ha sido creado, donde se conjugan, además de la componente estructural, variables técnicas, constructivas, materiales, plásticas, instalaciones, entre otras; la segunda centra los estudios en determinar las fallas y sus causas. De este modo, el evento sísmico y la eventual falla estructural y/o constructiva, someten a prueba una aproximación teórica previa reflejada imaginariamente mediante fórmulas matemáticas y el modelamiento simulado recreado en un escenario supuesto. En cierto sentido, el terremoto representa la convergencia entre la abstracción proyectual y la reacción efectiva y concreta del edificio resultante de ese proceso de proyecto.

Por otro lado, la abstracción que requiere el método de cálculo de estabilidad (en zonas sísmicas), requiere necesariamente prescindir de ciertos elementos que no son relevantes, o al menos marginales; y que contrariamente, en el proyecto arquitectónico, pueden ser de primer orden.

Pero desde el punto de vista arquitectónico, es importante comprender el edificio como unidad compleja, considerando aspectos que, desde la ingeniería, pueden ser irrelevantes o secundarios, en parte porque no representan índices cuantitativos. Por tanto, comprender el edificio en su unidad, integrada por partes estructurales y no estructurales, puede

contribuir a la comprensión más cabal en la relación entre las construcciones y los terremotos.

Destrucción sísmica y los edificios como sistemas: El gran terremoto (8,8° Richter²) ocurrido en febrero de 2010 en Chile y que afectó la zona centro y centro sur del país, hizo colapsar construcciones de infraestructura y edificios (sin contar los daños que dejó el posterior tsunami que asoló las ciudades costeras). Un ejemplo de dicha destrucción se produjo en las algunas autopistas urbanas emplazadas en Santiago, donde se puso en evidencia la magnitud de la energía liberada. El colapso de este tipo de construcciones permite ilustrar el comportamiento estructural, constructivo y material en términos de sistema³, donde las vibraciones producidas por el sismo afectaron todas las partes de la unidad morfológica hasta llevarla al derrumbe.

Un sistema puede ser entendido en dos dimensiones: en un plano teórico y en un campo real y construido. Mientras el primero se vincula con el estudio a través del método de cálculo, manejo de variables y obtención de resultados de eficiencia para unos determinados requerimientos; el segundo se mueve en un campo concreto donde el modelo adquiere forma y *realidad* construida, donde se ve sometido a las exigencias efectivas para las cuales este sistema fue diseñado. Es en cierto modo, una puesta a prueba. En ambos casos, sin embargo, el problema programático de la unidad arquitectónica se concentra en la búsqueda del óptimo funcionamiento. Es decir, su eficiencia en términos de diseño. En este último punto, cobra relevancia la dimensión constructiva de los elementos que conforman el edificio, lo que se relaciona a su vez con la resistencia y propiedades de los materiales.

Se puede afirmar que cuando un evento sísmico ocurre, todo tipo de construcción actúa como sistema. Las ondas sísmicas que se propagan por el terreno se transmiten desde los cimientos y se distribuyen en todas direcciones por cada una de las partes –estructurales y no estructurales⁴—de un cuerpo construido. Y la reacción de la construcción, en tanto unidad, se expresa como un sistema en que cada una sus partes se ven sometidas a esfuerzos -en mayor o menor grado- y deformaciones a consecuencia de fuerzas (tracción, compresión, cizalle, rotación, pandeo, etcétera). Como señala Guevara, estos esfuerzos son producidos por de acuerdo al

² Fuente: www.sismologia.cl

³ Se entiende por configuración de un sistema simple como un sistema edificado y constituido por un número reducido de partes o componentes.

⁴ "... un edificio como sistema estaría formado por un conjunto de componentes estructurales y no estructurales relacionados entre sí para dar lugar a un objeto coherente que lo identificará para una función determinada. (...) el edificio no es una sumatoria de componentes, sino una unidad en que sus componentes están estrechamente vinculados y en donde la modificación de cada uno de ellos podría influir, unos en mayor escala que otros, en el comportamiento general del edificio singular y, en particular, en su desempeño sismorresistente." En: Guevara, 2009:47).

comportamiento del edificio como un todo, donde la estructura soportante recibe no sólo las vibraciones del terreno, sino que también de los elementos no estructurales.

Morfológicamente, una autopista elevada es un caso que ilustra de forma simple por qué una construcción actúa como un sistema frente a las solicitaciones estructurales que impone un sismo. Esto se puede observar en la autopista urbana elevada (Américo Vespucio Norte, Santiago) donde la destrucción producida por el terremoto de 2010 hizo colapsar, en uno o más tramos, parte del sistema conformado por pilares, vigas y losas de hormigón armado. Mientras las losas del viaducto elevado quedaron destruidas, los pilares y vigas permanecieron en pie. Una solución común para este tipo de infraestructura que consiste en el apoyo simple de losas sobre pórticos conformados por pilares y vigas, separadas por juntas de dilatación. El tipo y magnitud de sismo registrado entonces, sumado a la solución estructural empleada, debieron confluír negativamente en el colapso parcial que sufrió parte de la estructura y que condujo a uno de los problemas que la ingeniería intenta evitar por todos los medios.

Si bien los edificios son construcciones de naturaleza distinta a las autopistas, éstas pueden contribuir a ejemplificar y comprender de modo simple cómo un tipo de construcción puede reaccionar durante un estado de perturbación sísmica. Evidentemente, las lógicas proyectuales y programáticas de un edificio habitable, condensan un conjunto mayor de variables que se traducen en objetos de complejidad mayor en comparación con obras de carácter infraestructural. Y desde un punto de vista estructural y del cálculo de estabilidad, son dos tipos de problemas distintos que en los edificios refiere la concentración de cargas verticales, y en el caso de las autopistas elevadas o puentes, estriba en la concentración de cargas distribuidas a lo largo de un cierto tramo.

Este trabajo en particular, no tiene por objeto profundizar en el debate en torno a la relación entre la arquitectura y los sistemas, sino que plantear la condición de sistema que adquieren las construcciones cuando se ven sometidas a las solicitaciones sísmicas, más allá de la tipología, configuración y tipo material. Esta aproximación se distancia de la relación entre la idea de sistema y arquitectura en términos de función, es decir, programáticamente. Idea que supone un escenario sin alteración, en oposición a lo que un sismo representa⁵. Algo que Torroja define como función estática, al decir que “... no basta que su resistencia [del edificio] aleje el peligro de rotura. Es necesario también que la construcción sea estable e inmóvil.” (Torroja, 2010:16). Es decir, bajo escenarios estáticos

⁵ “Un terremoto es la vibración de la Tierra causada por una violenta y rápida liberación de energía.” En: Cereceda, P., et. al., Terremotos y Tsunamis en Chile. Para conocer y prevenir, Origo, Santiago, 2011.

distintos a la alteración que un sismo –de cierta intensidad y magnitud – representa para las construcciones. Y en términos de sistema, la naturaleza que supone “ a function is a whole whose parts are identified, whose behavior is known and whose connections are clear.” (Hanlder, 1970:19).

Una de las condiciones que caracteriza la idea de sistema, radica en la capacidad de adaptación que tiene una unidad (en este caso edilicia) frente a escenarios cambiantes, prevaleciendo así las relaciones antes que las particularidades individuales de los componentes. (Hanlder, 1970:19). Si los sismos son alteraciones abruptas y repentinas de un estado de equilibrio estático, es decir, un escenario cambiante, los edificios suponen una condición de sistema en relación con su capacidad de respuesta frente a dichas alteraciones. Morfológicamente, esto se refiere también al cambio brusco de las variables físicas y de las propiedades de los materiales con que un edificio está constituido.



Fig. 1.1. Autopista Vespucio Norte colapsada, Santiago, Región Metropolitana. Terremoto 2010. Fuente: www.mexicocnn.com.

La arquitectura como sistema: La propuesta de Handler, que supone la concepción de la arquitectura ligada a los sistemas, se vincula con una parte del proceso de transformación de la arquitectura en Chile a la luz del fenómeno sísmico que esta tesis indaga, y en particular, con los cambios impulsados principalmente durante el segundo tercio del siglo XX, en adelante. Cambios vinculados a procesos manifestados en diversos campos del conocimiento, como se ha intentado exponer aquí.

La Teoría General de Sistemas puede ser desagregada en dos grupos, “donde las distinciones conceptuales se concentran en una relación entre el todo (sistema) y sus partes (elementos)” representa el sistema como la unidad y sus componentes, aislada de un medio determinado; y el segundo, “donde las distinciones conceptuales se concentran en los procesos de frontera (sistema/ambiente)” (Arnold, Osorio, 1998:2,3). La relación entre las construcciones y los terremotos, como objeto y fenómeno ambiente, cabe en ambas dimensiones, condensando de este modo, “la interdependencia de las partes que lo integran [al sistema] y el orden que subyace a tal interdependencia (...); [y] las corrientes de entrada y salidas mediante las cuales se establece una relación entre el sistema y su ambiente.” (Arnold, Osorio, 1998:3). Dicho de otro modo, si el objeto es la unidad edificada y el ambiente es el fenómeno sísmico, ambas aproximaciones son complementarias y retroactivas.

En cierto modo, se puede afirmar que el cálculo estructural, aun en su desarrollo desde fines del siglo XIX y con mayor énfasis a partir del segundo tercio del siglo XX, fue una forma de expresión de la comprensión el fenómeno sísmico apoyado en la interpretación cuantitativa de las variables hasta entonces identificadas, mediante las cuales se hizo (en mayor o menor medida) verificable y condicionado a los eventos sísmicos sucesivos en el tiempo. Esta aproximación científica implicó conceptualmente, la separación del fenómeno sísmico respecto de los objetos afectados por las vibraciones. Se comprendió también que la estabilidad del edificio no dependía solamente de su diseño arquitectónico y estructural, sino que también de su composición material y constructiva, sus capacidades y propiedades intrínsecas. Y por otro lado, que en la medida que se pudiesen determinar las variables que operaban durante un evento sísmico, se podría hacer frente de forma más eficiente a la resistencia. Adicionalmente, la idea del edificio como una unidad conformada por partes estructurales y calculables condicionadas a esfuerzos por sismos, supuso la ampliación de la idea del edificio como organización y de sus funciones programáticas.

El proceso de normalización de las construcciones y de la arquitectura en Chile, ha cruzado desde una práctica empírica sustentada en procedimientos a base de prueba y error, hacia el paso gradual encaminados a lograr

procedimientos sistemáticos, metódicos científicos. Procedimientos que han logrado ser ajustados en mayor grado de precisión tanto en las etapas de proyecto como de ejecución de obras, en cierto modo asimilables a los métodos y procesos de organización característicos de los sistemas⁶. Este cambio en el proceso proyectual y de fabricación arquitectónicos da cuenta de las transformaciones impulsadas en diversos ámbitos que se ha intentado exponer hasta aquí en este tesis. La aproximación racionalizada al fenómeno sísmico y la anticipación a la destrucción, marcó una parte del cambio de los procedimientos habituales (hasta entonces) empleados por los arquitectos, los que “have solved architectural problems through self-teaching on the basis of trial and error, [and] have worked with ill-defined objectives and equally ill-defined criteria choosing from among alternatives.” (Handler, 1907:24). De este modo, el paso desde el procedimiento heurístico al procedimiento racionalizado y metódico redundó -en el caso de las construcciones proyectadas y edificadas sobre criterios de sismorresistencia- en la consolidación de formas arquitectónica eficientes frente a las solicitaciones del fenómeno. En parte, por una necesidad y requerimiento impuestos por el cálculo estructural.

Aunque no de modo directo, ciertos aspectos que caracterizaron el proceso de concepción de la obra arquitectónica apoyada en métodos científicos exigidos por la necesidad de asegurar construcciones sismorresistentes, pueden ser vinculados con la Teoría General de Sistemas. Y no sólo desde el punto de vista solo formal, como bien lo señala Guevara, sino que también en un sentido procedimental, como el recién descrito. Para ello es necesario extender algunas de las aproximaciones desarrolladas en este sentido, en particular por Handler y Guevara, expuestas a la luz de la propia Teoría.

La Teoría General de Sistemas (1950), cuya formulación se atribuye al biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), estuvo orientada a la constitución de “un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y ser al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos.” (Arnold, Osorio, 1998:1). En este sentido, ha sido una teoría difundida principalmente en las áreas científicas, como un puente comunicante entre las llamadas ciencias duras y las ciencias sociales, donde prevalece antes que las unidades, el conjunto de relaciones, funciones y comportamientos. Recogiendo uno de los preceptos fundacionales de la Society for General Systems Research, que plantea la promoción de “la unidad de la ciencia a través de principios conceptuales y metodológicos unificadores” (Arnold, Osorio, 1998:1), se sostiene que algunos de los principios y conceptos contenidos en esta teoría fundado en el hecho que

⁶ “The heuristic method required no formal definition of the problem or ability to abstract and generalize, no rigorous interlocking of the parts of the problem, no ambiguous demonstration of how the conclusion was reached. Consequently, its process cannot be pinned and duplicated, let alone tested.” (Handler, 1970:24).

uno de sus postulados se orienta en la promoción del trabajo interdisciplinario, en tanto medio de solución de problemas complejos.

La Teoría General de Sistemas (T.G.S.) que ha sido vinculada principalmente a las ciencias, como la biología, informática y cibernética (Johansen, 2009:14), y otras áreas de las humanidades, como la economía o administración⁷, por citar algunos ejemplos, bien puede ser extendida y puesta en relación con la arquitectura y los sismos. Entre otras razones, porque "es un corte horizontal que pasa a través de todos los diferentes campos del saber humano, para explicar y predecir la conducta de la realidad." (Johansen, 2009:14). Esta universalidad característica de la T.G.S., abre por un lado la pertinencia que supone su aplicación en otros campos del conocimiento, distintos a los mencionados, como la arquitectura, aún en relación al fenómeno sísmico. El objeto arquitectónico, en cuanto unidad concreta, puede ser comprendida y analizada desde la aproximación de los *sistemas reales*, es decir, aquellos que suponen "una existencia independiente del observador" (Arnold, Osorio, 1998:3), representativo también para el fenómeno sísmico. El método de cálculo estructural, científico y abstracto, se corresponde con la aproximación de un *sistema conceptual*, donde caben "la lógica, las matemáticas, la música y, en general, toda construcción simbólica." (Arnold, Osorio, 1998:3).

Los objetivos iniciales de la Teoría General de Sistemas estuvieron enfocados en tres líneas. La primera, en intentar establecer un lenguaje común que proporcionara las herramientas necesarias para poder "describir las características, funciones y comportamientos sistémicos"; la identificación de leyes generales a los diversos tipos de comportamientos; y "promover [su] formalización" a través de las matemáticas. (Arnold, Osorio, 1998:1). Como se puede observar, estos tres objetivos se alinean con parte de lo que representó el proceso de normalización de las construcciones en Chile en función de la conformación de una masa edificada sísmicamente resistente. En efecto, parte de lo que hubo detrás en los esfuerzos orientados a prevenir los daños y el colapso de los edificios fue un intento por otorgar leyes o patrones de comportamientos de las ondas sísmicas, los modos de reacción de las construcciones expuestos a las solicitaciones generadas y el desarrollo de un lenguaje, que en el caso del cálculo de estabilidad, se tradujo en ecuaciones y fórmulas matemáticas (compuestas por terminología

⁷ Johansen señala que si bien la noción de sistema se remonta a la antigüedad griega, la formulación de la Teoría General de Sistemas "nació (...) en 19325 cuando Ludwig von Bertalanffy hizo públicas sus investigaciones sobre el sistema abierto." Solo a partir de 1945, junto al término de la Segunda Guerra Mundial, logró instalarse dentro de la comunidad científica. En especial, en la biología. En Cibernética, en tanto, destaca la figura de Ashby "con el surgimiento de la Investigación de Operaciones." (Johansen, 2009:14).

representativa de valores asignados) capaces de proporcionar rangos más o menos ciertos de seguridad y estabilidad.

Asimismo, el estudio de los sismos, los intentos por anticipar el comportamiento de una determinada construcción ante un evento probable, se alinea con los principios enunciados anteriormente. Se sostiene que las construcciones actúan como un todo y que cada una de sus partes resiente, directa o indirectamente, el efecto del movimiento y desplazamiento sísmico. Por tanto, en lo que respecta al presente capítulo, se propone un punto de partida que permita estudiar las complejidades de esta relación, que por lo general, suele ser simplificada cuando se analiza desde un punto de vista solamente estructural (método de cálculo estructural) o puramente arquitectónico. Comprender la unidad arquitectónica como sistema, no tiene como objetivo único, sin embargo, intentar una aproximación integradora y amplia de las diversas componentes que confluyen cuando una construcción se ve sometida a las vibraciones sísmicas, sino que encarna además, y por sobre todo, una posición y forma de comprensión relacionar entre el objeto (obra arquitectónica) y el fenómeno (seísmo probable). Todo ello cobra, en último término, expresión en la configuración morfológica, sistema estructural, material y constructivo de la unidad edilicia, en tanto objeto construido.

Un sistema es una entidad o unidad conformada por partes vinculadas entre sí, a través de procesos orientados a cumplir una determinada meta u objetivo de forma eficiente y exitosa (Handler, 1970). Es un orden complejo constituido por relaciones múltiples con elementos dispuestos de tal forma que permitan un adecuado y eficiente funcionamiento, a la vez que la identificación clara y diferenciada de todas sus partes. Su aproximación organizada, distanciada del método heurístico y empírico de prueba y error, establece los mecanismos y técnicas a través de los cuales se pretende alcanzar los objetivos (Handler, 1970). En términos más amplios, los sistemas están inmersos en medios cambiantes y dinámicos y la capacidad de pronta respuesta y adaptación a tales cambios son también factores determinantes en su efectividad: “The systems concept is a broad frame of reference forced upon contemporary human endeavor in order to permit more effective adaptation to rapidly changing environments.” (Hanlder, 1970:19). Cambios ambientales abruptos que en el tópico que trata este trabajo, pueden ser vinculados a los terremotos, y el sujeto (u objeto en este caso) que se ve exigido en otorgar una pronta y eficiente respuesta, es el edificio y su capacidad (estructural, formal, técnica y material) de oponer resistencia a tales solicitaciones.

En los sistemas, las exigencias representan limitaciones, donde los “inputs” y “outputs”⁸ constituyen factores relacionados con los objetivos para los cuales un sistema determinado ha sido diseñado, y que se define como “[a] course which the study of particular problems takes. As such, they are subject to environmental circumstances which impose limitations on how the objectives are to be attained. These constraints define the limitations of systems and state the conditions under which they are intended to operate.” (Handler, 1970:26). Las limitaciones a que se ven expuestas las construcciones emplazadas en zonas sísmicas, surgen a partir del cambio repentino que representa un evento de esta naturaleza, y frente al cual, la resistencia estructural se convierte en el objetivo primordial buscado por el diseño arquitectónico y del cálculo de estabilidad. En este sentido, “... the objectives and constraints constitute the restrictions which bound problems and provide them with guide lines. The process whereby output is compared with standards or criteria is called feedback. This is designed to measure and correct output deviations from what was planned (...) it (...) integrate[s] the trial-and-error procedures of the heuristic method into the system approach to problem solving.” (Handler, 1970:26). En el tópico desarrollado en este trabajo, la retroalimentación se presenta a lo largo del proceso de ajuste y corrección continua y recíproca entre los eventos sísmicos, las ciencias que lo estudian (sismología y geología), la ingeniería estructural, la arquitectura, y las normas o instrumentos de regulación que intentan prevenir o minimizar la destrucción edilicia. Si teórica y conceptualmente existe un nexo entre la Teoría General de Sistemas y las construcciones, lo existe también físicamente. Los edificios y las obras arquitectónicas, son a fin de cuentas, la representación morfológica y material de tales procesos y relaciones: síntesis de la integración de variables múltiples, entre las que se cuentan las variables contenidas en el cálculo de estabilidad que considera la acción sísmica en la edificación y su estructura.

Por otro lado, Handler sostiene que la relación entre sistemas y arquitectura se establece fundamentalmente en dos dimensiones: en términos programáticos (como funciones y relaciones), y en términos morfológicos, donde el edificio constituye una unidad conformada por partes indisolubles. Y la relación entre la arquitectura y la idea de sistema se establece a través de “...functions⁹ of building or their

⁸ Se entiende por inputs como un factor de “entrada” o agregado dentro de un proceso. Output en tanto, como un resultado de dicho proceso.

⁹ Características de la función: 1. Función como proceso, es la función propia de un edificio como un proceso dinámico, opuesto a lo estático, donde se desarrollan un conjunto de actividades. En términos de estructura, este concepto puede ser extrapolado a la acción que representa el fenómeno sísmico que actúa como un factor externo que altera la inercia estática del edificio y lo someten a un estado –repentino y breve – que altera su estado. 2. Función como propósito, es decir, la función con un sentido y un fin hacia el cual fue diseñado un edificio determinado. El fin como proceso y no como el elemento que lo constituye. 3. Función como totalidad, en que sus partes conforman una entidad unitaria, con un modo de operar orientado hacia la finalidad para la cual fue diseñada. 4. Función como comportamiento. Comparecen así los atributos y propiedades (del edificio en el caso de la arquitectura) que hacen que una entidad determinada tenga un cierto grado de calidad en el comportamiento y funcionamiento para el cual fue creado. En el caso de los edificios sometidos a los efectos sísmicos, se extrapola a su comportamiento de

components are the way they act or operate (...) [and] to explain the functioning or operation of buildings and components we must understand their parts and how they are connected.” (Handler, 1970:14). Aún cuando el autor propone este vínculo en términos generales, es decir, considerando el objeto arquitectónico exento de condiciones o limitaciones particulares, como son los terremotos, parte de su planteamiento bien puede ser extrapolable a la relación que aquí interesa. En efecto, el método de diseño, solución morfológica y estructural y la constitución material y constructiva de un determinado objeto arquitectónico que considera las limitaciones y variables del movimiento sísmico, implica obligadamente un tipo de relación entre sus partes. Ello no quiere decir, sin embargo, que sea necesariamente una particularidad arquitectónica, sino que una condicionante insoslayable. Como ha demostrado la experiencia en la historia de la arquitectura y de las construcciones en países sísmicos, su omisión puede conducir a la destrucción. La forma de relación entre las partes que conforman y constituyen una determinada unidad edilicia requiere de un sistema de relaciones propias y que responden en parte a las solicitaciones sísmicas y la resistencia. La función y la operación, quedan este caso, condicionados por el evento sísmico, e inciden por tanto en la solución arquitectónica.

Probablemente, una de las contribuciones más importantes realizadas por los estudios de la ingeniería estructural y cálculo de estabilidad hacia mediados del siglo XX, fue la concepción de los terremotos como un fenómeno dinámico compuesto por las características del seísmo, las propiedades de los suelos de fundación y la configuración y constitución material y constructiva del edificio. De hecho, la principal consecuencia derivada de este cambio de paradigma, fue la sustitución del método de cálculo estático (de las construcciones) por el método de cálculo dinámico, cuyos alcances excedieron, el solo vínculo entre la obra edificada y el seísmo. Este cambio de paradigma, colocado en función de la Teoría General de Sistemas, conduce a la integración de un número mayor de variables y la interpretación del sismo ya no de modo lineal, sino que multidimensional, y por tanto, esencialmente complejo. Tanto es así, que el cálculo debe necesariamente establecer modelos de abstracción simplificados para poder obtener resultados plausibles y concretos.

La complejidad impuesta por los seísmos en el diseño edilicio se asemeja a una de las características propias de los sistemas, generalmente “composed of several functions (...) [In fact] when we think of a system, we

resistencia a la destrucción sísmica. 5. Función como conexión. Si la función es proceso o una serie de eventos, es también una unidad compleja. “A building is composed of building materials of various kind of so connected as to form building components, and they in turn are put together to form spaces, which in turn are related to form the entity we call a building. It is not only because these parts and components have certain attributes, but also because they are put together in a certain way that the building as a whole has certain qualities. Thus the relative position of walls, columns, and beams, together with the attributes they possess, determine the spatial quality of the building.” En: Handler, 1970:16.

think of the parts of the whole and the way in which they behave in relation to each other.” (Handler, 1970:19). En este sentido, tanto el cálculo de estabilidad sismorresistente como la Teoría de Sistemas comparten una aproximación focalizada hacia un objeto en su totalidad y no centrado en características particulares, del mismo modo que un sistema “is a way of looking at the whole and approaching problems which involves looking at the whole problem rather than concentrating on one or more parts...” (Handler, 1970:19). El problema en el caso que aquí interesa es, evidentemente, el fenómeno sísmico que afecta a las construcciones.

Si la complejidad de relaciones y funciones es un campo compartido entre los sistemas y el binomio sismo-edificios, el método proyectual empleado en la arquitectura y en el cálculo de estabilidad (examinado en el período que abarca esta investigación), supone también un orden y una vía de análisis sistemático que dista del proyecto intuitivo y accidental que caracterizó una buena parte de los procedimientos de construcción empleados en Chile hacia fines del siglo XIX y comienzos del XX. En cierto modo, la Ordenanza General y la normalización de las construcciones formaron parte de un proceso híbrido que conjugó la sistematización del método proyectual (arquitectónico y estructural), las técnicas de construcción; y la aproximación cuantitativa al fenómeno sísmico. Ambas dimensiones se reflejan en último término en la reacción y comportamiento del edificio en el momento de la oscilación sísmica

... it would try to achieve an organization of components into a building which would operate effectively for the uses and objectives for which it was designed. It is upon the processes for making decisions that the main effort of Operation Research has been concentrated. Applied to the design of buildings, this would mean the development of methods and techniques for the effective solution of architectural problems. (Handler, 1970:23).

Si bien Handler señala la cuestión de la eficiencia enfocada al interior del programa arquitectónico, y más ampliamente, en relación a la función, el problema del comportamiento sismorresistente bien puede situarse como parte fundamental del fin para cualquiera edificio. Es decir, un diseño arquitectónico y estructural que proporcione una solución óptimamente resistente. Método y técnica se constituyen así en piezas clave del proyecto arquitectónico, de la obra edificada y de su desempeño sismorresistente. En este esquema, la organización y el orden en la disposición de las partes son esenciales al momento de evaluar la funcionalidad programática, y que en el

diseño sísmico es determinante. En efecto, tanto el orden como la distribución de los elementos estructurales, no estructurales y la materialidad, son claves decisivas e incidentes en el comportamiento de la construcción durante un evento sísmico.

Para definir y establecer un orden arquitectónico y estructural, es imprescindible diferenciar previamente cada una de las partes estructurales y no estructurales de la unidad edilicia. Porque si desempeñan funciones y tienen repercusiones distintas sobre la construcción que conforman, actúan de modo integrado e inescindible de dicha unidad (Guevara, 2010). Así, los elementos secundarios deben también ser considerados como partes de la complejidad del sistema, y tener en cuenta que “el comportamiento sismorresistente del edificio, sus componentes y su contenido [actúan] como un todo y no como una sumatoria de elementos físicos independientes, [del mismo modo que] (...) la influencia que ejerce la configuración arquitectónica en dicho comportamiento.” (Guevara, 2009:129).

Si bien uno de los principios que fundamentan la Teoría General de Sistemas concibe la unidad en términos de relaciones indivisibles e indisolubles, este trabajo propone un análisis particular de ciertas parcelas delimitables presentes en la unidad edilicia. Ello no supone, sin embargo, concebirlas como entidades autónomas e independientes. Se trata en todo caso, de un procedimiento metodológico que contribuye a identificar algunas de las lógicas presentes en los edificios y que, durante un evento sísmico determinado, actúan de modo independiente y al mismo tiempo, indisolublemente ligadas a las otras partes y al conjunto. A modo de ejercicio, serán denominados como subsistemas, en el entendido que forman parte de un sistema mayor adscrito a la unidad edilicia. Tales parcelas son el subsistema estructural, no estructural, constructivo y material. Esta aproximación, lejos de ser reduccionista, es más bien un método de abstracción, cuya simplificación no supone el desconocimiento de otros potenciales subsistemas que pudieran estar presentes en los edificios, sino que por el contrario, han sido considerados en el mérito del problema sísmico como médula de la investigación y orientada a la dimensión morfológica de los edificios.

Programáticamente, la aproximación al edificio como sistema supone no sólo la identificación clara de sus partes y sus funciones, sino que sobre todo la comprensión sus relaciones. Confluyen así las dos dimensiones que interesan en este trabajo. Por un lado, la relación entre las partes constitutivas del cuerpo construido (objeto) y entre las funciones desarrolladas al interior (programa), ambas dispuestas en relación con la alteración de un estado de equilibrio y la propagación de fuerzas multidireccionales absorbidas por la unidad edificada. El análisis arquitectónico a la luz del fenómeno sísmico debe incorporar variables

materiales (elementos estructurales, no estructurales y materiales), pues todos ellos en conjunto conforman la unidad edificada en su condición sismorresistente, en tanto sistema.

La relación entre los sismos y la arquitectura se circunscribe, en parte, a un problema de tipo morfológico, y más específicamente, a la configuración. Al respecto, Guevara propone que “[e]l grado de irregularidad en la configuración del edificio es uno de los factores importantes que se incluyen hoy día en la mayoría de las normas sísmicas...” (Guevara, 2009:127). La irregularidad, sostiene, es un factor que incide negativamente en el comportamiento sismorresistente de los edificios, para lo cual es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos del problema: el sistema estructural; la materialidad de los elementos estructurales empleados; las propiedades de dichos materiales (elasticidad, inelasticidad, ductilidad, tenacidad y resiliencia); y el grado de irregularidad de la configuración del edificio (Guevara, 2009:128-9).

En síntesis, el presente capítulo plantea que la relación entre terremotos y arquitectura, desde un punto de vista morfológico, supone la idea del edificio como sistema -conformado por un conjunto de subsistemas- que integra la unidad arquitectónica y que, a diferencia de las construcciones emplazadas en zonas asísmicas, adquieren un comportamiento sistémico cuando se ven sometidos a las vibraciones que produce un terremoto. Lo que aquí se ha denominado como subsistemas son cada una de las partes constitutivas de la unidad edificada, relacionadas entre sí de modo indivisible y articuladamente. Para efectos de simplificación del análisis, sin embargo, este trabajo abordará el sistema arquitectónico a partir del cual se identifican el sistema estructural, constructivo y material.

Sistema arquitectónico. Configuración y programa: Una parte importante que debe ser considerada para comprender el sistema arquitectónico tiene que ver con el concepto de configuración, (Guevara, 2009). En cierto modo, la configuración aporta el cuerpo físico contenedor del programa y sus variantes son múltiples. Sin embargo, no todos los tipos de configuración son eficientes cuando son sometidas a esfuerzos de resistencia sísmica. Esto es importante, porque representa otra de las limitaciones morfológicas que supone el diseño sismorresistente colocado al mismo tiempo en perspectiva de la aproximación sistémica. Otra parte importante que constituye el sistema arquitectónico es el programa, el cual se vincula con las funciones para el cual un edificio determinado ha sido proyectado y construido. Aunque las funciones pueden exceder los límites físicos de la unidad edilicia (por ejemplo, aquellas relacionadas al emplazamiento, al espacio público, u otros), este caso en particular considerará sólo las funciones desarrolladas al interior del cuerpo edificado,

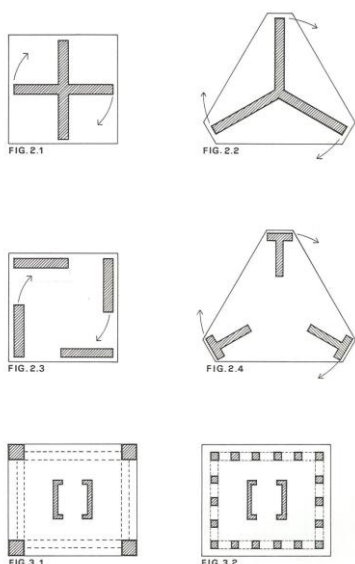


Fig. 1.2 Esquemas de plantas estructurales.

Arriba: Esquema de plantas simétricas con poca o nula rigidez torsional.

Centro: Esquema de plantas simétricas con mediana rigidez torsional.

Abajo (izq.). Planta simétrica “rápidamente degradable.”

Abajo (der.). Planta simétrica “lentamente degradable.”

Fuente: Revista C.A. N°45, diciembre 1985, p. 31.

teniendo en cuenta que lo que interesa relevar son las relaciones internas de los elementos y componentes de la unidad entre sí. En cierto modo, se trata de un ejercicio de abstracción del objeto arquitectónico, colocado bajo ciertas condiciones y limitaciones bajo un escenario sísmico.

La configuración, entendida como “as a building size and shape (...), the nature, size and location of the structural elements and the nature, size and location of nonstructural elements that may affect structural performance.” (Arnold, Ch., Reitherman, R., 1982:4). La configuración morfológica puede estar también tensionada según las condiciones particulares del emplazamiento. Es decir, un factor externo a la pieza edilicia, como por ejemplo, el clima, el tipo y calidad de suelo, la topografía, entre otros, pueden ser también factores decisivos en la definición formal de un partido general. En lo que respecta a este trabajo, dicho factor externo son los terremotos.

Los elementos arquitectónicos que conforman el edificio (muros, pilares, cerramientos, cubiertas, etc.), adquieren un sentido formal y plástico cuando son empleados como piezas con los cuales opera la arquitectura. Asimismo, las posibilidades de conjugación de estos elementos esenciales son múltiples, por lo que una cierta disposición determinada, puede adquirir expresión morfológica mediante un proceso de “...selección de la forma geométrica en planta y en alzado [y que] tiene[n] una repercusión significativa en las decisiones en cuanto a la distribución, configuración y materiales de los componentes estructurales y no estructurales, y por lo tanto, en cuanto a su comportamiento sismorresistente.” (Guevara, 2009:144). El problema que subyace en este caso, excede las consideraciones conceptuales y estéticas de una obra arquitectónica, porque una deficiente distribución de los elementos arquitectónicos, un tipo de configuración que propende a esfuerzos críticos de la estructura (por ejemplo, la rotación en planta), puede en ciertos casos conducir al colapso del edificio (**fig. 1.2**).

Pero si la preocupación principal que atiende el cálculo estructural se concentra en la estabilidad del edificio, los problemas arquitectónicos abarcan un abanico más amplio, que radica en parte en “the relationship between idea and substance, design and building –where matter, being intrinsic to construction and thus to the art of architecture, clearly exceeds a status of mere <support.>.” (Pérez de Arce, 2010:52). Una parte de lo cual refiere a la dimensión programática del objeto arquitectónico y otra a la expresión plástica y formal. Tanto la *idea* como la *substancia* suponen una síntesis plasmada en una determinada obra arquitectónica, y que en el caso chileno, condicionado eminentemente por la acción sísmica, se traduce en operaciones proyectuales que buscan una expresión de levedad por medio de recursos con carácter de artificio. (Pérez de Arce, 2010:47). Esto, en el entendido que la expresión formal y plástica se ve continuamente limitada

por la necesidad de emplear elementos murarios (que obstruyen la levedad de la planta del primer nivel, por ejemplo), riostras o elementos sobredimensionados.

El concepto de artificio, en el caso de la arquitectura en Chile, implica también el empleo de materiales y técnicas asociadas a la construcción y que en el proceso del desarrollo de la arquitectura sismorresistente durante el segundo tercio del siglo XX fueron aportes sustanciales. Particularmente, con la incorporación masiva del hormigón armado en Chile (impulsada a comienzos del siglo XX), tecnologías asociadas al vidrio, y en menor medida, la industria del acero¹⁰.

Sistema estructural. Esqueleto y resistencia: La vibración que transmiten las ondas sísmicas pueden ser clasificadas en tres fases de propagación¹¹. La primera, correspondiente al momento en que las fundaciones absorben la energía; la segunda, durante la cual las ondas son transmitidas desde los cimientos al resto del edificio en todas sus partes; y la tercera, corresponde a la vibración y oscilación propia del edificio, determinadas en función de distintas variables (examinadas en el capítulo anterior). Esta última fase, se puede caracterizar como una suerte de rebote de las fuerzas y tensiones generadas por las ondas sísmicas iniciadas en el plano de cimientos, seguidas en la parte superior del edificio, y luego, transmitidas nuevamente al resto de la construcción hacia el nivel inferior. No se trata de movimientos lineales, pero esta visualización sirve para ilustrar en cierto modo, que la planta del primer piso es la que se ve expuesta a mayores esfuerzos tensionales. Y es por tanto, el plano más relevante del cual depende, en parte, la estabilidad y resistencia de la construcción.

La planta del primer nivel (planta baja) juega un rol clave en el comportamiento y desempeño en edificios expuestos a solicitaciones sísmicas. La tendencia adoptada por los ingenieros en Chile -con mayor énfasis a partir del terremoto de Chillán- estuvo centrada en la adopción de un criterio de diseño sismorresistente fundado en la estructuración rígida. Las múltiples variantes derivadas de dicho criterio, permiten también sistemas combinados que permiten cierta flexibilidad, pero limitados siempre a la obtención de un diseño resistente. Así, dicha planta recibe las ondas sísmicas desde el suelo y fundación y, posteriormente, los esfuerzos tensionales de la propia estructura que soporta ya desde el estado en

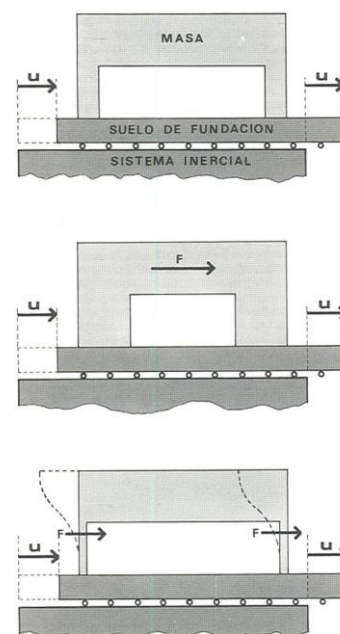


Fig. 1.3 Esquemas de sistemas estructurales rígidos y no rígidos. En: Revista Ciudad y Arquitectura N°42, diciembre de 1985.

¹⁰ Expandir este punto y referir fechas y períodos aproximados.

¹¹ Aunque puede resultar forzosa la división de la transmisión de la ondas, que de hecho son un continuo temporal, se intenta graficar con ello que el modo en que los elementos arquitectónicos y estructurales de un edificio se ven afectados tiene diversos lapsos de tiempo. Es importante destacar este hecho, porque como se observó en el capítulo III, la conjunción del período de las ondas sísmicas y del período de vibración de una estructura determinada, puede derivar en el fenómeno de resonancia, lo que implica muy probablemente el colapso del edificio.

equilibrio estático (previo al evento sísmico). En cierto modo, se trata de un plano que actúa como pivote y del cual depende una buena parte (junto con el plano de fundaciones) de la estabilidad de parte o total de la unidad edilicia. (**fig. 1.3**).

Los tipos estructurales proporcionan referencias simplificadas que pueden servir y contribuir al diseño arquitectónico. Además, sintetizan algunos principios orientados a asegurar rangos estimados de rigidez y resistencia, relacionados con el tipo de configuración, geometría y orden de la unidad. Son además, objeto de recomendación a tener en cuenta durante el desarrollo del proyecto arquitectónico, que sin embargo, no siempre son incorporados. Estos se refieren a propender hacia un diseño *simple*; simétrico; evitar desarrollos excesivos en uno de los lados (en configuraciones ortogonales); tender hacia una distribución estructural uniforme y continua; contar con elementos horizontales rotulados antes que los verticales; y asegurar una debida rigidez en función del tipo de suelo de fundación. El hecho que uno o más de estos principios estructurales no esté considerado en un diseño arquitectónico específico, no implica necesariamente, sin embargo, su colapso. De hecho, este campo compartido por arquitectura y la ingeniería estructural, proporciona paradójicamente algunas de las libertades y desafíos disciplinares que supone la búsqueda de formas de expresión morfológica a la vez que sísmicamente resistentes. La pregunta que cabe formular aquí no es si una determinada configuración debe o no ser ejecutada, sino que a partir de una idea y diseño arquitectónico, lograr una síntesis entre forma y diseño sismorresistente.

Al respecto, Torroja señala que “[e]l cálculo no es más que una herramienta para prever si las formas y dimensiones de una construcción, simplemente imaginada o ya realizada, son aptas para soportar las cargas a que ha de estar sometida.” (Torroja, 2000:1). Cargas que en casos emplazados en zonas sísmicas, adquiere mayor complejidad, pero no por ello, un impedimento. La naturaleza y sentido de esta técnica no varía, sino que al contrario, resulta un medio efectivo de suponer y determinar el comportamiento probable de una determinada construcción frente a un escenario dinámico y abruptamente cambiante. O dicho de otro modo, “para acertar en la concepción y traza de las estructuras, y aun de las construcciones en general, es necesario meditar y conocer bien las causas profundas, la razón de ser, de su mayor o menor aptitud de todo lo accesorio y, en especial, de todo lo que representa un proceso o un valor numérico.” (Torroja, 2000:2).

En un campo más concreto, los materiales son también un factor que puede llegar a ser determinante en un buen desempeño estructural. Si bien este tema específico será tratado en el siguiente apartado, resulta necesario mencionarlo para tener en cuenta que cada uno de los elementos

estructurales (y los no estructurales) tienen ciertas propiedades que les permiten oponer mayor o menor resistencia a las deformaciones excesivas o roturas por sismos. Estas propiedades provienen del tipo material, pero también de la calidad de su fabricación y construcción. En este contexto, la resistencia sísmica se entiende como la “...capacidad física de deformación dominante antes fuerzas externas, [en que] cada cuerpo presenta cierto nivel de resistencia a deformarse (...) inherente al tipo de fuerza que se está aplicando (...), [que] depende no sólo de la magnitud, la dirección y el sentido de la fuerza aplicada, sino de su configuración y de las características físicas de los materiales que lo componen; [y que] tiene que ver con la propiedades físicas...” (Guevara, 2009:97). Implícitamente, de lo que se trata en último término, es de la concepción de la unidad edilicia que debe ser concebida como un todo y que cada una de sus partes contribuye – positiva o negativa- a resistir del modo más eficiente, un terremoto. Idea vinculada a la constitución arquitectónica de la unidad edilicia asociada a la idea de los sistemas anteriormente tratada.

Como señala Torroja, la “resistencia [de las construcciones] es una condición fundamental; pero, no es la finalidad única, ni siquiera la finalidad primaria.” (Torroja, 2000:2), las que limita a tres que en su conjunto, la conforman¹². Afirmación que cabe por de pronto para edificios emplazados en zonas asísmicas. Cabe preguntarse entonces, ¿qué sucede cuando el factor de los sismos, como en el caso de Chile, se presenta como un problema recurrente y de primer orden? Formular esta pregunta no tiene por objeto colocar la realidad sísmica y las construcciones en el país como un foco exclusivo de preocupación y de atención en el proceso proyectual de la obra arquitectónica, pero sí tener en consideración de que se trata de un tema de primer orden, que no debiera quedar relegado a un segundo plano:

Su condición resistente se convertía en finalidad única y no podían construir una nueva relación entre interior y exterior o una nueva forma de concebir la flexibilidad del espacio interior y su uso. Se oponían con fuerza inmanente a las propuestas *corbusianas* de la planta libre. (Torrent, 2013:18). Las consecuencias de minimizar o desplazar su relevancia han sido en algunos casos, devastadoras, como se examinó a la luz del terremoto de 1939.

Sistema constructivo y material: A primera vista, la dimensión constructiva de un edificio estaría conformada por dos componentes: el material y el sistema que lo sustenta. Esto, de modo unívoco. Sin embargo, y como se ha visto anteriormente, el material no basta por sí solo para oponer

¹² Finalidades funcionales primarias: 1. Aislar un determinado volumen de las condiciones ambientales (exterior); edificios. 2. Sostener cargas fijas o móviles (relacionada con la infraestructura). 3. Sostener empujes horizontales o establecer un paramento, que soporte los empujes de tierra, aguas u otros materiales líquidos, áridos y materias análogas (obras civiles, como represas). (Torroja, 2000:2).

resistencia a los terremotos. A excepción del hormigón armado, el acero y la madera– bajo el supuesto que cuenten con un diseño adecuado– el ladrillo y el adobe por sí solos, no cumplen con las condiciones necesarias cuando se ven sometidos a esfuerzos importantes, en particular a la tracción (**figs. 1.5-1.8**).

Aún más, incluso en el caso de albañilerías armadas, no habiendo tomado resguardos debidos, como rigurosidad en la faena de ejecución de la obra, homogeneidad material y de las mezclas y el debido diseño, estructuras que suponen un comportamiento eficiente, incluidas las de hormigón armado, pueden sufrir daños importantes.

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales han sido importantes en el proceso de normalización de las construcciones, porque parte de su calidad y estabilidad inciden en el desempeño estructural y constructivo de la unidad edilicia. La resistencia esencial de los edificios tiene una relación directa con los tipos de materiales empleados, cada uno de los cuales tiene sus propias cualidades mecánicas (elásticas y plásticas), grados de resistencia y grados de estabilidad (Torroja, 2010). Tales propiedades redundan finalmente, en las capacidades inherentes de comportamiento en escenarios sísmicos. Así, se puede afirmar que el ladrillo y el adobe tienen un desempeño muy deficiente cuando son sometidos a cargas de tracción, pues las lógicas materiales y constructivas que los gobiernan responden a la resistencia por compresión. Es decir, son materiales idóneos en escenarios donde prevalecen las cargas estáticas, no dinámicas.

Si bien los planteamientos de Torroja apuntan primordialmente a la durabilidad de las obras de arquitectura en general, excluyendo particularidades como aquellas que están regidas por eventos naturales, resulta imposible soslayar este problema cuando se aborda el problema sísmico en relación a la edilicia. En efecto, lo que está en juego aquí, no sólo tiene relación con la destrucción como sinónimo de riesgo y muerte de la población, sino que también con el riesgo de pérdida de bienes, y que en algunos casos, pueden tener atributos de carácter patrimonial. Por tanto, la durabilidad de las obras expuestas a la acción de los terremotos debe ser también una de las aristas de interés para esta investigación, y que atraviesa la dimensión constructiva y material del edificio.



Fig. 1.5 Edificio de albañilería simple con grietas diagonales en una dirección.



Fig. 1.6 Edificio de albañilería simple con grietas diagonales en cruz.



Fig. 1.7 Construcción en adobe con grietas en vanos rellenos.



Fig. 1.8 Construcción en adobe colapsada desde las bases de los muros.

El desempeño sismorresistente de un edificio, aun cuando tiene por objeto, en lo principal, minimizar los daños y evitar el colapso, representa implícitamente una necesidad de asegurar la durabilidad de la obra en cuestión. Punto que lleva a su vez a las implicancias de la durabilidad y conservación de la forma y programa. Para Torroja, este aspecto lo denomina como *función estática*, por la que entiende como una cuestión “... siempre esencial; porque si una cosa, para cumplir su finalidad, no necesita ser resistente y estable, no se la llama construcción...” (Torroja, 2010:16). En términos de resistencia sísmica, la función estática estaría asociada a la finalidad de oponer debida resistencia a los vaivenes, quedar en pie, y asegurar un rango mínimo de daños. Lo que redundaría, a su vez, en la durabilidad de las funciones desarrolladas al interior del edificio en cuestión. Es importante tener a la vista los diversos alcances que puede implicar tanto el diseño sismorresistente eficiente, como aquél que en ciertos casos ha fallado. Ambos casos, a fin de cuentas, contribuyen al avance y mejoramiento de los conocimientos y técnicas que concurren en esta materia:

La función estática [en cuanto función que resista en el tiempo] es siempre esencial. (...) [donde] la construcción ha de mantener sus características esenciales un cierto mínimo de tiempo. Estas características no son sólo las

geométricas o de forma. Se requiere que los materiales, de que está hecha la construcción se mantengan frente a todo género de agentes exteriores; es decir, que no sean heladizos los que han de sufrir este agente... (Torroja, 2000:16). Ello pone de relieve el rol que cumple en este campo material de la arquitectura la configuración, que examinada en función de la acción sísmica –en tanto agente externo destructor- adquiere una relevancia mayor que incide de modo directo en la unidad edilicia y en su sistema de relaciones, como se ha intentado exponer en el presente capítulo.

Por otro lado, la variable económica es –se sabe- fundamental en todo proceso de proyectación y ejecución de una obra o construcción cualquiera, y termina siendo, las más de las veces, una limitante que restringe parte de las libertades de diseño, ya sea arquitectónico o estructural. Pero desde el punto de vista que interesa en este trabajo, esta variable tiene una segunda significación y consecuencia. Uno de los principales efectos que se puede observar en el desarrollo progresivo impulsado en el cálculo de estabilidad, es la reducción paulatina de las secciones de los elementos arquitectónicos y estructurales empleados, ya desde comienzos de siglo –en el caso de las construcciones en hormigón armado- en adelante. Métodos que han logrado una economía material y, en consecuencia, la disminución de los costos de construcción. Pero también es importante relacionar un segundo aspecto, de índole estético, formal y plástico. La búsqueda de economía material no sólo tiene alcances en temas presupuestarios. La ingeniería estructural busca la reducción de secciones de los elementos soportantes (como de las cargas muertas), pues ello permite aligerar el peso global de la estructura. Noción que fue incorporada paulatinamente, y en la medida que los recursos y avances científicos y tecnológicos¹³ así lo permitieran. Por último, desde un punto de vista arquitectónico, estas ventajas, representaron una vía para poder superar –también de forma paulatina- la conformación de unidades y conjuntos arquitectónicos pesados, configurados principalmente mediante sistemas murarios y en albañilería, lo que a la postre dio paso a estructuras visualmente algo más livianas, sin bien mediante el empleo de elementos híbridos –como los llamados coloquialmente machones- alejados de los cuerpos regulares y ortogonales predominantes en la arquitectura urbana decimonónica de las principales ciudades del país.

La unidad arquitectónica como sistema: Este capítulo ha intentado establecer algunos puntos vinculantes entre la relación terremotos-arquitectura y la idea del edificio como sistema, considerando en lo fundamental parte de los planteamientos formulados por Benjamin Handler

¹³ Un ejemplo de lo anterior es el mejoramiento introducido a las armaduras del hormigón armado que sustituyó armaduras de hierro liso por hierro estriado¹³; o la disminución de las secciones de las vigas de hormigón en construcciones de albañilerías reforzadas; o el aumento en la calidad de los aceros; entre otras.

y Teresa Guevara. Ésta última, subraya que en medios sísmicos en particular, la unidad arquitectónica establece una red de relaciones entre los diferentes elementos que conforman la unidad edilicia, independientemente de su condición (estructural o no estructural). Y que dichas relaciones pueden ser, a su vez, directas o indirectas.

Desde un punto de vista arquitectónico, morfológico, estructural, constructivo y material, la concepción del edificio como sistema, enfocada en las relaciones entre las partes y el total, permite identificar no sólo las diversas componentes, sino que también ciertos conceptos empleados en áreas científicas (como la sismología, la ingeniería y cálculo estructural) que pudieron permear las lógicas y formas proyectuales de la obra arquitectónica. Cabe preguntarse entonces, ¿qué aspectos o factores relevantes contenidos por ejemplo, en la teoría del cálculo dinámico, fueron incorporados y materializados en las obras del período? Y en esta misma línea, es pertinente también cuestionarse si hubo efectivamente un correlato directo entre los cambios científicos, el método de cálculo de estabilidad, las disposiciones normativas de la Ordenanza y la forma arquitectónica. Esta última, entendida como síntesis formal y material de los conceptos y abstracciones propios de la ciencia.

Analizar una obra arquitectónica tomando en consideración su comportamiento durante un evento sísmico, implica dos cuestiones. Por un lado, la concepción del edificio (proyecto arquitectónico y estructural) como unidad regida por un conjunto de relaciones que suponen un modo de acción (resistencia sísmica), es decir, como edificio-sistema; y por otro, la necesidad de integrar cada uno de los sus componentes, lo que implica una mirada inclusiva y vinculante entre cada una de las partes. Interpretativamente, lo anterior supone también la lectura e interpretación de los conceptos asociados a la obra arquitectónica, no sólo desde una dimensión teórica específica de la disciplina, sino que de modo integrado a los conceptos desarrollados en el ámbito de la ingeniería y cálculo de estabilidad.

Finalmente, se debe subrayar que si bien toda obra, en mayor o menor grado, es en sí misma un artefacto complejo, en el cual se pueden identificar diversas redes de relaciones, para efectos del tópico desarrollado en esta investigación, se ha optado por destacar únicamente los que inciden de modo directo en la forma construida de la obra, a saber, el sistema arquitectónico, estructural, constructivo y material. Decisión que implica relegar a un segundo orden otros sistemas –sin perjuicio de la importancia que puedan representar por otro tipo de enfoques- como por ejemplo, los sistemas de redes de servicios y climatización, por mencionar un caso.

Capítulo 2: Teoría de los Espectros.

Utopía de la forma resistente. Variaciones entre máxima magnitud sísmica, mínima sección estructural y los contornos de la unidad arquitectónica:

Sismología, tectónica y lógicas mecánicas: De fluidos a sólidos:

Las investigaciones científicas sobre el fenómeno sísmico y sus efectos en las construcciones, estuvo principalmente concentrado en Estados Unidos y Japón. No sólo por el volumen de trabajos impulsados al alero de diversas instituciones, sino porque lideraron el intercambio y debates teóricos en la materia. Sin embargo, hubo también investigaciones en otros países, como Chile, México, la ex Unión Soviética, Italia o Irán, por mencionar algunos.

Si la Escuela Japonesa contribuyó en la primera etapa marcada por el terremoto de Kanto de 1923 con la medición de los sismos, la interpretación del fenómeno como carga horizontal aplicada a una construcción, y el coeficiente sísmico como factor cuantitativo -fundamental para los métodos de cálculo estructural- la vertiente investigativa desarrollada en Estados Unidos lo hizo en diversas áreas: En la formulación de la Teoría de la Elasticidad Retráctil (The Elastic Rebound Theory, 1906); la medición sísmica mediante acelerógrafos (Strong Motion Accelerograph, John Freeman, 1932); los modelos de simulación sísmica orientados a la predicción de respuesta de las construcciones (John Blume, Use of Computations, Field Measurement, and Model Testing to Predict Response, 1934); la escala de medición cuantitativa propuesta por Charles Richter (1935); y el cálculo de Espectro de Respuesta Sísmica (Calculation of the Earthquake Response Spectrum, 1941) (CUREE, 1998).

En Estados Unidos, las exploraciones que indagaron los efectos de los seísmos en las construcciones, fueron desarrolladas en diversos campos de especialización científica. Uno de éstos provino de la ingeniería mecánica, no obstante la acumulación de conocimiento generado por la geología y sismología. La contribución que proporcionó la ingeniería mecánica fue fundamental, pues permitió interpretar el fenómeno sísmico como vibraciones en propagación; asimilar conceptos como la amortización y disipación de energía; o establecer efectos como movimiento armónico y resonancia. Otras ramas de la ingeniería que intentaron aproximaciones análogas al fenómeno sísmico fueron, por ejemplo, a través de la ingeniería eléctrica, nuclear, la termodinámica y la física del sonido.

En Estados Unidos, los estudios científicos desarrollados en esta línea estuvieron aglutinados en diversos centros de investigación científica e instituciones gubernamentales.¹ El profuso volumen de información que se dispone obliga, sin embargo, a relevar solo aquellas contribuciones fundamentales que nutrieron el intercambio internacional en materia de sismología y resistencia edificatoria. El presente apartado revisa y analiza los temas centrales debatidos en torno a los sismos, las construcciones y los métodos de cálculo estructural que marcaron el período.

La multiplicidad de aproximaciones sobre el fenómeno sísmico y sus efectos en las construcciones, expone la complejidad intrínseca del problema y la dificultad a la que se han visto enfrentadas las ciencias que lo estudian. Esa misma complejidad explica, por ejemplo, que aún en el presente no se cuente con una teoría general que recoja la globalidad del problema. Sin embargo, la formulación de teorías confinadas a temas acotados, han contribuido a delimitar parcelas específicas del conocimiento. En este sentido, se debe destacar la Teoría de los Espectros² (desarrollada durante el segundo tercio del siglo XX), pues posibilitó, entre otras cosas, la determinación aproximada de límites de cálculo y diseño sismorresistentes que posteriormente se tradujeron en rangos de márgenes de seguridad.

Entre los primeros trabajos que contribuyeron en esta materia destaca la investigación desarrollada por el ingeniero aeronáutico de origen belga, Maurice Biot (1905-1985), miembro asociado del Comité de Investigación de Defensa Nacional de Estados Unidos y del Instituto Tecnológico de California (Caltech) entre 1940 y 1943³.

Biot formuló sus postulados en dos publicaciones fundamentales. Un primer texto titulado *Theory of Elastic Systems Vibrating under Transient Impulse, with an Application to Earthquake-Proof Buildings*, publicado en 1933; y un segundo documento nominado *Theory of Vibration of Buildings during Earthquakes* (1932-34).⁴ Ambos textos sirvieron de base para estudios contemporáneos y posteriores relacionados a la comprensión del fenómeno, por un lado; y a los métodos de medición y cálculo sismorresistente, por otro. Este hecho, sumado a la mayor cobertura de “los estudios de dinámica estructural de Biot, Martel, Jacobsen, Hudson,

¹ Stanford University, University of California, Berkeley; California Institute of Technology; Carnegie Institution of Washington, Armour Institute of Technology; American Society Civil Engineers; Seismological Society of America; entre otros.

² Es necesario aclarar que las indagaciones en las diversas ramas científicas, lejos de haber sido desarrolladas en forma aislada, se caracterizó por un fluido intercambio profesional, aun en el medio internacional, y a pesar de las tensiones políticas gravitantes entre Estados Unidos y Japón, especialmente durante la década de 1940.

³ <http://www.galcit.caltech.edu/about/history>

⁴ El trabajo fue publicado en 1934, pero en la misma publicación, concluye con una nota con filiación al California Institute of Technology y fechada en 1932. M. A. Biot, *Theory of Elastic Systems Vibrating under Transient Impulse, with an Application to Earthquake-Proof Buildings*, Proceedings of National Academy of Science, 19:262-268, 1933; M. A. Biot, *Theory of Vibration of Buildings during Earthquakes*, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik Ingenieurwissenschaftliche forschungsarbeiten, Herausgegeben von Professor Dr. E. Trefftz, Dresden, Sonderabdruck, Bd. 14, H.4, pp.213-233, August, 1934.

Housner, Newmark⁵ y otros; [junto con] los primeros registros de movimientos fuertes del terreno y su análisis matemático; el concepto de respuestas espectrales; la influencia de los amortiguamientos viscosos y de los ciclos histeréticos, pusieron el problema de la ingeniería sismo-resistente sobre una base mucho más científica.” (Flores, 1993:166). Fue por tanto un período, comprendido entre las décadas de 1930 y 1970⁶, caracterizado por el progresivo afianzamiento de exploraciones fundadas en principios y métodos científicos.

Seísmos, aeronáutica y física mecánica: Aproximaciones a la Teoría de los Espectros: ¿Qué tienen en común las disciplinas que estudian las aeronaves (sistema-artefacto que se desplaza en un medio atmosférico); los vehículos terrestres (sistema mecánico de desplazamiento sobre una superficie); la ingeniería acústica y eléctrica, con el fenómeno sísmico? A simple vista, la respuesta intuitiva es nada. Sin embargo, los resultados obtenidos en parte importante de estas ramas científicas tuvieron significativas repercusiones y alcances tanto sobre la interpretación del fenómeno, como sobre sus efectos en las construcciones. Entre otras contribuciones, el conjunto de investigaciones desarrolladas en estas áreas,⁷ condujo a la formulación de la Teoría de los Espectros de Respuesta sísmica en edificios, pero que a diferencia de otros casos, fue desarrollada principalmente a partir de exploraciones y análisis de ensayos simulados en laboratorios; específicamente, en institutos y universidades concentradas en California, Estados Unidos. Buena parte de estas investigaciones y propuestas teóricas, fueron canalizadas y difundidas a través del boletín de la Seismological Society of America; salvo, los trabajos teóricos desarrollados por Maurice Biot, presentados primero como ponencia ante la National Academy Science, en 1933; y en la revista de matemática aplicada y mecánica, editada en Alemania (1934), (**fig. 2.4**)

Si durante el segundo tercio del siglo XX, el desarrollo de la ingeniería sísmica y otras ramas afines, estuvo marcado por la consolidación de teorías, métodos y procedimientos científicos, en adelante el salto cualitativo estuvo marcado por la incorporación de las tecnologías computacionales, que permitieron elaborar cálculos hasta entonces limitados por recursos

⁵ El ingeniero civil Natham Newmark aportó asesoría en el diseño estructural de la Torre Latinoamericana, Ciudad de México, 1956. Fuente: <http://engineering.illinois.edu/>

⁶ A partir de 1970, junto con la tecnología computacional y la asistencia de programas de cálculo, se inició una nueva fase en la historia del diseño sismorresistente.

⁷ La interpretación de los seísmos como vibraciones se relaciona también directamente con la física acústica. Esto, que en la actualidad puede parecer una obviedad, supuso una instancia de exploración científica (desarrollada intensivamente en países como Estados Unidos y Japón) que permitió notables avances. Ambas áreas científicas, comparten así conceptos que resultaron fundamentales para la elaboración de métodos de cálculos de estabilidad y ensayos de resistencia sísmica. De hecho, comparten modelos de abstracción y lenguaje que sirvieron para la medición física y cuantitativa del fenómeno. Así, conceptos como frecuencia, amplitud y amplificación (de onda), movimiento armónico (simple), superposición armónica, reverberancia, entre otros, forman parte de un repertorio teórico común a ambas.

análogos. Este fue sin duda, uno de los hechos relevantes que singularizó el progreso científico y que prevaleció con mayor énfasis y difusión a partir de la década de 1970.

Gran parte de los estudios, ensayos y conclusiones obtenidos por el equipo de investigadores, como por sus predecesores, fueron fruto de análisis llevados a cabo en laboratorios, mediante modelos de simulación,⁸ si bien medidos y cotejados a la luz de algunos eventos sísmicos ocurridos durante el período en la zona del Estado de California.

Se trata por tanto, de un proceso distinto al recorrido por Chile que, debido a limitaciones económicas (en comparación con otros países industrializados), el testeo y los ajustes de los contenidos normativos fue realizado en base a la observación empírica. El caso de Japón, en cambio, se dio una situación mixta que conjugó la recurrencia sísmica con estudios en terreno y en laboratorios. De todos modos, es importante precisar que las características tectónicas en estos tres casos son distintas. La costa oeste de Estados Unidos (y parte de Canadá) corresponde a bordes de falla transformante; mientras que la costa que recorre linealmente (de sur a norte) Chile continental es de tipo convergente por subducción (Cereceda, et.al., 2011). En el archipiélago que conforma el territorio de Japón en cambio, las zonas sísmicas son focales.

Dentro del universo de trabajos publicados entre la década de 1930 y 1970, hay una línea de investigación de interés para esta tesis, referida a la Teoría de los Espectros. Housner, Alford y Martel, definen de forma simple el concepto de espectro, como “[an] expression involving the characteristics of the earthquake (...) as the <spectrum> of the earthquake and it is shown that the spectrum is simply a plot of the response of a simple oscillator versus the period of the oscillator.” (Housner, Alford, Martel, 1951:iv). De manera que un espectro es un medio de interpretación (matemático) y expresión (gráfica) que sintetiza un conjunto de factores que caracterizan un determinado objeto; en este caso, los seísmos en tanto vibración en propagación a través de un terreno.

Estudiar desde un punto de vista histórico, la trayectoria que condujo a la formulación de esta teoría, en un medio científico de interacción y complejización conceptual más amplio, es importante pues posibilita comprender ciertas claves relevantes en el proceso de ajuste y calibración de

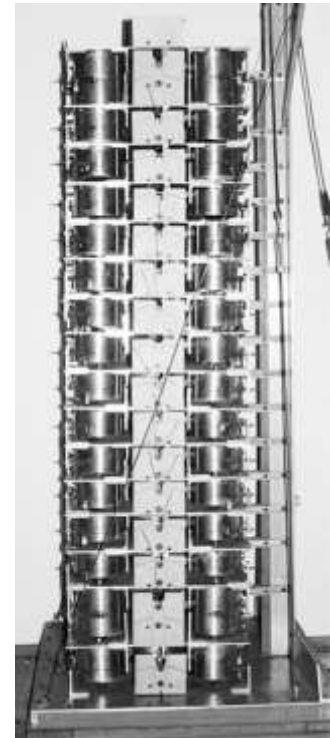


Fig. 2.1 Modelo dinámico del Alexander Building (15 pisos). Diseñado por John Blume y Harry Hesselmeier. Fuente: Helmut Krawinkler. En: 1997 CUREE.

⁸ Parte de las investigaciones desarrolladas sobre todo en el campo de la sismología tuvieron conexión estrecha con estudios en torno a la energía nuclear, en un período marcado por la segunda guerra mundial que, paradójicamente, terminó por enfrentar a los dos países pioneros en materia de sismorresistencia edilicia, como son Estados Unidos y Japón. Tema de interés que, sin embargo, este trabajo no abordará sino desde una aproximación a las aproximaciones teórico-empíricas desarrolladas durante el período. G. G. Housner presentó en la 2ª WCEE celebrada en Japón un texto titulado Design of Nuclear Power Reactors Against Earthquakes, que representa parte de la amplitud de búsqueda científica sobre los seísmos, sus efectos de destrucción y resistencia.



FIG. 3 - PHOTO OF THE ALEXANDER BLDG.

Fig. 2.2 Fotografía del edificio Alexander.
En: Blume, John, Period Determinations and Other Earthquake Studies of a Fifteen-Story Building, 1st. WCEE, California, 1956.

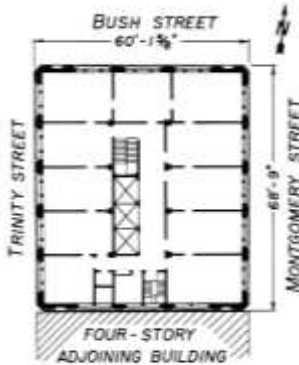


Fig. 2.3 Planta piso tipo edificio Alexander.
En: Blume, John, Period Determinations and Other Earthquake Studies of a Fifteen-Story Building, 1st. WCEE, California, 1956.

los métodos de diseño y cálculo estructural, y examinar de qué forma pudo incidir en la unidad arquitectónica, en tanto objeto edificado. El presente apartado, plantea que la Teoría de los Espectros, junto con generar las bases metodológicas teóricas que contribuyeron obtener cálculos de estabilidad estructural más precisos, condujo también hacia la interpretación morfológica de los terremotos y sus efectos en los edificios, condicionando así, en parte, la forma de la unidad arquitectónica expuesta a la destrucción sísmica.

La Escuela de California: mediciones y registros espectrales de simulaciones sísmicas: Siendo profesor de la Universidad de Stanford, Jacobsen⁹ creó en 1930 el Laboratorio de Vibraciones. En dichas instalaciones pudo construir un simulador sísmico de ensaye de modelos sometidos a vibraciones de acción dinámica, perfeccionado posteriormente (entre 1934 y 1938) por los ingenieros John A. Blume y Harry Hesselmeier. Blume fue más allá y elaboró un modelo que simulaba un edificio en altura (de 15 pisos) sometido a la acción dinámica sísmica (**fig.2.1**). Esta fue una de las principales contribuciones de Blume, que lo condujo llevó a proponer (1934) modelos de medición, cálculo y ensayos orientados a predecir la respuesta de una determinada construcción (CUREE, 1998).

La investigación iniciada en 1934 por Jacobsen en conjunto con John Blume y H. L. Hesselmeier, dio origen a un estudio que se prolongó por más de dos décadas. Metodológicamente, un hecho notable en este estudio, fue haber centrado las observaciones, análisis y aproximaciones teóricas sobre un mismo objeto, a lo largo del tiempo. Una propuesta que, en el contexto científico del período, dejaba entrever el terreno incierto en que los métodos de medición y cálculo estructural debían enfrentar, y la necesidad de determinar parámetros que permitieran reducir la brecha de probabilidades. Por tanto, la fijación del objeto de estudio, como elemento original de una hipótesis a probar, les permitió a los autores observar su comportamiento físico y estructural dentro de un arco temporal en función a diversos fenómenos y eventos ocurridos: registro de las vibraciones por la fuerza del viento (1934); respuesta sísmica (entre 1934 y mayo de 1956); experimentación de modelos dinámicos (1934-1938); vibración forzada (1935); entre otros (Blume, 1956:11-1).

El caso de estudio fue el Alexander Building, construido en la década de 1920 y emplazado en San Francisco. Su selección obedeció, entre otras

⁹ Ingeniero mecánico, profesor de la Universidad de Stanford, California. En 1949 fue nombrado Presidente del Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica (Earthquake Engineering Research Institute). Durante la década de 1930 estuvo a cargo del Laboratorio de Vibraciones de la misma Universidad entre cuyos aportes se cuenta la implementación de simuladores de sismos en estructuras (field-deployed shaker for structures; shaking table).

razones, a su configuración geométrica (planta rectangular y esbeltez); y el tipo edificatorio (edificio en altura aislado –libre de adosamientos). Asimismo, el fundamento estructural se justificó en la medición del primer y segundo período natural (realizada previamente por el Dr. Byerly junto a otros científicos); la distribución de muros soportantes en planta; la distribución de vanos en los paramentos verticales; y la prevalencia de rigidez en una dirección (Blume, 1956:11-2). En este contexto, Blume reafirma la elección de este edificio aduciendo que era la única pieza edilicia que ofrecía tales características, insumos relevantes para la investigación.

En cuanto al suelo de cimentación, Blume destacaó el interés de una composición caracterizada por “a fairly deep bed of naturally deposited alluvial material [that] [p]ermitted extensive considerations of the effect of ground yielding on periods.” (Blume, 1956:11-2). Si bien la estructura del edificio era de acero (con resistencia ignífuga), y paramentos no estructurales de albañilería, Blume optó deliberadamente por omitir estas variables en los puntos anteriormente mencionados, pues consideró que “the structural <strength> of the building (...) [were not attending] that the building is or is not earthquake-resistant or stronger or weaker than other...” (Blume, 1956:11-2).

Asimismo, el modelo predictivo de respuesta sísmica fue de gran importancia (sobre todo en el medio estadounidense, y por extensión a otras naciones, como Chile), pues puso de relieve la relación entre el suelo (como elemento de transmisión de vibraciones sísmicas), las fundaciones, el período de vibración y la construcción. Por otro lado, validó en parte y potenció -en el medio norteamericano- la investigación basada en observaciones, análisis y testeos de ensaye en laboratorio de simulación sísmica.

Los estudios del comportamiento del Alexander Building (**figs. 2.2, 2.3**), condujeron a la producción de diversas propuestas vinculadas a la resistencia estructural, definición de rangos de elasticidad e inelasticidad, períodos de vibración y respuesta sísmica.¹⁰ El seguimiento sistemático del edificio analizado en función de los conceptos anteriores, condensó en la construcción de un modelo teórico que combinó una parte del conocimiento empírico (testeo) y del conocimiento abstracto (cálculo), y que mediante el lenguaje matemático –como recurso cuantitativo y compatible con el campo de las probabilidades-, condujeran a la formulación predictiva de comportamientos esperados en determinados escenarios y rangos de variables.

¹⁰ A Reserve Energy Technique for the Design and Rating of Structures in the Inelastic Range, Proceedings, Second World Conference on Earthquake Engineering, 1960; Design of Multistory Reinforced Building for Earthquake Motion (AA.VV. , Portland Cement Association, 1961), entre otros. En: Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, 1998.

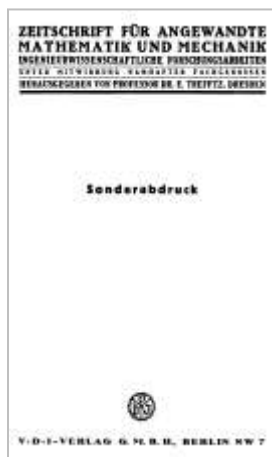


Fig. 2.4 Maurice Biot, , Theory of Vibration of Buildings during Earthquakes, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik Ingenieurwissenschaftliche forschungsarbeiten, Herausgegeben von Proffesor Dr. E. Trefftz, Dresden, Sonderabdruck, Bd. 14, H.4, 1934.

El análisis desarrollado por Blume, a partir de un caso específico, le permitió concluir que, no obstante la condición monográfica de la investigación, fue posible identificar un conjunto de factores persistentes extensibles a otros casos y al fenómeno sísmico en general. En especial, variables tales como períodos, factores de amortiguación, alteraciones en períodos y factores de amortiguación, la distribución de fuerzas y las formas de repuesta de un edificio sometido a tensiones sísmicas (Blume, 1956). Sobre la base que los datos aportados por los diversos registros (períodos, aceleración, entre otros) son importantes en tanto indicadores de las características del fenómeno y sus efectos en la edificación, la dimensión estructural y su comportamiento dinámico, son factores esenciales para el perfeccionamiento científico y matemático de la resistencia sísmica.¹¹

En esta misma línea, pero apuntando hacia la interpretación teórica del fenómeno sísmico en tanto fuerza mecánica, Maurice Biot formuló la Teoría de las Vibraciones en Edificios, una de las más significativas del período. De profesión ingeniero aeronáutico, tuvo una mirada sobre el problema general condicionada por criterios teóricos de interpretación y lenguaje, provenientes de la ingeniería mecánica.¹² Probablemente este hecho influyó en el modo de observación que contribuyó a comprender más ampliamente un problema esencialmente complejo, lo que condensó en un artículo publicado con el título *Theory of Vibration of Buildings During Earthquake* (Teoría de Vibración en Edificios durante Sismos), (**fig. 2.4**).

A grandes rasgos, el artículo se compone de dos partes. Un primer segmento contiene el resumen general y la formulación de un teorema matemático sobre amplitud y deformación máxima en edificios en altura. Y el segundo, se centra en la presentación de resultados (mediante procedimientos de cálculo matemático) sobre la resistencia eficiente de plantas elásticas en primer nivel. Se incluyen además dos apéndices (Vibración de Sistemas Bajo Condiciones de Impulsos Transitorios; y Método para el Cálculo de Oscilaciones Libres para Casos con Masa y Rigidez no-Uniforme)¹³ en los que se exponen teoremas y aportes al diseño sísmico.

Metodológicamente, Biot circunscribió la formulación de la Teoría de las Vibraciones a partir de un pie forzado y algunos supuestos físicos y matemáticos. En el primer caso, hipotetizó un sistema estructural carente de amortiguación, “[in orden to] confine ourselves to general outlines of the

¹¹ “The particular periods and other data are not only important in themselves, but they are also valuable indicators, often in many things including structural condition as well as dynamic response” (Blume, 1956:11-9).

¹² Específicamente, el Apéndice I del documento, titulado *Vibrating systems under transient impulse*, empleó un lenguaje de ingeniería mecánica, que Biot señala en los términos siguientes: “The folowwing theory gives a method of evaluatiing the action of very random impulses on vibrating systems (...). In the following text, we will use the language of mechanics.” (Biot, 1934:219).

¹³ Appendix I, *Vibrating system under Transient impulse* (p. 219-222). Appendix II, *A Method for computing free oscillations in case of non uniform mass and rigidity* (p. 222-223).

mathematical theory...” (Biot, 1934:213). Junto con ello, partió bajo el supuesto que “any vibration of an elastic undamped system may always be considered as a superposition of harmonics (...) [applied as] horizontal vibration of a building” que en tanto sistema elástico, los modos normales de vibración, en razón de determinadas frecuencias, suponen desplazamientos y valores máximos sincronizados (Biot, 1934:213).

A pesar que hacia la década de 1920 y 1930 hubo cierto consenso sobre el aporte de los sistemas materiales (propiedades físicas y mecánicas) en relación a la capacidad de resistencia sísmica, Biot optó por aislar esta variable de sus métodos y procedimientos de cálculo, sobre la base que el objetivo de su trabajo estaba centrado en determinar los rangos (y valores máximos) de amplitud de movimiento, oscilación y desplazamiento estructural, antes que las posibilidades morfológicas de deformación. Fue por tanto, un modelo esencialmente abstracto, pero no por ello ineficiente para los objetivos planteados por el autor y que se tradujo en significativos avances en el diseño sísmico. En efecto, la Teoría de los Espectros, y en particular los Espectros de Respuesta, fueron herramientas fundamentales para el diseño sísmico estructural y por extensión arquitectónico.

El primer teorema contenido en la publicación de 1934¹⁴ considera una fuerza horizontal en aceleración que, aplicada en una construcción específica (en este caso un sistema sin amortiguación), genera una vibración en el edificio que se traduce en oscilación –libre-, y cuyo período es mayor al del evento. Los cálculos matemáticos desarrollados en este teorema consideraron factores en función de la amplitud de onda, deformación estática y frecuencia¹⁵ (Biot, 1934). La aproximación teórica de Biot se puede comprender como una secuencia espacial y temporal no lineal, en la medida en que los modos de reacción de la unidad edificada son variados y que, bajo ciertas condiciones particulares, se pueden producir fenómenos, como acoplamiento armónico, que distorsionan (por aumento) las fuerzas y tensiones del edificio, ya sea por aceleración, desplazamiento y deformaciones estructurales¹⁶. Lo que se expresa como [an] “amplitude due to a sudden applied force (...) is composed of a series of oscillations each of which has an amplitude equal to twice the corresponding term to the statical deformation.” (Biot, 1934:220). Se desprende así, que la correlación entre la

¹⁴ “When an arbitrary horizontal acceleration (x) of finite duration acts upon a building, the resulting vibration at the end of the impulse is composed of a series of free oscillations each of which has an amplitude equal to the corresponding term (y) of the statical deformation due to (x) and multiplied by the value (...) of the reduced spectral distribution of (...) for the corresponding frequency.” (Biot, 1934:214).

¹⁵ Biot propuso que las fuerzas recibidas por un edificio durante un evento sísmico se traducen en vibraciones (modos de vibración) sobre la estructura, y que la determinación de sus valores cuantitativos, permiten calcular cualquier tipo de movimiento (Biot, 1934:213).

¹⁶ “When a transient impulse acts upon a undamped elastic system, the final motion results from the superposition of free oscillations each of which has an amplitude equal to the corresponding term (...) of the statical deformation multiplied by the value of the reduced spectral intensity for the corresponding frequency.” (Biot, 1934:221).

fuerza, amplitud y oscilación y la deformación de la pieza edilicia no es proporcional, sino que está en razón 1:2 respectivamente.

Seísmos, cargas estáticas y distribución de masa: Biot aplicó el método de cálculo a edificios en altura conformados por un primer nivel estructuralmente elástico y pisos superiores rígidos¹⁷. Los resultados que obtuvo le permitieron concluir que este criterio de estructuración era altamente eficiente, si bien indicaba una variable casuística, dependiente de la frecuencia característica de la región (sísmica) en que se emplazara la construcción, constatándose que “(...) there seems to exist characteristic frequencies of the ground at given locations. These frequencies would be given by the peaks in the spectral curve.” (Biot, 1934:215).¹⁸

Una parte del sentido contenido en la Teoría General de las vibraciones (y sus teoremas), dejan entrever los esfuerzos por establecer los valores máximos que pueden alcanzar la amplitud de la onda sísmica, la aceleración, y la deformación del cuerpo edificado. Ello se tradujo, por ejemplo, en la determinación de la frecuencia y amplitud de onda sísmica obtenidas mediante sismógrafos por mediciones seriadas, las que permitieron representar gráficamente las fluctuaciones de valores, mediante el siguiente procedimiento: “If we possessed a great number of seismogram spectra we could use their envelope as a standard spectral curve for the evaluation of the probable maximum effect on buildings. The spectral curves would be of interest as much to seismologists as to civil engineers.” (Biot, 1934:215). Así, los rangos de fluctuación de ciertas variables –en este caso onda sísmica– permitió establecer “(...) a spectral distribution curve will show a certain number of peaks if there exists certain periods in the seismogram” (Biot, 1934:215), como se observa en los gráficos siguientes (**figs. 2.5, 2.6**).

Las observaciones y conclusiones reportadas por Biot contribuyeron a establecer dos temas esenciales. En términos generales, se puede afirmar que la mayoría de los estudios en sismología e ingeniería sísmica, destacan la importancia que tienen los valores máximos, ya sea en la expresión de magnitud de un evento; la amplitud y período de la onda sísmica; la oscilación y deformación de la unidad edilicia; entre otros. Pero las exploraciones desarrolladas por Biot y Hesselmeyer, en el marco de estudios

¹⁷ El método matemático y la secuencia de fórmulas expuestas por Biot tomaron en consideración los siguientes factores y variables de edificio a calcular: medición la deformación horizontal con punto de partida cero (o) sobre el plano de cubierta del edificio; deformación horizontal; altura; masa de la parte superior del edificio; altura de piso tipo; fuerza necesaria para desplazar dos pisos consecutivos en relación a su altura; densidad de masa y coeficiente de rigidez equivalentes a una viga; velocidad de propagación de una onda de corte en viga; entre otros. En: Biot, M., *Theory of Vibraton of Building During Earthquake*, 1934, p. 216.

¹⁸ Los intentos por trazar mapas con la de trayectoria de las isosistas de algunos de los terremotos más destructivos durante el siglo XX, fueron iniciados tempranamente. Posterior a los terremotos de Talca de 1928 y Chillán de 1939 se elaboraron mapas que se aproximaron a la zonificación sísmica de la región afectada.

desarrollados en esta misma línea por científicos como Th. von Karman, R. Martel, L. Jacobsen, establecieron que los valores absolutos de medición de un evento sísmico determinado, podían sufrir distorsiones y aumentos bajo ciertas condiciones y determinados factores. Un segundo punto planteado por Biot, estableció que las deformaciones en edificios, sometidos a vibraciones sísmicas, aumentaban en razón de la deformación registrada en cada piso, en función de un conjunto de factores. Entre otros, la altura, masa y coeficiente de rigidez, y la velocidad de la onda sísmica.

El paso cualitativo que supuso la interpretación y transcripción de ecuaciones matemáticas de cálculo estructural hacia espectros en medios vibratorios, radica en un intento de dar forma a modelos y rangos teóricos abstractos. En último término, es importante recordar que el fin último de ésta -y de un enorme conjunto de investigaciones en la línea de la estabilidad estructural y sismorresistencia- ha sido definir los parámetros probables admisibles entre los cuales es posible diseñar una pieza edilicia que resista un espectro de seísmos también probables e impredecibles. En este sentido, y teniendo en cuenta la aproximación de análisis de este trabajo, cabe preguntarse si los espectros útiles para el diseño sísmico, tienen alguna forma. Y si así fuese, surge a continuación la inquietud por saber qué forma o qué tipos de formas tienen tales espectros. Porque, en definitiva, lo que expresan las representaciones gráficas de los espectros de diseño no son solamente el delineamiento de un trazado delimitado previamente por métodos y procedimientos de cálculo, sino que redundan en última instancia, en un cierto rango de diseño estructural y por tanto, arquitectónico. Se trata entonces, en parte, de la definición más o menos nítida, de los límites admisibles y posibilidades estructurales y formales entre los que se mueve una determinada arquitectura de los terremotos. Posibilidades que dependen de factores locales y particulares (emplazamiento, tipos de ondas sísmicas, calidad de suelo, entre otros), pero también de posibilidades generales y culturales, como el acceso a recursos técnicos y tecnológicos, especialmente en el campo de la industria de la construcción.

En este sentido, Biot esbozó algunos indicios orientados a la exploración de la forma de los espectros, en la Teoría de sistemas vibratorios bajo impulsos transitorios (*Vibrating Systems under transient impulse*). Esta planteaba específicamente un método de cálculo que permitiera determinar los valores de una acción altamente aleatoria, aplicada a un sistema vibratorio (edificios sometidos a vibraciones sísmicas), y en el cual existiese “an infinite number of characteristic values (...), functions (...) [and] solutions (...), [where the] functions give the shape of the free oscilations of the system.” (Biot, 1934:219). Forma que se tradujo en la representación de diagramas y esquemas que representaban las deformaciones probables durante períodos de oscilación, si bien trazados muy simplificados. Al recordar que por su formación profesional, ligada a la forma (artefactos vehiculares en aeronáutica e ingeniería mecánica), es probable que hayan sido condiciones que contribuyeron a la capacidad que tuvo Biot para trasladar problemas eminentemente teóricos y abstractos (lenguaje matemático) hacia una dimensión formal (planimétrica y espacial).

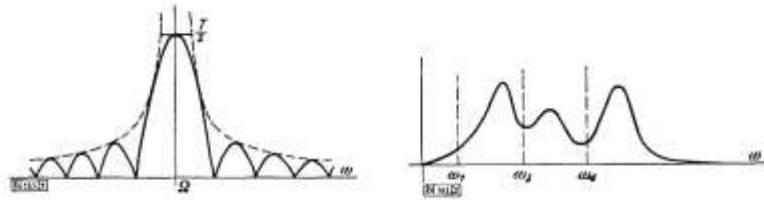


Fig. 2.5. Izq: Distribución de espectro de curva. Der: Periodos registro sismográfico. En: Maurice Biot, , Theory of Vibration of Buildings during Earthquakes, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik Ingenieurwissenschaftliche forschungsarbeiten, Herausgegeben von Proffesor Dr. E. Trefftz, Dresden, Sonderabdruck, Bd. 14, H.4, 1934, p. 215.

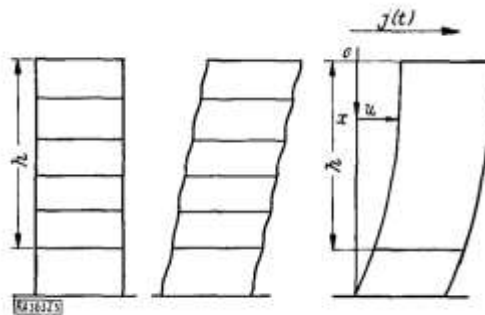


Fig. 2.6. Esquema de deformación horizontal en edificio en altura de planta rectangular con primer nivel elástico y pisos superiores rígidos, sometido a fuerza horizontal de corte. En: Maurice Biot, , Theory of Vibration of Buildings during Earthquakes, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik Ingenieurwissenschaftliche forschungsarbeiten, Herausgegeben von Proffesor Dr. E. Trefftz, Dresden, Sonderabdruck, Bd. 14, H.4, 1934, p. 216.

El mismo año en que Biot expuso la Teoría de Vibración Sísmica en Edificios, el sismólogo estadounidense Hugo Benioff publicó en el boletín de la Sociedad Sismológica Americana, un artículo bajo el título *The Physical Evaluation on Seismic Destructiveness*. Al igual que el anterior, el trabajo de Benioff desarrolló aproximaciones a la Teoría de los Espectros, aunque desde una aproximación distinta. El modelo propuesto por Benioff, denominado *espectro pendular*, tuvo por objeto establecer el rango de destrucción sísmica probable en edificios, basado en datos sismográficos y a través de un método de cálculo que consideró cuatro variables: amplitud máxima; frecuencia pendular; frecuencia de onda sísmica (earth-wave); y ángulo de fase de la onda sísmica (Benioff, 1934:402) (**fig. 2.7**). A diferencia de la propuesta formulada por Biot, este modelo supuso la oscilación con una trayectoria de tipo pendular entre cuyos márgenes q - b (**fig. 2.7**), se definía una zona de grado de destrucción probable.

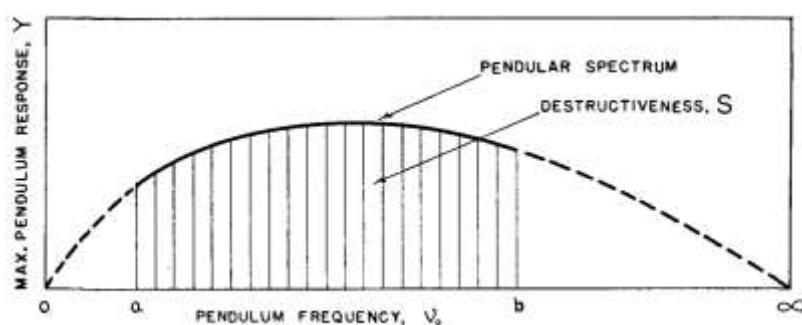


Fig. 2.7. Espectro de péndulo y destrucción sísmica. Hugo Benioff, *The Physical Evaluation of Seismic Destructiveness*, Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 24, No.4, October, 1934, p.398-403.

Otros intentos orientados a establecer rangos o espectros útiles al diseño sísmico fueron desarrollados durante el mismo período. En un trabajo publicado en 1934, Hugo Benioff propuso el denominado Espectro de Destrucción (sísmica), con el que esperaba contribuir en un campo científico donde “engineers do not know what characteristics of the ground motion are responsible for destruction, and (...) seismologists have no measurements of seismic motion which are sufficiently adequate to serve for design.” (Benioff, 1934:398).

La originalidad del enfoque planteado por Benioff radica en haber propuesto un método para calcular y medir la destrucción, en lugar de calcular y medir el rango de su resistencia. Es decir, se centró en la capacidad destructiva del fenómeno sísmico sobre un objeto específico, antes que en el comportamiento o desempeño de la pieza edificada sometido a tensiones sísmicas. Pero a pesar de la originalidad de la aproximación propuesta por Benioff, el hecho que cada región sísmica suponga una cierta particularidad condicionada por variables y condiciones específicas, pueden ser

determinantes en el modo de reacción y en la eficiencia de la resistencia de las construcciones que afecte. Por tanto, el modelo de espectro de destrucción resultó útil para el estudio de casos específicos, pero muy limitado en sus alcances teóricos, aun cuando considerara variables fundamentales como amplitud, desplazamiento, frecuencia, oscilación y amortización. De hecho, el modelo puso énfasis en la obra edificada donde “[t]he limits (...) must be determined from observations on buildings (...) [and where] statistical study and comparison of earthquakes (...) should be much more accurate than the present scales based upon random observations.” (Benioff, 1934:403). La fórmula de destrucción de oscilación pendular formulada por Benioff fue calculada considerando deformaciones elásticas “in which stress and strains (...) [were] proportionate” (Benioff, 1934:401), [which formula] “has been developed (...) on the basis of an intuitional argument (...) [but also] derived from a fundamental physical concept.” (Benioff, 1934:402).

Benioff intentaba así, establecer un método que incluyera, por una parte, la dimensión empírica inherente al problema sísmico y sus efectos en las construcciones; y por otra, el suelo de fundación traducido en factor, que colocado en relación al espectro de péndulo y al hipocentro del evento sísmico, “[t]he spectrum of a given earthquake changes form point to point, depending upon distance from the origin and upon ground characteristics.” (Benioff, 1934:401). Efectos que en la práctica, podían traducirse en notables grados de deformación, al decir que “Martel (...) have shown that the top of the buildings exhibit vibration amplitudes of approximately three times those of the ground at the bases.” (Benioff, 1934:401).

Relegando a un segundo plano las limitaciones metodológicas del modelo espectral de Benioff, es importante destacar que una de sus contribuciones fue haber trazado un modelo de espectro que integraba la variable del seísmo, en tanto movimiento vibratorio en oscilación en propagación por un determinado tipo de suelo y que, como señala Monge Espiñeira, se tradujo más tarde en uno de los criterios importantes considerados en diversos marcos de regulación sísmica: “La influencia del tipo de suelo en la forma de los espectros ha sido reconocida por diferentes normas y códigos...” (Monge Espiñeira, 1984:58).

Considerar el fenómeno sísmico de modo análogo a la vibración (Teoría de las Vibración Sísmica, M. Biot) condujo a incorporar la capacidad de amortiguación de un edificio, en tanto objeto receptor de éstas. Si Biot e Benioff propusieron espectros probables de resistencia y destrucción sísmica

respectivamente, Merit White¹⁹ se adentró (durante el desarrollo de su tesis doctoral dirigida por el profesor Romeo Marte), en el estudio de la mecánica interna del sistema estructural y material sometido a esfuerzos (o vibraciones) sísmicos.

Parte de los resultados obtenidos por White fueron publicados en abril de 1941 en el Boletín de la Sociedad Americana de Sismología (Seismological Society of America),²⁰ en un artículo titulado *Friction in Building: Its Magnitude and Its Importance in Limiting Earthquake Stresses*. Junto con describir los métodos de medición de la amortización en edificios y proporcionar resultados tipo probables (White, 1941:98), el trabajo de White mostró la importancia de la amortización en la sismorresistencia, en el diseño sísmico y métodos de cálculo. Pero también le permitieron sostener que “[a]nalytical and experimental studies of undamped systems will give an exaggerated impression of earthquake destructiveness.” (White, 1941:98).

Cuando White propuso que los modelos de cálculo basados en sistemas sin amortiguación conducen a resultados distorsionados, reivindica la validez y relevancia mecánica de la amortización en edificios como medio de disipación de energía. Y a la vez, soslaya una crítica indirecta a método empleado por Biot en la Teoría de Vibración en Edificios, que entre cuyos supuestos, consideró como objeto de estudio un sistema elástico sin amortiguación (*elastic undamped system*) (Biot, 1934:213).

Un primer punto relevante en el trabajo de White, es la distinción (desde un punto de vista mecánico y material) de dos tipos de fricción edificatoria: una sólida y otra viscosa. La forma y magnitud de la amortización de reacción de un mismo sistema estructural sometido a un mismo evento vibratorio (seísmo), varía en función de su materia (sólida o viscosa),²¹ produciendo así distintos tipos de fricción y, por extensión, sismoresistencia. Para White, la relación entre un evento sísmico y el impacto que recibe un edificio determinado, obedece a una lógica de “cause and effect (...)” que en el caso de sistemas sólidos “[are] not proportional, that doubling the magnitude of a disturbance will give a more than doubled response.” (White, 1941:94). La fricción viscosa, en cambio, corresponde a sistemas lineales y proporcionales, donde la magnitud de la fuerza aplicada es equivalente a la fuerza de reacción (o velocidades opuestas): “That is, doubling the

¹⁹ Un trabajo simplificado y extendido sobre el estudio teórico de la fricción mecánica en edificios, fue presentado posteriormente en el Research Associate of Graduate School of Engineering, Harvard University (1937-8). Otras instituciones que formaron parte de la plataforma de la investigación son The Department of Building and Safety of Los Angeles County; California Institute of Technology, y the Coast and Geodetic Survey. En: Merit White, *Friction in Buildings: Its Magnitude and its Importance in Limiting Earthquake Stresses*, Bulletin of the Seismological Society of America, April 1941, Vol. 31, N°2, p. 93-99.

²⁰ El manuscrito fue recibido por el Boletín el 27 de mayo de 1940.

²¹ “[The] building friction can be considered under two heads: first, the measurement of friction in particular cases, and second, the determination of the effect of friction on the response of a particular structure to a particular earthquake. (White, 1941:93).

magnitude of the disturbance will result in exactly doubled response.” (White, 1941:94).

Por otro lado, la fricción material de un sistema sometido a vibraciones sísmicas, supone dos medios principales de asimilación de la energía liberada durante un evento. O bien por disipación, o bien por histéresis, en tanto capacidad de fricción interna de la estructura. (White, 1941:93).

El problema radicaba, en último término, en la energía liberada por el seísmo y la cantidad de energía absorbida y disipada por el sistema constructivo-material. Por tanto, la medición de ambos estados resultaba crucial, y que fue recogida en dos preguntas fundamentales formuladas por White:

With regard to dumping, two questions must be answered: (...) What type of friction appears to exist (solid, viscous, etc.)? and (...) What is the magnitude? (White, 1941:94).

White distinguió dos dimensiones conceptuales en torno a la fricción en edificios: “[as] the measurement of friction in particular cases, and (...), [as] the determination of the effect of friction on the response of a particular structure to a particular earthquake.” (White, 1941:93). Esta diferenciación fue importante en relación al método de cálculo pues, redundó en la medición cuantitativa de la energía sísmica transmitida a la estructura, lo que, sin embargo, supuso una traba al señalar que

“The friction forces in a building cannot be calculated directly, as in simpler mechanical systems. Nor can they be measured directly; on the contrary, they must be determined indirectly by measuring their effects on some quantity which can be measured such as building motion.” (White, 1941:94).

La indagación sobre la fricción interna de un edificio sometido a tensiones sísmicas, se relacionó con su capacidad de resistencia, en un momento en que conceptos centrales, como rigidez, ductilidad y elasticidad, fueron parte del repertorio con que los ingenieros contaban para sus métodos y

procedimientos de cálculo estructural.²² En este sentido, la exploración de White contribuyó en parte a proveer datos relevantes –sino determinantes-. La fricción edilicia daba un paso además hacia una búsqueda orientada a definir con mayor precisión, la capacidad de resistencia de un determinado sistema estructural y constructivo en hormigón, dejando así atrás la pregunta sobre su eficacia e idoneidad en escenarios de esta naturaleza.

Si los espectros propuestos por Biot y Benioff en 1934 representaron, respectivamente, rangos de resistencia sísmica en edificios y rangos de destrucción probable, White propuso un modelo teórico de espectro que correlacionó la forma del movimiento sísmico con la deformación probable de un edificio. Así, calculando la deformación del edificio -sostuvo- sería posible determinar la forma del movimiento:

It can be shown that if the characteristics of a structure are known (periods, mode shapes, distribution of weight, and damping) by making certain assumptions, the motion at any point can be calculated if the motion is given at some other point. Conversely, by a trial-and-error process the building characteristics can be determined if motions are given at two points. (White, 191:96).

De este modo, el edificio como objeto de estudio enfatizaba la naturaleza sustantivamente empírica que cruza la relación entre el fenómeno sísmico y sus efectos en las construcciones, particularmente en edificios. Con la ventaja que permite la revisión histórica y a la luz de los conocimientos actuales, el texto de White permite identificar también las limitaciones de los métodos científicos y matemáticos del momento, como fueron la medición y cálculo directos de las tensiones en fricción en edificios. Consciente de tales limitaciones, White propuso un método de cálculo indirecto que permitió determinar tales valores de fricción a través de la medición y cálculo del movimiento producido en los edificios como consecuencia de un evento sísmico.

²² Es interesante distinguir en este punto, dos estados de la materia pertinentes a este material en particular (junto con el acero). En efecto, desde un punto de vista mecánico, la construcción de una pieza en hormigón atraviesa dos fases fundamentales, pasando de un estado fluido a un estado sólido. Esta veta específica del material, fue explorada mediante ensayos que condujeron progresivamente hacia el afinamiento de las dosificaciones de la mezcla, pero también al mejoramiento de la calidad de los materiales (cemento, acero, arena, gravilla y agua), el diseño (secciones, modulación de las nervaduras y nudos de unión, entre otros), y la especificidad de sus propiedades.

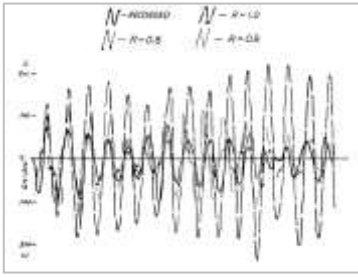


Fig. 2.8. Medición y rango de comportamiento de un edificio concebido como sistema con amortiguación sometido a vibraciones sísmicas (damping system), en función del período, amplitud y aceleración. En: Merit White, *Friction in Buildings: Its Magnitude and Its Importance in Limiting Earthquake Stresses*, Bulletin of the Seismological Society of America, N°2, Vol. 31, April, 1941.

La fricción sísmica edilicia permitió determinar rangos de resistencia, rotura y colapso, pero también identificar las áreas de concentración de tensiones, considerando la capacidad de amortización de los sistemas estructurales y sus componentes. Para ello recurrió a series consecutivas de ensaye de laboratorio a través de una máquina simuladora de sismos (*builder vibrator, shaking machine*), elaborada en conjunto por la Stanford University y el Coast and Geodetic Survey de Estados Unidos (White, 1941).

Teniendo en cuenta la complejidad del fenómeno sísmico, los ensayos de simulación en laboratorios pueden presentar ventajas o desventajas. Entre las ventajas destaca la posibilidad de decidir cuándo y bajo qué parámetros (medibles) simular un evento sísmico, tantas veces como se estime necesario; mientras que una de las principales desventajas, radica en que al ser eventos simulados constreñidos en un ámbito acotado, supone un grado de simplificación mayor en comparación a un evento real, lo que podría inducir a cálculos con mayores márgenes de error. Con todo, los ensayos científicos y técnicos en laboratorios han contribuido al proceso continuo y progresivo de perfeccionamiento del conocimiento y de los métodos empleados en el diseño sismorresistente, como la investigación realizada por White, y previamente por Jacobsen y otros (solo por mencionar el caso de Estados Unidos).

Otro recurso de medición fue a través de la instalación de sismógrafos en los pisos superiores de edificios en altura. En 1933, el Coast and Geodetic Survey de Estados Unidos, instaló un acelerógrafo en la cubierta del *Hollywood Storage Building* en Los Angeles, con el fin de obtener registros de los desplazamientos de la planta baja y azotea, generados durante eventos sísmicos (White, 1941:96). En tales casos, los datos de interés para White reportados por los sismógrafos, fueron principalmente velocidad, aceleración (y sus variaciones), la dirección del movimiento y la identificación de las diversas fuerzas que interactúan durante un seísmo. (White, 1941:94).

Si bien White no presentó en su trabajo modelos de espectros similar a los desarrollados por Benioff o Biot, la principal conclusión a la que arribó contribuyó de modo decisivo en la reducción de los márgenes fundamentales para el diseño estructural sísmico, demostrando lo determinante que pueden ser los sistemas con amortiguación y el método de cálculo empleado, en función al comportamiento de un edificio en vibración sísmica (**fig. 2.8**).

La utopía del diseño estructural sismorresistente: Trazar un esquema que sea representativo de la red de relaciones y esbozo que cña la

heterogeneidad de factores implícitos que conforman el tópico y problemática tratada en esta investigación²³, permitiría aproximar un mapa de los vínculos que los une y exponer -de una forma determinada- su inherente complejidad. Además, una tarea de este tipo y aún a riesgo de caer en reduccionismos, puede contribuir a establecer vínculos entre disciplinas que progresivamente han desarrollado interpretaciones y lenguajes que, por su especificidad, han conducido al distanciamiento en parte de éstas: por ejemplo, entre arquitectura e ingeniería sísmica estructural.

Uno intento en esta línea fue presentado por el ingeniero mecánico Lydik Jacobsen, quien fuera una de las figuras clave en el medio científico especializado. Durante la sesión de clausura de la primera WCEE celebrada en Berkeley en 1956, Jacobsen (que al igual que Biot y White tuvo formación de ingeniero mecánico) expuso una breve síntesis que daba cuenta del estado del arte en ingeniería sísmica en el medio internacional. En su presentación, enfatizó la alta complejidad de la naturaleza del problema (terremotos y diseño sismorresistente) colocando el fin último del diseño sísmico, al resistencia óptima y la normalización (instrumentos de regulación), en términos de utopía.

Complejidad que condicionada por la múltiple confluencia de variables en las cuales convergen distintas ramas científicas y profesionales, excede el estado del conocimiento. De hecho, “[in] the field of earthquake-resistant building construction is necessarily a complicated field [where] [t]here are many considerations that enter into it (...) [so that] we are still looking for someone practical genius who can bring all this into better focus...” (Jacobsen, 1956:38-9).

Pero para entonces, algunos conceptos y criterios de interpretación tanto del fenómeno sísmico, sus efectos en las construcciones y los criterios y procedimientos de anticipar los daños mediante los métodos de cálculo estructural, reportaban un estado del arte con cierto grado de solvencia y probada eficiencia (en algunos casos). En términos generales, se puede afirmar que de aquella compleja relación entre el fenómeno sísmico, los efectos en las construcciones y el diseño sismorresistente, para la mitad del siglo XX los expertos habían logrado delimitar algunos campos de interacción y que queda de manifiesto en el mapa trazado por Jacobsen en su presentación (**fig. 2.9**).

²³ Disciplinas científico-humanista (arquitectura) y científicas (ingeniería estructural, mecánica y otras, sismología y geología). El rol del Estado, en su dimensión institucional, legal, política, económica y social). El rol de la industria, como actividad productiva y medio de desarrollo científico y económico. La prevalencia transversal de variables técnicas y tecnológicas. Junto con la participación y acción de agentes y actores diversos, conforman una parte de la red de relaciones mencionada.

Jacobsen estableció como punto inicial la relación entre los terremotos y las construcciones en dos variantes distintas, pero convergentes entre sí: una cuantitativa y otra cualitativa, recogiendo así lo que adelantó previamente White, al señalar que “It is certainly desirable to supplement this work [*Friction in Buildings*], giving it quantitative as well as qualitative significance.” (White, 1941:98). Propuso asimismo, que el fenómeno sísmico podía ser comprendido como objeto que sintetiza dos vetas de interpretación (cuantitativa y cualitativa) y que, puesto en relación a los efectos que produce (en los edificios), al medio de investigación científica, y su incertidumbre intrínseca. La dimensión cuantitativa responde al fenómeno como hecho físico, registrable, medible y calculable. Mientras que la dimensión cualitativa, refiere a la percepción y vivencia de un observador. Por otro lado, ambas dimensiones se vinculan a tres campos teóricos inscritos en la ingeniería mecánica: los movimientos del terreno (seísmos); la teoría estructural; y la estructuración de la conciliación (**fig. 2.9, N°2, letras a, b, c**). Variantes que mediante determinados procesos, se traduce en el diseño arquitectónico, la resistencia sísmica empírica o probada; y los códigos (o normas) de construcción. Para Jacobsen, este último punto supone el fin último al que el proceso de regulación sísmica aspira, y cuyo estado absoluto (perfección) es en última instancia, una utopía²⁴.

Es interesante destacar el esfuerzo realizado por Jacobsen al interpretar la relación entre los seísmos, los edificios y los métodos orientados a alcanzar la resistencia a la destrucción, en una red de relaciones próxima a la paradoja. Porque al señalar la regulación sísmica en términos de utopía, establece inmediatamente una limitación irremediable para la ciencia. Es decir, aun cuando los cálculos de estabilidad sísmica se aproximen hacia un diseño óptimo, la imperfección como condición constante e inherente al fenómeno, impone su limitación continua y siempre irresuelta.

Probablemente una de las mayores contribuciones durante el período en este campo, fue el desarrollo de esta rama de la ciencia que atiende a las propiedades mecánicas en tanto común denominador los materiales que componen los suelos de fundación y los diversos tipos de comportamientos frente a eventos sísmicos. Y por otro lado, a las propiedades mecánicas de los materiales empleados en la construcción de edificios, relacionados a las formas de comportamiento, grados de resistencia frente a distintos tipos de sollicitaciones, entre otros.

²⁴ Agrega además que Un primer punto fue distinguir el fenómeno sísmico en su dimensión dinámica (onda sísmica, con período, aceleración y desplazamiento) asociada a la liberación de una determinada cantidad de energía no lineal ni homogénea; y en su dimensión mecánica condicionada los tipos de suelo de propagación de la onda sísmica.

Un segundo punto estriba en la dimensión de la teoría estructural. Es decir, la aproximación hacia un comportamiento y desempeño supuestos de una determinada unidad edificada que es sometida a un sismo, de características también determinadas, y bajo la consideración de un conjunto de variables (suelos, configuración, etc.). La teoría estructural refiere en este caso, al estudio de la pieza arquitectónica mediante un proceso de abstracción y representación cuantitativa y sus propiedades físicas.

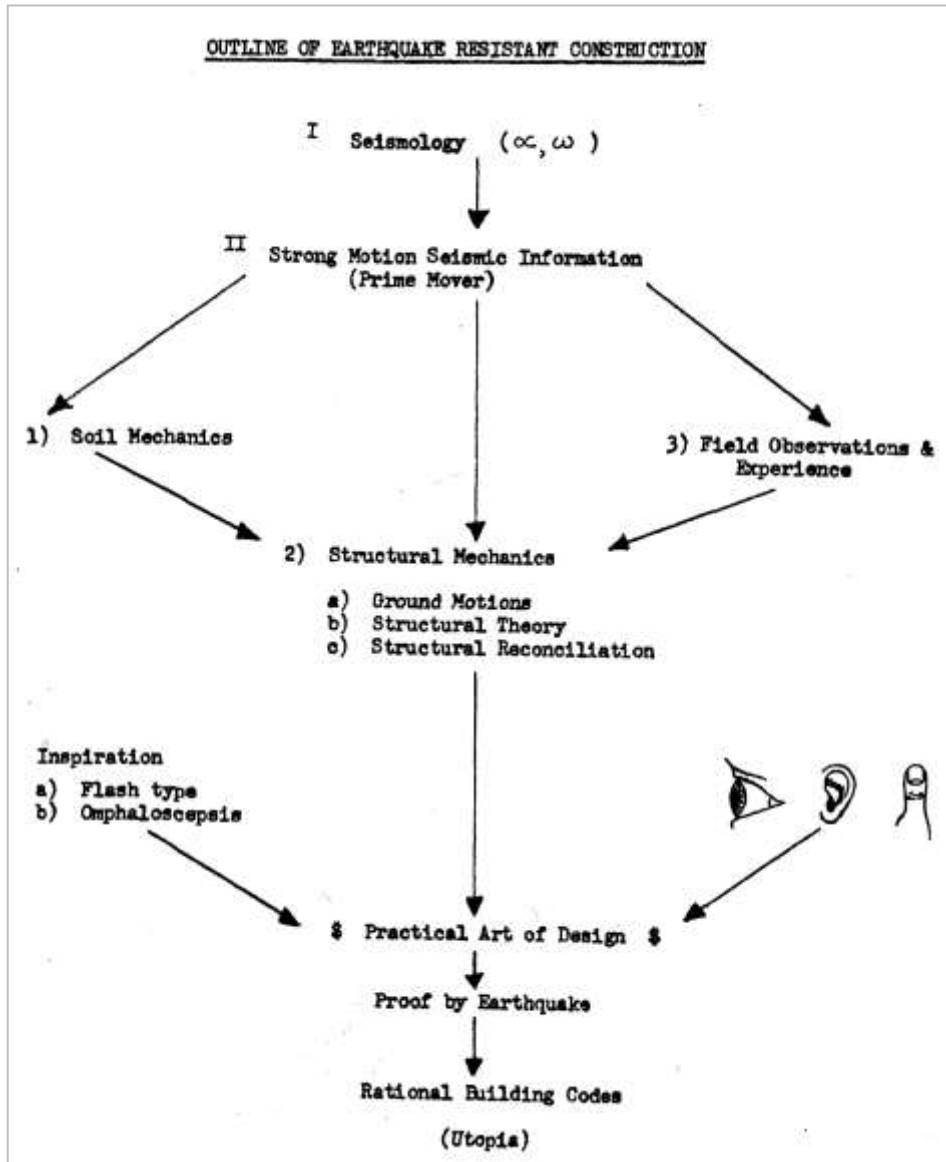


Fig. 2.9. Esquema de Jacobsen. Jacobsen, Lydik, Summary of Our Present Knowledge of Earthquake Engineering and Some Thoughts on Future Research. 1st WCEE, California, 1956.

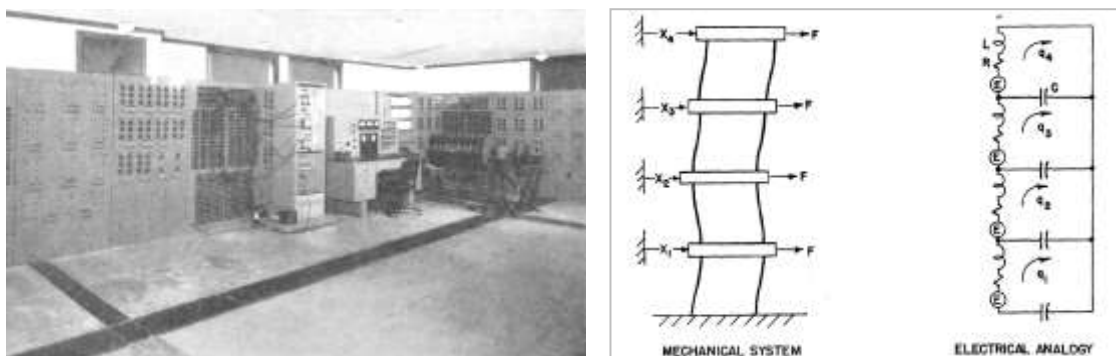


Fig. 2.10. Sistema Computer, Housner y McCann, Environmental Analysis Center EAC, California Institute of Technology (Caltech), 1949.

Es importante destacar en este sentido, que a diferencia de países industrializados, en Chile el proceso de ajuste y aplicación de pruebas y ensaye de los modelos de diseño sísmico, estuvo sujeto a la ocurrencia de seísmos de magnitud, intensidad y poder de destrucción variables. De hecho, durante la conferencia del 60, se planteó que los terremotos en Chile “... gave repeated tests to numerous earthquake resistive structures (...) [which] are, in essence, the best major laboratory test (...), particularly for buildings with the more modern architectural treatments. (...) where modern buildings failed, construction practices and design practices were poor (...) [and] building code enforcement left something to be desired in these cases.” (Steinbrugge, Clough, 1960:637).

Más tarde, el ingeniero y profesor Rodrigo Flores, volvió a reforzar este punto manifestando que

“Nuestra experiencia radica en la observación de estructuras dañadas o no dañadas en el gran laboratorio de la naturaleza y por ello no debe sorprender la considerable importancia que los diversos sismos nacionales han tenido sobre el desarrollo de la disciplina [ingeniería sísmica].”
(Flores et. al., 1993:163-4).

De hecho, una de las particularidades que el propio Flores planteó durante la cuarta reunión de la WCEE (1969) apuntaba a relevar la situación diferenciada entre los países industrializados y los países en vías de desarrollo, donde se presentan importantes contrastes en materia de investigación y que en el caso local, las dificultades de acceso a la implementación de laboratorios ha estado condicionado por necesidades socioeconómicas evidentemente distintas a las de Estados Unidos o Japón. Esto no es un tema menor, porque en la práctica, se ha traducido en un aprendizaje exigido por la frecuente y periódica ocurrencia de eventos sísmicos, muchos de los cuales han dejado trágicas consecuencias en la población y extendida destrucción.

El método Computor. Un sistema eléctrico análogo: Si bien la especificidad y complejización de los conocimientos logrados aproximadamente entre la década del 50 y 70 en sismología, diseño sismorresistente, geología y geotécnica, derivaron hacia métodos de cálculo estructural aprehensibles solo mediante recursos programáticos computacionales –capaces de integrar múltiples variables-, los modelos obtenidos generaron las condiciones que hicieron posible establecer

modelos de respuesta en construcciones dentro de rangos de mayor precisión a los métodos desarrollados durante las décadas anteriores.

El terremoto de 1960, junto con el desarrollo de la ingeniería sismo-resistente -local y mundial- condujo hacia la elaboración de ciertos conceptos estructurales importantes, como “espectros, ductilidad y absorción de energía (...), sismos [que] demostraron [además] a los ingenieros chilenos la gran importancia que tiene la mecánica de suelo.” (Flores et. al., 1993:171).

Si la Teoría de los Espectros interpretó y representó rangos de resistencia y destrucción sísmica, la investigación desarrollada por los ingenieros George Housner y Dwight McCann, puso en evidencia las limitaciones de los métodos matemáticos, tal como señalan al decir que

The large amount of time required to carry through the analysis of an acceleration record, or to compute the response of a structure to the recorded acceleration, has hindered investigation; so much so, in fact, that detailed computations have not been made of the response of structures with damping or with multiple modes of vibration. (Housner, McCann, 1949:47).

Debido a las características de los sismos y su acción dinámica en edificios, los métodos tradicionales de cálculo matemático no lograron cubrir el elevado volumen de datos obtenidos de los registros periódicos durante un evento sísmico. Situación que en casos de edificios de varios grados de libertad, en sistemas no-lineales, significaba el aumento exponencial en complejidad.²⁵ En este contexto, Housner y McCann construyeron una máquina capaz de computar grandes sumas de datos proporcionados por acelerógrafos y útiles para resolver ecuaciones diferenciales por medio de métodos numéricos, salvando así la limitación de los métodos matemáticos previos. La construcción del equipo de computación numérica fue desarrollada al alero Instituto Tecnológico de California, y su diseño se basó de forma análoga a los sistemas de la ingeniería eléctrica (*Electric Analog Computer*), (Housner, MacCann, 1949:47).

²⁵ Al respect los autores señalan que “multiple-degree-of-freedom structures with damping can be analyzed easily, whereas any systematic analysis by numerical methods or by the torsion-pendulum analyzer would require a prohibitive amount of time. (Housner, McCann, 1949:47).



Fig. 2.11. Alford, Housner, Martel, Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquakes, First Technical Report under Office of Naval Research, California Institute of Technology, Pasadena, California, 1951.

Housner y McCann relevaron la importancia de la medición de la magnitud (sísmica) en el diseño estructural (Housner, McCann, 1949:47), en la medida que la energía liberada durante (uno o más seísmos) un sismo impone un cierto grado de resistencia edificatoria. La contribución de Richter -a través de su propuesta de escala de medición.- fue decisiva, pues junto con establecer parámetros de medición de la magnitud, proveyó valores numéricos consistentes con los criterios y métodos de cálculo estructural.

En términos generales, los análisis de Housner y McCann empleando el Computador Eléctrico Análogo (*Electric Analog Computer*), reforzó la tesis de que la capacidad estructural de amortización al impacto sísmico era un medio efectivo para reducir los efectos. Y metodológicamente, significó una contribución notable, no sólo por haber abierto las posibilidades de cálculo matemático, sino porque estableció un grado de precisión que condujo a una nueva fase de ajustes de rangos y espectros empleados en el diseño sismorresistente, tal como plantean:

[t]he accuracy of the computer is well within the limits of accuracy required for such analyses [earthquakes and structural response]. The fact that the computer is equally reliable over the entire range of periods which it is desirable to investigate makes its use especially satisfactory. (Housner, MacCann, 1949:56).

Esta primera exploración derivó en un trabajo ampliado publicado como informe técnico en 1951. Housner, en coautoría con J.L. Alford y R.R. Martel, desarrollaron un ambicioso proyecto (en las instalaciones del California Institute of Technology) que consideró el análisis de un total de 88 espectros correspondientes a los terremotos más violentos en Estados Unidos (Housner, Alford, Martel, 1951), registrados mediante el computador eléctrico análogo. El documento, rotulado como First Technical Report, y titulado *Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquakes*, fue contratado por la Office Naval Research de Estados Unidos y desarrollado con el patrocinio del California Institute of Technology (**fig. 2.11**).

Junto con validar el uso del Computador Eléctrico Análogo como medio necesario para el análisis numérico y cuantitativo del universo de datos obtenidos sobre los terremotos, el trabajo formula como hipótesis que

earthquakes are random disturbances; namely that above a certain minimum period the spectrum may

be considered as being distributed about a mean value which is independent of period (...) [and] is concluded that the concept of a <dominant ground period> is not valid for engineering purposes. (Housner, Alford, Martel, 1951:104).

Entre otras cosas, el proyecto de análisis de espectros desarrollado por Housner, Alford y Martel, permitió validar los criterios y métodos de medición, cuantificación y procesamiento de la información relativa a los seísmos y sus efectos en los edificios, reforzando una vez más la tesis que posicionó la amortiguación estructural como medio eficaz de resistencia sísmica, y los espectros como medio válido de representación de los sismos, en sentido que

the damped spectrum be used as a quantitative measure of earthquake intensity, since it provides an index which is independent of the design and workmanship of particular structure. (Housner, Alford, Martel, 1951:105).

Los valores máximos y mínimos expresados en los espectros sísmicos, colocados en relación a la capacidad destructiva del fenómeno, y a los rangos de resistencia de sistemas estructurales con amortiguación, resultaron fundamentales en la medida que “the maximum stress in the structure is proportional to the maximum displacement, [so] it is of particular interest to investigate the maximum values (...) [of displacement] which occur during the earthquake.” (Housner, McCann, 1949:53).

Asimismo, los rangos y valores de fluctuación obtenidos de los registros, proveyeron insumos numéricos esenciales para el método *computer*, gracias al cual, se pudo establecer que la amortización de un edificio y la magnitud de un evento sísmico son inversamente proporcionales, en la medida que

small changes of damping produce large changes in peak response, particularly when the total damping present is low. This observation is significant for (...) the necessity for precise control over damping in the determination of the earthquake spectrum (...) [and the] implication for the earthquake resistance of buildings (...) in each of the various types of construction. (Housner, Alford, Martel, 1951:104).

De este modo, la relación entre los espectros sísmicos, los sistemas con amortización estructural y la resistencia a la destrucción sísmica, se tradujo en valores concretos que incidieron directamente –aunque de forma progresiva– en el diseño estructural de los edificios y por extensión, hacia la dimensión morfológica y arquitectónica de la unidad edificada. El afinamiento de los métodos de cálculo computacional fueron perfeccionados durante las décadas siguientes (particularmente a partir de 1970 en adelante) permitió también elevar los márgenes de resistencia y, al mismo tiempo, disminuir las secciones y espesores de los elementos estructurantes, contribuyendo a la economía constructiva, material y económica de la edificación.

Las líneas de investigación llevadas adelante en Estados Unidos estuvieron marcadas por una tendencia cuantitativa de la mano de distintas ramas de la ingeniería, como se ha visto aquí sucintamente. Tal aproximación científica no implicó, sin embargo, el desconocimiento de la dimensión cualitativa del problema (y que Jacobsen abordó en 1956), pero que no obstante, quedó relegada a un plano secundario y escasamente considerado en teoremas, teorías y métodos de cálculo estructural.

El mismo año en que llevó a cabo la Primera Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica (1956), el ingeniero japonés Kiyoshi Kanai trabajaba un texto, publicado al año siguiente en el Boletín del Instituto de Investigación de Terremotos de Japón (*Earthquake Research Institute*). El estudio afrontaba directamente la dimensión empírica del problema sísmico en edificios, complementando así lo que el campo de la investigación de Estados Unidos no incorporó de modo decisivo en sus métodos. Y de paso, reivindicaba los inicios de los espectros de respuesta,²⁶ sosteniendo que “both a predominant period and a particular spectral response, was first determined in Japan from some of the earliest seismograph records. This principle was started near the end of the nineteenth century, shortly after the invention of the seismograph.” (Kanai, 1957:309).

En lo que respecta a los espectros, esta tesis no tiene por objeto entrar en la discusión en torno a su origen, sino que relevar sus repercusiones en el cálculo estructural y en la obra edificada. En este sentido, es importante tener en cuenta que así como una masa heterogénea de ingenieros americanos trazaron una trayectoria de exploración mediante ensayos de laboratorio basados en los espectros sísmicos, otra masa de ingenieros y arquitectos japoneses avanzó también en esa misma dirección, si bien a través de un camino propio, pero en muchos puntos coincidentes. A fin de

²⁶ “That there is usually, for each kind of ground, both a predominant period and a particular spectral response, was first determined in Japan from some of the earliest seismograph records (...) [when] this principle was stated near the end of the nineteenth century.” (Kanai, 1957:309).

cuentas, la confluencia de ambas escuelas (americana y japonesa) hacia la Teoría de los Espectros, en tanto recurso efectivo para determinar rangos de medición fundamentales para el diseño estructural sismorresistente, permitió su validación y consolidación metodológica.

Por tanto, se propone que la principal contribución contenida en el artículo de Kanai, titulado *An Empirical Formula for the Spectrum of Strong Earthquake Motion* (1957), estriba en haber considerado los tres medios de aproximación al estudio de los sismos y sus efectos en los edificios: Observación y evaluación en terreno; las exploraciones teóricas; y los estudios estadísticos de daños posterremotos (Kanai, 1957), integrando así las dimensiones cuantitativa y cualitativa.

Junto con establecer las limitaciones de la fórmula semi-empírica formulada en su trabajo (Kanai, 1957:318) en función de las características del terreno de fundación expuesto a vibraciones sísmicas, Kanai consideró el fenómeno de refracción de onda sísmica, cuyo comportamiento y forma de propagación depende del tipo de suelo y la forma de composición (capa superficial gruesa; capas estratigráficas múltiples; roca expuesta; y roca expuesta reciente y lecho rocoso).²⁷

La diferenciación estratigráfica de los suelos de fundación, en relación al sistema constructivo-material (considerando edificios de altura variable edificados en madera, albañilería simple y hormigón armado), y analizados en función a los datos estadísticos reportados en el terremoto de 1923, permitió a Kanai concluir que “the variation in damage rates of wooden, brick and reinforced concrete buildings in the Kwanto earthquake of 1923 can be qualitative explained in terms of vibrational characteristics of the ground.” (Kanai, 1923:322).

Probablemente la contribución más significativa del trabajo de Kanai aquí citado, fue la incorporación de la dimensión cualitativa (referida a los daños en edificios registrados en el terremoto de 1923) en las fórmulas matemáticas. Kanai propuso la fórmula semi-empírica de características vibratorias del terreno, considerando “the observational results of earthquakes as well as microtremors and adding a theoretical interpretation” (Kanai, 1957:323). Fue por tanto, una aproximación que expresó cuantitativamente, factores de naturaleza cualitativa, difícilmente medibles y raramente integrados en los métodos matemáticos.

²⁷ The case of a thick stratified layer; the case of multiple stratified layers; the case of exposed rock; the case of fresh exposed rock and bed rock. (Kanai, 1957:319).

De las vibraciones sísmicas a los espectros de comportamiento de la edificación:

La producción científica desarrollada particularmente en Estados Unidos examinada en este capítulo, es apenas una parte de un volumen de estudios y publicaciones más amplio, de la cual se ha destacado las principales contribuciones que de forma directa o indirecta, sirvieron de base y de referencia en parte de los criterios con que fue redacta la Norma Chilena de Edificación Sísmica (NCh433), oficializada en 1972. En este ámbito, se han relevado a su vez dos teorías significativas en el diseño estructural sismorresistente: la Teoría de las Vibraciones y la Teoría de los Espectros. Esta última, fue asimilada de distintas formas y ha servido para la interpretación espectral de diversas variantes que concurren en la relación entre los seísmos y los edificios, constituyéndose así en un método válido de medición y cálculo. Las conclusiones que aquí interesa enfatizar se resumen en siete puntos fundamentales, ordenados en función a la secuencia desarrollada en el capítulo.

Sistemas estructurales dinámicos con amortiguación: la secuencia de estudios desarrollados aquí examinados, permiten afirmar que hacia mediados del siglo XX el conocimiento condensó hacia un cierto consenso sobre la importancia y efectividad de los sistemas estructurales (lineales y no-lineales) con amortiguación (*damping systems*), lo que redundó en su validación en tanto criterio de diseño sismorresistente.

Una de las claves específicas aportada por Blume –y que lo distingue del resto de los autores examinados-, fue la exploración de modelos de predicción de respuesta sísmica. Es decir, la creación de un modelo de anticipación a la destrucción sísmica, en cuya esencia subyace un sentido de planificación basado en el análisis de una serie de variables probables. Por su parte, los ensayos realizados por Biot permitieron comprender la unidad edificada por nivel, estableciendo comportamientos disímiles en cada una de las plantas de edificios en altura, destacando que un mejor desempeño se obtenía considerando una planta baja elástica y pisos superiores rígidos.

El espectro pendular de destrucción sísmica propuesto por Benioff, si bien adoleció de una condición casuística, y por tanto, difícilmente extensible hacia un estado general del conocimiento, permitió reafirmar la importancia y eficacia de los sistemas con amortiguación y subrayar, al mismo tiempo, la naturaleza compleja de un fenómeno que presenta zonas importantes de desconocimiento e incertidumbre. De ahí su intento por establecer márgenes de destrucción antes que de resistencia sísmica.

Si los sistemas estructurales con amortiguación fueron aceptados progresivamente como criterio de diseño sísmico fiable –bajo ciertas condiciones-, White contribuyó a conectar los modelos teóricos (si bien ensayados en laboratorios) con la condición matérica de que se componen

dichos sistemas. En este sentido, la distinción entre la mecánica de la materia sólida y la materia viscosa y las diferencias de comportamiento entre una y otra, fue decisiva en el diseño estructural y arquitectónico condicionados bajo exigencias sísmicas. Indirectamente, sus conclusiones sentaron argumentos teóricos que reafirmaron la idoneidad del hormigón armado que, por su mecánica en el campo de los sólidos, ofreció márgenes amplios de resistencia.

Por su parte, las investigaciones desarrolladas por Housner y McCann basadas en los ensayos, registros y procesamiento de datos por medio del Computador Eléctrico Análogo, marcaron el inicio de una nueva fase en la historia de la ingeniería sísmica, que permitió calcular numéricamente fórmulas matemáticas de alta complejidad –estructuras de múltiples grados de libertad- desplazando de este modo, las limitaciones de los métodos matemáticos de cálculo análogos.

Finalmente, la fórmula semi-empírica propuesta por Kanai, en el marco de los espectros sísmicos desarrollados anteriormente por cerca de sesenta años, significó la integración de variables cualitativas, en métodos de cálculo esencialmente cuantitativos. Por tanto, su contribución radica sobre todo en exponer que la complejidad del fenómeno sísmico y las múltiples formas en que puede afectar a una zona determinada y a unos edificios específicos, lejos de haber llegado hacia un punto de estabilización científica y racional, debía hacer frente a factores hasta ahora segregados de las investigaciones, y que obedecen a otro tipo de lógicas.

La figura de Jacobsen fue, en este sentido, una de las más lúcidas y que va más allá de sus tempranas colaboraciones en el Instituto Tecnológico de California. La ponencia con la que cerró la Primera Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, que conmemoraba además los cincuenta años del terremoto de San Francisco de 1906 (coincidente además con el de Valparaíso) situaba, como mencionó en páginas anteriores, el fin último de la ingeniería sismorresistente en un estadio de utopía.

Se puede afirmar que el conjunto de investigaciones aquí examinadas, así como otras tantas desarrolladas durante en el período en diversas naciones sometidas a la catástrofe sísmica (que por su diversidad no han sido consideradas en este escrito), representan ante todo notables esfuerzos por establecer los límites de un problema en el que constantemente se abren nuevas grietas que no terminan por agotar el estado del conocimiento. Con todo, los resultados (parciales o generales) obtenidos, han alcanzado a conformar un nivel de estabilización científico-empírica de diseño estructural que ha permitido, en mayor o menor medida, erigir edificios resistentes a los seísmos.

Capítulo 3. El terremoto de Chillán de 1939. Testeos, ajustes y el dominio científico en la Nueva Ordenanza General de Construcciones (1936-1949).

Introducción: La segunda etapa, gatillada por el terremoto de Chillán, obligó a una revisión más profunda de sus contenidos y exigencias, en especial sobre las cuestiones sísmicas. El período comprendido entre 1939 y 1949¹, como se verá en este capítulo, estuvo marcado por una crisis que generó tensiones en los ámbitos técnico, profesional, gremial, político y económico. Ello explica en parte la demora de la puesta en vigencia del nuevo instrumento regulatorio, diez años más tarde a la catástrofe de Chillán, tiempo considerablemente mayor en comparación a la versión primaria de la Ordenanza 1930-6. En efecto, la primera fase fue aprobada en plazos que resultan irrisorios frente a tramitaciones parlamentarias comunes. Y aunque este contraste se explica, por una parte, en la preexistencia de un trabajo previo desarrollado por la Comisión encargada de su redacción; y por otra, por la presión que impuso el tercer gran terremoto en el país (en apenas veintidós años), los días transcurridos entre el sismo de Talca y la publicación de la Ley (N°4.563) fueron apenas setenta y cinco, y menos de un año (en 1930) para la publicación de la Ordenanza.

Nuevas aproximaciones a la relación entre los sismos y sus efectos en la edificación, la industria de la construcción y el mejoramiento en las técnicas edificatorias y materiales, así como una definición más nítida de los alcances y límites entre arquitectos e ingenieros fueron los factores gravitantes que marcaron este período.

Liderando el proceso de reconstrucción y ajuste de la Ordenanza, el Estado fue la entidad que promovió y aglutinó un conjunto de actores que, como se verá, resultaron determinantes no sólo en los cambios, sino que también en las repercusiones que tuvo en los ámbitos académicos, profesionales e institucionales. Con base en su estructura administrativa (Ministerios, Departamentos, entre otros) y a través de la promoción y gestión legislativa (leyes, decretos, oficios, informes), el Estado llevó adelante un intenso programa de transformación y reconstrucción de las zonas afectadas implementadas en el corto y mediano plazo. Un segundo paquete de medidas, cuyos alcances deben ser comprendidos en un espectro de tiempo más extenso, incluyó un conjunto de decisiones cuyos efectos sobre los procesos proyectuales y de ejecución, delineados por un criterio de

¹ Decreto N° 844 de 13 de junio de 1949.

normalización de la obra arquitectónica, repercutieron en la constitución morfológica, estructural y matérica de la edificación.

Si la Ordenanza General (en sus distintas versiones), no hubiera estado precedida de una Ley (N°4.563, 1929) que le otorgó potestad y mandato al Presidente de la República en ejercicio con el fin de ordenar su redacción y tramitación legislativa, difícilmente hubiera adquirido un status jurídico que garantizara, al menos en teoría, su efectiva aplicabilidad y eventuales sanciones. Por medio de este procedimiento, se impuso así el debido cumplimiento (en teoría) de las disposiciones bajo el imperio de la ley. Esto es importante, porque de ese modo, se generaron las condiciones necesarias para llevar adelante, independientemente de los limitados recursos con que se disponía en un comienzo, la fiscalización a nivel nacional.

Junto con el liderazgo asumido por el Estado en materia de reconstrucción, corrección a la Ordenanza y en el proceso de normalización de las construcciones, en conjunto con el aporte complementario de un cuerpo profesional compuesto por ingenieros, arquitectos, urbanistas y en menor medida, sismólogos, y abogados fue gravitante, pues se tradujo a la postre, en la condensación de una masa crítica que sintetizó los conocimientos de las diversas áreas disciplinares de origen. En conjunto y por separado, cada uno de los profesionales involucrados, aportaron desde sus ámbitos formativos, diversas lecturas e interpretaciones sobre el problema de la destrucción y sus causas. Contribuciones que excedieron por lo general, las cuestiones puramente relacionadas con la destrucción, los estudios en torno a la edificación sismorresistente y la ciudad, ampliando el horizonte de preocupaciones hacia (y desde) la esfera estatal, académica, institucional y la dimensión social. Reflejo en parte, de una instrucción universitaria consciente sobre la responsabilidad que les cupo en las decisiones políticas vinculadas a la edificación y la ciudad, que en el caso particular de los ingenieros y arquitectos, fue decisiva en el trazado del desarrollo arquitectónico. El posicionamiento profesional de ingenieros y arquitectos frente al Estado y la sociedad, significó también un reconocimiento a su labor, una cierta legitimidad y validación. Esto tomó forma en dos aspectos. Por un lado, en un progresivo afianzamiento cultural que asimiló paulatinamente la necesidad de delegar en el arquitecto o en el ingeniero, la ejecución de las obras, desplazando así la práctica instalada de autoconstrucción. Y por otro, en la asimilación responsable por parte de dichos profesionales que les cupo en garantizar un estándar que suponía, bajo ciertas condiciones, la resistencia sísmica.

La destrucción de los centros urbanos y zonas rurales de la zona central: La casi absoluta destrucción de la ciudad de Chillán, junto con los serios daños en Concepción y otros centros urbanos y áreas rurales en torno al valle de El Maule (VII región) (**fig. 3.1**), significó un gran impacto en el

país. Materialmente, la catástrofe dejó a la población herida y los sobrevivientes, repartida en una extensa zona -cuarenta y cinco mil kilómetros cuadrados aproximadamente- (Urrutia, Lanza, 1993:230) en precarias condiciones de subsistencia. Aunque la prensa del período (cuyos datos errados han sido reproducidos en diversas publicaciones) estimó un número en torno a los treinta mil muertos, lo cierto es que, según la información oficial, aquel número fue ostensiblemente menor, pero no por ello, reducido. Las cinco mil seiscientos ochenta y cinco víctimas fatales, registradas por la Dirección General de Estadísticas (anuario 1939), sumado al estado de devastación y ruina generalizada supusieron un impacto traumático y desolador en la población.

Escenario que, sumado a los grandes eventos sísmicos anteriores a 1939, desde Valparaíso en 1906, Copiapó en 1922 y Talca en 1928, puso acento en la regularidad de ocurrencia del fenómeno sísmico en estrechos lapsos de tiempo y, consecuentemente, un riesgo inminente constante². El día y hora en que un sismo ocurre, sumado a su magnitud, la preexistencia de una condición material precaria generalizada (especialmente en viviendas), son factores decisivos que explican, en este caso, la elevada tasa de muertes humanas. En efecto, el 24 de enero de aquel año, a las once y media de la noche, se produjo el sismo, que de acuerdo a las estimaciones actuales, alcanzó los 8,3° Richter³. Una hora en que gran parte de la población se encontraba en sus hogares.

La evaluación del estado de las ciudades afectadas se vio obstruida, entre otras razones, por el daño producido en la infraestructura vial (caminos y puentes) y de comunicaciones (telefónica y telegráfica). Asimismo, las vías férreas que conectaban la capital con el centro sur, pudieron operar solo hasta Talca por el sur (Informe de la Comisión Gubernativa, 1939). Situación que en la práctica se tradujo en la virtual división territorial del país y el aislamiento parcial de la zona afectada (**fig. 3.1**). La abrupta transformación del paisaje y de las ciudades, la pérdida de servicios, insumos y bienes materiales básicos, pusieron de manifiesto, una vez más, que la destrucción endémica era un problema nacional, históricamente azotado por el

² El artículo publicado por el ingeniero Eduardo Aguirre, titulado “Perjuicios del terremoto del 24 de Enero último en las construcciones y como pudieron evitarse”, señalaba una estimación del período promediado de recurrencia sísmica, segregada por zonas geográficas:

“En término medio, en las distintas regiones de Chile, ocurre un terremoto en los plazos que se indican, deducidos de la observación en cuatro siglos de historia del país:

En Santiago y Valparaíso, cada 43 años.

En Iquique, cada 98 años.

En Copiapó, cada 48 años.

En San Fernando y Curicó, cada 78 años.

En Talca y Linares, cada 65 años.

En Chillán y Concepción, cada 40 años.

En Los Ángeles, cada 78 años.

En Temuco, cada 131 años.

En Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Castro, cada 93 años.

En Magallanes, no hay recuerdo de alguno.”

Fuente: Aguirre, Eduardo, Perjuicio del terremoto del 24 de Enero último en las construcciones y como pudieron evitarse, Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, No. 7, 1939, año XXXIX, julio-agosto.

³ Fuente: www.sismologia.cl

fenómeno. El estado generalizado de daños fue también una instancia de evaluación de los distintos tipos de edificios (estructural y materialmente) y, al mismo tiempo, una coyuntura que permitió validar la Ordenanza General. La literatura que ha tratado el terremoto de Chillán destaca como uno de los hechos relevantes en la historia política y, en menor grado, de la historia urbana de Chile, las medidas adoptadas por el gobierno de turno en pos del proceso de reconstrucción. Alineado con el trazado elaborado con anterioridad a 1939, el gobierno radical de Pedro Aguirre Cerda (1938-1941), que puso énfasis en el fortalecimiento de la industria nacional como medio de desarrollo, fundó dos instituciones estatales. A partir de la aprobación de la Ley N°6.334, de 1939⁴, se crearon la Corporación de Fomento de la Producción y la Corporación de Reconstrucción y Auxilio. La primera de ellas, resultado de una iniciativa incubada ya durante el gobierno antecesor (Arturo Alessandri, 1932-8), tuvo por objeto el estímulo a la formación y consolidación de la industria y producción nacional; mientras que la segunda, fue una respuesta reactiva frente a las consecuencias que dejó el sismo, teniendo como principal foco administrar “lo relacionado con préstamos, expropiaciones, reconstrucción y auxilios a los damnificados de las provincias afectadas” (Carvajal, 2011: 159).

A pesar de su distinto origen, en la práctica ambas corporaciones sirvieron de plataforma institucional que resultó fundamental para llevar adelante la organización y administración de las políticas y recursos asignados para el desarrollo de planes de reconstrucción edificatoria y urbana. La CORFO, cuya vigencia y operatividad hasta el presente, se debe al hecho de que estuvo pensada ya en sus inicios como un estamento de fomento en el largo plazo; mientras que la de Reconstrucción y Auxilio, tuvo un carácter transitorio al servicio de la emergencia.

Interesa en este trabajo, relevar algunos alcances que, por lo general, no han sido tratados en profundidad ni tampoco analizados en relación con el proceso de normalización de las construcciones, el perfeccionamiento de la Ordenanza General, y la transformación de la arquitectura en Chile. Uno de esos alcances se materializó en la fundación de algunas instituciones patrocinadas por la Corporación de Fomento de la Producción, como el Instituto de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (Inditecnor), oficializado legalmente en 1945. La Universidad Católica, que para 1938 ya contaba con el Instituto de Investigaciones de Materiales en la Escuela de Ingeniería, una vez creada la CORFO, forjó una alianza que derivó en la reconversión del Instituto en la Dirección de Investigaciones Científicas y

⁴ Ver Carvajal, David, *Institucionalidad nacional y la catástrofe de Chillán. La Corporación de Reconstrucción y Auxilio en la reconstrucción de Chillán (1939)*, Tesis de Magister, Instituto de Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, agosto 2011.

Tecnológicas (DICTUC) en 1947⁵. Por su parte, en la Universidad de Chile se creó el Instituto de Estabilidad Experimental (1941)⁶. Todas estas unidades estaban orientadas, entre otras cosas, al estudio, perfeccionamiento y control de calidad de los materiales de construcción, en obras de arquitectónicas y de infraestructura.

Parte de los fundamentos que nutrieron el proceso de normalización y los ajustes regulatorios de la Ordenanza, fueron obtenidos a partir de los informes técnicos desarrollados por diversas agrupaciones profesionales. Estos documentos tuvieron como objeto identificar, evaluar y analizar las construcciones que quedaron en pie; las dañadas –en diversos grados–; y las que colapsaron por completo. Las entidades y agentes que designaron las comisiones, el rol y perfil de sus integrantes, y las consecuencias o alcances que tuvieron en las instancias oficiales, son también una parte medular y necesaria para comprender en un sentido más amplio, el proceso de corrección de la Ordenanza.

Por otro lado, el historial jurídico a través del cual se llevó adelante la tramitación legislativa, representa también una fuente de interés. La revisión de los sucesivos decretos permite obtener antecedentes clave en el ámbito institucional y profesional. En ellos, se reportan discusiones divergentes sobre los criterios adecuados que debía contener la nueva Ordenanza, y se registran las tensiones que atravesaron las diversas instancias de tramitación. Aquí, el rol de los arquitectos e ingenieros, ya sea en el ámbito de las comisiones como en las agrupaciones gremiales, fue un factor importante.

El capítulo finaliza con el análisis en detalle de los artículos atinentes a la materia de estudio, colocados en perspectiva de indicadores de un proceso de transformación mayor de la cultura técnica y material en Chile (Torrent, 2013), que de acuerdo a la línea de análisis que propone esta investigación, contribuyeron al proceso de transformación de la arquitectura local en el período comprendido en esta fase (1936-1949). La identificación de los principales cambios teóricos y conceptuales en el campo del fenómeno sísmico, cálculo de estabilidad, y más generalmente, en la normalización de la edificación, proporcionan los recursos de análisis a través de los cuales serán estudiadas obras específicas de arquitectura, examinadas en función de los lineamiento trazados que convergieron en una determinada y particular forma edificada. En este sentido, se desprenden preguntas tributarias al tópico de investigación, la primera de las cuales implica el reconocimiento del impacto que tuvieron (parte) de las indicaciones y restricciones contenidas en la nueva Ordenanza y de qué modo fueron recogidas (o no) en

⁵ Fuente: www.dictuc.cl

⁶ Fuente: <http://www.fau.uchile.cl/departamentos/construccion/63901/resena-historica>

términos proyectuales, morfológicos y técnicos en la obra. Asimismo, se intenta en el presente capítulo, filtrar y segregar las cuestiones que, por alguna causa determinada, hayan tenido un impacto marginal en este proceso. Establecer estos factores y colocarlos en relación a un objeto y hecho arquitectónico será pues, parte del trabajo de la serie y análisis arquitectónico concentrado en el capítulo que sigue al presente.

Medición y corrección de la Ordenanza General: Comisiones, informes técnicos y el reconocimiento de la regulación sismorresistente: Con solo tres años de vigencia, la última Ordenanza modificada (1936), fue sometida a prueba con una de las catástrofes más cruentas registradas en Chile durante el siglo XX. En este sentido, lo que estuvo en juego fue, entre otras cosas, la pertinencia, eficiencia y legitimación de la Ordenanza General de Construcciones como instrumento regulador y preventivo de la destrucción. La medición de su eficacia quedó metodológicamente establecida, de Perogrullo, por la observación y análisis comparativo entre las construcciones edificadas al margen de la Ordenanza de aquellas ajustadas a las disposiciones vigentes. Ambas realidades fueron evaluadas bajo los mismos parámetros que el propio estado de ruina puso en evidencia, como defectos en la ejecución. Esta carencia pudo ser apreciada, de cualquier modo, incluso en edificios construidos supuestamente bajo los estándares contenidos en la Ordenanza, lo que da cuenta, del rezago en una cultura material (Torrent, 2012) carente de métodos rigurosos.

La ruina, el reemplazo en los tipos de construcciones y sus técnicas, y en general los procesos relacionados la materia arquitectónica, son procesos parciales y desarrollados paulatinamente en el tiempo. En este sentido, la Ordenanza no fue la representación del reemplazo radical de un orden formal, constructivo y técnico por otro, sino un factor más al interior de un proceso a lo largo de décadas; en este estudio en particular, concentrado en el segundo tercio del siglo XX. De este modo, se pueden mencionar dos elementos que contribuyen a ponderar la complejidad del estado de las ciudades y sus construcciones, que expuestas a la catástrofe sísmica, pasan a ser, en cierto modo, reflejo instantáneo de un momento determinado.

Hacia 1939 los centros urbanos de la zona central en Chile concentraban un número considerablemente mayor de *viejas* construcciones, edificadas con anterioridad a 1930. Esta situación no supone, sin embargo, a priori, la ausencia de construcciones resistentes sísmicamente. Experiencias anteriores en la historia de los terremotos en Chile así lo confirman. Tales casos constituyen excepciones que pudieron resistir las vibraciones gracias a la experiencia empírica y soluciones adoptadas como resultado de ensayos a prueba y error, carentes de método científico y sentido planificador.

Para comienzos del siglo XX (1900-30), a diferencia de las construcciones privadas, los edificios públicos ya contaban con parámetros de edificación y lineamientos técnicos orientados a la estabilidad y calidad de las obras (Especificaciones Técnicas para la Construcción de Edificios Fiscales⁷). Esta situación supuso el rezago de los edificios particulares en materia de regulación, lo que sumado al hecho que constituían el grueso de las unidades al interior de los centros urbanos, desembocaron en una de las principales razones que impulsaron la regulación legal de las construcciones a nivel nacional⁸.

A consecuencia de la catástrofe, se elevaron un conjunto de informes técnicos⁹ comisionados por diversas entidades. En su mayoría, dieron cuenta del estado ruinoso de los centros urbanos y aproximaron estimaciones que aún no estaban del todo claras, como por ejemplo, lo relativo al efecto del sismo desde su epicentro, la propagación de las ondas, las diferencias identificables en función del tipo de suelo y, en consecuencia, el efecto posterior en las construcciones. Los informes contribuyeron además a establecer conclusiones obtenidas mediante la observación en terreno y la interpretación científica, volcadas posteriormente en forma de recomendaciones de modificación de la Ordenanza, algunas de las cuales fueron incluidas en el texto definitivo de 1949.

El informe más relevante, por su carácter vinculante e interdisciplinario, fue el redactado por la Comisión Gubernativa, designada directamente por la autoridad. Esta Comisión, integrada principalmente por ingenieros y arquitectos, confeccionó un exhaustivo documento en el cual se consignaron interpretaciones respecto a los diversos alcances que tuvo el evento sísmico. Asimismo, proporcionó líneas interpretativas en torno a la relación que hubo entre el sismo, el suelo, conceptos de estabilidad y cálculo, y la constitución estructural y material de los edificios examinados, que incluyó a los que resultaron derrumbados, dañados y en buenas condiciones.

Este informe fue difundido en dos medios profesionales. Primero, en los Anales de Instituto de Ingenieros de Chile¹⁰ en 1940, un año después de su

⁷ Ministerio del Interior, Dirección General de Arquitectura. Especificaciones Técnicas para la Construcción de Edificios Fiscales. Hasta el momento, se han identificado dos publicaciones de este documento. La primera, editada en Imprenta Continental, Santiago, 1928; y la segunda, en 1930. Entre ambas difieren un conjunto de modificaciones introducidas con posterioridad al Terremoto de Talca.

⁸ Al respecto, la comisión Larraín, Valdés y Valdivieso, propusieron la integración reguladora en un solo texto reglamentario, sin diferenciación por estatus de la propiedad. Argumentaron en este sentido que, no obstante la regulación a que debían estar sujetos, un número importante de edificios fiscales amenazaban ruina al estar edificados con sistema de albañilería de la ladrillo sin refuerzo (Clase G de la OGCU), los cuales “han fracasado y espectacularmente aún en el caso de encontrarse pegados con mezcla buena y amarraz de fierro.” (Larraín, et. al., 1939. En: Urbanismo y Construcción 2 (01), mayo, 1939:7).

⁹ Se ha logrado recopilar a la fecha seis documentos. Pero no se puede descartar la existencia probable de un número mayor. Por ejemplo, estudios elaborados de forma independiente por sociedades privadas, como compañías de seguro, industrias vinculadas a la construcción, u otras. Sin embargo, ello no resta validez al material aquí disponible, pues hace posible un estudio comparado entre ellos y los distintos puntos de interés que cada uno de ellos pueda aportar, en esta, u otras materias. El contraste entre éstos ha permitido también identificar divergencias y opiniones encontradas respecto a un mismo tema.

¹⁰ del Canto, H., Godoy P., P., Aguirre P., E., Muñoz S., J., & Ibáñez V., J. (2014). Informe de la Comisión Gubernativa sobre los efectos producidos por el terremoto de enero 1939 (Conclusión). *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, 0(12), Pág. 434-446. Recuperado de <http://www.anales-ii.ing.uchile.cl/index.php/AICH/article/view/35613/37291>

elaboración (junio de 1939). Y el segundo, recogido en el Boletín del Colegio de Arquitectos en la edición de julio de 1944. Aunque en lo sustancial se trata del mismo documento, ambas ediciones acusan algunas diferencias. Mientras que en el Boletín incluyó una breve reseña histórica de los principales terremotos que han asolado al país, la versión del Instituto incluyó un mapa de la zona afectada. El área comprendió entre las ciudades de Talca (interior) y Constitución (costa) por el norte; y Angol (interior) y Lebu (costa) por el sur. La información allí contenida sintetiza grosso modo, el área geográfica que concentró los efectos más importantes; la localización de los principales centros urbanos; la identificación aproximada de los períodos geológicos y la constitución del suelo por zonas; el delineamiento de las fallas estimadas; y la distribución de los índices porcentuales de destrucción, referenciadas a la escala Mercalli (modificada), con los valores de intensidad entre los grados VIII y X (**fig. 3.1**).

El artículo de los Anales consigna, a diferencia del anterior, los coautores del citado informe, integrados en su mayoría por ingenieros, prácticamente todos de la Universidad de Chile: Hermógenes del Canto, Pedro Godoy, Eduardo Aguirre S., Jorge Muñoz Cristi y Julio Ibáñez¹¹. Se trató pues, de un grupo de profesionales que, a la larga alcanzaron altos cargos académicos y distinciones profesionales y que integró diversas visiones: desde la arquitectura, la ingeniería, la geología y sismología.

En cierto modo, este documento fue un antecedente fundamental, al que concurrieron –directa o indirectamente– otros informes elaborados por otras vías institucionales. Todos ellos en conjunto, contribuyeron en último término al estudio de los problemas y soluciones relacionados con la planificación urbana, la vivienda y la higiene, y por sobre todo, sobre aquellos derivados de la destrucción sísmica. En gran parte de los informes hubo en coincidencia en el diagnóstico de los daños y estado general de las construcciones y las causas probables. También hubo convergencia en la inconveniencia y riesgo que representaban las construcciones fabricadas en albañilerías simples y adobes. La madera, no obstante sus propiedades elásticas (constitución fibrosa) y buen desempeño a la tracción, representó riesgos por incendios, peligro potencial en estados de destrucción y ruina posterremoto, como fue el caso de Valparaíso y San Francisco (Estados Unidos), ambos acaecidos en 1906.

¹¹ H. del Canto, arquitecto, profesor y primer decano de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, 1944. En: www.fau.uchile.cl. Eduardo Aguirre Solís, ingeniero, fundador y presidente de la Asociación de Ingenieros de Chile. Profesor de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile. En: www.ingenieros.cl. Jorge Muñoz Cristi (n. La Serena, mayo 1898; f. 1967) Se tituló de ingeniero de minas en la Universidad de Chile en mayo 1929. En la Facultad se desempeñó como profesor de Geología a partir de 1943. Fue Director del Instituto de Geología y secretario de la Facultad en 1952. En: <http://ingenieria.uchile.cl/>. Julio Ibáñez Valenzuela, ingeniero y primer director del Instituto de Estabilidad Experimental (1942), dependiente de la Escuela de Arquitectura de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile. En: <http://www.fau.uchile.cl>. No se ha encontrado antecedentes sobre Pedro Godoy.

Como se mencionó anteriormente, la interdisciplinariedad de los integrantes fue uno de las principales cuestiones que este informe proporcionó, y que quedó reflejado en los métodos empleados, en los datos recabados y sobre todo, en el cruce de los factores y datos recabados. Así, los efectos de destrucción fueron analizados en función de la estimación de la intensidad del sismo (escala Mercalli modificada); las zonas identificadas; los tipos y condiciones de suelos inferidos; y el tipo material y constructivo de la edificación.

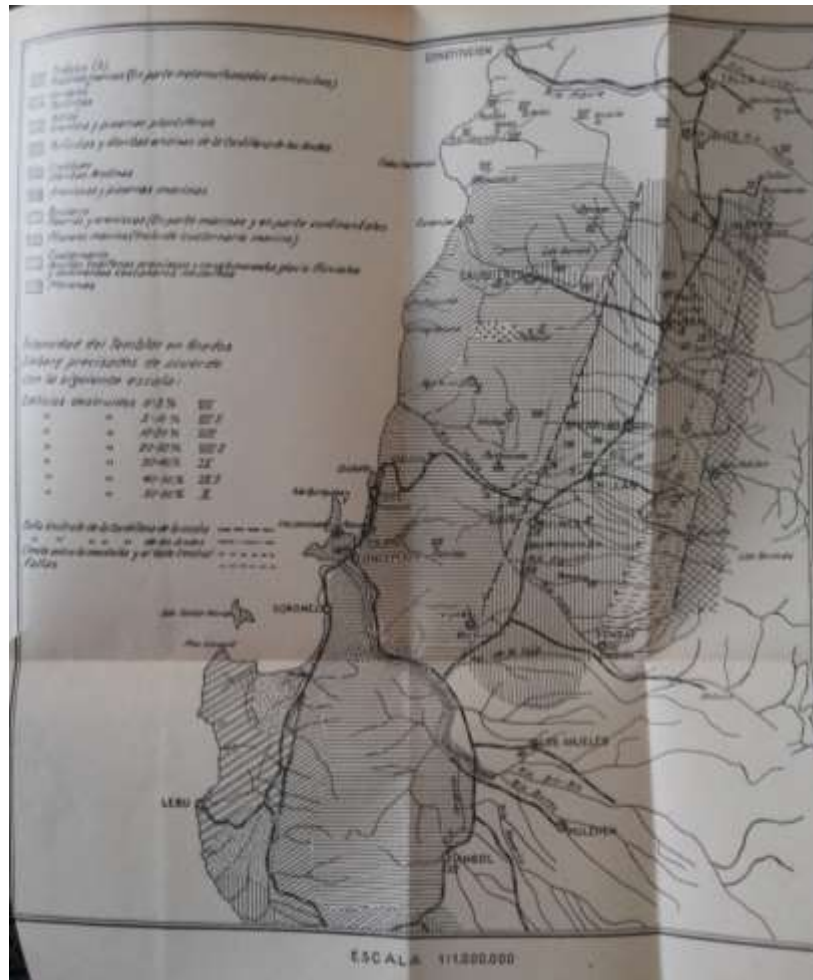


Fig. 3.1. Mapa del temblor en grados Sieberg. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, 1940.

Un examen en detalle de las estadísticas consignadas en el informe evidencia con claridad, que los edificios estructurados en hormigón armado y albañilería reforzada, opusieron una efectiva resistencia, del mismo modo en que aquellos sin ningún tipo de “amarra” o refuerzo, resultó parcial o totalmente vulnerable. Como Chillán fue la ciudad con mayor tasa de muertes y grado de destrucción, resulta pertinente referir algunas cifras. Las casas permanecieron en “buen estado” representaron tan solo un 3%, equivalente a 93 unidades; el 56% quedaron en ruina o semidestruidas. El

41% restante presentó algún tipo de daño, pero que en opinión de los expertos, no amenazaba derrumbe. (Boletín del C. A., 1944:95).

Además de la ruina observada en las ciudades afectadas, uno de los puntos más relevantes contenido en el documento de la Comisión Gubernativa, fue la indicación que estimó necesaria la inclusión de los tipos y calidades de suelos de fundación en el método de cálculo de estabilidad, pues se estimó un factor esencial en el desempeño sismorresistente. Esta cuestión, sumada a la concepción del fenómeno sísmico en función a la amplitud y el desplazamiento de las ondas, traducidos a valores numéricos, fueron aportes esenciales para el cálculo estructural. Así lo argumentaba entonces la Comisión al decir que “[s]e ha comprobado que las ondas sísmicas de mayor aceleración no son las más destructoras y que la amplitud y periodo juegan un papel importante.” (Boletín del C. A., 1944:90). Sobre esta misma arista problemática, se agrega más adelante, que “[l]a Comisión ha hecho esfuerzos por determinar indirectamente la aceleración, la amplitud y el período de la onda representativa del temblor (...) [sin embargo], hasta ahora no ha sido posible llegar a resultados concluyentes.” (Boletín del C. A., 1944:102). No obstante ello, propusieron valores estimados para una aceleración de 1 y 2 metros por segundo; 4 a 6cms. de amplitud; y un período entre 1 y 2 segundos. A juicio de los profesionales, “las diferencias de los períodos propios de vibración de los terrenos de sectores bastante vecinos (...), podría explicar el diverso grado de destrucción de manzanas contiguas.” (Boletín del C. A., 1944:102). Mediante esta observación y el cálculo estimado, se destacaba la importancia del suelo y la medición cuantitativa de la onda dinámica.

En este sentido, el método y el criterio de medición del sismo resultaron fundamentales, no sólo como medio de registro y dato sustancial para los estudios particulares en la sismología, sino como factor cuantificado del fenómeno mediante el cual, sería posible un diseño edilicio efectivo en un escenario supuesto bajo ciertos parámetros definidos por un evento sísmico. Parte de esta contribución se tradujo en la determinación (aproximada) de los rangos (máximos y mínimos) de intensidad en los que puede fluctuar un determinado evento sísmico y, en consecuencia, los índices teóricos máximos para los cuales un cierto diseño debía oponer resistencia. Aspecto relevante no sólo desde el punto de vista del diseño (arquitectónico y estructural), sino que también como variable económica de la obra.

Un ejemplo de lo anterior, se pudo observar con el registro del terremoto de 1923 en Japón, considerado durante la primera mitad del siglo XX el “más grande de la historia” y que alcanzó un desplazamiento de 8,86cms. (el doble de la amplitud) y un período de 1,35 segundos (Aguirre, 1939:356). En efecto, la experiencia de Japón fue importante para la sismología por haber sido el primer evento medido y registrado, pero lo fue también para las

investigaciones en torno a la resistencia sísmica, pues estableció un techo aproximado de valores máximos estimados para un gran terremoto, como ese.

Aunque los hechos demostraron lo contrario, la Comisión estimó entonces que, de acuerdo a la escala Sieberg (también llamada Mercalli modificada), el terremoto de Chillán había alcanzado una intensidad considerada “suficiente como base de cálculo de futuras construcciones (...), ya que ha sido muy raras veces sobrepasado.” Un rango mayor, a su juicio, habrá representado “exceso de seguridad [lo que] podría ser muy gravoso para la construcción.” (Boletín del C. A., 1944:98). Dieciséis años después, el cataclismo de Valdivia no sólo echó por tierra esa hipótesis, sino que sobrepasó ampliamente la estimación de la energía máxima podía liberar un evento sísmico¹².

El vínculo entre las obras de infraestructura, particularmente los puentes, y la arquitectura ha sido en el caso de Chile, un tópico prácticamente ignorado en la historiografía. La conexión entre ambas estuvo ligada principalmente por el efecto destructor de los terremotos, y se manifestó en tres áreas. La primera de ellas fue el traslado de los métodos de cálculo para puentes estructurados en hormigón armado. Una vez que el concreto armado se posicionó -en los ámbitos profesionales y técnicos- como material sísmicamente idóneo (principio de resistencia por rigidez), sumado al perfeccionamiento de los métodos de cálculo, su aplicación en los edificios fue difundida progresivamente y con ello se conformó un segundo campo de conexión y transferencia. La tercera, en tanto, fue la inclusión adaptada de los criterios de diseño establecidos para dicho tipo de obras públicas, en la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, ya desde su primera edición de 1930. Figura clave en la transferencia aplicada entre ambas ramas de las obras fue Julio Ibáñez, profesor de Puentes en la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad de Chile y actor protagónico en la confección del texto sísmico regulador.

La relación de los puentes con la arquitectura en Chile fue expresión durante este período, y ya con anterioridad (aproximadamente desde el tercer tercio del siglo XIX), del carácter multidisciplinar del campo de convergencia determinado por el fenómeno sísmico. En efecto, fue la necesidad de prevención de la destrucción la que, en parte, condujo a transferencias de estudios, experiencia empírica, adelantos tecnológicos y aproximaciones teóricas, principalmente desde la ciencia del diseño estructural de los puentes hacia la arquitectura. Ambos tipos de construcciones, si bien

¹² Cabe recordar que la catástrofe de 1960 fue una serie de tres grandes terremotos sucedidos el 21 de mayo, 7,3° (Ms) Richter; al día siguiente, un segundo de la misma magnitud; y un tercero, más violento que los anteriores, de 8,5° (Ms) / 9,5° (Mw) Richter, ocurrido a las pocas horas que el anterior.
Fuente: www.sismologia.cl

responden a lógicas físicas distintas¹³, debieron hacer frente (en Chile) a un mismo problema común, que convergente en el suelo de fundación, la acción sísmica y las posibles soluciones constructivas y materiales capaces de oponer resistencia al daño severo o el colapso.

El análisis de los puentes examinados por la Comisión, si bien acotado por ser “obras cuyos proyectos y construcción están en manos de técnicos experimentados”, representó en lo fundamental, dos aportes en materia de construcción edilicia. Por una parte, “que la experiencia comprueba la validez de los procedimientos usuales de cálculo (teoría de las vibraciones)...” (Boletín del C. A., 1944:108), en los cuales se distinguía la rigidez y elasticidad material y estructural, en función de la aceleración y el período. Y por otra, que independientemente al comportamiento de la estructura del puente, las fracturas o fallas del terreno en el que se asienta pueden producir daños serios e incluso el colapso.

El rigor en el diseño –estructural y arquitectónico- en edificios en hormigón armado, se desenvolvía aún en un ámbito donde la fiscalización del proceso proyectual y de la ejecución de las obras carecía de medios efectivos de control. Esta deficiencia se manifestó en las capacidades limitadas de las municipalidades, en particular del Director de Obras, por hacer cumplir las disposiciones regulatorias. Así, finalmente quedó en manos del debido ejercicio profesional de ingenieros y arquitectos, basado en un principio de responsabilidad ética antes que un juicio punible. Es justo señalar, sin embargo, que la mayor de las veces el trabajo de los profesionales fue riguroso y esmerado en prevenir, con los medios que se disponía, la destrucción sísmica. No obstante, ambas cuestiones ponen de manifiesto que los procesos de control que recaían en el Estado, a través de los municipios, estaban aún en un proceso de conformación y consolidación condicionada a una infraestructura carente de la dotación de personal idóneo y calificado que permitiera velar efectivamente por el cumplimiento de la Ordenanza. Esta es una de las razones por las cuales los informes aquí revisados, enfatizaron en su momento la necesidad de asegurar la efectiva implementación de la Ordenanza por medio de una fiscalización en verdadero ejercicio.

Si una parte importante de la destrucción producida por el terremoto de Chillán fue atribuida al sistema constructivo de albañilería simple y adobe, una segunda causa (descontando el factor del subsuelo y la amplitud de

¹³ Mientras que la función de los puentes responde a una lógica de conectividad territorial (infraestructura de caminos y puentes, la construcciones edilicias lo hacen para satisfacer necesidades relacionadas con el habitar. Técnicamente en tanto, y como señala Nancy Dembo, “[el] aspecto que concierne a la ligereza de la estructura tiene mayor potencial en las construcciones que tienden a la horizontalidad, que aquellas cuya tendencia es la verticalidad (...) [donde] en el diseño de puentes resulta (...) una ventaja muy tentadora el disminuir el peso propio de la estructura, ya que, en su condición de plataforma horizontal sometida a la flexión, una mayor carga se traduce en mayor deformación, que es exactamente lo que se desea evitar.” (Dembo, 2003:110).

onda) fue vinculada a los problemas identificados en la ejecución defectuosa de obra. Esta deficiencia abarcó todas las clases de construcción, incluido el hormigón armado. Dicha situación fue un indicador que contribuyó a dimensionar que los alcances de los sismos excedían las propiedades de los sistemas constructivo y material, algo que si bien se sabía con anterioridad, el terremoto de 1939 lo puso de manifiesto. Una de las consecuencias derivadas de lo anterior, repercutió en la validación del hormigón armado como material sísmicamente idóneo por sus propiedades físicas que mostraron eficiencia y resistencia, en conjunto con la relevancia del diseño arquitectónico-estructural y el estándar de calidad necesario para garantizar rangos de seguridad adecuados. Aunque tales criterios no fueron exclusivos del hormigón armado –pues son extensibles a otras técnicas de construcción- su naturaleza material y la posibilidad de control de calidad en la misma obra bajo la responsabilidad de los profesionales involucrados, permitieron una mayor fiscalización del proyecto y ejecución de la obra.

En este sentido, la casa comercial de la compañía británica Williamson Balfour en Concepción (**figs. 3.2, 3.3**) y uno de los pabellones de la Fábrica Bellavista en Tomé, fueron casos importantes, porque habiendo sido edificios recientes –al momento del sismo- erigidos en hormigón armado, no opusieron mayor resistencia a las vibraciones y sucumbieron por completo. Al respecto hubo dos aproximaciones que atribuyeron causas distintas al colapso. En opinión de los ingenieros Julio Ibáñez y Pedro Godoy, durante la visita realizada en calidad de integrantes de la Comisión Gubernativa, el derrumbe se produjo por la amplificación de las ondas derivadas del efecto de resonancia, es decir, la coincidencia del “período de vibración del suelo con el período propio de una construcción” (Aguirre, 1939:355) cuyos valores fueron estimados “entre uno y dos segundos, [que en el caso del (...)taller de hilandería de la Fábrica de Paños de Tomé (1,05seg.) resonaron con las ondas principales del temblor, (...) derrumbándose enteramente (...).” (Boletín C.A., 1944:108). La evaluación en el caso de la firma británica, estimó que su colapso se debió a “notorios defectos” (Aguirre, 1939:362) presentes en la factura del concreto armado.

En opinión de la comisión designada por la Asociación de Arquitectos, integrada por los arquitectos Sergio Larraín, Ignacio Tagle y Mario Valdivieso, y el ingeniero Carlos Infante, la destrucción fue vinculada a fallas de diseño estructural en conjunto con la mala calidad material empleado, donde se pudo “establecer [que] en ambos casos [W.B. y Bellavista] (...) [el] concreto armado se encontraba ejecutado en malas condiciones (...), como en especial de cálculo. Los pilares de ambos no estaban calculados para esfuerzos de temblores. En ambos establecimos mala calidad de arena, pobreza de mezcla, fierros no doblados, falta de amarras en fundaciones y cálculo hecho para condiciones estáticas normales. Las losas y vigas no se disgregaron a pesar del derrumbe.” (Larraín et. al, 1939:6).

Aunque el material del que se dispone es limitado, el pabellón de la fábrica Bellavista merece un breve análisis en lo que respecta al tipo de solución espacial y estructural empleado en planta. De acuerdo al registro fotográfico, y complementado con las observaciones volcadas en los informes citados anteriormente, se trataba de la conformación de un cuerpo rectangular, con salientes en los costados (**figs. 3.4, 3.5**), y con un interior en tres niveles. El volumen consistía a grandes rasgos, en una caja con fachadas murarias con ventanas, separadas entre sí regularmente por muros, en cuyos ejes (normales a las fachadas), descargaba un sistema de vigas. La planta libre del interior, estaba estructurada con un sistema compuesto por una losa superior, un entramado de vigas maestras y secundarias, y pilares intermedios colocados en los nodos de intersección de las vigas (**figs. 3.6, 3.7**).



Figs. 3.2, 3.3. Edificio de la Compañía británica Williamson Balfour, Concepción, 1939.
Fuente: <http://www.archivohistoricoconcepcion.cl/>; Colección Museo Histórico Nacional. En: Terremotos en Chile, Valparaíso, Chillán, Valdivia, Museo Histórico Nacional, Origo Ediciones (Impreso en China), 2009, p. 74.

En opinión de la Comisión encabezada por Sergio Larraín, el colapso del edificio se debió en lo fundamental, al empleo de un criterio de diseño estructural fundado en el método estático que no consideró la acción sísmica. Tal como se observa en las fotografías del interior (tomadas previas al terremoto), se trataba de plantas estructuradas mediante un sistema simple de pilares y vigas, que prescindiendo de elementos rigidizantes (ya sea en forma de diagonales o muros de arriostramiento), propiciaron su derrumbe (**figs. 3.6, 3.7**).

Independientemente a las razones que explicaron el colapso estructural de estos edificios, los argumentos e interpretaciones contenidos en cada caso proyectaron dos criterios de análisis distintos, complementarios y no excluyentes entre sí. En efecto, no se puede descartar el hecho de que en ambos edificios hayan confluído factores externos, como la resonancia, e internos, como un deficiente desempeño sismorresistente, que sumados, condujeron al colapso. La cuestión de fondo que encarnan ambas posturas, se relaciona con una parte del proceso de racionalización del fenómeno

sísmico y la destrucción. Así como los ingenieros Ibáñez y Godoy centraron su hipótesis en causas físicas de la acción de la acción sísmica y el comportamiento reactivo de una construcción determinada y delimitada por ciertas condiciones particulares; los arquitectos lo hicieron específicamente en las cualidades estructurales y materiales del cuerpo edificado sometido a una fuerza determinada. El objeto en ambos casos es distinto, pero están inexorablemente ligados. Dichas aproximaciones representan uno de los rasgos distintivos de la Ordenanza en sus distintas versiones, y en particular, en relación a las rectificaciones de que fue objeto entre 1939 y 1949.



Fig. 3.4. Conjunto Fábrica de Telas Bellavista, Tomé, VIII Región, Chile, hacia 1935. Vista parcial a vuelo de pájaro.

En: Alejandro Cortés, et. al. *Bellavista Oveja Tomé. Una Fábrica en el tiempo*. p. 22.

Fig. 3.5. Conjunto Fábrica de Telas Bellavista, Tomé, VIII Región, Chile, 1935. Detalle del pabellón que sucumbió al terremoto de 1939. En: Alejandro Cortés, et. al. *Bellavista Oveja Tomé. Una Fábrica en el tiempo*. p. 22.

La Comisión Larraín-Valdivieso-Valdés (**fig. 3.11**) estimó necesario proponer algunas modificaciones a la Ordenanza, en función a los análisis de los edificios y ciudades afectados por la destrucción. Una de estas medidas fue que la prohibición de ejecución de trabajos de reparación en las construcciones dañadas, debido al riesgo que suponía conservar un inmueble de sistema constructivo y materiales obsoletos para los estándares de entonces. En conjunto con lo anterior, promovieron la aplicación retroactiva de las disposiciones reglamentarias a la edificación construida con anterioridad a la promulgación y vigencia de la Ordenanza. Por medio de esta acción, se pretendía prevenir un eventual colapso estructural de edificios históricos, como iglesias u hospitales, a la vez que “ir eliminando la edificación defectuosa (...) y prever futuras catástrofes...” (Larraín, et. al., 1939. En: *Urbanismo y Construcción* 2 (01), mayo, 1939:9). Esta iniciativa, que por razones jurídicas¹⁴ no fue recogida en las modificaciones posteriores, se fundamentaba en el hecho de “que no menos de un 90% de

¹⁴ Por su naturaleza legal y jurídica, una disposición legal determinada no puede ser aplicada retroactivamente. Por ello, la fecha de vigencia y publicación de los textos legales cobran importancia al establecer la fecha de inicio de su aplicabilidad.

la edificación de la zona afectada y del país (...) ha sido hecho con anterioridad o con prescindencia de la Ordenanza General de Construcciones (...) [y donde] hemos comprobado que el cumplimiento de la Ordenanza garantiza perfectamente la asimicidad [sic] de la edificación...” (Larraín, et. al., 1939. En: Urbanismo y Construcción 2 (01), mayo, 1939:8). Esta moción, además de reforzar la validez de la Ordenanza y la importancia que representaba contar con un instrumento regulador de las construcciones a escala nacional en consonancia con los otros informes, acusaba de paso la coexistencia de realidades dispares al interior de las ciudades, principalmente en relación a la prevalencia de construcciones vulnerables y riesgosas y paralelamente, en desmedro de edificios construidos con estándares contemporáneos y de mejor calidad constructiva y material. Para entonces, estos últimos representaban un índice marginal en el universo de edificaciones urbanas. De cualquier modo, si bien esta postura alentaba la consolidación de la Ordenanza, no excluyó por ello la necesidad de contar con revisiones críticas y su puesta al día periódicamente.



Figs. 3.6, 3.7 Interior pabellón, transporte sacos de algodón; sala de telares. En: Alejandro Cortés, et. al. Bellavista Oveja Tomé. Una Fábrica en el tiempo.9, p. 74.



Figs. 3.8. Vista del pabellón destruido, posterior a la catástrofe de 1939. Fuente: Boletín Industria de la Sociedad de Fomento Fabril, febrero de 1939. En: Alejandro Cortés, et. al. Bellavista Oveja Tomé. Una Fábrica en el tiempo.

En una escala más amplia, esta misma Comisión hizo ver también la necesidad de abordar la “Planeación Territorial y los Planos Reguladores a lo largo del país” (Larraín, et. al., 1939. En: *Urbanismo y Construcción* 2 (01), mayo, 1939:9) no sólo en términos de prevención sísmica, sino que también como un problema urbano con alcances de orden nacional. El problema de la planificación territorial y urbana fue parte de los tópicos presentes en la agenda política y profesional y que fue canalizado como parte de la prevención de la destrucción, aunque como una arista secundaria. De todos modos, la comisión integrada por los arquitectos Santiago Aguirre, Jorge Aguirre y Enrique Gebhard, que también concurrieron a la zona devastada, hicieron énfasis en la necesidad de poner en marcha políticas orientadas a la elaboración de planes urbanos reguladores, tema que venían trabajando con anterioridad a la catástrofe. El informe de esta comisión fue presentado pocos días después del terremoto (11 de febrero de 1939), a instancias del Instituto de Urbanismo y su presidente interino, Fernando de la Cruz, subrogante del arquitecto Ricardo González¹⁵ (Vera, Carrasco, 2012:25). Este informe, cuyos contenidos fueron sintetizados en forma concisa, dio cuenta del estado generalizado de emergencia apreciable en las ciudades y, en particular, de una población damnificada y desprotegida. El conjunto de propuestas formuladas por Gebhard y los Aguirre, aunque generales y algo vagas en cuanto a su efectiva aplicabilidad, subrayaron la necesidad de hacer

¹⁵ Sobre la conformación de las Comisiones y los diversos informes que se ha logrado recopilar en este trabajo, se presentan a continuación, algunas precisiones. Por un lado, Eliash y Moreno sostienen que concurrieron a la zona de la catástrofe, un “grupo (...) [de] 25 arquitectos y egresados, la mayoría de la U. de Chile entre los que se contaban, Enrique Gebhard, Santiago Aguirre, Inés Frey, Inés Floto, Francisco Aedo, Luz Sobrino, Jorge Soza, Jorge Mosquera, entre otros.” (Eliash, Moreno, 1986:35). En: *Revista ARQ* N° 11, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Arquitectura, Santiago, mayo, 1986.

Además de los mencionados arquitectos, Vera y Carrasco agregan a la lista, los siguientes nombres: Jorge Aguirre S., Juan Romo, José Dvoredsky, Edmundo Ganter, Jorge González, Carlos Urzúa, Fernando Moscoso, Jaime Rodríguez, Gustavo Holmberg, Walter Müller R., Florencio Correa, Tomás Reyes V., Rafael Pení, Francisco González, Eugenio Balmaceda, Orlando Rojas, Danilo Luksic, Carlos Joannon, Alfredo Ganter y Francisco Sánchez.

Por otro lado, y de acuerdo a las personas individualizadas en la publicación de los cinco informes que se dispone a la fecha, se ha logrado establecer un número total de solo doce nombres.

En cuanto a los informes, tres de ellos están firmados por personas del grupo de los 25, nominado por la Asociación de Arquitectos. Un primer documento suscrito por Santiago Aguirre, Jorge Aguirre S. y Enrique Gebhard; un segundo, firmado por Rafael Pení, que incluye a “los señores González y Balmaceda”, refiriéndose probablemente a Francisco González y Eugenio Balmaceda. Y un tercero, firmado por Gabriel Ovalle, Miguel Dávila, Eduardo Zegers, Tomás Reyes, Jaime Rodríguez y Carlos Joannon. De estos seis, solo los tres últimos figuran en el listado aportado por Vera y Carrasco.

En total, incluyendo los profesionales mencionados por Eliash y Moreno; Vera y Carrasco; y los referidos en los propios documentos –no incluidos– suman 31 personas.

Adicionalmente, hubo dos Comisiones independientes a las anteriores: el grupo integrado por Sergio Larraín, Ignacio Tagle Valdés y Mario Valdivieso, con la asesoría del ingeniero Carlos Infante (Covarrubias e Infante ingenieros), también nominada por la Asociación de Arquitectos; y la Comisión Gubernativa, designada oficialmente por la autoridad y conformada por un grupo heterogéneo de profesionales.

A continuación se detalla una nómina aproximada del grupo de arquitectos en relación a los informes emanados y firmados por sus integrantes:

Informe de Informe de los arquitectos señores: Sergio Larraín g. M., Ignacio Tagle y Mario Valdivieso.

Enrique Gebhard, Santiago Aguirre, Jorge Aguirre S.

Informe sobre el viaje de inspección a la parte de la zona el viaje de inspección a la parte de la zona asolada por el terremoto del 24 de enero de 1939: Parral, Cauquenes, San Carlos, Chillán. S/a.

Rafael Pení, Francisco González, Eugenio Balmaceda.

Informe de los arquitectos señores: Miguel Dávila, Jaime Rodríguez, Gabriel Ovalle, Eduardo Zegers, Tomás Reyes, C. Joannon, Gabriel Ovalle, Miguel Dávila, Eduardo Zegers, Jaime Rodríguez, Tomás Reyes V., Carlos Joannon.

Comisión de la Asociación de Arquitectos: Sergio Larraín García-Moreno, Ignacio Tagle Valdés, Mario Valdivieso.

Informe de la Comisión Gubernativa: Hermógenes del Canto (arquitecto-ingeniero), Pedro Godoy P. (s/d), Eduardo Aguirre S. (ingeniero), Jorge Muñoz Cristi. (ingeniero de minas, profesor de geología), Julio Ibáñez V. (ingeniero).

Listado de arquitectos mencionados por Eliash y Moreno; y Vera y Carrasco, sin referencia en los informes anteriores: Inés Frey, Inés Floto, Francisco Aedo, Luz Sobrino, Jorge Soza, Jorge Mosquera, Juan Romo, José Dvoredsky, Edmundo Ganter, Jorge González, Carlos Urzúa, Fernando Moscoso, Gustavo Holmberg, Walter Müller R., Florencio Correa, Orlando Rojas, Danilo Luksic, Alfredo Ganter, Francisco Sánchez.

frente al problema de las ciudades y la vivienda, apelando al rol central del Estado sobre el fomento de una política a mediano y largo plazo, la planificación territorial y urbana y la promoción de planos reguladores comunales. Alertaron además la probable despoblación de las ciudades ruinosas como consecuencia de potenciales olas migratorias de los sobrevivientes hacia otros centros urbanos, en especial la capital. Fenómeno que acarrearía, entre otras cosas, la agudización del problema de la vivienda en el país, cuestión presente con anterioridad en la agenda pública y social de entonces.

Concretamente, esta comisión propuso la elaboración de dos instrumentos de regulación, complementarios a la Ordenanza vigente. En materia de urbanismo, consultaban una Ordenanza específicamente orientada a la planeación urbana; y una tercera de carácter *estético* “que se refiere a la aplicación de las condiciones de asismicidad.” (Aguirre, S. et. al., 1939:9). Por medio de estos tres instrumentos reguladores, estimaban se podía hacer frente más cabalmente a los alcances que la destrucción sísmica implica.

Pero la cuestión de la planificación urbana y el problema de la escasez de vivienda en Chile fue un tema tratado previamente por estos arquitectos y cuya aproximación estuvo en consonancia con las ideas promovidas por Le Corbusier. Cuando el arquitecto suizo ofreció sus servicios para elaborar un plan de reconstrucción para Chillán y Concepción, encontró eco en Enrique Gebhard, Waldo Parraguez, Jorge Aguirre Silva y también Santiago Aguirre. Y aunque el esperado –por algunos- viaje de Le Corbusier no prosperó, hay dos cuestiones que interesan ser aquí relevadas. Primero, que los dos grupos antagónicos que se enfrentaron (a favor y en contra de la contribución de Le Corbusier), fue antes que nada la confrontación de dos visiones ideológicas de entender la ciudad, la arquitectura, la planificación y la estética de estos campos disciplinares, lo que puso en evidencia que los alcances que tuvo la destrucción de las ciudades tuvo repercusiones más allá de las puras cuestiones asociadas a la sismorresistencia edilicia y la planificación urbana. Y segundo, que las visiones al interior del cuerpo de arquitectos en formación, lejos de ser una sola línea unificada y colegiada, estuvo teñida por encuentros y confrontaciones respecto a los derroteros que debía tomar el oficio y desarrollo profesional. Finalmente, la reconstrucción de Chillán fue una mixtura que combinó una traza ortogonal y regular (reproducción del damero colonial), con manzanas rellenas con unidades edilicias de hormigón armado, albañilería reforzada y un lenguaje orientado a los cánones modernos en sustitución de las construcciones coloniales pintorescas desaparecidas en medio de las ruinas.

Otros dos informes elaborados también a partir de la examinación de la zona afectada, junto con relevar las cuestiones más evidentes (como la diferenciación entre los tipos de construcción según las categorías

contenidas en la Ordenanza; la constatación de la efectividad del hormigón armado y la albañilería reforzada; y la vulnerabilidad absoluta de los sistemas de albañilería simple en ladrillo y adobe), agregaron algunos puntos de interés, no considerados en los anteriores. Un primer informe, firmado por el arquitecto Rafael Pení y con la participación de “los señores González y Balmaceda”, propuso el fomento en la obtención de créditos blandos, con bajas tasas de interés, otorgados por el Estado. Con estas medidas, se propendió la generación de facilidades económicas enfocadas a la promoción del proceso de regeneración urbana, en particular, de viviendas. Dicha reconstrucción, serviría además de medio para evitar el despoblamiento de las ciudades a consecuencia de la ruina y desprotección. No hay evidencia de que esta medida haya tenido relación con el plan impulsado (Corporación de Reconstrucción y Auxilio, 1939) por el gobierno de Aguirre Cerda, cuyos esfuerzos estuvieron concentrados en la reconstrucción de las principales ciudades, siendo Chillán la más representativa, por su refundación y transformación. Sin embargo, es justo destacar que dicha propuesta debió parecer una de las más concretas respecto a uno de los problemas tal vez más complejo, como la migración y despoblamiento de las ciudades.

Pení estimaba que si las disposiciones de la Ordenanza eran cumplidas a cabalidad, la reducción de la destrucción sería exitosa. Por esta razón, consideró innecesario efectuar modificaciones, y centrar los esfuerzos en garantizar el estándar profesional, técnico y material en la edificación junto con la intensificación de la fiscalización. De este modo, pretendía asegurar “su aplicación estricta (...) [como] garantía para el futuro, sin necesidad de innovar en este sentido.” (Pení, 1939:10). Fue por tanto, un punto de vista contrario a las otras comisiones, las que en su mayoría -aunque con matices- coincidieron en reforzar aquellos artículos perfectibles y obsoletos. El derrotero posterior que tuvo de la propia Ordenanza, a la luz de los terremotos que le siguieron, junto con la incorporación de nuevas tecnologías de la construcción sísmicamente más eficientes, evidenciaron lo erróneo que resultaba suponer la regulación como un instrumento estático, entre otras cosas, porque casi –si no todos- los factores que confluyen en la relación entre la arquitectura y los terremotos, son cambiantes y dinámicas.

Un último informe elaborado por la Comisión (también nombrada por la Asociación de Arquitectos de Chile) encabezada por el arquitecto Miguel Dávila, se concentró en la evaluación de la zona de Concepción por mandato de la autoridad militar de Linares. El principal aporte de este documento, fue la identificación del problema de la calidad de los materiales que, debido a la falta de homogeneidad –en los artesanales como en los industriales- aportaron negativamente a un adecuado desempeño sismorresistente de las construcciones. Aunque fue también un tópico abordado por las otras comisiones, en este informe se señalan como algunas de las causas que dan

origen a tales falencias, las carencias de una mano de obra calificada o mínimamente preparada, los perjuicios ocasionados por la mala ejecución de las construcciones, y la fabricación deficiente o sin control de calidad de los materiales de construcción. Así, se estimó que una de las claves para alcanzar cierto grado aceptable de eficiencia en la prevención de la destrucción, pasaba por la fiscalización no sólo del proceso de ejecución de la obra, sino que también de la fabricación de los materiales y la garantía de niveles de calidad idóneos. Este tema fue fundamental, y en especial respecto a la estabilidad de los materiales cuya resistencia depende, en el caso del hormigón armado, de la dosificación de sus componentes.

Ya que un análisis en detalle de los informes que se dispone puede dar espacio a un extenso desarrollo, esta parte del trabajo se ha enfocado en relevar las ideas principales en torno a las materias aquí tratadas. En términos generales, se puede afirmar que todos ellos concuerdan en la validación de la Ordenanza General y la regulación edilicia, expresada en cuatro dimensiones. Primero, en su condición de instrumento de planificación a escala urbana y edilicia, que sin embargo, debía considerar la escala territorial y ampliar su esfera reguladora en los centros urbanos. Segundo, la necesidad de asegurar un efectivo control en el cumplimiento de las disposiciones contenidas. Tercero, la necesidad de incorporar las condiciones del suelo de fundación. Y cuarto, en el impulso del perfeccionamiento profesional teórico y práctico, la incorporación de nuevas técnicas y tecnologías de la construcción y el control de los procesos de ejecución de obras. Todas ellas, en conjunto, se estimaron como las bases mediante las cuales sería posible lograr una cierta estabilización de las unidades edilicias, resistentes a los sismos, y la reducción del riesgo.

Administrativamente, este proceso, a juicio de los técnicos, debía ser liderado centralizadamente a través del Estado y sus distintas reparticiones (ministeriales y gobiernos locales –municipalidades–), en conjunto con una masa profesional crítica y el aporte colegiado de arquitectos e ingenieros.

Síntesis de los principales contenidos de los Informes Técnicos:

La revisión y análisis de los informes aquí tratados, como las modificaciones recogidas en el proceso de modificación y rectificación de la Ordenanza General (que será desarrollado a continuación) sirven de base para comprender el impacto que tuvieron las nuevas disposiciones reguladoras en los edificios durante el período. Por otro lado, se intenta situar el terremoto de Chillán como el evento que marcó el término de un primer período de transición en la historia de la Ordenanza, y un segundo delineado por el afianzamiento de conceptos que resultaron esenciales en el derrotero de la historia de la arquitectura en Chile y sus implicancias en el cálculo estructural y la estabilidad de las construcciones. Se sostiene, que a

diferencia de lo planteado por una parte importante de la historiografía relacionada, el terremoto de Talca si bien representó un hito significativo, fue el sismo de 1939 el que trazó un punto de inflexión en el proceso de regulación de las construcciones. Principalmente, porque debido a la magnitud de la destrucción y una elevada tasa de muertes humanas, significó una prueba que midió su efectividad (aunque parcialmente y de modo acotado) y fue objeto del juicio crítico de expertos, técnicos y autoridades, que validaron en última instancia su pertinencia y posterior continuidad, no obstante el consabido ajuste requerido.

La unanimidad sobre la validez de la Ordenanza expresada en los distintos informes, más allá de las motivaciones e intereses particulares que encarnaba cada Comisión, representó sobre todo, un reconocimiento al objeto regulador, su método y sus contenidos. La reafirmación de su validez, aun tendiendo a la vista el estrecho período de vigencia (entre 1936 y 1939), no fueron argumentos esgrimidos por ninguna de las Comisiones como parte de un juicio crítico que cuestionara su utilidad. Por el contrario, las recomendaciones relativas a las modificaciones propuestas, fueron una forma de validación del instrumento, que bajo ciertos ajustes, se esperaba una mayor eficiencia. En un sentido proyectivo, el desarrollo histórico que tuvo, y la disminución progresiva de los daños irreparables a las construcciones, en parte así lo demuestran.

Por otro lado, y aunque no sea materia de estudio en este trabajo, es importante destacar el interés común presente en los informes, respecto a la regulación territorial, urbana, además de la edilicia. A fin de cuentas, la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización fue un instrumento de regulación en ambas escalas. Tema intensamente debatido en la esfera académica, profesional y política y que, en parte, a consecuencia del terremoto de Chillán, cobró cierta preponderancia, aunque no del todo prioritario en comparación a la cuestión sismorresistente. De cualquier modo, prevaleció el sentido preventivo presente en ambas partes del texto completo.

En materia de edilicia, el terremoto de Chillán representó también un momento importante en el proceso de consolidación del hormigón armado como material que, bajo ciertos estándares de calidad y diseño estructural, resultaba idóneo para oponer resistencia a los sismos, a la vez que por su condición ignífuga, ventaja mayor en comparación a la madera. La opción subsidiaria al hormigón armado, que además otorgaba una solución intermedia y factible para un tipo de construcción predominante –en comparación a las construcciones de hormigón armado-, fue la albañilería

reforzada¹⁶ con pilares y cadenas y, en lo posible, losas de hormigón armado. En efecto, estas losas otorgaban mayor rigidez y amarre a los paramentos verticales, que por sus propiedades físicas y homogeneidad material, sumado a la carga, contribuía a la resistencia solidaria.

Sobre esta materia, y de acuerdo con algunas de las observaciones efectuadas tanto por la Comisión Gubernativa como por la de Larraín; y la de Dávila, la heterogeneidad de los sistemas constructivos y materiales empleados en una misma unidad o conjunto, representó un factor crítico en términos de sismorresistencia. Esto obedece a dos razones. Primero, debido al comportamiento disímil que reportan los materiales durante un evento sísmico, producto de propiedades físicas de distinta naturaleza que, sumado a las carencias de amarres estructurales y ejecución adecuada, redundan en un desempeño insuficiente y el colapso. Y segundo, por las falencias en la fabricación de ciertos materiales, como ladrillos artesanales e industriales, áridos, mezclas y dosificaciones –tanto en morteros como en hormigonados– que exentos de un proceso estandarizado y de calidad, representaron focos de vulnerabilidad. En ambos casos, quedó de manifiesto el rezago de la producción industrial de materiales de construcción, marginada de procesos de producción estandarizados y con controles de calidad. De este modo, se pudo concluir que parte de la estabilidad estructural de los edificios, estaba determinada también por la estabilidad y homogeneidad de la composición de los materiales de construcción¹⁷.

La destrucción que comúnmente suele estar asociada a escenas dramáticas, donde abunda una atmósfera de desolación, ruina, muerte y dolor humano, paradójicamente representa, desde un punto de vista técnico y científico, un objeto de estudio de valor esencial. En efecto, los especialistas pueden encontrar en esos casos el origen y las causas de destrucción parcial o total de un edificio determinado, como la identificación de fallas técnicas, materiales y errores en el diseño arquitectónico y estructural.

¹⁶ Hay dos métodos de refuerzo de un sistema de albañilería simple. Albañilería reforzada o confinada, “que está conformada por paños de albañilería tradicional o simple enmarcada en sus bordes por elementos de hormigón armado, tales como cadenas y pilares en donde el conjunto solidario de estos elementos le otorga a este tipo albañilería propiedades estructurales de muy buena calidad y resistencia.” La segunda, corresponde a la albañilería armada, en la “que se utiliza acero como refuerzo en los muros que se construyen. Principalmente estos refuerzos consisten en tensores (refuerzos verticales) y escalerillas (como refuerzos horizontales), refuerzos que van empotrados en los cimientos o en los pilares de la construcción, respectivamente. Suele preferirse la utilización de ladrillos mecanizados, cuyo diseño estructural facilita la inserción de los tensores para darle mayor flexibilidad a la estructura.” Fuente: Escuela de Construcción Civil-Universidad de Valparaíso. Compendio de cubicaciones de Albañilería.

¹⁷ Artículo 248.- 1°. En los cálculos de estabilidad de toda construcción se tomará en cuenta la acción sísmica y se establecerán las solicitaciones y fatigas que ella produce en sus diversos elementos. Estas fatigas, sumadas a las provenientes del peso propio y de la mitad de la sobrecarga más la mitad de la acción de la temperatura, no deben sobrepasar los límites admisibles oficiales para los diversos materiales que se establezcan en las Normas. El cálculo de estabilidad de las construcciones y de sus fundaciones podrá hacerse considerándolas como un conjunto resistente.

2° Las fatigas provenientes del peso propio, sobrecarga, temperatura, viento, asentamiento de apoyos, etc., con exclusión de la acción sísmica, deben quedar, al mismo tiempo, dentro de los límites fijados en las Normas para esta solicitación.

Artículo 249.- 1° La determinación de las solicitaciones sísmicas y fatiga que ellas producen en los materiales se hará, en general, por las ecuaciones de la dinámica. 2° Podrán también calcularse de acuerdo con la teoría expuesta en el Anexo N.º II del Informe de la Comisión designada por decretos números 322, de 15 de Febrero de 1939, y 651, de 11 de Abril del mismo año, del Ministerio de Fomento, que estudió el terremoto de Chillán. (p.48). (Véase también artículos 250, 251, 252, 277, 283, 292).

Hacia 1940, las razones que explicaban el derrumbe del edificio eran ya parte del dominio de los ingenieros y arquitectos (la necesidad de emplear elementos de arriostramiento) y su colapso no debió suponer mayor sorpresa en el círculo técnico. Lo que interesa destacar aquí es, sin embargo, el empleo del esquema de planta libre, estructurada en este caso con un sistema de pilares, vigas, losas y muros perimetrales, todo en hormigón armado. Debido al uso industrial del pabellón, esta solución espacial otorgaba las condiciones idóneas funcional y productivamente. Además, generaba un solo plano (por piso) libre y flexible. El error en este caso, fue arquitectónico y estructural, pues el diseño consideró solo las cargas estáticas y no la variable sísmica.

Desde una aproximación teórica, la principal contribución estuvo contenida en el informe de la Comisión Gubernativa (**figs. 3.9, 3.10**), en el cual, además de relevar la importancia del suelo de fundación, la evaluación interdisciplinar que conjugó la dimensión geológica, sismológica, constructiva, material y estructural, fue decisiva. Sirvió de base además, para sustentar la crítica al método de cálculo estático y su reemplazo por el método de cálculo dinámico, en el cual la onda sísmica fue concebida como fuerza vibratoria dinámica, con amplitud, desplazamiento y aceleración. Fuerza que aplicada a un edificio determinado, afectaría a cada uno de sus componentes en función de la resistencia estructural relacionada con la rigidez, la elasticidad de los elementos soportantes y su diseño. Este fue el principal cambio cualitativo introducido a la Ordenanza que, no obstante su trascendencia, no estuvo ajeno al debate y tensiones.

El proceso de modificación. Debates técnicos, decretos oficiales y ajustes correctivos: A diez años de la catástrofe de Chillán, el nuevo texto de la Ordenanza General fue finalmente promulgado y publicado el diez de septiembre de 1949¹⁸, cerrando así un primer momento caracterizado en parte por las oscilaciones e inestabilidad de un proceso que ya en sus inicios, desde la primera edición en 1930, tuvo una condición de transitoriedad y perfectibilidad, hasta 1936. Trágicamente, el estudio de estas modificaciones se vio forzado por el terremoto, develando que el precario estado general de los edificios y ciudades de la zona afectada, estaban rezagadas y marginadas respecto a los criterios y técnicas contenidos en el texto definitivo de 1936.

¹⁸ Historial de los Decretos que se ha registrado en el proceso de modificación de la Ordenanza vigente para 1936. Decreto N° 3.388, promulgado el 26 de julio de 1940 y publicado el 05 de septiembre de 1940. Modificación transitoria por Decreto N° 2.233 publicado en el Diario Oficial con fecha de 8 de mayo de 1942, N° 19.254, año 65. El 26 de agosto de 1942 fueron promulgados los Decretos con Fuerza de Ley 6 y 6-4.817, ambos publicados el 09 de septiembre de 1942 (Ministerio del Interior), que convoca "Nueva estructuración de los servicios de administración Pública." Posteriormente, fue publicado en el Diario Oficial (ejemplar N° 20.171, 5 de junio de 1945) el Decreto N° 942, de fecha 23 de mayo de 1945, que designa una Comisión encargada para proponer las modificaciones a la Ordenanza General. Promulgada el 14 de marzo de 1947, y publicada el día 27 siguiente de ese mismo mes, se aprobó la Ley N° 8.763 que "Modifica la Ley General de Construcciones y Urbanización." Y finalmente, por Decreto N° 884, promulgado el 13 de junio de 1949 y publicado el 10 de septiembre del mismo año, fue aprobado el reemplazo de la Ordenanza General de Construcciones.

A pesar de la precariedad de las ciudades en estado de emergencia, la vulnerabilidad de una población desprovista de servicios básicos, la incertidumbre de un probable nuevo evento sísmico y la necesidad de contar con un soporte administrativo para afianzar el proceso de reconstrucción, el proyecto de modificación a la Ordenanza se dilató, probablemente, más tiempo del deseado. Esta fue una de las razones por las cuales se decidió relegar los cambios de la segunda parte (sobre Urbanización), para un segundo momento. Esta prórroga se extendió hasta 1957 y en 1960 se fijó definitivamente.

La aprobación de la nueva Ordenanza General de Construcciones, estuvo precedida por diversas instancias legislativas y sucesivos decretos (simples, supremos, con fuerza de ley y leyes), a través de los cuales es posible reconstruir el proceso de discusión y la identificación de los temas sustanciales incorporados al nuevo texto.

Una vez que se dispuso de los informes comisionados, y en especial el evacuado por la Comisión Gubernativa, las primeras modificaciones a la Ordenanza fueron enviadas en 1940¹⁹, hacia el final del período presidencial de Aguirre Cerda. Una parte importante del texto, sin embargo, se concentró en las restricciones impuestas para los edificios de adobe, limitando su altura y la cantidad máxima de piso (uno solo), espesores mínimos de muros, dimensiones y distribución de vanos, o exigiendo una forma ortogonal de planta, y en general, disposiciones constructivas que suponían un mejor desempeño futuro. Aunque los edificios de adobe resultaron ser vulnerables a la acción sísmica, no fue una clase proscrita, como sí terminaron siendo las edificaciones fabricadas en albañilería simple. Esta fue sin duda, una de las medidas más drásticas adoptadas, teniendo en cuenta que se trataba de un sistema material ampliamente difundido en centros urbanos de la región central del país. A inicios del gobierno de Juan Antonio Ríos (1942-6), se despachó un segundo decreto en 1942. Entre las disposiciones contenidas (en total veintidós), se revocaba la supresión de las construcciones de albañilería simple establecida en el decreto anterior, bajo ciertas especificaciones, como el refuerzo con pilares y cadenas de hormigón armado “cuando los muros de albañilería fueran de 20 cms. de espesor, una altura máxima de tres metros y techumbre liviana” (Decreto 2.233 de 8 de mayo de 1942). Sin embargo, independientemente de los resguardos que suponía obligar el refuerzo armado, el texto definitivo de 1949 terminó por suprimir esta categoría edilicia, marcando así, un punto decisivo de este tipo de construcción, coincidente con la opinión del ingeniero Eduardo Aguirre, quien ya en 1939 adelantaba que este tipo de construcción sería eliminado

¹⁹ Decreto N° 3.388, del Ministerio del Interior, promulgado el 26 de julio de 1940 y publicado el 05 de septiembre del mismo año, dictado por el Presidente Pedro Aguirre Cerda.

en “las nuevas disposiciones de la Ordenanza de Construcciones.” (Aguirre, E., 1939:365).



Fig. 3.9 Informe de la Comisión Gubernativa, Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, Santiago, 1940.



Fig. 3.10 Informe de la Comisión Gubernativa, Boletín del Colegio de Arquitectos, Santiago, 1944.



Fig. 3.11 Informes Técnicos publicado en el número 2 (01) de la Revista Urbanismo y Arquitectura, Santiago, mayo de 1939. Contiene esta edición los Informes de los arquitectos Sergio Larraín, Ignacio Tagle y Mario Valdivieso; Santiago Aguirre, Jorge Aguirre y Enrique Gebhard; Rafael Pení; y el informe de los arquitectos Miguel Dávila, Jaime Rodríguez, Gabriel Ovalle, Eduardo Zegers, Tomás Reyes, C. Joannon.



Fig. 3.12 Informe sobre observaciones y consideraciones relacionadas con la edificación del arquitecto Agostino Bastiancig, Revista Scientia de la Universidad Federico Santa María (5), Valparaíso, 1939.

El carácter transitorio del decreto, sumado al intento de derogación del artículo en cuestión, fueron parte de una política orientada a la reactivación económica en el sector de la industria de la construcción. En efecto, el

encabezado del documento delimita sus alcances bajo la “la conveniencia de facilitar la industria de la construcción en el país y mientras no se reforme en forma definitiva la Ordenanza...” (Decreto N° 2233, 1942). Así, a través de esta iniciativa, el recién asumido Presidente de la República, teniendo a la vista sobre todo la reactivación de la economía local en un momento de crisis nacional e internacional (II Guerra Mundial)²⁰, trazó una ruta que puso en marcha la revisión y modificaciones. La década transcurrida entre el primer intento de reforma de la Ordenanza y la promulgación y publicación de la versión definitiva, fue en este sentido, un período de transición, que oscilaba entre las disposiciones vigentes anteriores al terremoto, las opiniones críticas de profesionales y técnicos (ingenieros y arquitectos) y las tensiones generadas al interior de los estamentos del Estado, e instituciones profesionales y académicas.

Concretamente, aquel estado de ambigüedad de las condiciones reglamentarias (durante el momento de discusión), fue al mismo tiempo, paradójal. Si bien las autoridades del Estado eran conscientes de la urgente necesidad por contar con un instrumento de regulación actualizado a la luz de la experiencia del reciente sismo y las nuevas aproximaciones científicas; recayeron, sin embargo, en la dilación de una tramitación que fluctuó entre aprobaciones y derogaciones. Así, una primera nueva Ordenanza provisoria, vigente entre 1942 y 1949, sirvió de marco regulador bajo cuyo ordenamiento transitorio se buscó una vía para concretar los cambios sustanciales en materia de sismorresistencia, aun a riesgo de que un nuevo evento sísmico pudiese ocurrir en el intertanto.

Otras consideraciones decretadas en 1940 alineadas con la promoción de la activación de la construcción, fueron por ejemplo, la ampliación de las facultades de las Direcciones de Obras de los municipios, con el fin de “aprobar otros sistemas de construcción diferentes a los considerados, fijando para ello condiciones mínimas que deben satisfacer.” (Decreto N°2.233, 1942, punto 3°, Art. 6°). Resolución que en la práctica contrariaba el proceso de normalización y estandarización de la construcción y sus procedimientos al ampliar las alternativas edificatorias y condicionando su aprobación al criterio –casuístico- de la autoridad local de turno, sin garantías concretas de asegurar argumentos objetivos.

Las restricciones relativas a las cuestiones constructivas, materiales y morfológicas, fueron flexibilizadas. Por ejemplo, se propuso la eliminación de barras de acero de refuerzo y amarre (contenido en la Ordenanza de 1936,

²⁰ Parte de esto queda expresado al final del texto, en el cual se señala que debe suspenderse “mientras dure la guerra mundial, la obligación de instalar ascensores en los edificios destinados a hoteles, casas residenciales y de pensión, de más de tres pisos de altura, establecida en el artículo 287, manteniéndose la obligación de prever en los edificios los espacios necesarios para la instalación futura de los ascensores. Decreto N° 2.233, 1942, punto N°22.

art. 69), en “casos debidamente justificados.” Asimismo, el dimensionamiento de pilares de hormigón armado quedó sujeto a la disminución progresiva de las secciones, en relación con la cantidad de pisos del edificio, como sigue:

Piso	Sección del hormigón	Sección de la armadura
6°	0.05m ²	5.0cm ²
5°	0.05m ²	7.9cm ²
4° y 3°	0.07m ²	11.4cm ²
2° y 1°	0.09m ²	15.5cm ²

Fig. 3.13 Tabla de las secciones a considerar en pilares de hormigón armado y sus respectivas armaduras, en función del nivel por planta. Fuente: Decreto N° 2.233, 1942.

En los casos en que la resistencia del terreno de fundación obtuviera rangos de compresión insuficientes (1.5Kg/cms²), se exigía la inclusión de una viga de hormigón armado en los cimientos, con secciones que fluctuaban entre 2.8 y 15.0cm², dependiendo de la cantidad de pisos (entre 1 y 5).

Estas disposiciones transitorias no fueron alteradas durante el gobierno de Ríos, pero sí complementadas a los pocos meses, con un Decreto con Fuerza de Ley²¹, en el que se fijó una nueva estructuración de los servicios públicos: medida esencialmente administrativa. En lo que respecta a las materias que aquí interesan, la Corporación de Fomento a la Producción pasó a depender del Ministerio de Economía. Y el Ministerio de Fomento, pasó a ser el Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación, entre cuyas reparticiones se contaban, entre otras, la Dirección General de Obras Públicas, Pavimentación, y el Departamento de Planificación Territorial y Urbanismo. Esta última, creada en sustitución de la sección de Urbanismo del Departamento de Arquitectura de la Dirección General de Obras Públicas, dando inicio así al ejercicio de “las atribuciones que están entregadas al Ministerio del Interior por la Ley General de Construcciones y Urbanización, por la Ordenanza respectiva, y por otras disposiciones legales sobre urbanización de ciudades, aprobación de ordenanzas de construcciones” (DFL 6-4817, 1942, Art. 24) y materias relacionadas.

En parte, este cambio en la administración pública, recogía uno de los temas pendientes (desde comienzos del siglo XX), en la agenda técnica y política, y que a partir de entonces adquirió las atribuciones y status oficial necesarios. Así, los programas de planificación local, en la figura de planos reguladores comunales, fueron asignados a una entidad administrativa estatal, con

²¹ Decreto con Fuerza de Ley 6-4817, del Ministerio del Interior, promulgado el 26 de agosto de 1942 y publicado el 9 de septiembre de 1942. Materia: Nueva estructuración de los Servicios de la Administración Pública.

jurisdicción central y enfocada específicamente a lo relacionado a la cuestión urbana.

La premura por contar con una versión definitiva que zanjara las divergencias sobre sus contenidos, concluyó en una nueva determinación presidencial. La edición del 5 de junio de 1945 del Diario Oficial, publicó el decreto a través del cual se designó una “Comisión encargada de estudiar y proponer al gobierno las modificaciones que deban introducirse a la Ordenanza...” (D.O., ejemplar N°. 20.171, 5 de junio de 1945:1071). El texto designó en calidad de integrantes a los representantes de distintas reparticiones del Estado, la academia y los cuerpos profesionales colegiados. Una parte importante de éstos habían ya integrado la Comisión Gubernativa que evaluó los daños del terremoto de 1939. Secretario en esta oportunidad fue designado el ingeniero Julio Ibáñez. Conformaron el resto de la comisión los también ingenieros, Servando Oyanedel O. (Director General de Obras Públicas); Alberto Covarrubias P. (Presidente del Instituto de Ingenieros de Chile); Oscar Tenhamm V. (Presidente de la Asociación de Ingenieros), y Francisco Mardones O., en calidad de Director del entonces recientemente creado del Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (1943)²². En representación del también reciente Colegio de Arquitectos (1942)²³, Alberto Risopatrón B. Completaba esta lista el arquitecto jefe de la Sección Urbanización del Departamento de Arquitectura de la Dirección General de Obras Públicas, Luis Muñoz Maluschka.

La Comisión, en conjunto con el apoyo de cuatro sub-comisiones técnicas²⁴, abordaron las siguientes líneas de análisis: estabilidad de las construcciones, arquitectura, instalaciones y aplicación en general de la Ordenanza, con el fin de dar cumplimiento a la labor encomendada por la autoridad. En cuanto a las trabas jurídico-administrativas, se optó por separar las disposiciones que requerían la aprobación en el Congreso, y de este modo, conservar las que podían ser aprobadas por decreto. Esta arista del proceso estuvo respaldada por la asesoría jurídica del abogado de la Dirección General de Obras Públicas, Ernesto Ríos Mackenna. Estrategia que permitió dar inicio



Fig. 3.14 Revista Chilena de Racionalización, N°1, 15 de junio de 1945. Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.

²² El Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización, creado el 17 de diciembre de 1943, dio forma a un conjunto de iniciativas previas (desde 1920) en manos de diversas agrupaciones de ingenieros, con el fin de “crear un organismo de coordinación entre los laboratorios y establecimientos técnico-científicos del país.” (Revista Chilena de Racionalización, N° 1, junio, 1945:4). Convergieron en esta institución la Universidad de Chile, La Asociación de Ingenieros de Chile, el Instituto de Ingenieros de Chile y la Corporación de Fomento a la Producción (CORFO).

²³ El Colegio de Arquitectos, entidad gremial oficializada mediante la Ley N° 7.211 de 4 de agosto de 1942, congregó a la Asociación de Arquitectos de Chile, que a su vez fue resultado de la fusión entre la Sociedad Central de Arquitectos (1907-9); el Instituto de Arquitectos de la Universidad de Chile; y el Sindicato de Arquitectos de la Universidad Católica (1923).

²⁴ “Las cuatro sub-comisiones fueron presididas por el Secretario Sr. Ibáñez y estuvieron formadas como sigue: la primera por los Srs. Alberto Claro, Carlos Infante, César Barros y Eugenio del Campo; la segunda por los Srs. Luis Cifuentes y Eduardo Eguiguren; la tercera, por los señores Domingo Santa María, René Fuentes, Juan Echebarne, José Pablo Domínguez, Eusebio Latorre y Hernán Contreras; y la cuarta, por los señores Gabriel Ovalle y Sergio Silva.” Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización. Ley y ordenanza general sobre construcciones y urbanización. Santiago, 1950, p.2.

al cierre del texto definitivo haciendo uso de un sistema presidencialista puesto al servicio de su tramitación.

Finalmente, una última fase en esta etapa transitoria fue el proceso revisión definitiva, encomendada a una segunda Comisión integrada, esta vez, por los ingenieros Eduardo Aguirre Solís y Julio Ibáñez Valenzuela; y los arquitectos Alberto Risopatrón B. y Luis Muñoz Maluschka. En esta instancia se dio curso al texto parcialmente definitivo, que modificaba las cuestiones relativas a la construcción²⁵ (primera parte) de la Ordenanza.

Durante el tercer –y último- gobierno radical, presidido por Gabriel González Videla (1946-52), se despachó en una sola oportunidad, la tramitación de una nueva modificación a la Ordenanza General de Construcción. Aunque breve, pero con carácter de proyecto de Ley²⁶, esta iniciativa propuso modificar algunos artículos contenidos en el documento aprobado en 1931, referidos a las facultades municipales para llevar a efecto expropiaciones a la propiedad privada, para la apertura de calles, normalizar perfiles urbanos y generar condiciones necesarias para el desarrollo de urbanizaciones.

Esta última disposición, junto al decreto con fuerza de Ley (DFL 6-4817), fueron las dos instancias legislativas en que fue abordado el problema de las ciudades a lo largo del proceso de modificación de la Ordenanza General. Sin embargo, hubo también otras iniciativas orientadas a la inclusión de la planificación, confección de planos reguladores y, en general, al mejoramiento urbano. En este sentido, estas dos últimas disposiciones legales, representaron una intención política que supuso un interés a escala nacional que había quedado relegado a un segundo orden debido, en lo que respecta a la Ordenanza, a la priorización de la definición de los criterios y estándares de construcciones sismorresistentes.

De este modo, los diez años transcurridos desde 1939 a 1949, que atravesaron tres períodos presidenciales y un largo proceso teñido de tensiones y discusiones al interior de los poderes del Estado en conjunto con los cuerpos profesionales e institucionales, concluyeron aquella etapa transitoria y en cierto grado, inestable, y dio paso a un nuevo período en la historia de la Ordenanza y de la arquitectura en Chile. El período siguiente, de una duración aproximada similar (once años) fue marcado, como es de esperar, por un nuevo sismo. Esa vez, sin embargo, el de mayor magnitud de

²⁵ “... el texto que reemplaza las disposiciones sobre Generalidades y Definiciones y la Primera Parte de la Ordenanza relativa a las Construcciones, fue aprobado por el Decreto del Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación N°884. En ella se hace referencia a “Solicitaciones de las construcciones”, la cual a partir del artículo 248 presenta requisitos para cálculos de estabilidad de las construcciones.” Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización. Ley y ordenanza general sobre construcciones y urbanización. Santiago, 1950, p.3.

²⁶ Ley N°8.763, enviada por el Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación, promulgada el 14 de marzo de 1947 y publicada el 27 de marzo del mismo año.

que se tenga registro, antecedido un día antes por un terremoto también de grandes proporciones.

Institucionalidad y normalización: los cimientos de la edificación sismorresistente. Durante la década de 1940 se conformaron una serie de entidades, instituciones y organismos que confluyeron y que estuvieron ligados, de uno u otro modo, al proceso de rectificación de la Ordenanza, la inclusión de nuevas aproximaciones al fenómeno sísmico, a los métodos de cálculo y a la mejora en técnicas constructivas y materiales. De hecho, el impulso por perfeccionar y afianzar las áreas profesionales y disciplinares, en la ingeniería, la arquitectura y el urbanismo, fue una parte activa en el proceso de normalización de las construcciones.

Fue también un período intenso durante el cual decantaron y adquirieron forma corporativa y legal de un conjunto de entidades. La literatura que ha tratado las consecuencias del terremoto de 1939²⁷, suele referir la creación de la Corporación de Reconstrucción y Auxilio y a la Corporación de Fomento a la Producción y a la catástrofe de Chillán y sus repercusiones en términos institucionales. Si la primera de estas corporaciones fue un vehículo para llevar adelante el proceso de reconstrucción; la segunda condensó los esfuerzos en la promoción, patrocinio y financiamiento de la industria nacional: una de las principales aspiraciones de Aguirre Cerda, su mentor.

Sin embargo, los alcances que tuvo la CORFO en materia de los estudios científicos que aquí interesan, fueron trascendentales y abarcaron un abanico más amplio que el solo proceso de reconstrucción, analizada por lo general, desde una arista política y económica. Tales alcances cubrieron áreas en el campo profesional de la ingeniería y los cálculos de estabilidad, de la arquitectura y la ejecución de las obras, la conformación de agrupaciones colegiadas, y la profusa difusión a través de medios (publicaciones) y centros de estudios especializados asociados a la construcción. La exitosa conformación de estas entidades, consolidadas en parte gracias al liderazgo de destacados profesionales, fue un producto también de la capitalización de los conocimientos adquiridos hasta ese momento, sobre los sismos, los suelos, las formas y sistemas materiales y de construcción, y técnicas de construcción, apoyada en una plataforma académica y de investigación liderada por las universidades de Chile y Católica. Esto, conjugado con la experiencia empírica, marcada por una reciente secuencia de grandes sismos (primera mitad del siglo XX), fueron

²⁷ Por ejemplo, Max Aguirre, *La Arquitectura Moderna en Chile (1907-1942)*, 2009; David Carvajal, *Institucionalidad nacional y la catástrofe de Chillán*, 2011; Humberto Eliash, Manuel Moreno, *Arquitectura Moderna en Chile (1925-1965)*, 1989; por mencionar algunos.

factores decisivos en la consolidación de la regulación de la edificación sismorresistente en el país. En este sentido, los terremotos de Valparaíso, Copiapó, Talca y, en particular el de Chillán, fueron un campo de revisión crítica y exploraciones teóricas, desde la experiencia y a la luz de las fallas develadas en las construcciones dañadas y ruinosas, enfocadas al perfeccionamiento de la resistencia sísmica.

Por normalización de las construcciones no se entiende aquí como una equivalencia de regulación mediante la Ordenanza. La Ordenanza, de hecho, no tuvo carácter normativo, sino hasta el año 1972, cuando se produjo la división expresa entre la Ordenanza (como instrumento de planificación) y los rangos mínimos y admisibles específicamente del cálculo estructural. Se entiende sino, como un momento en el cual se impulsaron diversas iniciativas tendientes a fijar estándares: la fabricación de materiales, la delimitación de las etapas de las obras, la acción responsable y sancionable de los profesionales a cargo de los proyectos y su ejecución (arquitectos e ingenieros), y el control y fiscalización. Alineada con las políticas trazadas por los gobiernos radicales del período, que promovieron, entre otras cosas, el desarrollo de la industria local, la normalización estuvo en este sentido, marcada por la necesidad de contar con marcos regulatorios bien definidos, la aspiración a la eficiencia en los procesos, y el paso de una producción nacional. En el caso de los materiales de construcción, esto se vio reflejado en la superación de la fabricación artesanal (del ladrillo y adobe) por un proceso industrializado que asegurase una producción de materiales estables y homogéneos. En este sentido, la Ordenanza General no fue un objetivo en sí mismo, sino un medio, entre otros, a través del cual se aspiró a un cierto nivel de normalización.

El papel que le cupo a la Universidad de Chile en este escenario fue decisivo. En parte, porque junto con la Universidad Católica, concentraban la mayor parte del medio académico y profesional en el país. En cuanto a la formación y las investigaciones desarrolladas en torno a las construcciones sismorresistentes, la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (F.C.F.M.) jugó un papel preponderante. El plan común de ingeniería, al que concurrían arquitectura, ingeniería de obras civiles, de minas y geografía, fue un nicho desde el cual se desprendieron varias entidades de especialización. Fue también el nodo que nutrió de modo importante el conocimiento y la toma de decisiones a nivel de Estado, ya sea por la contribución crítica de estudios e informes allí elaborados, la participación activa de profesionales y académicos en comisiones y la presencia en altos cargos públicos. Asimismo, el rol promotor y aglutinador que le cupo a la CORFO, fue también un factor importante. Al alero de la Corporación, en

conjunto con la Universidad de Chile²⁸ y asociaciones gremiales, se fundaron una serie de entidades.

A consecuencia de la vasta destrucción que produjo el terremoto de Chillán, las autoridades de la Universidad de Chile decidieron fundar el Instituto de Estabilidad Experimental (1941). Inicialmente, dependió administrativamente de Arquitectura, aún dependiente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Pero cuando Arquitectura creó su propia Facultad (1945), pasó a depender únicamente de ingeniería. Desde su fundación hasta el año 1965, el Instituto fue dirigido por el ingeniero y docente de ingeniería, Julio Ibáñez V.²⁹

Por otro lado, y como resultado de la promoción iniciada por el Instituto de Ingenieros³⁰, en 1943 fue fundado el Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (Inditecnor)³¹, y dos años más tarde, fue publicado el primer número de la Revista Chilena de Racionalización, medio de difusión y promoción de la institución. La primera edición, declaraba sus aspiraciones por alcanzar “el futuro industrial del país (...) [y la entrega] a la investigación con ese ánimo heroico que siempre ha exigido la Diosa de la Ciencia para otorgar sus favores.” (R.Ch.R., N°1, 1945:3). Este espíritu que confiaba al desarrollo industrial el progreso material y social del país, sobre la base de los conocimientos y el dominio en el campo de la investigación científica, adscribió con las políticas impulsadas ya desde el gobierno de Aguirre Cerda. No es de extrañar por tanto, que el nombre del propio presidente del primer gobierno radical haya estado incluido en el listado de los ingenieros, como Gustavo Lira, que ya desde 1920 habían intentado (en tres ocasiones) conformar “un organismo de coordinación entre los

²⁸ La Universidad de Chile tuvo un grado de influencia mayor en la relación con las entidades estatales y las políticas públicas, pero también lo tuvo la Universidad Católica, tanto en las carreras de Arquitectura e Ingeniería. Esta última, de acuerdo a los registros oficiales, debido al “aumento en la valoración de esta carrera profesional, motivó la apertura de nuevas escuelas: La Universidad Católica inauguró la Facultad de Ingeniería en 1895; la Universidad de Concepción comenzó a impartir la carrera en 1919; y años más tarde, en 1931, lo hizo la Universidad Federico Santa María. Las mujeres también comenzaron a interesarse por la profesión, titulándose la primera en 1919.” Sin embargo, la acción más destacada estuvo mayormente concentrada en la Universidad de Chile, y en menor grado, en la Universidad Católica.

Fuente:

http://www.bibliotecafundamentos.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=73

²⁹ Hasta 1960, la “actividad principal estuvo centrada en una labor docente, a nivel de 6° año de la Carrera de Arquitectura, como ente patrocinador de seminarios de investigación en los cuales un número importante de alumnos incursionaba en la estabilidad de los edificios, cumpliendo indirectamente su propósito inicial al preparar profesionales con clara conciencia de la problemática antisísmica de la arquitectura. Esta labor la desarrollaba directamente el profesor Ibáñez con la colaboración de un ayudante, entre los que destacaron el arquitecto Sergio Rojo y el Ingeniero Félix Lazo. A partir de ese año, el Director Ibáñez propuso a las autoridades de la Facultad un programa de desarrollo de investigaciones en torno a tres temas: 1° Análisis sísmico experimental de estructuras a partir de modelos a escala; 2° Diseño experimental de estructuras laminares; 3° Determinación experimental de la capacidad de carga de los suelos.”

En: <http://www.fau.uchile.cl/departamentos/construccion/63901/resena-historica>

³⁰ “En 1843, se fundó el Cuerpo de Ingenieros, asociación que reunía a ingenieros nacionales, formados en la práctica y el trabajo, y extranjeros. Luego de treinta años de funcionamiento, fue reorganizado y bautizado como Dirección de Obras Públicas, organismo encargado de la formulación de proyectos y de estudios científicos. A fines del siglo XIX, la institución se vio sobrepasada por el impulso estatal a la planificación y construcción de obras públicas, por lo que se hizo necesario la creación de una entidad capaz de organizarlas de manera sistemática y en función de las necesidades del país. Para ello se fundó el Ministerio de Obras Públicas e Industria en 1887 y al año siguiente se creó el Instituto de Ingenieros, la primera asociación profesional de ingenieros chilenos.”

En: http://www.bibliotecafundamentos.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=73

El Instituto de Ingenieros de Chile, en tanto, fue fundado en 1888, mientras que el Instituto de Ingenieros de Minas, y el 29 de septiembre de 1930. En: <http://www.iimch.cl/>

³¹ Decreto N°1.987 de 176 de mayo de 1944.

laboratorios y establecimientos técnico-científicos del país.” (R.Ch.R., N°1, 1945:3).

El Inditecnor y la Revista Chilena de Racionalización, aunque abordaron diversas materias propias de la ingeniería y de los estudios tecnológicos, constituyeron una plataforma fundamental que contribuyó decisivamente al mejoramiento de los procesos de fabricación y control de calidad de los materiales de construcción (laboratorios de ensaye), las técnicas de ejecución (en especial del hormigón armado), los cálculos de estabilidad y los estudios de suelo. Los consejeros que integraron la dirección del Instituto fueron en su gran mayoría ingenieros. Los arquitectos, sin embargo, no quedaron al margen y disponían de un cupo, que para 1947 recayó en Guillermo Ulriksen B., figura también relevante en temas relacionados con el urbanismo, destacando por ejemplo, en la elaboración de algunos planos reguladores, como el “Plano Oficial Definitivo de Urbanización” de la Comuna de Las Condes hacia 1945³².

La función principal del Inditecnor “se centró en el estudio de normas y en la promoción de la normalización” (BCN, 2012) a través del desarrollo en la investigación y la difusión de sus estudios³³, que incluyeron entidades nacionales³⁴ y paralelamente, el intercambio internacional. Así, “Chile estuvo entre los veinticinco países que fundaron International Organization for Standardization (ISO)” [y a partir de] (...) 1969, se integró [a] la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT)³⁵, (BCN, 2012). A partir de 1973, tras el golpe de Estado de Pinochet, el Inditecnor fue reconvertido en una “fundación de derecho privado sin fines de lucro”³⁶. A partir de entonces, se reemplazó su nominación por Instituto de Normalización Nacional.

³² Fuente: Chile, Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación, Departamento General de Obras Públicas, Departamento de Arquitectura, Sección Urbanismo. Plano aprobado por Decreto N°2.798, de 26 de diciembre de 1945.

En: Pavez R., María Isabel, Arquitecto Luis Muñoz Maluschka, Planificador Territorial en Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, Santiago, 2012.

³³ Una contribución importante en el ámbito de la sismología, fue la elaboración de la Escala Sísmica Chilena (1948), que en una escala entre los valores 0, I al VI, aproximaba una medición de la intensidad relacionada a la observación descriptiva de los efectos, desde un observador determinado, en un sentido general. Y aunque su utilización fue breve (aproximadamente entre 1948 y 1965), representó un aporte en consonancia con las investigaciones científicas relacionadas al fenómeno. La escala Chilena, en comparación a la de Mercalli modificada, redujo considerablemente el rango de grados (a casi la mitad), como parte de su simplificación y ajuste a la condición sísmica local, asimilada desde las experiencias que marcaron la primera mitad del siglo XX.

³⁴ A partir del Golpe de Estado de 1973, el Inditecnor fue reorganizado en el Instituto Nacional de Normalización Decreto Supremo N° 678 de fecha 5 de Julio de 1973, Código Civil, Título XXXIII del Libro I. Disponible en <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=172986&idParte=0&idVersion=2000-05-30> (Octubre 2012).

Al igual que en su versión anterior, esta nueva figura contó con el patrocinio de la CORFO. A partir de entonces, dejó de ser una institución de carácter público en reemplazo por “una fundación de derecho privado, sin fines de lucro, regida por las normas contenidas en sus estatutos y por las disposiciones legales de las corporaciones de derecho privado.” A partir de entonces, su labor fueron “la normalización, la venta de normas, la capacitación en control de calidad. Y desde 1978 en adelante hizo de calificador de otras entidades de certificación e inspección de productos, “en especial para el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).” Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Informe Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 28.09.2012.

³⁵ Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Informe Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 28.09.2012.

³⁶ Fuente: www.inn.cl

En el ámbito de la arquitectura, en tanto, la oficialización del Colegio de Arquitectos en 1942³⁷, anterior a la fundación del Colegio de Ingenieros (1958), aglutinó a las distintas asociaciones entonces dispersas³⁸. La condensación de estas agrupaciones supuso la unificación y focalización de posturas por parte de los arquitectos, en relación a temas políticos, sociales y académicas y un supuesto mayor contrapeso en la toma de decisiones. Junto con la fundación del Colegio de Arquitectos se inauguró el Boletín homónimo, medio de difusión corporativo que, entre otras cosas, contenía temas de carácter administrativo (como redacción de estatutos, elecciones, rendición de cuentas, etc.). Fue también un medio de declaración y difusión de las posturas del gremio, a través del cual se expusieron abiertamente confrontaciones con el Estado (poder ejecutivo y parlamentario), y con otras agrupaciones, como los ingenieros.

La oficialización legal del Colegio de Arquitectos desencadenó algunas tensiones con sus pares ingenieros, en un momento álgido y de reformas. La edición N°12 del Boletín, correspondiente a la asamblea desarrollada el 15 de julio de 1947, incluyó también la Memoria Anual del Consejo General³⁹. Junta que fue presidida por la autoridad colegiada en ejercicio, el arquitecto Alberto Risopatrón. Bajo el subtítulo de “Defensa Gremial”, se reportaron dos incidentes de interés.

El primero de ellos, expuso la pugna profesional respecto a los alcances y obligaciones que les cupo a los arquitectos e ingenieros en la ejecución de obras. Así, Risopatrón denunciaba que “[e]l Presidente del Instituto de Ingenieros [Fernando Palma] dirigió una nota al Colegio de Arquitectos denunciando que un arquitecto, desconocía la modificación del Reglamento de la Ley del Colegio de Arquitectos en el sentido de liberar a los ingenieros de inscribirse en el Registro de Contratistas y solicitando, a fin de evitar interferencias, de enviar una circular a todos los arquitectos puntualizando esta situación.” La respuesta colegiada precisó que como “(...) se trataba de propuestas privadas, en las cuales los arquitectos pueden exigir las condiciones que estimen convenientes” (Boletín N°12, 1947:11-2), dando cuenta así, en opinión del Colegio, que la moción de los ingenieros fue desestimada por ser improcedente.

El segundo episodio estuvo vinculado a la oficialización legal del Colegio y nuevamente tuvo como protagonistas a ingenieros y arquitectos. Durante la

³⁷ Ley N° 7.211 de 4 de agosto de 1942 que otorgó status oficial el Colegio de Arquitectos.

³⁸ Sociedad Central de Arquitectos (1907, decreto Supremo N°2.393 de 16 de noviembre de 1909). En: Aguirre, M., 2011:41; Asociación de Arquitectos de Chile (fusión de Sociedad Central de Arquitectos, Instituto de Arquitectos de la Universidad de Chile y el Sindicato de Arquitectos de la Universidad Católica). 1923.

³⁹ Consejo en ejercicio hasta noviembre de 1946 figuran los arquitectos Roberto Humeres S., Alfredo Johnson V., Juan Martínez G., Rodolfo Oyarzún Ph., y el citado presidente, Alberto Risopatrón. De acuerdo al acta, fueron elegidos para el siguiente período los arquitectos, Santiago Aguirre del C., Marcelo Deglin S., y Emilio Duhart. Juan Martínez fue reelegido en su cargo, al igual que Risopatrón en la presidencia. Fuente: Boletín del Colegio de Arquitectos, N°12, Santiago, julio de 1947, p. 3.

semana del ingeniero, los arquitectos Eugenio Guzmán y Macelo Deglin asistieron en representación del Colegio. En dicha oportunidad, señala el Risopatrón, “... un ingeniero atacó la Ley del Colegio de Arquitectos y llegó a manifestar que ésta se había obtenido por astucia y sorpresa y siguió en este terreno atacando a nuestro gremio en forma demagógica y desconociendo la forma cómo esta ley se tramitó.” (Boletín N°12, 1947:14). El Colegio esgrimió en su defensa razones políticas para desvirtuar la apreciación contraria, manifestando “que la parte que se refiere a la interferencia entre ambas profesiones que fué (sic) hecha de común acuerdo [entre ambas ramas profesionales] (...) [y] que el Reglamento de la Ley del Colegio de Arquitectos, lleva la firma del ingeniero don Ricardo Bascuñán como Ministro de Obras Públicas.” (Boletín N°12, 1947:14).

Ambos incidentes dejaron entrever que la separación entre ambas disciplinas, y la conformación de las distintas entidades gremiales que las agruparon, implicaron fricciones relacionadas con la delimitación aún borrosa de las competencias y responsabilidades entre arquitectos e ingenieros, tanto en el área profesional como en la esfera política. Esta situación generó a su vez, la defensa corporativa de los arquitectos que propendió a reivindicar su rol activo en temas fundamentales y para entonces recurrentes, como la vivienda y el urbanismo. Si en sus inicios la arquitectura y la ingeniería nacieron bajo una estructura formativa común, a partir de la décadas de 1940 se dio inicio a una paulatina y progresiva especialización y con ello, el delineamiento más nítido entre ellas. Definición y ajustes de disciplinas distintas con un origen común, a la postre especializadas y autónomas una de otra, y que sin embargo, convergieron hacia un objeto común de estudio, como son las obras edilicias.

Otro incidente, de naturaleza distinta, pero siempre vinculado a la cuestión medular que aquí interesa, fueron los alcances económicos que el proceso de construcción y reconstrucción supuso posterior al terremoto. Al respecto, el presidente del Colegio de Arquitectos en 1947, Alberto Risopatrón, hizo una férrea defensa gremial de la profesión, en respuesta a la editorial de “El Diario Ilustrado”. El texto de prensa, abogaba por la supresión de la obligatoriedad de contar con un arquitecto que firme los planos de un proyecto y de la supervisión técnica de obras, debido a que esto “representa un gasto considerable y una amenaza gravísima (...) porque el arquitecto cobra un tanto por ciento sobre el costo real, no sobre el presupuesto; y el costo depende de él.” (Boletín del C.A. N° 12, 1947:12), cuestionando así, su competencia profesional. La respuesta del presidente se fundó en las ventajas que representaba contar con un proyecto y control de obra, pues de ese modo, se “economiza con creces el porcentaje de estos honorarios.” (Boletín del C.A. N° 12, 1947:12).

El Presidente en ejercicio en ese momento, Gabriel González Videla (1946-52), a través del Ministerio de Hacienda, envió un proyecto de Ley con el fin de excluir la obligatoriedad de presentar planos de reconstrucción y reparación en edificios particulares con la debida firma de un arquitecto⁴⁰, lo que en la práctica suponía un paso regresivo en los alcances de prevención de la destrucción. Así lo expuso Risopatrón reaccionando enérgicamente a una medida estimaba equivocada y un contrasentido al avance ganado en los estudios e informes técnicos, "... considerando (...) que de los informes técnicos emitidos a raíz del terremoto, se desprende que las 30.000 víctimas se debieron exclusivamente a construcciones realizadas sin intervención de arquitecto y que el proyecto de ley producirá una situación igual a la existente antes del terremoto..." (Boletín N°12, 1947:14).

Ambas situaciones, daban cuenta sin embargo, del estado aún precario que representaba la figura del arquitecto y su labor en la edificación de las ciudades y de las construcciones en general, y cuyos honorarios eran asociados con un aumento de costos y un eventual perjuicio a la economía local y nacional. Asimismo, la normalización y regulación en el proceso de planificación (entendida entonces como el proyecto de arquitectura) y ejecución de la obra, dentro de los parámetros de la Ordenanza y bajo la responsabilidad y supervisión de los arquitectos, estaba en un estadio germinal aún no asimilado culturalmente, con la preeminencia de arraigadas prácticas de la construcción, caracterizadas por carencias de métodos, rigor y procedimientos claros.

Epílogo de ajustes y cambios: La Nueva Ordenanza General de Construcciones de 1949: El proceso de modificación de la Ordenanza, aunque estuvo concentrado con mayor énfasis sobre las cuestiones relacionadas a la estabilidad de las construcciones y su resistencia al fenómeno sísmico, incluyó también otras materias. Cabe recordar que solo una parte del documento está referido de forma explícita a la resistencia sísmica, y que una parte importante hace referencia a condiciones generales de habitabilidad, higiene, regulaciones de emplazamiento y procedimientos legales sobre la tramitación y obtención de permisos de edificación.

En términos generales, uno de los objetivos planteados durante el debate de la modificación a la Ordenanza fue la necesidad de sintetizar el documento. Esta medida implicaba por una parte, facilitar su lectura, aplicación y posterior fiscalización, y al mismo tiempo, establecer –en los casos requeridos– métodos de cálculo de estabilidad simplificados de resistencia

⁴⁰ Dicha exigencia estaba contenida en la Ley N°7.211 (promulgada el 30 de julio de 1942 y publicada el 4 de agosto de 1942), que creó el Colegio de Arquitectos. El proyecto de Ley enviado por el ejecutivo, proponía una extensión (sic) de la cláusula en los casos que las obras no superaran un costo de \$150.000, moneda local. En: Boletín del Colegio de Arquitectos, N°12, julio de 1947, p. 14.

sísmica. Junto con ello, la nueva Ordenanza condensó además, una postura crítica sobre el método de cálculo estático y su reemplazo por la idea de la acción dinámica de las ondas sísmicas en las construcciones. Asimismo, se relevó la importancia de los tipos de suelos de fundación y el modo cómo se transmiten los esfuerzos a la edificación. Esta aproximación, marcó un cambio cualitativo en el diseño arquitectónico y estructural del período y en adelante. En el caso de Chile, fue además una de las componentes que explican el uso ampliado del hormigón armado.

Tanto la acción dinámica como los tipos de suelo, implicaron una comprensión algo más precisa (en comparación con las ideas contenidas en la Ordenanza de 1936) respecto al impacto de las ondas sísmicas en las construcciones, pero al mismo tiempo, significaron el aumento de factores a tener en cuenta en los cálculos de estabilidad, y en consecuencia, un aumento de complejidad y la disminución de los grados de libertad en el diseño arquitectónico y estructural. Principalmente, se incorporaron la amplitud, período y desplazamiento de la onda sísmica. Se vislumbraba así (aun primariamente), que las fuerzas (energía) absorbidas por las construcciones tienen trayectorias multidireccionales y que las variables que inciden en su propagación, dependen de un conjunto mayor de factores. En este escenario, las herramientas con que dispone el método de cálculo físico-matemático son limitadas, y son modelos teóricos de interpretación o simulación aproximados que suponen un determinado comportamiento.

A grandes rasgos, los esfuerzos desarrollados por el conjunto de profesionales vinculados al estudio de los efectos del terremoto en las construcciones y sus aportes al proceso de ajuste de la Ordenanza, fueron intentos por asignar valores cuantitativos a cada uno de las componentes hasta entonces identificadas. Estas componentes pueden ser agrupadas en tres áreas: en el fenómeno sísmico (liberación, propagación de la energía y los tipos de onda); en la constitución y propiedades de los suelos de fundación; y en las condiciones constructivas, materiales y estructurales de la edificación.

En este sentido, otro elemento significativo fue el afianzamiento de la medición de la onda sísmica por medio de la escala Mercalli-Cancani modificada (1923), también llamada escala Mercalli-Cancani-Sieberg; o escala Sieberg. Esta escala correlacionaba la intensidad del movimiento telúrico, con la descripción de sus efectos y la aceleración de la onda sísmica, medida en valores decimales que fluctuaban entre 0 (cero) y sobre 5000mm/seg.² Así, la principal contribución de la escala Mercalli modificada en relación al criterio de cálculo de estabilidad con método dinámico fue la inclusión de la aceleración de la onda, que supone un desplazamiento de las fuerzas, abandonando por tanto, la interpretación del sismo como cargas estáticas.

Este fue uno de los argumentos que sirvieron de fundamento del análisis contenido en el informe de la Comisión Gubernativa, que conjugó las variables del fenómeno sísmico, con la aproximación dinámica y sus efectos en las construcciones. El ingeniero e integrante de la citada Comisión Eduardo Aguirre, sostuvo que la escala Mercalli modificada proporcionaba valores de medición más exactos, con los cuales sería posible desarrollar cálculos más precisos, no obstante el precario estado del Instituto de Sismología⁴¹. Sin embargo, en la práctica se trataba de una forma de medición que adolecía aún de parámetros subjetivos, donde el grado de intensidad estaba determinado a la percepción y observación de un observador determinado (**fig. 3.15**).

A pesar de que la escala Gutenberg-Richter fue elaborada en 1935 (Instituto de Tecnología de California) y que, como se sabe en la actualidad, es el recurso que proporciona datos objetivos de la medición de la magnitud de la energía liberada por un sismo, en Chile no fue utilizada sino hasta bien avanzado el siglo XX. Es más, luego de la escala Mercalli modificada, se empleó la escala chilena, aunque por breves años.

ESCALA DE MERCALLI-CANCANI-SIBERG (ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA)			
GRADO DE INTENSIDAD	ACELERACIÓN MM/SEG ²	ESPECIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN
I	0 a 2,5	Imperceptible al hombre	MUY LIGERO
II	2,56 a 5	Perceptible en personas nerviosas.	LIGERO
III	6 a 10	Perceptible en pocas personas.	MODERADO
IV	11 a 25	Perceptible en el interior de las casas. Notado solo por algunas personas al aire libre.	ALGO FUERTE
V	26 a 50	Perceptible por toda persona.	FUERTE
VI	51 a 100	Algunas personas creen ser	MUY FUERTE

⁴¹ Al respecto, el ingeniero Eduardo Aguirre señala que: "Dada la magnitud de los daños materiales hasta aquí producidos por los terremotos, se ve la necesidad de construir en forma racional y de que el Gobierno destine algunos millones de pesos a la instalación de observatorios sismológicos bien equipados y a la investigación permanente de los efectos de los temblores en las construcciones." (Aguirre, 1939:365).

		derribadas al suelo y se producen daños ligeros cayendo objetos de estanterías.	
VII	101 a 250	Se caen objetos pesados, se producen daños de consideración en edificios de mala construcción, las chimeneas se agrietan.	RUINOSO
VIII	251 a 500	Se producen daños aún en casas de buena construcción, caen chimeneas y torres de Iglesias.	DESTRUCTOR
IX	501 a 1000	Las construcciones viejas se desploman, se observan daños apreciables en casas de construcción sólida.	
X	1001 a 2500	Las mejores construcciones sufren desperfectos, el pavimento se agrieta y se abren hendiduras en el suelo, hay movimiento en las aguas de ríos, lagos, etc.	MUY DESTRUCTOR
XI	2501 a 5000	Nada queda en pie de todas las construcciones de mampostería, los	CATÁSTROFE

		rieles se curvan y amontonan, los suelos blandos y ricos en agua sufren dislocaciones intensas en sentido vertical y horizontal.	
XII	Sobre 5000	Nada queda en pie de las obras construidas por el hombre.	GRAN CATÁSTROFE

Fig. 3.15 Escala de Mercalli-Cancani-Sieberg, 1923. Fuente: Terremoto y Normas Antisísmicas, Álvaro Maldonado, Edgard Pfenning, Tesis Escuela de arquitectura Pontificia Universidad Católica de Chile, 1965.

La interpretación del fenómeno y su representación a través de datos cuantitativos, no sólo fue una herramienta útil y aplicable en la sismología y en los cálculos de estabilidad. Fue también un medio que posibilitó (más allá los márgenes de error resultantes de medios tecnológicos limitados en comparación a los actuales) la medición y definición de rangos con valores máximos y mínimos. La medición más precisa que se obtuvo del terremoto de Chillán, permitió establecer que en “(...) Chile, la amplitud máxima tal vez puede aceptarse de unos 5 cms. Llamaremos flexibles, a las construcciones de período propio de vibración superior al período corriente de las ondas principales (...). El profesor de Puentes, don Julio Ibáñez, llegó a estas conclusiones hace nueve años en un estudio de sobre asismicidad de las construcciones que hizo poco después de conocer el interesante trabajo del profesor don Gustavo Lira, sobre Estabilidad Sísmica de las Construcciones.” (Aguirre, 1939:359). La hipótesis propuesta por Aguirre a partir del trabajo previo de Ibáñez y Lira, tuvo alcances significativos en el cálculo estructural y en la forma edificada, porque limitó los modelos de cálculo, redujo parcialmente la incertidumbre, y amplió algo más el dominio en el campo de la sismorresistencia. Asimismo, la definición de los límites aproximados del rango de fluctuación de la amplitud de onda en el país, significó un avance sustancial que se tradujo en la definición de un umbral para el diseño sismorresistente que inauguró la segunda mitad del siglo.

Todos estos factores confluyeron también en la definición de un margen de error más restringido (inversamente proporcional al margen de seguridad) y en la elaboración de proyectos de cálculo más ajustados, que condujeron (durante las décadas siguientes), hacia la disminución del material

excedente producto de la prevalencia de elementos estructurales que consideraron dilatados márgenes de seguridad.

Cambios cualitativos en la Nueva Ordenanza. La dinámica morfológica, estructural y matérica: Agregado como apéndice a la nueva Ordenanza General de Construcciones y titulado como “Procedimiento aproximado para la determinación de la acción de los temblores en las construcciones”, el Anexo II tuvo por objeto proporcionar las herramientas a través de las cuales era posible alcanzar un método simplificado en el cálculo estructural, aplicado a construcciones de hormigón armado y acero⁴². Fue también un documento que sirvió de fundamento a la crítica al método estático que suponía el sismo como un movimiento regular y constante, similar al efecto de péndulo (movimiento armónico simple). En su reemplazo, se introdujo la “teoría de las vibraciones” (Anales del Instituto de Ingenieros N°12, 1940:445)⁴³, a través del cual se fijaron las bases para el método de cálculo dinámico. Este cambio de paradigma estuvo determinado en parte, por la medición de los sismos ya no con sismógrafos, sino que mediante acelerógrafos, instrumentos que medían el desplazamiento de las ondas en el terreno y su aceleración, como el nombre lo indica. Los datos aportados por este nuevo medio, resultaron fundamentales para obtener los factores de la propia aceleración, amplitud y desplazamiento. Estos valores fueron así incorporados a las ecuaciones del cálculo de estabilidad estructural en un escenario supuesto (evento sísmico) en un espectro más preciso. Esta aproximación rectificadora y más ajustada al fenómeno sísmico, fue resultado también de la incorporación de conceptos más precisos provenientes de la geología⁴⁴ y la sismología.

El Anexo II fue difundido en diversos medios, principalmente técnicos, como los Anales del Instituto de Ingenieros de Chile y en la Revista Chilena de Racionalización (Instituto de Investigaciones Tecnológicas y

⁴² El Anexo II contenía:

1. Una crítica al llamado método estático del cálculo de construcciones antisísmicas;
2. Incorporaba una explicación de la base física del procedimiento simplificado de cálculo;
3. Presentaba un análisis demostrativo del procedimiento
4. Estudio de una cepa de puente de hormigón armado con diferentes rigideces.
5. Consideraciones sobre la extensión de la validez de las conclusiones obtenidas en el caso de la cepa de puente estudiada. Normas procedentes.
6. Consideraciones sobre el periodo de las ondas sísmicas destructoras.
7. Periodo propio de vibración de las construcciones. Fórmulas de fácil aplicación para muros, puentes, galpones y edificios.
8. Cálculo de resistencia sísmica de un muro de hormigón armado.
9. Cálculo de resistencia sísmica de las cepas de un puente de hormigón armado.
10. Cálculo de asismicidad de un edificio comercial de hormigón armado.

Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización. Ley y ordenanza general sobre construcciones y urbanización, Santiago, 1950, p. 73.

⁴³ En: Anales del Instituto de Ingenieros N°12, 1940, Año XL, diciembre.

⁴⁴ El avance en la interpretación del fenómeno sísmico durante este período, provino también del aporte de la misma Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (fundada en 1942) de la Universidad de Chile, que hasta ese momento, aglutinaba las especialidades de Ingeniero Geógrafo, en Minas, Puentes y Caminos, y Arquitectura (unidad independiente a partir de 1946, año de fundación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo). Según el registro del Instituto de Ingenieros de Chile, dependiente de la misma universidad, en 1888 (año de fundación) contó con un total de treinta y dos integrantes, repartidos como sigue: 2 pertenecientes a ingeniería civil (puentes y caminos); 18 de ingeniería geográfica; y 7 de minas. Fuente: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2014.

Normalización). Mientras que la edición de la Ordenanza General correspondiente a la su primera modificación (1941), incluyó ya en sus inicios el citado anexo⁴⁵. (**fig. 3.16**). Todas las versiones, sin embargo, son reproducciones fieles entre sí y no presentan diferencias, como fue el caso de la primera Ordenanza General de 1930.

En esencia, el Anexo II proporcionaba, como el título lo indica, un método y los recursos *aproximados* para el cálculo, concentrado en dos tipos de construcciones: puentes y edificios. Antecedido por el marco conceptual que fundamenta el criterio en que se basa, el grueso del documento contiene fórmulas matemáticas que incorporan las nociones del nuevo método asociado al cálculo sismorresistente bajo la idea de la acción y desempeño dinámicos, que abandonaba la asimilación de los “temblores a la acción de fuerzas horizontales que actúan en el centro de gravedad” de los elementos materiales del edificio, equivalente a suponer la “aceleración continua del terreno de fundación en sentido horizontal.” (Inditecnor, 1949:73).

Contrario a lo que suponía el movimiento armónico simple, la propagación de ondas sobre el terreno estaba sometida a bruscas oscilaciones variables en el tiempo (período) y en aceleración. Contrastes relacionados, como señalan el Informe Gubernativo y el ingeniero Eduardo Aguirre en particular, con los tipos de ondas identificados, hasta ese momento: precursoras longitudinales, precursoras transversales, y ondas principales. Esto, sumado a las diferencias en la composición de los tipos de suelo, conformaron una zona de confluencia interdisciplinaria (entre la geología y la sismología) que sirvieron de base para un método de cálculo más preciso, aunque todavía con desafíos significativos por delante. Así lo deja ver también Eduardo Aguirre, refiriéndose a la contribución del Anexo II, manifestando que “... podrían haber críticas en cuanto al rigor con que se han tomado estos límites [índices del cálculo y factores de seguridad aproximados], debe recordarse que la técnica de la construcción antisísmica debe contentarse, por ahora, con hacer estructuras que tengan la mayor probabilidad de resistir, aunque ésta no llegue al 100%.” (Anexo II, 1949:80).

Al interior de la Comisión Gubernativa, quien lideró el estudio de las materias vinculadas a los suelos, fue el ingeniero en minas Jorge Muñoz Cristi. Dada su área de especialización, es probable que el mapa contenido en este anexo (fig. xx) haya sido elaborado de acuerdo a las observaciones y registro de Muñoz durante la evaluación de daños realizada posterior al terremoto. En lo relativo a la constitución geológica del país y las componentes de esta naturaleza que debían tenerse en cuenta en la

⁴⁵ Ley y Ordenanza General sobre Construcciones y Urbanización y Ordenanza Local de Construcciones de Santiago, Edición del Diario Oficial, Talleres Gráficos La Nación S. A., Santiago, 1941.

regulación edilicia, la nueva Ordenanza incorporó una clasificación de suelos agrupados en tres tipos: terreno suelto o arena; conglomerado o muy compacto; y roca, graduados desde la condición más desfavorable a la óptima respectivamente que en función de la rigidez de la construcción, debía considerarse un coeficiente sísmico en un rango entre 0,10 y 0,15 (art. 250). Asimismo, la estimación de las variaciones de la amplitud de onda condicionadas al tipo de suelo, que como señala Aguirre, “varía también con la clase del medio que les sirve de vehículo: [siendo] menor en los materiales rígidos y suelos duros...” (Aguirre, 1939:357). Se desprende por tanto, que las tres categorías definidas en la Ordenanza hayan sido clasificadas con valores de 5 a 6 cms. para terrenos sueltos o arena; 4 cms. para suelos compactos; y 2 cms. en el caso de roca.

En lo que respecta a los efectos de las ondas sísmicas, el Anexo II fue categórico al afirmar que “no tiene efecto la forma de la onda del movimiento oscilatorio y sólo importa la aceleración máxima o la amplitud del movimiento según se trate de una varilla muy rígida o muy flexible respectivamente. En varillas de rigidez intermedia, tal que provoquen resonancia, las solicitaciones son infinitamente grandes y tampoco importaría la forma de la onda, como se comprende.” (Anexo II, 1949:78).

La crítica al método de cálculo estático y la promoción del método de cálculo dinámico, confinado en el ámbito de la teoría, cobró forma en algunas modificaciones introducidas en ciertos artículos del texto regulador de las construcciones. Si la Ordenanza de 1936 fijó la categorización de las construcciones de acuerdo al sistema constructivo y material, el documento de 1949 depuró la clasificación eliminando la clase de edificios con muros perimetrales en ladrillo sin refuerzo (clase G). Asimismo, se redujo el número de tipos de construcciones considerando las clases A hasta la F. Esta vez, la clasificación consideró la redistribución, que incluyó en primer lugar, las estructuras en esqueleto de acero (clase A), seguido de las construcciones en hormigón armado (clase B) y de albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón (clase C). Se incorporó además un tipo de edificio en albañilería de piedra, considerado estructuralmente análogo a la clase C, es decir, con refuerzos de pilares y cadenas de hormigón y con altura máxima de dos pisos (clase D). En el caso de las construcciones de madera (Clase E), se restringió su altura de 12 a 7 metros como máximo, en dos pisos. Los edificios de adobe constituyeron la última clase (F), y los principales ajustes correctivos estuvieron centrados en limitar la altura (entre 3 y 5 metros) en un solo piso. Se apostó así por asegurar cierto grado de estabilidad mediante un criterio de tipo geométrico (ancho, largo, alto), morfológicamente limitado (construcciones bajas) y cuya forma edificada representara un volumen y masa acotados.

En estricto rigor, la eliminación de edificios con fachadas de albañilería simple no fue una disposición proscriptiva⁴⁶. Fue más bien, una omisión deliberada. Así, esta categoría quedó en un campo de vacío legal. Esta decisión política apuntó a disminuir progresivamente en el tiempo este tipo de edificios, pues como quedó señalado en los informes, y demostrado en la vasta destrucción del terremoto de Chillán, su capacidad de oponer resistencia a los sismos de magnitud importante, más allá de factores externos (como los tipos de suelo), fue escasa y en muchos casos, nula.

Morfológica y materialmente, la supresión de esta clase de construcción implicó el necesario reemplazo de aquel (a partir de ese momento, 1949) obsoleto sistema constructivo y material de limitadas posibilidades de crecimiento en altura, por sistemas de probado mejor desempeño sismorresistente. Este proceso progresivo redundó a la postre, en la masificación de unidades y conjuntos edilicios construidos en hormigón armado; en albañilería armada (con pilares, cadenas y, en algunos casos, losas de hormigón armado); y en menor medida, en sistemas con *esqueleto* de acero, con (o sin) rellenos de hormigón. Las construcciones de madera, en tanto, son un caso aparte porque, por un lado, ha sido una solución difundida principalmente en las regiones australes del país asociada a otro tipo de factores (sin excluir los seísmos) y lógicas particulares, como el clima y la disponibilidad del recurso⁴⁷.

En efecto, a partir del terremoto de Chillán, el hormigón –y la industria del cemento– quedó en una posición comparativamente ventajosa en comparación a otras opciones, como la madera, el acero y en menor grado, la albañilería armada. Mientras que el recurso maderero presentó la gran desventaja por su alta inflamabilidad, el acero quedó paulatina y progresivamente desplazado por el hormigón, a pesar de sus cualidades elásticas y buen desempeño material en eventos sísmicos. Además de las razones económicas que pueden explicar esta situación, y desde el punto de vista técnico, la inclinación por asegurar la estabilidad de los edificios con hormigón armado, se explica también por la adopción de los criterios estructurales de la escuela japonesa. En efecto, luego del terremoto de 1923, el país asiático impulsó los estudios orientados a lograr la resistencia sísmica mediante la construcción de estructuras rígidas, donde el hormigón armado fue el material adecuado. Mientras que el acero, aun habiendo demostrado –si bien con posterioridad, en 1960– desempeños notables durante violentos sismos, su naturaleza plástica y dúctil, se correspondía con el criterio

⁴⁶ La proscripción implica una prohibición expresa respecto a un acción u objeto.

⁴⁷ A pesar de que la madera ha sido considerada un material adecuado para resistir las tensiones estructurales durante un evento sísmico, su principal desventaja radica en el riesgo potencial que representa frente a los incendios, que en zonas de concentración de población (pueblos y ciudades), puede tener consecuencias devastadoras.

norteamericano, basado en la absorción de las ondas sísmicas mediante estructuras elásticas.

La simplificación de las variantes constructivas contenidas en la Ordenanza, significó también un reordenamiento orientado a la homogeneización de los sistemas empleados y la ligazón entre las partes estructurantes. Pero por otro lado, ciertas indicaciones contenidas en el nuevo instrumento conservaron aún un sentido general, vago y propositivo antes que prescriptivo. Un ejemplo de ello se observa en la disposición que se refiere a los amarres requeridos en edificios construidos con sistemas mixtos. La nueva Ordenanza, más que exigir un determinado estándar, se concentró en sugerir “disposiciones adecuadas en la unión de las distintas clases [de construcción], para asegurar las debidas condiciones resistentes tanto para las solicitaciones verticales como para las horizontales.” (OGCU, 1949, Título III, Cap. XX, Art. 243, inciso 3°). Tales disposiciones, a diferencia de otras medidas claramente restrictivas (como alturas máximas, criterios de estructuración, o cálculo de resistencia de materiales), expresó una aspiración por alcanzar un estándar de ejecución confiado en el arte del buen construir, postergando así, en parte, la total regulación normalizada con métodos objetivos y claros.

Estas áreas aún difusas en los contenidos de la Ordenanza de 1949, dan cuenta del proceso de transición durante el cual fueron estudiadas las propuestas de modificación, como se ha examinado en este capítulo. Asimismo, representan una evidencia de las limitaciones inherentes a un estado del conocimiento en continua revisión y actualización. Las teorías de aproximación al fenómeno, su relación con las construcciones y la exploración de los métodos y herramientas necesarios para cubrir los márgenes de resistencia, fueron un conjunto de recursos empleados para tales fines, pero no representaron una forma de solución acabada, sino inconclusa y siempre perfectible. De todos modos, los esfuerzos por alcanzar un mayor grado de perfeccionamiento de los contenidos de la Ordenanza y el trazado de la ruta por alcanzarlo, fue una vía que legítimamente reconocida tras el debate de modificación.

La tendencia hacia la homogeneización estructural y material de las construcciones, cobró expresión en dos facetas. Por un lado, en el criterio de diseño fundamentado en el principio de resistencia por rigidez; y por otro, en la idea de la edificación concebida como unidad. Esta última propendió al diseño estructural de unidades compactas que, sin desconocer el efecto sísmico sobre cada una de las componentes del cuerpo edificado, estimó mayor eficiencia en casos geométricamente regulares y materialmente homogéneos. Se trató por tanto, de una aproximación que apelaba al diseño arquitectónico y estructural y su constitución matérica. En este sentido, el hormigón armado pareció el material idóneo que, a diferencia del acero,

ofreció mayor rigidez. Asimismo, el método de fabricación significó ventajas comparativas en relación a otros procedimientos, pues facilitó la conformación de unidades materialmente continuas, monolíticas y con posibilidades de crecimiento en altura. Esta última variable, representó en otros casos como el ladrillo, la madera, y el adobe, una limitante insuperable.

Por otro lado, las propiedades físicas del hormigón ofrecieron una solución que atendía dos tipos de esfuerzos estructurales presentes durante un evento sísmico: la acción fluctuante de cargas por compresión y tracción. La constitución resultante de la mezcla del cemento, arena y ripio, que conjugada con el amarre aportado por las nervaduras de la enfierradura, demostraron resultar eficientes frente a tales tensiones⁴⁸. Ventajas que aplicadas a un diseño rígido, sirvieron de argumento para promover la masificación de este sistema. Como afirmaba el ingeniero Santiago Aguirre, “[l]as estructuras que han probado resistir mejor a los terremotos, han sido las que se acercan más a las rígidas, o sea, aquellas que poseen mayor rigidez de conjunto y tienen períodos de vibración menores que los períodos de los sismos. Las construcciones llamadas flexibles, tienen frecuencias de oscilación más dilatadas que las de los temblores y, salvo en obras de madera o totalmente metálicas, son costosas y de difícil realización.” (Aguirre, 1939:357). La inclinación por el empleo de hormigón armado, en desmedro de los esqueletos de acero como alternativa válida en cuanto a resistencia sísmica, puede ser explicada en parte por el afianzamiento de la asociación entre edificios rígidos y buen desempeño sismorresistente. Criterio incorporado en la experiencia y modelo nacional a partir de los conocimiento y criterios adoptados por la llamada escuela japonesa, que tras el terremoto de 1923, se inclinó por asegurar la estabilidad de las construcciones por medio de este criterio de diseño estructural y morfológico, donde el hormigón armado reportó aceptables desempeños.

Pero el terremoto de Chillán no sólo posibilitó la reafirmación de aproximaciones teóricas y conceptuales en torno al comportamiento de las construcciones y las ondas sísmicas. También incluyó nuevas variables que podían llegar a ser determinantes en la resistencia a la destrucción, como ha examinado este capítulo. La rigidez estructural no sólo fue considerada en los elementos visibles de la edificación. De hecho, fue un concepto extendido a las fundaciones que, de acuerdo a determinados escenarios y según su composición, se consideró la provisión de cimientos robustos y amarrados entre sí con el fin de asegurar el debido asentamiento. Medidas que tuvieron un doble objetivo: por un lado, evitar las variaciones abruptas de las

⁴⁸ Una de las aristas desarrollada con mayor énfasis en las tecnologías de fabricación del hormigón, ha estado centrada en el perfeccionamiento y depuración más precisa de las granulometrías y calidad de los áridos empleados, su dosificación y la densidad de distribución de los esqueletos de la enfierradura. Todas estas materias desarrolladas por la industria y aplicadas en el cálculo estructural.



Fig. 3.16 Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización y Ordenanza Local de Santiago, publicados en el Diario Oficial, N° 17.386 y N° 18.486, 1941.



Fig. 3.17 Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, publicada en Revista Chilena de Normalización N°10, 1949.



Fig. 3.18 Anexo II publicado en Revista Chilena de Normalización, 1949.

secciones de las fundaciones producto de eventuales desniveles del terreno; y por otro, asegurar una cierta uniformidad y regularidad. Así, la totalidad de la unidad quedaba regida bajo un criterio unificado por el principio de continuidad morfológica, estructural y material.

Entender la reacción de las construcciones en un sentido unitario se relaciona con la aproximación a la teoría de sistemas. Durante un evento sísmico, todas y cada una de las partes se ven afectadas en sí mismas, en relación a las otras y al total. Es importante destacar que esta relación no fue tratada explícitamente por los agentes y actores involucrados en el proceso de normalización y transformación de las construcciones durante el período. Esta relación fue desarrollada por Benjamin Handler y más recientemente por Teresa Guevara. Se sostiene que una de las relaciones de interés que subyace al proceso de rectificación y perfeccionamiento de la Ordenanza, en sus diversas etapas, fue la concepción del fenómeno sísmico, el comportamiento, y el desempeño —en tanto evaluación crítica de resistencia— de las construcciones, en función de una relación indisoluble entre las vibraciones sísmicas y el objeto que las recibe. Sobre esta base, los estudios estuvieron orientados a la identificación —y posteriormente a la simulación— de las formas de reacción de las partes y del total en determinados escenarios cambiantes producto de la perturbación de un estado en equilibrio.

La carga representativa del esfuerzo estructural supuso un vector aplicado en el centro de gravedad de cada uno de los elementos soportantes (Aguirre, 1939:360), cuya reacción y consecuente deformación, se desarrollaba en cada uno de éstos en la totalidad de la unidad edificada (compresión, tracción, momento y esfuerzo de corte). Esta aproximación conceptual representó un cambio cualitativo importante y que explica en parte las razones por los cuales se hizo énfasis en el avance hacia la homogeneidad morfológica y material de las unidades y de los conjuntos edilicios.

Una parte de las modificaciones importantes contenidas en el texto definitivo de la Ordenanza General de 1949 fueron volcadas en el artículo 154. A pesar de haber sido disposiciones genéricas y redactadas en términos de recomendación, antes que exigencias normativas y legales, se propuso, entre otras cosas, que la estructuración de los edificios debía considerar el uso combinado de pilares y vigas con elementos rígidos como muros, y “[e]n cuanto sea posible deben establecerse superficies continuas de muros sin grandes vanos, a menos de adoptarse arriostramientos y marcos rígidos para recoger las fuerzas horizontales.” (OGCU, 1938:36. Art. 154). Recomendación que como se pudo observar en la industria Bellavista en Tomé, no fue recogida en su diseño, lo que generó el derrumbe total del edificio de los talleres. Se consultaba más adelante el empleo de hormigón armado en dichos elementos soportantes (pilares y vigas), y “apoyos aislados

en general” (OGCU, 1938:37. Art. 170) atendiendo así a la consolidación de homogeneidad y continuidad matérica. El arriostramiento exigido durante un sismo, se estimó alternativamente tanto en muros exteriores como interiores y sus combinaciones posibles, al decir que “en lo posible (...) muros resistentes exteriores y (...) muros interiores rígidos, normales a los primeros.” (OGCU, 1938:36. Art. 153). Por oposición, y a pesar de la redundancia, la Ordenanza agregaba más adelante que “[n]o se admitirá ninguna disposición constructiva en que algún elemento del edificio origine empujes no contrarrestados eficazmente.” (OGCU, 1938:36. Art. 156). A través de esta disposición, se supuso la garantía implícita de obligar construcciones que contaran con elementos que opusiesen resistencia a los sismos. Sin embargo, se amparó en una condición poco definida y por tanto, escasamente medible y fiscalizable. Era más bien una aspiración antes que una reglamentación clara y concreta.

Físicamente, el texto de 1949 (**fig. 3.17**) enfatizó la necesidad de asegurar una transmisión directa de fuerzas verticales “desde la techumbre al cimiento”; la distribución de masa y peso de modo inversamente proporcional a la altura del edificio (es decir, elementos de menor sección en los pisos superiores, y más robustos en el base); y la homogeneidad material, y en particular en los elementos estructurales. Asimismo, se sugirió evitar “en lo posible la interrupción de continuidad de los muros y los cuerpos salientes sobre las líneas generales de edificación.” (OGCU, 1938:36. Art. 154). Finalmente, se indicaba el inconveniente que resultaba contar con configuraciones heterogéneas dentro de un mismo edificio, tanto en la configuración volumétrica como en las diferencias de altura. Es probable que este punto haya estado referido a la potencial vulnerabilidad de puntos de empalme en volúmenes integrados a una sola pieza edilicia, que frente a un evento sísmico, pueden tener comportamientos disímiles (período de vibración) y con ello, potenciales roturas estructurales.

El principio de homogeneidad y afianzamiento de las partes consideró también a los paramentos no estructurales, para los cuales se prohibió “la construcción de tabiques que no sean debidamente triangulados y amarrados a los muros o tabiques contiguos, ni aquellos en que los rellenos no queden sujetos debidamente por ambas caras al esqueleto o enmaderación.” (OGCU, 1938:36. Art. 160).

Por último, se sugirió el empleo de elementos estructurales de sección mayor en los niveles y superiores y progresivamente más esbeltos, conforme se aumentaba la altura y cantidad de plantas y pisos superiores. Se trató de un criterio basado en el principio de masa y peso inversamente proporcional a la altura, mediante el cual se aspiró a lograr mayor economía material, la eliminación de cargas muertas innecesarias, y el dimensionamiento estructural segregado y diferenciado por piso. Este principio, asignó

implícitamente a la planta del primer nivel una importancia fundamental, pues concentraba las cargas acumuladas de los pisos superiores y al mismo tiempo, oponer resistencia al vaivén de los sismos. Ello explica en parte, la presencia de elementos estructurales (muros, pilares, vigas y losas) de secciones notables, en algunos casos, excesivamente robustos y sobredimensionados.

La resistencia por rigidez y sobredimensionamiento en el proceso de regulación sísmica de la edificación: La definición de rangos o espectros teóricos, donde el mínimo y máximo definen los polos críticos del desempeño de resistencia sísmica de una construcción determina, supone un campo de seguridad, que desde un punto de vista morfológico y arquitectónico, redundaba en un grado de sobredimensionamiento de la estructura. Dicho sobredimensionamiento predominó con cierta regularidad, en los nuevos edificios que comenzaron a densificar las ciudades o que comenzaron el reemplazo de las construcciones bajas, de uno o dos pisos, durante la primera mitad del siglo XX.

El sobredimensionamiento de los elementos estructurales, o en los términos expresados en la Ordenanza, como “elementos importantes”⁴⁹, tales como pilares, vigas, muros, fachadas y pisos (“suelos”), fue un recurso ampliamente difundido en diversos tipos de construcciones. Desde edificios públicos (que por su condición fiscal quedaban al margen de las condiciones reglamentarias contenidas en la Ordenanza); los edificios privados; y la diversidad de la edificación construida durante este período, que atravesó una heterogeneidad de estilos, lenguajes arquitectónicos, tipologías y formas de ocupación predial de la manzana sobre el tejido urbano.

Es decir, el criterio estructural y constructivo empleado de modo masivo –al menos en las construcciones edificadas de modo regular y bajo los procedimientos oficiales prescritos en la Ordenanza- tendió a la erección de construcciones estructuradas con elementos de grandes secciones y con un resultado formal asociado a una expresión arquitectónica masiva y pesada. En efecto, probablemente las construcciones más significativas de este primer momento, son resultado de dos cuestiones principales. Por un lado, la postura profesional de ingenieros y arquitectos comprometida con la intención de planificar las construcciones –procedimientos proyectuales, procesos de construcción, preeminencia de estándares racionales y fiscalización de la calidad-; y por otro, quizá menos tangible, la implementación del marco regulatorio de dichos procesos proyectuales y de

⁴⁹ Art. 2 Elemento importante: Todo elemento resistente u orgánico de un edificio, como ser: los cimientos, muros soportantes, suelos, pilares, la techumbre, las torres y otros análogos.” Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, Santiago, 1938, p. 10.

construcción, como fue la conformación de la Ordenanza General, en su estado inicial y en proyección de sus posteriores ajustes. En ambos casos, distintos aunque complementarios y recíprocos, el denominador que los vincula fue el sentido preventivo de la destrucción. Es decir, la planificación como recurso para anticipar la catástrofe, mediada por la racionalización, la ciencia y la tecnología.



Fig. 3.19 Panorámica de Santiago, 1920.
Archivo Museo Histórico Nacional



Fig. 3.20 Fotografía de Chillán, 1922. Vista calle Arauco. Archivo Museo Histórico Nacional.



Fig. 3.21 Panorámica de Talca, 1920.
Archivo Museo Histórico Nacional.



Fig. 3.22 Teatro de La Victoria, Valparaíso, antes del terremoto de 1906. Archivo Museo Histórico Nacional.

La aproximación preventiva de los ingenieros y arquitectos, se tradujo en el empleo de elementos estructurales sobredimensionados, como recurso científico, técnico y, en parte también, empírico. A través de este recurso, se pensaba, se aseguraba un desempeño sismorresistente en un escenario donde si bien hubo importantes avances, aún presentaba importante lagunas en el conocimiento, y por tanto, de incertidumbre. Tales lagunas fueron así enfrentadas con rangos de seguridad mucho mayores a los que probablemente el cálculo contemporáneo podría hoy determinar de modo más exacto, donde se apostaba a construcciones resistentes sísmicamente por inercia y rigidez. Conceptos contenidos también –implícita y explícitamente- en la Ordenanza del primer período de estudio (1930-1949). Este hecho pudo haber sido significativo, aunque no determinante por sí solo, en la posterior predominancia del hormigón armado por sobre las estructuras de acero, en las construcciones en general, y en los edificios en particular. Proceso que en la actualidad ha alcanzado una consolidación y ha relegado al acero como un material, si bien sismorresistente, vulnerable al colapso por incendios⁵⁰.

Todos estos factores, confluyeron en último término, en un resultado morfológico, formal y arquitectónico particular en Chile, en el cual se asimilaron las nuevas tecnologías, las variantes de lenguajes y expresiones arquitectónicas amplias (desde los estilos hasta la arquitectura moderna), pero con la particularidad condicionante del fenómeno sísmico y el diseño estructural como medio de resistencia a la destrucción.

⁵⁰ Es interesante poner de relieve un caso opuesto, como Estados Unidos, donde los rascacielos y los edificios en altura, algunos de ellos significativos en la historia de la arquitectura, predominan los esqueletos de acero, aún en centros urbanos localizados en las zonas sísmicas de la costa oeste del país.

Capítulo 4: La Norma Chilena 433. Of.72. Cálculo Antisísmico de Edificios (1959-1972).

Del paradigma determinista al paradigma probabilístico de diseño estructural.

Introducción: Si la Ordenanza General fue un instrumento que tuvo por objeto regular las construcciones y la urbanización en el país, la redacción y oficialización de la Norma NCh433. Of72 significó la elaboración de un instrumento de regulación sísmico destinado exclusivamente para el cálculo estructural de edificios en Chile,¹ y la escisión de la Ordenanza General.²

Las consecuencias que implicó este hecho, fueron más amplias que las observadas desde un punto de vista legal o administrativo. En lo sustancial, se plantea que la redacción de la Norma Chilena 433 oficializada en 1972, marcó antes que nada, un punto de inflexión en la historia de la regulación sísmica del país, que permitió una aproximación hacia el paradigma en el diseño estructural de edificios probabilista, y el abandono del paradigma probabilista imperante en las décadas anteriores. Vale decir, la asimilación de una condición fundamental en que “[l]os valores de resistencia [considerados] (...) acepta un valor estimado reconociendo que el hormigón puede fallar -o bien- puede ocurrir que no siempre se alcance el valor esperado en el estudio. No así en su versión anterior del año 1952, que son del tipo “determinístico” considerando los resultados como mínimos absolutos, no siendo aceptados valores inferiores a ellos.” (Arriagada, 2011:3).

Sin embargo, la oficialización de la Norma NCh433 no significó la sustitución completa de las materias contenidas en la Ordenanza General que la antecedió. De hecho, los método -estático y dinámico- de cálculo estructural validados en dicho instrumento a la luz de la experiencia sísmica del período (entre los que destaca el cataclismo de Valdivia, 1960), fueron recogidos también en la Norma 433. Así, la separación de la Norma NCh433 respecto de la Ordenanza General, condujo antes que nada, hacia un marco legal de regulación científico más especializado, y orientado a la ingeniería estructural. De lo que se desprende que

¹ El preámbulo de la publicación (1974) de la Norma señala que “está destinada a reemplazar los artículos 249, 250, 251, 252 y 253 del Capítulo XXI” (NCh433. Of72:1).

² Título III, Estabilidad de las construcciones, OGCU, 1949. Oficializado mediante Decreto 884, del Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación que Reemplaza Ordenanza General de Construcciones, publicado el 10/09/1949 y promulgado el 13/06/1949. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. En: www.leychile.cl

La Ordenanza de 1949 ha desempeñado un rol muy importante en el buen comportamiento sísmico de construcciones que tuvieron que resistir los efectos de nuevos terremotos destructivos. (...) La idea de establecer dimensiones mínimas para elementos de edificios que no requieren cálculos de estabilidad ha resultado ser muy útil y ha constituido un procedimiento seguro para el diseño de construcciones menores. (Flores et. al., 1993:164).

Desde esta perspectiva, la promoción de la redacción de la Norma 433 sirvió de complemento a las disposiciones –más generales- contenidas en la Ordenanza, antes que un documento crítico y sustitutivo del anterior. Postura contraria, sin embargo, a los planteamientos formulados por el ingeniero chileno Hugo Bertling durante la primera Conferencia de Ingeniería Sísmica (California, 1956). En dicha ocasión expresó su postura crítica no sólo sobre la Ordenanza General de 1949, sino que el propio cuerpo profesional del que formó parte. Para Bertling, “The building code [1949] contains other different regulations related to the computations of the natural period of vibration of the buildings. These regulations are obsolete and structural engineers ignore them.” (Bertling, 1956:20-9).

Más allá de estas diferencias, se debe tener claridad que, en último término, la Norma Chilena 433 no reemplazó las disposiciones de la Ordenanza General, sino que sirvió de complemento (del mismo modo que lo fue el anexo consultado en la Ordenanza General de 1931) y de marco de regulación destinado exclusivamente a una disciplina (ingeniería estructural) que para la década de 1960 fue una especialidad constituida como tal.

La principal contribución de la Norma Chilena 433 fue la inclusión de los conceptos, métodos y criterios asociados al espectro de aceleraciones, y la consideración del momento de corte basal y momento volcante, determinados en función al empotramiento del edificio (fundaciones). Posteriormente, tales avances permitieron, por ejemplo, el estudio de “un modelo estructural con distribución continua de masa y rigideces horizontales de la estructura que permite el estudiar el problema de la respuesta sísmica de edificios altos.” (Castro, 1980:1).

Tales aproximaciones teóricas al comportamiento y desempeño estructural de los edificios en medios sísmicos, sumado a “la necesidad de conseguir construcciones monolíticas y continuas, recomendaciones que, como se sabe hoy día, son básicas en ingeniería sismo-resistente.” (Flores et. al., 1993:164), fueron cimentando progresivamente las bases sobre las cuales se ha ido conformando la arquitectura de los terremotos en Chile. Pero más allá de las

diversas fases por las que ha estado atravesado el proceso de regulación sísmica –y ajustes correctivos progresivos–, probablemente el concepto transversal a todas ellas, recurre a la resistencia estructural por rigidez y monolitismo. El desarrollo que sigue en el presente capítulo, intenta exponer de qué modo ese mismo concepto o principio arquitectónico-estructural, fue recogido en la Norma Chilena 433 a la luz del paradigma probabilístico en ella encarnado.

Antecedentes de la Norma Chilena NCh433 Of.72: Probablemente el avance más relevante contenido en la *Nueva Ordenanza General* (1949), fue la inclusión del método dinámico de cálculo estructural. Sin embargo, su consideración no significó la exclusión del viejo método estático, sino todo lo contrario: la prevalencia de ambos aplicables a distintos casos, según la naturaleza y características de la unidad edilicia a calcular. Por tanto, ambos métodos cubrieron así un mayor repertorio de construcciones presente en el país, considerando no sólo la heterogeneidad de las mismas, sino que también la diversidad geográfica, los tipos de suelo y la sismicidad del país, que a la postre se tradujo en la confección de un mapa con tres grandes zonas (costa, valle central y cordillera).

La puesta en vigencia de la Norma Chilena 433 no supuso una ruptura total respecto del instrumento antecesor (*Ordenanza* 1949), sino todo lo contrario, pues la incorporación de los métodos estático y dinámico, significó la validación de ambos, aunque ceñidos a distintos campos de aplicación. En lo fundamental, condicionados a la altura de la edificación, donde el método estático quedó constreñido a edificios de 45 metros (o 15 pisos) altura máxima, y el método dinámico a los mismos y a aquellos de altura superior (NCh443 Of.72), (Arias, et.al., 1969:44). En cierto modo, esta medida condensó la experiencia acuñada a lo largo de las décadas anteriores en los dos grandes períodos del desarrollo de la *Ordenanza*: el primero orientado al método estático (1930-49); y el segundo al método dinámico (1949-1959). Al mismo tiempo, supuso el reconocimiento de una condición heterogénea del estado de las construcciones en el país, y que en algunos casos, resultaba pertinente desarrollar cálculos estáticos, y en otros, de mayor complejidad, de corte dinámico. Evidentemente, el proceso de ajustes y cambios requiere de un estudio profundo que permita establecer la multiplicidad de factores y posiciones teóricas que nutrieron el proceso, y dimensionar sus alcances posteriores, como se verá a continuación.

La década comprendida entre 1949 y 1959 fue un período caracterizado por cierta estabilidad en términos de sismicidad y durante el cual operó la *Nueva Ordenanza General*, sin modificaciones al texto fijado en 1949. Sin embargo, en mayo de 1960 se produjo probablemente la mayor crisis sísmica registrada en el país. Los efectos y repercusiones de dicha secuencia sísmica, con un pico

de magnitud estimado en 9,5 Richter, trascendió la catástrofe y destrucción de la extensa zona afectada, al sobrepasar las escalas de medición vigentes (Richter, Mercalli modificada, escala chilena, entre otras).

El medio internacional especializado, en tanto, dio cuenta del evento al inicio de la segunda reunión del World Conference Earthquake Engineering celebrado en Japón pocos después de ocurrida la catástrofe. Las conferencias que siguieron (Nueva Zelanda, 1965; y Chile, 1969), sirvieron de instancia para el intercambio y debate no sólo sobre el terremoto de Valdivia de 1960, sino para los ocurridos en Agadir (Marruecos), y Lar (Irán), ese mismo año.

Pero, a diferencia del proceso legal desarrollado durante la modificación a la Ordenanza General (postterremto 1939), la revisión, diseño y redacción del instrumento que inauguró una nueva etapa en la historia de la regulación sismorresistente en Chile, a través de la Norma Chilena 433 Of72, fue encomendado con anterioridad al terremoto de Valdivia. En efecto, en 1959 el Instituto Nacional de Tecnología y Normalización ordenó la conformación de un comité de expertos, con el fin de iniciar los estudios de un nuevo instrumento de regulación nacional que sustituyera la Ordenanza vigente.³ Y como en otros momentos de la historia del proceso de regulación sismorresistente, la elaboración del documento no estuvo exenta de tensiones al interior de la comisión y en el medio local especializado.

Otra diferencia sustantiva identificada en el proceso de redacción y oficialización entre la Ordenanza General y la Norma NCh 433 radica en la naturaleza de ambas. Ello se debe sustancialmente al carácter normativo de esta última, y por tanto, dependiente -en su diseño y redacción- del Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización. La especificidad del Inditecnor, enfocado a normar diversas materias técnicas, junto con la autonomía que con pudo operar (hasta cierto punto ajeno a las vicisitudes de la discusión política ordinaria), explican, por ejemplo, la presidencia de las discusiones parlamentarias de que fueron objeto las Ordenanzas precedentes en sus diversas versiones.⁴ Por el contrario, al igual que éstas, el proceso delimitado entre el inicio de su redacción hasta la oficialización definitiva fue, al igual que en las fases anteriores de la misma Ordenanza, desarrollado durante un largo período de tiempo. En este caso, trece años.

Y, del mismo modo que la Ordenanza General, la Norma NCh 433 fue un producto final resultado de versiones anteriores y la síntesis de fundamentos y

³ “El Comité <Cálculo antisísmico> de la Especialidad >Arquitectura y Construcción> INDITECNOR inició el estudio de esta norma en enero de 1959 y le dió [sic] término en enero de 1972.” NCh433. Of72, 1974:II).

⁴ Las modificaciones a la Ordenanza General oficializadas mediante Decreto con fuerza de Ley o Decreto Supremo, no son sometidas a discusión parlamentaria. Representa por tanto, una facultad privativa del poder ejecutivo en la figura del Presidente de la República.

referentes directos. En este sentido, algunos autores⁵ –particularmente ingenieros estructurales- sostienen que parte de los contenidos de la NCh 433, devino de un proceso de a lo menos dos cuerpos normativos previos: La Norma de Cálculo Antisísmico de Edificios Inditecnor 63.9; y la Norma provisoria NCh. 433 Of68 (1968). Ambos documentos, redactados en calidad de borradores, no fueron publicados en el medio oficial del Instituto (Revista Chilena de Racionalización), pues las ediciones solo incluían Normas aprobadas y de carácter oficial. No ha sido posible hasta el momento hallar estas fuentes,⁶ pero sí otros antecedentes que permiten comprender parcialmente los principales conceptos recogidos en el documento final, como por ejemplo, algunos documentos y escritos desarrollados en el ámbito académico y científico.

El proceso de normalización impulsado a través del Inditecnor no estuvo solamente limitado a las normas que desde éste emanaron. Formalmente, se vio reflejado también en un cierto orden protocolizado presente en cada uno de éstos instrumentos. Entre otros rasgos, cabe destacar la definición de criterios empleados, consignación de las fuentes y referencias, los alcances y campos de aplicación. Reflejo de ello se observa en la nota aportada por los ingenieros Arturo Arias y Raúl Husid, en relación a la propuesta de Norma (antecedentes de la NCh433) y cuyo borrador recogió [intentó ajustarse “las prácticas seguidas por INDITECNOR” (Arias, Husid, 1962:122). La cuestión del formato establecido por la institución no se trata de un hecho trivial. Por el contrario, da cuenta del grado de desarrollado alcanzado en el proceso de normalización e intento por establecer ciertos parámetros y estándares, que debían partir con la delimitación propia de los propios instrumentos elaborados en el Instituto. Uno de los aportes significativos en este sentido, dice relación con la definición clara de una ruta en un sentido histórico y proyectivo, donde se señalan con precisión las fuentes y referentes consultados, como los instrumentos anteriores vigentes y el sentido proyectivo declarado en cada una de las normas oficializadas.

En términos generales, es importante tener en cuenta que el Inditecnor no estuvo abocado al desarrollo de normas únicamente en el campo de la industria de la construcción. De hecho, ya desde sus inicios estuvo orientado hacia la normalización de diversas materias. Desde temas relacionados con hidrocarburos, alimentos, materiales en general e, incluso, la definición de unidades y parámetros de medición. Fue por tanto, una institución gravitante



Fig. 4.1 Norma Chilena Oficial NCh433 Of.72, Cálculo Antisísmico de Edificios, Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago de Chile, 1979.

5 Ver AA.VV. (dir. Rodrigo Flores), Ingeniería sísmica en Chile. El caso del sismo del 3 de Marzo de 1985, Instituto de Ingenieros de Chile, Santiago, 1993; Guendelman, T.; Linderberg, J., Evolución del Diseño Sísmico de Edificios. Procedimientos y Normativa, Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, vol. 123 N°3 – ISSN 0716 – 2340, contenido en la Revista Chilena de Ingeniería, N°464, Diciembre 2011.

6 Tampoco se hallaron estas fuentes en otras publicaciones científicas del período, como la revista del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM), Revista de la Construcción o en bibliotecas varias. Se pesquisó en la Biblioteca Nacional, Biblioteca del Congreso, Bibliotecas de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad de Chile (diversas facultades) y mediante motores de búsqueda de internet.

en el desarrollo de la industria local. En este sentido, la Norma de *Cálculo antisísmico de edificios* fue parte de un proceso más amplio, dentro del cual la sismorresistencia en la edificación fue un asunto prioritario.

Pero la Norma 433 Of. 72 (**fig. 4.1**) fue concebida como parte de un cuerpo normativo más complejo y más específico. Es decir, bajo la idea que el diseño estructural no puede asegurar por sí solo estándares de resistencia sísmica. Cuestión que quedó en evidencia paulatinamente con las distintas históricamente ocurridas en el país. Se comprendió así que la Norma NCh433 debía estar relacionada directamente con otros instrumentos complementarios. Principalmente, aquellos referidos a las Normas NCh170 *hormigón armado* y NCh427 *Cálculo de construcciones de acero*,⁷ ambas oficializadas con anterioridad a 1972. Tales complementos están de hecho, explícitamente citados en el propio documento, e implícitamente orientados a los problemas de resistencia estructural, constructiva y material, y que en la práctica se tradujeron en la definición e incorporación de valores y factores como masa, peso, o calidad del material, entre otros. Mientras que desde un punto de vista práctico, se establecieron procedimientos de control de calidad de los materiales y faenas de construcción, por medio de ensayos efectuados en laboratorios y/o en obra. Desde una aproximación histórica, esta situación permite observar el grado de especialización alcanzado en el medio técnico y profesional de la construcción, y en particular sobre la edificación sismo-resistente.

El proyecto de Norma de los ingenieros Arias y Husid. Referente directo de la Norma Oficial NCh433 Of.72: El texto definitivo que fijó la Norma NCh433 Of.72 fue resultado de tres etapas o borradores previos.⁸ Un primer proyecto, corresponde al proyecto de Norma elaborado por el ingeniero Leonardo Bitrán y titulado *Cálculo de solicitaciones sísmicas en las construcciones*, presumiblemente fechado en 1959.⁹ Un segundo proyecto fue presentado por los ingenieros Arturo Arias y Raúl Husid, integrantes del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales (IDIEM), fechado en

⁷ A medida que los grados de especialización científica y técnica se desarrollaron en mayor profundidad, la diversificación específica de normas en general, y aquellas relacionadas con la construcción en particular, aumentó de manera considerable. En este contexto, sólo por mencionar algunas, se pueden citar las Normas Inditecnor Cemento, Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales -NCh 148.of68, Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización, Santiago, 1958; Hormigón Armado - I Parte - NCh 429.EOf57, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1965; Hormigón Armado - II Parte - NCh 430.EOf61, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1965; Hormigones de Cemento - NCh 170.of52, Instituto Nacional de Normalización, Santiago; INDITECNOR 31-119 Nch: barras con resaltes en obras de hormigón armado, Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización. INDITECNOR, 1960.

⁸ Álvaro Maldonado y Edgar Pfenning señalan que con posterioridad al terremoto de 1960, se introdujeron modificaciones a la Ordenanza General de 1949. En materia de resistencia sísmica, se modificaron los artículos números 243, 245, 249, 250,251 y 253. Sin embargo, el presente estudio no ha hallado evidencia que permita confirmar este hecho, lo que tampoco da pie para su descarte absoluto. Detalles de las modificaciones de la Ordenanza de 1949 en: Maldonado, A.; Pfenning, E., *Terremotos y Normas Antisísmicas*, Tesis para optar al título de arquitecto, Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 1965.

⁹ Este proyecto de Norma fue elaborado al interior del Inditecnor por el profesional citado. Esta investigación no ha podido acceder a esta fuente en particular la que puede estar extraviada. Al tratarse de un proyecto de Norma, no fue publicado en la Revista Chilena de Racionalización. Por los antecedentes que se dispone, se presume que fue desarrollado en 1959, previo a los terremotos de 1960 y posterior a la conformación del Comité de Cálculo Antisísmico del instituto.

1962.¹⁰ Mientras que un tercer proyecto, denominado *Proyecto de Norma de Cálculo Antisísmico de Edificios*, publicado en el número de junio de 1962 de la Revista Chilena de Racionalización, fue el antecedente directo de la versión definitiva.

En lo sustancial, se puede afirmar que la propuesta desarrollada por Arias y Husid fue el antecedente directo que dio forma al texto definitivo. Entre otras razones, debido a que tuvo por objeto “servir de base de discusión al comité respectivo [Inditecnor] con el fin de reemplazar la normas actuales, vigentes desde 1939 [sic].” (Arias, Husid, 1962:121). Y sobre la evidencia que buena parte de los artículos establecidos en la Norma Oficial de 1972, recogieron literalmente algunas disposiciones contenidas en la propuesta de los ingenieros del IDIEM. Mientras que en el plano internacional, se referenciaron las normas de México; los códigos de las ciudades de Los Ángeles y San Francisco, California, Estados Unidos; y la ley de edificios de Japón.¹¹

Uno de los aportes fundamentales del Reglamento de Ciudad de México a la Norma 433 fue la inclusión de los dos métodos de análisis (estático y dinámico), así como “la forma de considerar la torsión [fundada] en los estudios (...) sobre la repartición vertical de las fuerzas sísmicas y el valor de los esfuerzos en la base” (Arias, Husid, 1962:122), siendo éstas, “tal vez, la innovación principal respecto de las normas vigentes en Chile y en otros países.” (Arias, Husid, 1962:122). El IDIEM en tanto, aportó al cálculo de tensiones admisibles en muros y losas de construcciones estructuradas en albañilería (módulo de Young).

Por otro lado, las investigaciones desarrolladas por el ingeniero norteamericano Nathan Newmark, relativas a “la manera de superponer los modos de vibrar” (Arias, Husid, 1962:123) considerados en el análisis dinámico, junto con las indicaciones al “cálculo de períodos de edificios de hormigón armado con muros de rigidez” (Arias, Husid, 1962:123), propios de las investigaciones desarrolladas en Japón y Estados Unidos, nutrieron también los fundamentos teóricos de la Norma Chilena. Y, en términos cualitativos, las categorías de clasificación de edificios y sus coeficientes respectivos, se deben a la propuesta de Arias y Husid (Arias, Husid, 1962).

¹⁰ El origen del IDIEM se remonta a 1898, año de fundación del Taller de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, a cargo del profesor de la misma Facultad, ingeniero Carlos Köning. Hacia 1928, se incorporó el Laboratorio del Departamento de Caminos. Entre 1938 y 1958 el Instituto se consolidó en su labor técnica sobre ensayos y control de materiales, lo que se tradujo en importantes encargos por parte del Estado para el “control de calidad de la producción de acero, cemento, cobre para uso eléctrico, cales y yesos (...) entre otros.” A partir de 1946 se denominó Instituto de Investigación y Ensayos de Materiales (IDIEM). Fuente: <http://idiem.uchile.cl>

¹¹ Reglamento de las Construcciones en el Distrito Federal, México; Recommended Standard Forces Requirements, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California; Los Angeles City Building Code (1959); San Francisco Building Code, Uniform Building Code (1958); y Building Standard Law, Japan. Fuente: Arias, S.; Husid, R., Proyecto de Norma de Cálculo Antisísmico de Edificios, Revista IDIEM Vol. 1, N°2, Santiago, Chile, junio 1962, pp.122.

Fig. 4.2 shows a table with two columns: 'Forma Estructural' and 'K₂'. The rows are numbered 101, 102, and 103. Below the table, there is a formula for 'K' and a note about the coefficient.

Forma Estructural	K ₂
101	1,2
102	1,4
103	1,6

Fig. 4.2 Valores del coeficiente relativo a la forma estructural. Norma Chilena Oficial NCh433 Of.72, Cálculo Antisísmico de Edificios, Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago de Chile.

Fig. 4.3 shows two tables, 'Tabla 1' and 'Tabla 2', with columns for 'Destino del Edificio' and 'K₁'. Table 1 has rows for 'A', 'B', and 'C'. Table 2 has rows for 'A', 'B', and 'C'.

Destino del Edificio	K ₁
A	0,5
B	0,7
C	0,9

Fig. 4.3 Table de clasificación y coeficientes según destino del edificio. Norma Chilena Oficial NCh433 Of.72, Cálculo Antisísmico de Edificios, Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago de Chile.

Fig. 4.4 shows a table with columns for 'Método de Cálculo' and 'Esfuerzo de Corte Basal'. The rows are numbered 101, 102, and 103. Below the table, there is a formula for 'K' and a note about the coefficient.

Método de Cálculo	Esfuerzo de Corte Basal
101	1,2
102	1,4
103	1,6

Fig. 4.4 Método de cálculo estático y esfuerzo de corte basal. Norma Chilena Oficial NCh433 Of.72, Cálculo Antisísmico de Edificios, Instituto Nacional de Normalización (INN). Santiago de Chile.

Otras similitudes identificadas entre la propuesta de Arias y Husid y el texto oficializado, se observan, por ejemplo, en los apartados denominados *Disposiciones de Aplicación General*, *Clasificación de Edificios*; *Método de Análisis* (estático y dinámico), pues tienen esencialmente el mismo contenido. O en los preceptos explicitados en los Alcances de la Norma 433 Of72, relativos a los “valores mínimos para las solicitaciones sísmicas en edificios y procedimientos de cálculo de las mismas (...) [y] prescripciones relativas a la estructuración antisísmica de los edificios” (Arias, Husid, 1962:123). El texto definitivo no incluyó, sin embargo, “las tensiones admisibles en los elementos y materiales” (Arias, Husid, 1962:123), pues fue recogido en la norma de *Hormigón armado* (NCH170) y la norma de *Cálculo de construcciones de acero* (NCh427).

Otras diferencias importantes entre ambas fuentes resaltan con respecto al análisis estático. En primer lugar, porque la Norma 433 se distanció del proyecto pues no consideró la clase y período del suelo de fundación en la fórmula de cálculo del coeficiente del corte basal. Y en segundo lugar, porque los valores del coeficiente asociados a la forma estructural fueron aumentados considerablemente en el texto definitivo (figs. 4.2, 4.3, 4.4), al igual que ocurre en la fórmula para determinar la distribución vertical de fuerzas.

Por otro lado, en lo parte relativo a la *Distribución en Planta de Esfuerzo de Corte* contenido en el proyecto de Norma, se consideró un desarrollo más detallado –en comparación al texto oficial– expresado en las fórmulas de cálculo, esquemas de distribución (centro de rigideces y centro de masas) y la especificación de valores del módulo de rigidez asignados a las distintas clases de ladrillos.

Por último, el análisis dinámico contenido en el proyecto de Norma, propendió valores para el coeficiente sísmico condicionados al uso y forma estructural del edificio. La propuesta incluyó estos valores en el contexto del “aporte a las solicitaciones de cada modo natural de vibrar”, referido a su vez al espectro de aceleraciones sugerido dentro del método de análisis dinámico (Arias, Husid, 1962:135). Tales puntos, recogidos en la Norma Oficial, fueron sintetizados y simplificados en el texto definitivo.

Estructura y contenidos de la Norma Chilena 433 de 1972: El documento se estructura en dos partes. La primera corresponde al preámbulo en el que se identifican los colaboradores que intervinieron en su confección, y las fuentes y referencias. La segunda parte, en tanto, corresponde a las

disposiciones normativas propiamente tal, ordenadas en doce artículos.¹² A grandes rasgos, la norma abarca cuatro campos de aplicación,¹³ entre los que destacan dos métodos de cálculo estructural (estático y dinámico) y su concepción teórica; la clasificación de los edificios en función del uso y su forma estructural; consideraciones morfológicas; y la referencia hacia el sistema constructivo en hormigón armado y en acero.¹⁴

Los integrantes del “Comité de <Cálculo antisísmico> de la Especialidad <Arquitectura y Construcción> de Inditecnor” (NCh433 of.72:II), provinieron de diversas áreas del Estado, institucionales académicas, profesionales y del sector privado. A diferencia de la Ordenanza (y sus respectivos procesos de revisión y ajuste), la Norma 433 consignó expresamente la colaboración del sector privado e industrial en su redacción, representado por oficinas de profesionales, industria de materiales de construcción y el sector inmobiliario. Esta arista del proceso puede ser abordada desde distintos puntos de vista; pero un punto relevante para esta investigación, es la confluencia de todos estos agentes y actores que, en una etapa anterior (1930-1949), si bien jugaron un rol decisivo, fue por momentos informal. Así, la incorporación oficial del sector productivo privado en el Comité de Cálculo Antisísmico, imprimió la inclusión expresa de un universo de actores ampliado. Ello supuso el reconocimiento del sector privado como parte del acervo científico-empírico, hecho no menor, considerando que uno de los objetivos que motivaron la regulación sismorresistente en Chile, tuvo entre sus objetivos centrales la normalización de la edificación de propiedad privada.

Pero así como en su etapa inicial la Ordenanza General (1930-6) sentó las bases de regulación edilicia de forma extendida en el país (de las construcciones y de la urbanización), la Norma NCh433 se concentró en la especificidad de sus contenidos. En efecto, entre sus objetivos destaca el establecimiento de “valores mínimos para las sollicitaciones sísmicas en edificios (...), procedimientos de cálculo de las mismas (...) [y] prescripciones relativas a la estructuración antisísmica de [todo tipo de] edificios.” (NCh433. Of72:I). La confección de un texto específico dedicado al cálculo antisísmico no fue un hecho inédito en la historia de la regulación sísmica en Chile.¹⁵ Sin

¹² Los puntos o artículos definidos son los siguientes, ordenados correlativamente entre el 1 y 12: Alcance, referencias, terminología, disposiciones de aplicación general, clasificación de edificios, método de análisis, método dinámico de análisis, estructuración, elementos que no forman parte integrantes de la estructura del edificio y estructura menores ligadas a ella, reparaciones, instrumentos, y tensiones admisibles (NCh433. Of72, ed. 1974).

¹³ Métodos de cálculo estructural (estático y dinámico); conceptos de cálculo sismorresistente; conceptos de estructuración sismorresistente; clasificación de los tipos de edificios (uso y forma estructural); morfología y configuración geométrica de la unidad; estructuración; reparaciones; instrumentos de medición sísmica; sistema material (tensiones admisibles).

¹⁴ “12. Tensiones admisibles (...) Elementos de hormigón armado. Los aumentos de tensiones admisibles son los establecidos en la norma NCh170 Hormigón Armado. (...) Elementos de estructuras de acero. Se admitirá en el caso de la acción sísmica el aumento en las tensiones admisibles establecidas en la norma NCh427 Cálculo de construcciones en acero.” (NCh433. Of72, 1974:15).

¹⁵ Previo a la promulgación de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (provisoria) de 1930, los ingenieros Elsner, Ewerbeck y Lira, publicaron las *Normas de cálculo y construcción que deben contemplarse en los proyectos de las obras públicas, considerando el perjuicio que pueden producir los temblores*. Mientras que la *Ley y Ordenanza General sobre Construcciones y Urbanización y Ordenanza*

embargo, esta Norma marcó un punto de inflexión que diferenció con claridad las competencias profesionales de ingenieros y arquitectos. El proceso de su perfeccionamiento desarrollado a partir de 1972 ha sido relativamente autónomo respecto de las modificaciones y actualizaciones previstas en la Ordenanza General. Este hecho pone en evidencia además, algo que al menos en el medio científico especializado fue tangible con anterioridad al período de la Norma: la especificidad progresiva de las disciplinas ocupadas de atender el problema sísmico y sus efectos en los edificios.

El texto normativo incorporó criterios y conceptos fundamentales para el diseño estructural, e incidentes directamente en la unidad arquitectónica. Un primer precepto estipula que se aceptan dos (de tres) métodos de cálculo reconocidos hasta entonces: estático y dinámico.¹⁶ En el caso local, aquella distinción fue importante porque implicó el reconocimiento de la coexistencia de dos condiciones edificatorias sujetas igualmente a la acción sísmica: edificios inscritos en una lógica de cargas estáticas (como por ejemplo, construcciones de baja altura de albañilería simple o con refuerzos puntuales); y edificios de mayor complejidad que requerían de métodos dinámicos para asegurar márgenes plausibles de estabilidad.¹⁷ La norma reconocía de este modo la aparición progresiva de edificios de complejidad mayor en las ciudades de Chile –y particularmente en Santiago–, nos sólo por altura, sino que también por las lógicas de ordenación arquitectónica y estructural. En parte, ello queda expuesto en “la aplicación del método dinámico de análisis (...) [que] admite asimilar el edificios a un sistema de masas concentradas al nivel cada piso (NCh433. Of72, 1974:5).

Otras variables que fueron incluidas previamente en las Ordenanzas precedentes, figuran también en la Norma 433. Entre otras, el coeficiente sísmico, la clasificación de los tipos de suelo, la diferenciación de sistemas constructivos y materiales, o consideraciones generales sobre la forma de la pieza edilicia. Pero lo que distingue a la Norma 433 es la mayor precisión de los valores representativos de los factores individualizados, y sobre todo la simplificación de los criterios y procedimientos señalados. Un ejemplo en este sentido, son los tipos de suelos de fundación (**fig. 4.5**).

Local de Construcciones de Santiago (1941), incluyó un anexo denominado *Procedimiento aproximado para la determinación de las acción de los temblores en las construcciones*, consistente en un conjunto de métodos y fórmulas de cálculo estructural orientado a establecer parámetros de diseño estructural.

¹⁶ “4.2.1 En el método estático, as solicitudes sísmicas se asimilarán a cargas estáticas representadas por fuerzas horizontales aplicadas al nivel de cada piso y que actúan con un valor fijo, todas en una misma dirección y sentido. Estas fuerzas sísmicas se supondrán actuando en una dirección cualquiera; en todo caso la estructura deberá analizarse y calcularse, por los menos, para dos direcciones perpendiculares o aproximadamente perpendiculares.

4.2.2 Es admisible el empleo de cualquier procedimiento de análisis que esté basado en las ecuaciones generales de la dinámica siempre que el cálculo satisfaga las restricciones impuestas en 7.4 de la presente norma. Al analizar la estructura por el método dinámica se supondrá que el temblor consiste en un movimiento horizontal de la fundación en una dirección cualquiera. En todo caso, las estructuras deberán analizarse y calcularse, por lo menos, para movimientos sísmicos en dos direcciones perpendiculares o aproximadamente perpendiculares.” (Instituto Nacional de Normalización, Cálculo antisísmico de edificios, Norma Chilena Oficial NCh433. Of72, 1974:4).

¹⁷ “Se exigirá el análisis dinámico en edificios que excediendo de $n = 15$ pisos o $H = 45$ m tengan una distribución irregular de masas o rigideces en la altura. (Instituto Nacional de Normalización, Cálculo antisísmico de edificios, Norma Chilena Oficial NCh433. Of72, 1974:4).

Clase de suelo	T _o (segundos)
Roca, grava densa, grava arenosa densa.	0,20
Arena densa, suelos cohesivos duros o firmes.	0,30
Suelo granulares sueltos, suelos cohesivos medianos o blandos.	0,90

Fig. 4.5. Tabla de clases de suelo en función al período de vibración correspondiente. Fuente: Norma Chilena Oficial NCh433. Of. 72, Cálculo antisísmico de edificios, Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, Santiago, Chile, primera edición, 1974, p. 6.

Analizar en detalle cada una de estas variables es una tarea extensa. Se ha optado por tanto, enfatizar los puntos cualitativos que, de acuerdo a esta tesis, pudieron incidir en la morfología de la unidad arquitectónica. En lo sustancial, las disposiciones sobre las lógicas y obra arquitectónicas. Una de las particularidades de la Norma fue la introducción explícita de aspectos formales arquitectónicos, colocados en relación a la forma estructural. Se trata así, de un primer atisbo entre ingeniería y arquitectura que, junto con la clara distinción entre ambas disciplinas, las sitúa en una relación indisoluble. Esto se puede observar en la introducción de dos coeficientes. Uno “relativo al uso del edificio” y otro “relativo a la forma estructural” (NCh433. Of72, 1974:5-6) (**fig. 4.7**).

A diferencia de la clasificación de construcciones definida en la Ordenanza, segregadas en función al sistema constructivo y material, la Norma 433 estableció así dos categorías definidas en relación al uso de los edificios y a “su forma estructural” (NCh433. Of72, 1974:5). En cuanto a usos, se distinguieron a su vez tres tipos: edificios públicos, de alta aglomeración de personas, y “aquellos cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofes” (NCh433. Of72, 1974:4); edificios habitables de propiedad “privada o (...) uso público” de baja aglomeración de personas, incluyendo equipamiento, servicios, instalaciones industriales “edificios cuya falla pueda poner en peligro otras construcciones de este grupo” o del anterior (INN, NCh433. Of72, 1974:5). El tercer tipo corresponde a construcciones no habitables y aisladas, “y cuya falla no pueda causar daños a edificios de los grupos [anteriores].” (INN, NCh433. Of72, 1974:5).

Mientras que la clasificación por forma estructural estuvo referida a “[e]dificios en general, excepto (...) aquellos (...) cuyos pisos y cubiertas estén constituidos por diafragmas rígidos (...) y que resistan las fuerzas horizontales exclusivamente por marcos rígidos de ductilidad adecuada.” (NCh433. Of72, 1974:5), específicamente en estructuras de acero.¹⁸

¹⁸ “Se entiende que tienen ductilidad adecuada los marcos rígidos de acero cuyas conexiones están realizadas con remaches, pernos calibrados, pernos de fricción, o uniones soldadas, con exclusión de pernos no calibrados, y los marcos rígidos de hormigón armado en cuyos nudos las armaduras aseguren un

A cada una de las categorías y sus respectivos grupos, se les asignó un coeficiente con valores entre 0,8 y 1,2 en ambos casos (**fig. 4.6**), e incorporados en la fórmula de esfuerzo de corte basal en la norma para el método de cálculo estático (**fig. 4.8**). A partir de este punto, se puede distinguir ciertos aspectos relevantes.

Uso o destino de la estructura	K ₁
(a)	1,2
(b)	1,0
(c)	0,8

Fig. 4.6. Tabla de clasificación de los edificios por uso o destino y asignación de su coeficiente correspondiente.

(a): Edificios públicos, equipamiento, servicios y de alta concentración de personas.

(b): Edificios habitación particular y escasa concentración de personas.

(c): construcciones aisladas y provisionales.

Fuente: Norma Chilena Oficial NCh433. Of. 72, Cálculo antisísmico de edificios, Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, Santiago, Chile, primera edición, 1974, p. 5.

Forma estructural	K ₂
(d) Edificios en general (excepto e y f).	1,2
(e) Edificios con pisos y cubiertas constituidos por diafragmas rígidos.	1,0
(f) Edificios con pisos y cubiertas constituidos por diafragmas rígidos y edificios con marcos rígidos de ductilidad adecuada.	0,8

Fig. 4.7. Tabla de clasificación de los edificios por forma de la estructura y asignación de su coeficiente correspondiente.

(d): Edificios públicos, equipamiento, servicios y de alta concentración de personas.

(e): Edificios habitación particular y escasa concentración de personas.

(f): construcciones aisladas y provisionales.

Fuente: Norma Chilena Oficial NCh433. Of. 72, Cálculo antisísmico de edificios, Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, Santiago, Chile, primera edición, 1974, p. 6.

$$Q_0 = K_1 K_2 CP$$

Fig. 4.8. Fórmula de corte basal del método de análisis estático.

Q₀ = esfuerzo de corte basal;

K₁ = Coeficiente relativo al uso del edificio;

K₂ = Coeficiente relativo a la forma estructural;

C = Coeficiente derivado del período fundamental del edificio.

T = Período fundamental del edificio en la dirección considerada expresado en segundos y en función al tipo de suelo.

Fuente: Norma Chilena Oficial NCh433. Of. 72, Cálculo antisísmico de edificios, Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, Santiago, Chile, primera edición, 1974, p. 6.

De este modo, la Norma incorporó la distinción estructural (y formal) entre planta baja y pisos superiores en edificios en altura, exploradas con anterioridad por Hugo Biot en 1934, cuando propuso un modelo de resistencia mediante un primer nivel elástico y los restantes rígidos (Biot, 1934: 216).

La alusión directa al problema de la forma de la pieza edilicia, denominada *Estructuración*, encaró de modo decisivo variables arquitectónicas, como volumetría, configuración geométrica y orden compositivo. Sin embargo, más que proveer métodos de intervención, los contenidos apuntan sobre todo a establecer los inconvenientes que, desde un punto estructural y sismorresistente, ciertas soluciones morfológicas suponen. No se trata por tanto, de una proscripción hacia determinadas posibilidades de diseño arquitectónico, sino más bien, de una suerte de advertencia sobre las limitaciones que determinadas soluciones espaciales conllevan cuando se ven expuestas a solicitaciones sísmicas. En lo sustancial, tales configuraciones refieren geometrías irregulares en “edificios compuestos por varios cuerpos o de planta irregular (en H, en L, en T, en U, otros)” (NCh433. Of72, 1974:11); la definición de distanciamientos entre unidades edilicias que forman parte de un mismo conjunto, unidades consecutivas por adosamiento, o las separaciones consideradas en un mismo edificio. En otras palabras, el punto en cuestión formalizaba así dos problemas esenciales: la incorporación de juntas de dilatación en plantas –tanto en conjuntos como en edificios aislados– de traza irregular, y dilatación vertical en unidades adosadas o conjuntos conformados por más de un edificio separados entre sí.¹⁹ Se trata de una medida que alude directamente a la dimensión arquitectónica de la pieza edilicia, pero que debe comprenderse como parte de un medio científico que comprendió, con cierta propiedad, la diversidad de períodos fundamentales de oscilación de los edificios. De hecho, la Norma consideró más de una posibilidad para determinar “un período fundamental $T > T_0$ (...) [que debía] justificarse mediante procedimientos teóricos, experimentales o fórmulas empíricas.” (Instituto Nacional de Normalización, NCh433. Of72, 1974:4).

En el método dinámico, el período natural de vibración expuso las dificultades enraizadas en estructuras de mayor complejidad. Así por ejemplo, se indica que

Con el objeto de calcular el aporte a las solicitaciones de cada modo natural de vibrar, se computará el esfuerzo de corte correspondiente a cada modo utilizando el siguiente espectro de aceleraciones:

¹⁹ Ver punto N°8 Estructuración: 8.1 Edificios compuestos de varios cuerpos o de planta irregular; 8.2 Separaciones; 8.3 Otras disposiciones. Ver: NCh433. Of72, 1974, pp. 12, 13.

$$a/g = 0,10 K_1 K_2 \text{ para } T \leq T_0$$

$$a/g = 0,10 K_1 K_2 \frac{2 T T_0}{T^2 + T_0^2} \text{ para } T > T_0$$

Los modos naturales de vibración, en conjunto con la superposición modal y los espectros de aceleraciones prescritos en la Norma 433, son sin duda, parte de los aportes contenidos en la propuesta de proyecto de Norma elaborada por Arias y Husid, y que más tempranamente, encuentra sus antecedentes en los trabajos científicos desarrollados en Estados Unidos, Japón, pero también en el medio local.

Por otro lado, la concepción del desplazamiento sísmico fue desagregada en dos componentes cartesianas que suponen alcances en la composición arquitectónica y estructural en planta. Las disposiciones contenidas en el método estático no fueron excluyentes al método dinámico. En ciertos casos (como los efectos de rotación, torsión y traslación en planta), sirvieron de complemento. Así lo fue también el período fundamental (de un edificio), que si bien fue una componente de la fórmula de corte basal, consideró la dirección del desplazamiento “expresado en segundos y T_0 , un parámetro dimensional” con valores sujetos a la clase de suelo de fundación (**fig. 4.5**), aplicable también al método dinámico.

Haber considerado la vibración sísmica y la dirección de los desplazamientos en un sentido abstracto, es decir, como vectores sobre un planos cartesianos (en este caso, sobre un plano hipotético horizontal con direcciones norte-sur; este-oeste), tuvo repercusiones geométricas y estructurales en los edificios en general: en la planta baja, las plantas superiores (en construcciones en altura), y en los planos verticales (secciones y fachadas). En parte, porque una interpretación planimétrica y espacial de este tipo, sobre el efecto sísmico como acción sobre un plano determinado, supone un orden geométrico inscrito en una disposición relativamente regular, conformado por elementos perpendiculares entre sí y orientados a una distribución de masas y cargas idealmente homogéneas y geométricamente simétricas. Con todo, se debe reconocer que tal disposición oficial fue somera en comparación al proyecto de Norma presentado por Arturo Arias y Raúl Husid en 1962, en el que se enfatizaba la relación entre la dirección probable de una acción sísmica y la resistencia por oposición de los elementos estructurantes en planta,

considerando a su vez, la deseable simetría geométrica, el centro de rigidez y el centro de masas de un edificio determinado.²⁰

El problema estructural de fondo observado en la Norma 433, estuvo centrado en la aspiración hacia un ideal de distribución homogénea y continua de cargas (vivas y muertas); la prevención de efectos de rotación, traslación y volcamiento; la predilección por la prevalencia de un solo sistema constructivo y material (rígidos o elásticos); y la clave arraigada en la relación entre el suelo, el sistema de fundaciones, el plano de planta baja y los pisos superiores. La altura, en cambio, no constituyó en sí mismo un problema mayor, sino cuando se presentasen casos de más de 15 pisos o 45 metros de altura, con “distribución irregular de masas y rigideces” (NCh433. Of.72, 1974:4) sobre el plano vertical.

En este sentido, uno de los criterios estructurales predominantes en los métodos de cálculo (en particular en el método dinámico), fue la propensión hacia la distribución concentrada y homogénea de cargas cuando una estructura se ve sometida a esfuerzos sísmicos. Es decir, un sistema (válidamente prescrito) con amortiguación,²¹ conformado por diafragmas y/o marcos rígidos, y considerando centros de rigidez y masa, esfuerzo de corte basal, modo de vibración, y efectos de deformación (momento de rotación, torsión, y momento volcante).

Las fuentes y referencias contenidas en la Norma 433 permiten identificar algunos de las aproximaciones teóricas y conceptos físico-estructurales examinados en el Capítulo de la Teoría de los Espectros de esta investigación. Entre ellos, un punto radica en el reconocimiento del fenómeno sísmico análogo a un estado vibratorio. Concepción mecánica formulada anteriormente por Maurice Biot²², en tanto edificios-sistemas elásticos vibratorios sometidos a impulsos transitorios.²³ Sistema vibratorio que tras diversas exploraciones investigaciones, permitió concluir que por constitución estructural, constructiva y material, la amortiguación desempeñó un rol decisivo en términos de resistencia.

²⁰ “Si en cada uno de los pisos [de un edificio en altura], y en dos direcciones perpendiculares, la distancia entre el centro de rigidez y el centro de masas resulta menor que 0,05 veces la dimensión del edificio en planta, medido en el sentido perpendicular al temblor, se podrán despreciar las vibraciones de torsión, y, el edificio podrá analizarse independientemente en cada una de dos direcciones ortogonales, o aproximadamente ortogonales como sistema de N grados libertad, en que N es el número de entresijos sobre la base del edificio.” (Arias, Husid, 1962:134).

²¹ 7.5 Con el objeto de calcular el aporte de solicitaciones de cada modo natural de vibrar, se computará el esfuerzo de corte correspondiente a cada modo utilizando el siguiente espectro de aceleraciones (...) [donde] los valores especificados para a/g está implícito el amortiguamiento estructural. No se permitirán reducciones adicionales por este concepto. (NCh433.Of72, 1974:11).

²² *Theory of Elastic Systems Vibrating under Transient Impulse, with an Application to Earthquake-Proof Buildings*, 1933.

²³ El punto 7.9 de la Norma, especifica que “Si no se adopta el método de espectro de aceleraciones, como por ejemplo si se estudia la respuesta de la estructura para pulsos de desplazamientos, de velocidad o aceleración o para un terremoto real, las solicitaciones obtenidas deberán en todo caso cumplir con las restricciones de 7.4.” Es decir, cuando “el esfuerzo de corte basal sea menor que 0,06 K1K2P, se amplificarán todos los esfuerzos proporcionalmente de manera que dicho esfuerzo de corte alcance el valor señalado, como mínimo.” (NCh433. Of72, 1974:10-11).

Otro punto de interés contenido en la Norma, refiere a la alusión a los componentes no estructurales en edificios, que para efectos de cálculo, fueron asimilados como cargas estáticas o muertas. Otro tipo de consideraciones no estructurales, se observa, por ejemplo, en relación a

elementos secundarios [que] están ligados a la estructura en tal forma que no sufran daños (...) [donde] se aceptarán los desplazamientos relativos máximos que no excedan de un tres por mil de la altura de entresijos en edificios fundados en suelos cohesivos blandos y (...) un cuatro por mil (...) en otros suelos. (NCh433. Of72, 1974:13)

Este tipo de consideración aludía al daño constructivo –no estructural– probable al interior de la unidad edilicia. Mientras que en términos de la resistencia estimada del edificio, en tanto sistema arquitectónico, el “cálculo de los desplazamientos horizontales de la estructura se podrá tomar en cuenta todo elemento que pueda contribuir a limitar esos desplazamientos, aun cuando no se le haya considerado en el cálculo estructural.” NCh433. Of72, 1974:13). De suerte que los elementos no estructurales –excluidos de los cálculos de estabilidad– podían llegar a cumplir un rol solidario en el desempeño sísmico-resistente de la unidad.

En este sentido, se procuró exigir adecuados procedimientos de construcción, atendiendo que las “estructuras menores ligadas [a la estructura principal en cuyos] anclajes respectivos deberán verificarse o proyectarse para resistir fuerzas horizontales determinadas en relación al peso de cada elemento.”²⁴ Es interesante observar que estas disposiciones en particular, retomaron una parte de los puntos contemplados tempranamente en la Ordenanza General de 1930 (y siguientes) sobre los elementos decorativos –ubicados en los planos exteriores del edificio, como fachadas– vulnerables a desprendimientos de volúmenes masivos, como por ejemplo, antetechos, balcones, frontones, u otros, fabricados en albañilería sin amarre. El hecho que la Norma haya considerado este tipo de elementos, de naturaleza arquitectónica antes que estructural, supuso la validación de éstos (proscritos en la Ordenanza General anterior), pero sujetos a otra condición material. Es decir, como recursos decorativos factibles de ser empleados siempre y cuando se asegure un amarre adecuado. Probablemente el único material que puede proveer tales garantías es el hormigón armado, con los cual, se reforzaba así –implícitamente– la

²⁴ 9.1 a) antepechos, parapetos, piñones y mojinetes, una fuerza horizontal igual a la mitad de su peso; b) para estanques, chimeneas, glorietas, casetas de ascensor y en general, estructuras menores sobre edificios, una fuerza horizontal igual a su masa por el doble de la aceleración del piso en que se encuentran (...)” (NCh433 Of72, 1974:13).

propensión a la conformación de unidades monolíticas fabricadas en ese material. Con todo, y teniendo en cuenta que una parte del desempeño eficiente de este último está sujeto a la correcta ejecución y ligazón de sus nervaduras internas y nudos estructurales, la Norma tuvo por objeto subrayar exigencias de las especificaciones constructivas y calidad de la factura de la obra. Desde un punto de vista arquitectónico y en un campo de debate en torno a la coexistencia de diversos lenguajes –en particular durante los dos primeros tercios del siglo XX en Chile– el hormigón armado no sólo fue un sistema constructivo y material que supuso márgenes de estabilidad estructural en escenarios sísmicos, sino que también ofreció posibilidades plásticas y formales de elementos no estructurales o decorativos sísmicamente resistentes también.

El artículo que cierra los contenidos de la Norma 433, denominado *Tensiones Admisibles*, refiere aspectos sobre las propiedades mecánicas de los materiales orientado a la resistencia sísmica. Es un texto breve, pues en lo fundamental remite a otras dos normas (anteriores) específicas para cada caso: la Norma NCh170 Hormigón armado; y NCh427 Cálculo de construcciones de acero. Considera además rangos de tensiones admisibles en “[e]lementos de albañilería de ladrillos y bloques.” (NCH433. Of72, 1974:15).

Los rangos de tensiones admisibles estimados para los tres sistemas constructivos mencionados, implica su validación en función a las exigencias, métodos y procedimientos de cálculo sismorresistente contenidos en la misma Norma. Esto, vinculado a las dos vías posibles de análisis (estático y dinámico) definidas en el mismo documento, permiten suponer que el cálculo estático debió estar dirigido principalmente (aunque no de forma exclusiva o excluyente) a construcciones de albañilería reforzada o armada. Entre otras razones, por el hecho que no excedieron los rangos de altura exigidos en el método dinámico (15 pisos o 45 metros). Por otro lado, aquellos edificios de estructura compleja y de altura superior a las mencionadas, corresponden principalmente a obras estructuradas mayormente en hormigón armado, en ciertos casos, en acero. Las limitaciones (alturas máximas) presentes en sistemas de albañilería estructurados, no implicaron, sin embargo, una relación inversa con el hormigón armado y el acero. Es decir, construcciones de uno o más pisos, ya de estructuración simple o compleja, fue posible ejecutarlas tanto en hormigón como en acero. Sin embargo, en edificios de pequeña escala, las limitaciones debieron estar condicionadas más bien por restricciones de tipo presupuestarias antes que constructivas y técnicas.

La normalización del hormigón armado y del acero: Como se mencionó anteriormente, la oficialización de la Norma de Diseño Antisísmico de Edificios quedó ligada directamente a otras dos. La Norma de Hormigón Armado y la Norma de Cálculo de Estructuras de Acero. Teniendo en cuenta que parte importante de los edificios erigidos durante el último tiempo en el

país, y especialmente durante el período que aborda esta investigación, han sido contruidos en hormigón armado, y que parte importante de los conceptos acuñados en las diversas disposiciones de regulación oficial han propendido el empleo de este material en tanto sistema constructivo sísmicamente eficiente, se revisará a continuación parte de los alcances de esa Norma en particular, relegando el instrumento relativo a estructuras de acero.

En primer lugar, es importante subrayar que ahondar sobre un tema tan amplio y complejo como el hormigón armado (aún circunscrito al medio nacional), impone la necesidad de un estudio que excede las limitaciones de esta investigación. En este sentido, interesa aquí centrar el análisis sobre la constitución matérica, propiedades mecánicas y sus principales cualidades y defectos, en relación a los efectos y tensiones que un sismo presupone. Uno de los objetivos centrales abordados en la Norma NCh170 Hormigón Armado, oficializada en 1952, fue establecer métodos y rangos mediante los cuales fuese posible calcular y medir la estabilidad material del hormigón armado, en relación a las materias primas necesarias para su confección y al proceso de construcción.

Se inscribe así en un contexto general de políticas orientadas a establecer un proceso de normalización orientado a alcanzar niveles de estandarización de materiales industrializados, considerando las etapas de fabricación, instalación y construcción en obra. Así, el proceso de normalización impulsado en Chile no sólo fue un intento por alinearse con el avance logrado por otros países como Estados Unidos, Francia, Japón o Alemania. Fue también un intento por establecer estándares cercanos a niveles de estabilidad material exigidos por la alta sismicidad del medio local. Y desde un punto de vista económico, proveer márgenes de seguridad con el fin de disminuir las pérdidas económicas generadas tras cada catástrofe sísmica, asimilando así el “factor de progreso económico y social” (Caquot, 1950:10) propuesto por Caquot.

Pero, a diferencia del acero o los ladrillos industriales, el hormigón armado – en obra- presenta márgenes de control más amplios en comparación a los otros, debido al procedimiento in situ que requiere su preparación y vaciado. Esta condición inherente del material supone márgenes fluctuantes que impiden la obtención de grados de homogeneidad, resistencia, y regularidad absolutamente parejos. Condición que se explica en parte, por el hecho que “el hormigón producido en una obra cualquiera sufre también variaciones imprevisibles o al azar (...) [cuya] calidad (...) queda (...) representada por (...) el valor medio de la propiedad (...) resistencia a la compresión (...), coeficiente de permeabilidad (...), durabilidad, etc., y la desviación estándar o el coeficiente de variación.” (Idiem, 1964:224).

Este punto en particular, ha sido probablemente una de las constantes en el estudio científico y técnico del material a lo largo del tiempo. Cuestión que desde la mecánica del material, se observa en la medida que

la retracción tiende –y lo logra en parte- a poner las armaduras en compresión, quedando él en tracción; pero, la deformación lenta amortigua el efecto perjudicial y no se llega a roturas peligrosas mientras las cuantías, los anclajes, los recubrimientos y tantos otros detalles, se mantengan dentro de los límites que la práctica y la experimentación han ido estableciendo para formar la técnica específica del hormigón armado. (Torroja, 2010:68).

Efectivamente, la convergencia de un proceso derivado por un lado, de la fabricación de las materias primas necesarias para la elaboración del hormigón armado; y por otra, de la mezcla y dosificación adecuadas y confeccionada en los tiempos requeridos, conforman un conjunto de múltiples variables que imprimen la condición intrínsecamente compleja del material.²⁵

Considerando el proceso de normalización constructiva y material impulsado en Chile a través del Inditecnor, sumado a las iniciativas tendientes a la definición y restricción de los márgenes de calidad material del hormigón armado (promovidas por el mismo Instituto), se oficializó en 1952 la Norma NCh170 que fijó procedimientos y estándares específicos para este material. Variables que en el caso local, debían proporcionar también rangos de seguridad frente a eventos sísmicos. En todo caso, la NCh170 fue una más dentro de un universo más amplio de normas complementarias específicamente referidas a este material, como también las hubo sobre el acero, la madera, etcétera.²⁶

El conjunto con otras normas chilenas emanadas desde el Inditecnor, derivó en la conformación de un cuerpo de regulación que con el tiempo logró un grado de especificidad tal, que a la postre condujo una densidad de regulaciones directamente proporcional al universo de materias allí tratadas.

²⁵ Cuando no se toman medidas de control adecuadas y estrictas en obra, “[p]uede suceder que no se mantenga una calidad pareja de los agregados, o que los materiales se midan por métodos menos rigurosos (...), o que no se tome en cuenta el agua proveniente de la humedad de los agregados, o que el hormigonado esté a cargo de personal sin suficiente competencia, o en fin, que se den varias de estas circunstancias simultáneamente.” (Idiem, 1964:226).

²⁶ Entre las Normas relacionadas al acero se cuenta, por ejemplo, Inditecnor 31-04 Cálculo de construcciones en acero; 31-105 Ejecución de construcciones en acero; y 31-110 Acero para construcciones. Y las Normas específicas para cemento, hormigones y hormigón armado, se cuentan, también a modo ejemplo, las Normas Inditecnor 2.30-30 Determinación de la consistencia normal de los cementos; 2.30-31 Determinación de los tiempos de fraguado de los cementos; 2.30-32 Prueba de indeformabilidad de los cementos, entre otras. Fuente: Revista Chilena de Racionalización N°11, septiembre, 1951.

Y que, en el campo de la construcción específicamente, excedió los límites puramente de los materiales y sistemas constructivos.²⁷

En este sentido, la crítica que se le puede hacer al Inditecnor, en su afán por alcanzar un verdadero estado normalizado sobre materias muy diversas, es haber tendido hacia un exceso en el número de normas. Mientras que, de otro lado, es importante reconocer que el solo hecho de elaborar una norma, posibilitó el debate crítico -entre profesionales y especialistas- y conducir hacia un continuo perfeccionamiento. En este contexto, la revista del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM) publicó un artículo, titulado Hormigón Controlado, en el que criticó la ambigüedad de la Norma INDITECNOR 30-62 en cuanto a los criterios y definición de las categorías establecidas para hormigones diferenciados entre aquellos *controlados* de los *no controlados*, regidas por diferentes estándares de calidad y seguridad.²⁸

Dicho debate, que excedió discrepancias de orden semántico, derivó posteriormente hacia un problema de fondo inscrito en lo que fue, en última instancia, un cambio de paradigma desde el método determinista hacia el método probabilístico (Arriagada, 2011).²⁹ Cambio que, si bien se abarca discusiones recientes (como las desencadenadas con posterioridad al terremoto de Algarrobo de 1985), tuvo implicancias fundamentales que repercutieron en el modo de concebir la unidad arquitectónica en tanto sistema estructural, constructivo y material, entre otros alcances.

En todo caso, es importante precisar que sería erróneo observar un proceso de naturaleza compleja como éste, que atraviesa diversas áreas del conocimiento, medios políticos, sociales, culturales y otros, desde una mirada lineal y “evolutivo.” Se trata más bien, de identificar y observar la dinámica propia del conocimiento científico y la naturaleza empírica del problema (sismorresistencia en Chile), a través de una dialéctica continua entre destrucción (sísmica), sismoresistencia, revisiones críticas y ajustes normativos que afectan directamente a la arquitectura de los terremotos en Chile.

²⁷ Algunas de las Normas oficiales en Chile para 1960, abarcaban materias diversas más allá de las actividades relacionadas con la construcción. Entre otras Normas Inditecnor, se cuentan la N°30-55ch Ladrillos arcillosos macizos; N°34-21ch Generadores de vapor, tubos de acero; N°34-25ch Generadores de vapor: uniones soldadas, ensayos mecánicos; 34-73ch Electrodo revestidos para soldar al acero aceros al carbono y aceros de baja aleación; ensayos mecánicos; 30-91Ech Cementos siderúrgicos; 30-92Ech Cementos puzolánicos. Sólo por mencionar apenas unas pocas Normas del Instituto. Fuente: Revista Chilena de Normalización N°30 (Vol. II), diciembre de 1960 y N°34, diciembre de 1962.

²⁸ El texto comienza señalando que resulta “difícil encontrar razones para justificar las diferencias que se hace entre los dos grupos de hormigones [controlados, no controlados]. Tal vez se pensó que los del primero, debido a sus resistencias relativamente bajas, se destinan a obras poco importantes en las cuales no es usual encontrar condiciones propicias para ejercer control (...) [y que] según una línea de ideas semejantes, las resistencias elevadas de hormigones D y E impondrían la obligación de aplicar un control eficiente para obtenerlas.” (Revista Idiem, 1964:223).

²⁹ “Los valores de resistencia señalados en la norma son del tipo ‘probabilístico’, es decir, acepta un valor estimado reconociendo que el hormigón puede fallar -o bien- puede ocurrir que no siempre se alcance el valor esperado en el estudio. No así en su versión anterior del año 1952, que son del tipo ‘determinístico’ considerando los resultados como mínimos absolutos, no siendo aceptados valores inferiores a ellos.” Arriagada, 2011:3).

Pero, ¿por qué es importante detenerse en este punto específico? Esta pregunta puede ser a priori un tanto obvia. Sin embargo, el cuestionamiento formulado por el Idiem permitió diferenciar y precisar algunos matices conceptuales en torno al hormigón armado en tanto condición *sine qua non* de estabilidad y resistencia estructural. En efecto,

hay obras cuya estabilidad o durabilidad pueden no estar determinadas por la resistencia a la compresión, sino por otras propiedades del hormigón (...) [y donde] la necesidad de controlar una obra no está determinada por el valor absoluto que se fije a la resistencia (...) sino por la exigencia de cumplir una especificación.” (Idiem, 1964:223).

Se cuenta por ejemplo, entre otras, la calidad del hormigón, las fuentes de variación, exigencias de un buen control y los valores del coeficiente de variación. (Idiem, 1964:224-6), (fig. 4.9).

TABLA I

RESISTENCIAS MEDIAS NECESARIAS PARA OBTENER HORMIGONES DE LAS CLASES A,B,C,D Y E DE INDITECNOR 2.30-65

Clase	Resistencia mínima kg/cm ²	Coeficiente de variación %	Resistencia media kg/cm ²
A	120	0,10	130
		0,15	138
		0,20	145
		0,30	160
		0,40	180
B	160	0,10	175
		0,15	183
		0,20	193
		0,30	215
		0,40	245
C	180	0,10	197
		0,15	205
		0,20	215
		0,30	240
		0,40	275
D	225	0,10	245
		0,15	260
		0,20	270
		0,30	300
		0,40	340
E	300	0,10	330
		0,15	345
		0,20	360
		0,30	400
		0,40	450

Fig. 4.9 Tabla de resistencia de materiales, Revista del Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile, Santiago de Chile, 1964.

estándares mínimos de seguridad, las normas dictadas por el director

abarcaron casi la totalidad de sus componentes (salvo el agua),³⁰ proveyendo así un cuerpo normativo integrado y específico para cada elemento. Una de las normas fundamentales en este sentido fue la que reguló los elementos de fierro que conforman las armaduras interiores.



Fig. 4.10 Especificaciones Técnicas Generales para el Empleo de Barras Lisas de Acero en Obras Fiscales de Hormigón Armado, Dirección General de Obras Públicas, Imprenta la Ilustración, Santiago de Chile, 1936.

Una fuentes relevantes dentro sobre el acero usado en hormigones, se titula “Especificaciones Técnicas Generales para el Empleo de Barras Lisas de Acero en Obras Fiscales de Hormigón Armado, publicado por la Dirección General de Obras Públicas.”³¹ (**fig. 4.10**). Esta norma tuvo por objeto “poner al día y uniformar las diversas normas para la aceptación de acero en barras lisas destinado a obra de hormigón armado.” (Especificaciones Técnicas Generales..., 1936:2). Entre otras materias, el documento señala los alcances de la norma y definiciones técnicas. Se especifican además cuantías –para acero en barras-, condiciones y exigencias del producto en etapa de fabricación y comercialización, y procedimientos de instalación en obra, entre otros. En un sentido cronológico, una cualidad de esta fuente radica en su carácter precursor (1936), si bien restringida a obras de carácter fiscal y no nacional.

Tres años antes de la crisis sísmica de 1960 se aprobó un segundo cuerpo normativo bajo el encabezado de Norma Chilena de Emergencia Oficial (NCh429. E Of57 del año 1957). En ella se estableció, en conjunto con otras disposiciones complementarias, el empleo de barras con resalte (o barras estriadas) de acero. Disposición que dio pie, a su vez, para la posterior oficialización de la norma específica (NCh211) titulada Barras con Resaltes en Obras de Hormigón Armado), cuya primera edición fue publicada en 1970.

El reemplazo de barras lisas por barras estriadas supuso un impacto cualitativo a las propiedades y condición material del hormigón armado. En efecto, una clave en que se funda la resistencia del material estriba en la cohesión de sus componentes, sobre el principio que su “trabajo conjunto va confiado a la adherencia –incluida en ella el razonamiento entre el hormigón y el acero-...” (Torroja, 2010:67). La provisión de barras estriadas solucionó precisamente las deficiencias presentadas por nervaduras de acero lisas en términos de adherencia con la masa de hormigón.

Una pregunta fundamental que cabe formular en relación a la adherencia y, por extensión a la resistencia, del hormigón armado surge a raíz de las diferencias entre las barras lisas y las barras estriadas insertas en la masa del

³⁰ “las propiedades que integran el hormigón, o sea [sic], el cemento y los áridos fino y grueso, varían de una partida a otra. El cemento, en cuya fabricación se ejerce un buen control, no varía mucho; en cambio, los agregados presentan diferencias que pueden ser importantes entre envíos y aun dentro de cada entrega. La calidad del agua se puede suponer que no tiene variaciones.” (Idiem, 1964:224).

³¹ República de Chile, Dirección General de Obras Públicas, Especificaciones Técnicas Generales para el Empleo de Barras Lisas de Acero en Obras Fiscales de Hormigón Armado, publicado por la Dirección General de Obras Públicas, Documento oficial aprobado por Decreto N°1149 de 30 de junio de 1936, Imprenta La Ilustración, Santiago, 1936.

sistema material. El contraste fundamental entre ambos tipos de nervaduras se presenta precisamente en la cohesión entre el hormigón y el entramado de fierro. A diferencia de las estriadas, la superficie de las barras lisas resultaba demasiado llana y pareja, lo que se tradujo en dificultades de adherencia superficial entre la mezcla de los áridos y agua con las nervaduras ferrosas. Mientras que la superficie de las barras estriadas proveyó una solución idónea mediante la ampliación del área superficial de las barras al tiempo que una textura rugosa que permitió una mejora en la cohesión entre los elementos materiales del hormigón armado. Avance tecnológico sustantivo en relación a la resistencia inherente del material, pero también en relación a la resistencia estructural en tanto sistema constructivo sometida a esfuerzos sísmicos. A pesar del aporte que supuso este avance cualitativo, los problemas de fisuración por retracción del hormigón (durante el proceso de secado – normalmente a los 28 días- persistió durante las décadas siguientes –y aún en el presente-, lo que en sí no representa un peligro en la medida que el aumento de “la cuantía de las armaduras y su diámetro [devengan en que] el hormigón se rompa, por retracción, cortando la continuidad de la pieza; o que, en una placa, se separen excesivamente las barras para que se agriete entre barra y barra.” (Torroja, 2010:69). En otras palabras, si las barras estriadas contribuyeron al mejoramiento de la cohesión de los componentes del hormigón armado, el fenómeno de fisuramiento producido por efecto natural del secado, es un ejemplo de una entre muchas variables factibles de ser perfeccionadas y característica de la dificultad en obtener un material absolutamente estable y homogéneo.

Industria de la construcción en hormigón armado. De la fabricación a la prefabricación: En el medio nacional, al igual que en países como Alemania, Rusia o Polonia –por citar algunos-, el proceso de construcción seriada estuvo condicionada por las necesidades de viviendas en áreas urbanas por parte de la población, además del desarrollo en el campo de la industria. Este tema en particular abre una veta que por sí misma bastaría para desarrollar un trabajo de investigación de largo aliento. No será, por tanto, parte de esta tesis ahondar mayormente en ello. Sin embargo, es importante tenerlo en consideración porque parte de su influjo en Chile (desde 1955 al presente)³² estuvo presionado por la necesidad de cubrir la demanda creciente de viviendas en áreas urbanas y periurbanas. En este contexto se explica, por ejemplo, la introducción de algunos sistemas importados desde Rusia e Italia (Depetris, 1985). Sistemas que representaron

³² Oreste Depetris, arquitecto Universidad de Chile, titulado en 1936, fue uno de los agentes que introdujo los sistemas prefabricados producto de los viajes realizados a Europa y Estados Unidos. “Fue con ocasión de un viaje a este último país, en 1955, que pudo observar el desarrollo de la técnica del pre-esfrozado [sic] aplicado a grandes estructuras y concibió la posibilidad de trasladar estas experiencias a Chile (...). Francia, en 1959, Inglaterra y otros países europeos en 1961, le ofrecieron la oportunidad de conocer grandes obras y entrar en contacto con equipos de especialistas (...) [y] le permitieron incorporar decididamente el pre-esfrozado [sic] a sus proyectos y obras...” En. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Revista Técnica y Creación N°8, Santiago de Chile mayo, 1965, p.44.

medios de construcción eficaces y económicos determinados por su condición modular y rápida instalación mixta (mecanizada y mano de obra).³³



Fig. 4.11 Sistema prefabricado en hormigón armado Struturapid adaptado por Depetris, Revista CA (42), 1985.

Pero los sistemas de construcción prefabricada (**figs. 4.11, 4.12, 4.13**) en viviendas e instalaciones industriales, si bien pueden ser tópicos de interés desde un punto de vista sismorresistente, lo cierto es que en Chile no prosperaron mayormente, a diferencia de las técnicas y tecnologías desarrolladas en obras de hormigón armado elaborado tradicionalmente in situ. Y si bien el arquitecto Oreste Depetris advierte sobre las ventajas que representa el empleo de sistemas prefabricados en un medio altamente sísmico como Chile, lo cierto es que progresivamente quedó confinado a obras civiles. Sostiene Depetris que gran parte de las ventajas de este sistema radica en la disminución de probabilidades de fallas constructivas, tales como

confinamiento del hormigón en nudos críticos, bases de pilares y extremos de muros; fallas de anclajes a fundaciones y de vigas y columnas (...), enfierraduras mal colocadas (...) y separación de edificios (...) no son posibles [en sistemas de prefabricación (...)] [donde] [e]l control (...) de los elementos, así como el montaje y uniones, está ejercido, en el sitio o en fábrica, por un ingeniero o constructor civil de experiencia. (Depetris, 1985:34).

Sin embargo, las variables que inciden en los puntos sísmicamente vulnerables son tan amplios como complejo el problema. Lo que en términos estructurales se observa considerando que “un factor importante en el diseño o comportamiento de una estructura durante sismos intensos, es la capacidad de deformación de la estructura de manera dúctil cuando es sometida a ciclos de cargas que la hacen incursionar en la zona inelástica.” (Arias, 1985:43). Es decir, no basta con asegurar homogéneos estándares de calidad de los materiales, rigurosos procedimientos durante el proceso de fabricación y construcción de una obra, y un sinnúmero de otras variables que confluyen cuando un sismo afecta una determinada unidad o conjunto edificado.

Más aún, Arias agrega que –paradójicamente en la misma publicación en que participó Depetris– lo inconveniente que resulta “el uso del hormigón en su variedad, hormigón liviano, pretensado o prefabricado para elementos

³³ “Los Sistemas Industrializados de Prefabricación en Hormigón han tenido particularmente, su desarrollo en la vivienda de altura media a través de la introducción de los sistemas K.P.D. ruso, de grandes paneles; STRUTURAPID, italiano, adaptado sísmicamente para nuestro país por DEPETRIS; y OUTINOR, francés, de células habitaciones para mayor altura. En: Depetris, Oreste, Pre Construir. Arte e Interdisciplina. Revista Ciudad y Arquitectura N°42, diciembre 19685, p.34-5).

estructurales sismo-resistentes dado que su empleo en edificaciones en zonas sísmicas, no ha sido aún debidamente desarrollado.” (Arias, 1985:46). Con todo, es importante subrayar que Depetris circunscribió las posibilidades del uso de sistemas prefabricados en hormigón armado a construcciones máximo de mediana altura. Resulta improbable, por tanto, concebir edificios de gran altura –particularmente destinados a vivienda-, como las Torres de Tajamar, San Borja (**fig. 4.14**), y otras similares erigidas mediante elementos estructurales prefabricados. Esta puede ser una de las razones por las cuales, en definitiva, estos sistemas no hayan prosperado en el medio nacional, si bien hubo exploraciones importantes en políticas públicas de conjuntos de vivienda.

Del mismo modo que, al menos en el caso chileno, hubo una conexión directa entre el cálculo estructural infraestructura y arquitectura (específicamente en puentes de hormigón armado, fines del siglo XIX y comienzos del XX), hubo también conexiones entre el diseño, uso y aplicación de elementos estructurales de hormigón armado pre y postensados.³⁴ En efecto, el uso masivo de pilares y vigas estuvo (y ha estado) concentrado en la construcción de obras civiles. Vale decir, carreteras, puentes, represas, centrales hidroeléctricas, entre otras.



Fig. 4.12 Sistema de pórticos de hormigón armado, sistema Strutrapid-Depetris, Revista CA 42, 1985.



Fig. 4.13 Detalle nudos estructurales del sistema estructural prefabricado Strutrapid-Depetris, Revista CA 42, 1985.

³⁴ “El hormigón pretensado, en el que las armaduras se tesan antes de verter y fraguar el hormigón, debe distinguirse el *hormigón postensado*, en el aquéllas se tesan después de endurecido éste, y quedan, bien al exterior –y, por así decirlo-, independientes del hormigón durante toda la vida de la obra-, bien adheridas a él por la adición de nuevas masas de hormigón o de mortero. Sin embargo, el nombre pretensado se ha generalizado para ambas técnicas.” Torroja, 2010:72).

Se ha podido observar en algunos de los pasajes de esta investigación, que la industrialización fue un tópico recurrente y que cobró mayor auge a partir de la década de 1940 en adelante, no sólo por medio de políticas públicas estatales, sino que también en el ámbito privado. Es evidente, sin embargo, que las obras destacadas –ya sea por su notoriedad, escala y repercusiones a nivel nacional, estuvieron concentradas en obras fiscales. La Empresa Nacional de Electricidad S.A. es un buen ejemplo, como también lo fueron otras empresas vinculadas a la provisión de otros servicios básicos a nivel nacional. Entre otras, Chilectra –en la distribución energía eléctrica; empresa sanitaria -agua potable y alcantarillado-; y otras de carácter productivo como la minería. Pero a pesar de las ventajas que aportaron los elementos prefabricados en hormigón armado, su incorporación efectiva a la industria inmobiliaria, particularmente de edificios en altura, fue muy limitada. Y a la postre, no prosperó mayormente.



Fig. 4.14 Conjunto de viviendas Torres San Borja, Santiago. En: Santiago Arias S., *El Hormigón y su comportamiento sísmico*, Revista CA 42, 1985.

Hacia el cambio de paradigma estructural y la autonomía de la Norma de edificación sismo-resistente: La Norma NCh 433 Of.72 fue un instrumento de regulación diseñado específicamente para el cálculo estructural. Por tanto, la separación de las materias contenidas en la Ordenanza General respecto de las contenidas en la Norma 433, marcaron un punto de separación entre ambas, si bien complementarias, dando cuenta del grado de especificidad alcanzando en las disciplinas vinculadas con el problema de la destrucción sísmica, y del proceso de normalización.

En segundo lugar, se plantea que la NCh433. Of72 condensó de manera explícita y clara, los procedimientos y métodos de cálculo estructural de

edificios, superando parte importante de las generalidades y, en ciertos casos, ambigüedades, presentes en la Ordenanza. Junto con ello, se validaron los dos métodos empleados hasta entonces (análisis estático y dinámico) que, junto con la inclusión del espectro de aceleraciones (que fijó rangos de comportamiento probable de los edificios sometidos a esfuerzos sísmicos), propiciaron las bases teóricas que derivaron a la postre, en el cambio de paradigma de diseño estructural determinista por el paradigma probabilístico.

Por último, tanto la NCh433 de Diseño Antisísmico, como la Norma NCh170 Hormigón Armado, conformaron un marco de regulación que estimuló la construcción de edificios en ese material. Tendencia que estuvo fundamentada en los principios de estructuración contenidos en la Norma, orientados a la conformación de unidades monolítica, continuas y regulares; la propensión de edificios concebidos sísmicamente resistentes en base al supuesto de resistencia por rigidez. En este sentido, la inclinación por el empleo de estructuras de hormigón armado estuvo también vinculado directamente a la conjugación de elementos soportantes condicionado por la inclusión de muros, ya sea en la totalidad de la unidad arquitectónica, o de forma parcial combinada con otros elementos como pórticos o sistemas de pilares y envigados.

Segunda Parte.

Análisis Arquitectónico.

Capítulo 5. La obra del Ministerio de Hacienda: Resistencia sísmica por masa gravitacional en hormigón armado.

Cuerpo monolítico, contundencia formal y resistencia por rigidez.



Fig. 5.1 Fachada norte de la Real Casa de Moneda (derecha de la imagen). Grabado de George Scharf sobre el dibujo de Juan Diego. Paroissien, impreso por Rowney&Forster. En Schmidtmeier, Peter: Travles into Chile over The Andes in the years 1820-1821, Londres, 1824. Reproducido en Guarda, Gabriel, El Arquitecto de La Moneda, Joaquín Toesca, 1752-1799.



Fig. 5.2 Edificio La Mundial, 1920-3. A. Schade y R. Oyarzún arquitectos. En: Pablo Fuentes, Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile, (1894-1929), Santiago, 2009.



Fig. 5.3 Biblioteca Nacional (1913-25). Gustavo García P., arquitecto. En: Pablo Fuentes, Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile, (1894-1929), Santiago, 2009.

Introducción: Proyectado en 1928 y construido en 1929 por los arquitectos Josué Smith Miller y Josué Smith Solar, el edificio del Ministerio de Hacienda, constituye un caso de interés para esta investigación, por las lógicas proyectuales y técnicas empleadas en relación al problema sísmico, y que exceden cualidades morfológicas.

Se plantea que el edificio del Ministerio de Hacienda constituye un temprano caso representativo del proceso de regulación y normalización, en el que se materializaron, entre otras materias, conceptos y criterios estructurales fundamentales que posibilitaron la construcción de una obra notable por sus rasgos arquitectónicos en un medio altamente sísmico. Entre otros, la inclusión de pisos próximos a la idea de planta libre, el empleo de sistemas constructivos y materiales monolíticos (hormigón armado), o el empotramiento de la unidad en tres niveles subterráneos.

El capítulo que se desarrolla a continuación, examinará la obra, en tanto sistema arquitectónico, considerando sus cualidades espaciales, estructurales, constructivas y materiales. Considerando la relevancia que representa la planta baja de las construcciones sometidas a esfuerzos en medios sísmicos, se analizará dicho plano con mayor detención, con el fin de poder establecer de qué modo la estrategia proyectual arquitectónica, permitió erigir un edificio de estas características, a pesar de los limitados recursos teóricos, técnicos y tecnológicos disponibles durante el período.

El edificio del Ministerio Hacienda no fue un caso único de construcción en altura, erigido hacia la década de 1930 en la capital. No fue tampoco el primero en su tipo. En efecto, otras obras de características morfológicas similares (volumetría regular, fachada continua, y total ocupación de superficie predial), edificadas con anterioridad al Ministerio así lo evidencian. Tal es el caso del Banco Central de Chile (Alberto Cruz M., arquitecto, 1927) y el edificio del Diario La Nación

(Roberto Barceló L., arquitecto, 1928-30) (**fig. 5.6**), ambos emplazados en el actual Barrio Cívico (Gurovich, 2003) (**fig. 5.10**).

Otras obras de altura considerable –en relación al perfil de bajas construcciones de comienzos de siglo– alzadas con anterioridad al Ministerio de Hacienda, se cuenta, por ejemplo, el edificio de la Bolsa de Comercio de Santiago (1913-7, de Emilio Jéquier); la Biblioteca Nacional (1913-1925), del arquitecto Gustavo García del Postigo; la iglesia de Los Sacramentinos, de Larraín Bravo, 1919; o el edificio Ariztía, de los arquitectos Cruz Montt y Larraín Bravo, 1921 (**figs. 5.2 a 5.5**). Mientras que hacia 1929 y 1930, emergieron un número importante de proyectos destinados a diversas reparticiones públicas, en el marco de las reformas y reestructuración del Estado.¹ Entre otros, cabe mencionar la Caja de Previsión de Empleados Particulares (1930), del arquitecto Ricardo González; o la Caja del Crédito Popular (1929), de los arquitectos Ismael Edwards y Federico Bierregel (**figs. 5.7, 5.9**). Este último, emplazado al interior del conjunto que conforma la actual Plaza de la Constitución y que enfrenta la fachada norte del Palacio de La Moneda. En el ámbito privado, destacan la Compañía de Seguros La Sud Americana (1929-30), Siegel & Siegel arquitectos (**figs. 5.8**) o el conjunto de viviendas en altura Turri, del arquitecto Guillermo Schneider, construido entre 1929 y 1931.



Fig. 5.4 Edificio Ariztía, 1921. Cruz Montt y Larraín Bravo. En: Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile*, (1894-1929), Santiago, 2009.



Fig. 5.6 Edificio Diario La Nación. Roberto Barceló arquitecto. Fuente: Archivo Fotográfico Museo Histórico Nacional.



Fig. 5.5 Iglesia de Los Sacramentinos, 1912. Ricardo Larraín B. Arquitecto. En: Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile*, (1894-1929), Santiago, 2009.

¹ Destacan los gobiernos de A. Alessandri (en dos períodos, 1920-4; y 1932-8; la dictadura de C. Ibáñez del Campo, 1927-31 y posterior gobierno electo 1952-8; y el período de los radicales, P. Aguirre Cerda, 1938-41; Juan Antonio Ríos, 1942-6; y Gabriel González Videla, 1946-52).



Fig. 5.7 Elevación proyecto Caja de Previsión Empleados Particulares, Ricardo Cortés arquitecto. En: Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile*, (1894-1929), Santiago, 2009.



Fig. 5.8 Compañía de Seguro La Sud América (1929-30). Siegel & Siegel arquitectos. En: Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile*, (1894-1929), Santiago, 2009.

La construcción de edificios de altura similar a la del Ministerio de Hacienda y el ex Hotel Carrera, se hizo extensiva durante el segundo tercio del siglo XX, si bien circunscrita al casco histórico de Santiago, lo que condujo a la redefinición de un perfil urbano inédito en la ciudad, morfológicamente condicionado a una tipología edificatoria y altura determinadas.

El diseño y construcción de un volumen de las características presentes en el Ministerio, debió representar un desafío importante para sus autores (arquitectos Smith Solar y Smith Miller), considerando las exigencias arquitectónicas y las limitaciones estructurales del período. Pero si la altura alcanzada en el edificio del Ministerio de Hacienda no supuso un avance excluyente con respecto a otros casos contemporáneos, cabe preguntarse entonces, ¿Qué cualidades arquitectónicas hacen de esta obra un caso de interés para esta investigación? El punto estriba entonces en intentar responder ¿cómo fue posible erigir un edificio de altura superior para el período, considerando la configuración volumétrica de la unidad, el orden arquitectónico-espacial desarrollado en su interior, y la aproximación a la idea de planta en un medio altamente sísmico? Para responder esta pregunta, se deben tener a la vista algunos antecedentes del proyecto que permitan analizar con mayor detención la obra.

Respecto a los recursos tecnológicos y técnicos empleados, se pueden señalar algunas referencias aportadas por la escueta literatura que lo ha abordado. Al respecto se releva, por ejemplo, entre sus atributos el hecho que se hayan incorporado durante su ejecución “modernas técnicas de diseño y construcción en altura en hormigón armado” (Pérez de Arce, 2010:195). Este trabajo intenta comprender los alcances de tal conceptualización, y analizar los recursos técnicos y teóricos empleados en el proyecto y materializados en la construcción de la obra, a la luz de la resistencia sísmica.

Otra variable que agrega complejidad al caso de estudio, si bien ajena a las consideraciones puramente arquitectónicas, pero relevante desde un punto de vista político y social, tiene que ver con el impacto que supuso la construcción de un edificio de esa envergadura, apenas un año después de la destrucción ocurrida durante el terremoto de Talca. Hacienda fue, en este sentido, un proyecto osado a la vez que demostración de la inventiva y capacidades de los arquitectos que lo concibieron.

Antecedentes y fuentes documentales inéditas del proyecto

del Ministerio de Hacienda: Esfuerzos recientes impulsados en materia de conservación de material documental perteneciente al departamento de arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, permitió la recuperación de fuentes gráficas de distintas obras fiscales. Uno de los cuales corresponde a un volumen importante de planos del Ministerio de Hacienda, que incluye parte del proyecto original y diversas intervenciones posteriores efectuadas a la obra.

El expediente en cuestión consta de un número aproximado de quinientos planos -en formato digital- entre los que se cuentan planimetría de arquitectura, cálculo y especialidades (proyectos sanitarios, de iluminación, clima, entre otros), y abarcan un arco temporal entre 1927 hasta 1993.



Fig. 5.9 Caja de Crédito Popular, 1927. Ismael Edwards y Federico Bieriegel. En: Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile*, (1894-1929), Santiago, 2009.



Fig. 5.10 Vista a vuelo de pájaro Palacio de La Moneda y alrededores previo a la consolidación del Barrio Cívico en su forma actual, hacia el nororiente de Santiago. A media altura-superior, sobre el costado izquierdo, se observa el Ministerio de Hacienda proyectado por Smith Solar & Smith Miller Arquitectos. Fotografía s/a (1935c). Fuente: Colección Francisco Monge. En: Mario Pérez de Arce, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos, Ediciones Universidad Finis Terrae, Santiago, 2010.

Buena parte de la totalidad del material es inédito, y dada la cantidad y especificidad de esta investigación, se han seleccionado solo aquellos planos representativos de las cualidades formales, estructurales y técnicas del edificio, y acotados al proyecto original.² Destacan, por ejemplo, la reproducción pliegos originales firmados por los arquitectos, que incluyen plantas, cortes y elevaciones.³ A pesar de la profusa información planimétrica hallada, no fue posible acceder a fuentes relativas a la contratación de los arquitectos, permiso de edificación –u otros documentos municipales- ni especificaciones técnicas.

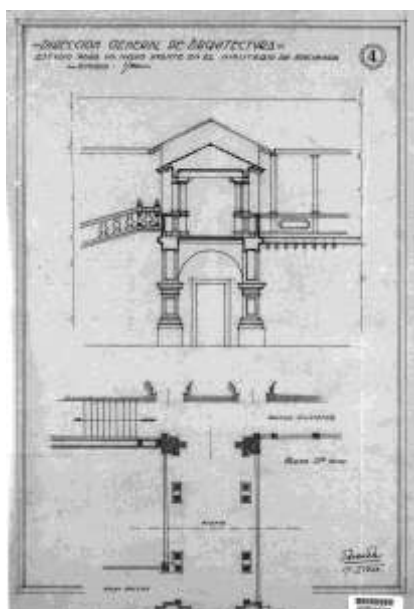


Fig. 5.11 Proyecto para un nuevo puente Ministerio de Hacienda (Palacio La Moneda), 1928. Planta y elevación parcial. Firma ilegible. En: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

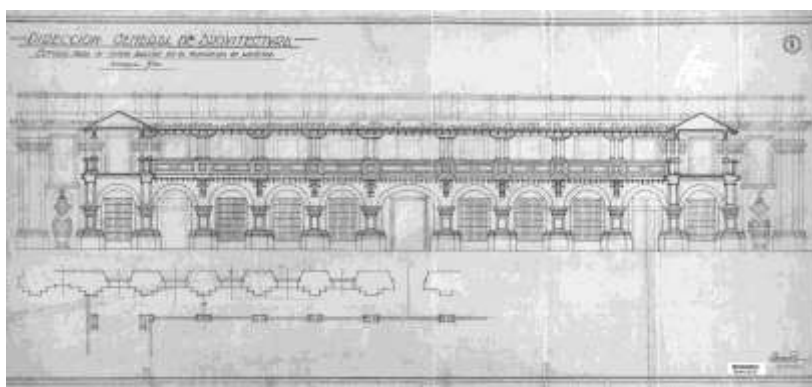


Fig. 5.12 Proyecto para un nuevo puente Ministerio de Hacienda (Palacio La Moneda), 1928. Corte transversal general. Firma ilegible. En: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

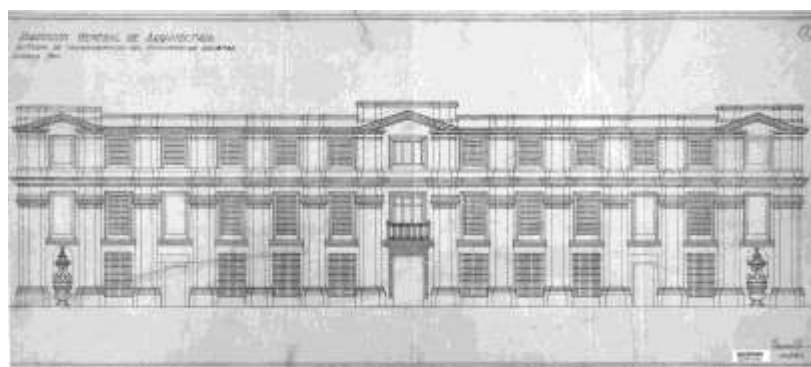


Fig. 5.13 Proyecto para un nuevo puente Ministerio de Hacienda (Palacio La Moneda), 1928. Elevación general frontal. Firma ilegible. En: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

² Especial mención merece el proyecto de refuerzo estructural elaborado con posterioridad al terremoto de 1985 (8,0Mw).² El juego de planos considera el refuerzo de elementos estructurales dañados por el seísmo, identificados en distintos niveles. A pesar de que contienen información de interés para este trabajo, no serán considerados para un análisis en profundidad, principalmente porque escapan del arco temporal aquí abordado. En efecto, su estudio requiere considerar un conjunto de factores que extralimitan los alcances propuestos en esta tesis. Por de pronto, los daños causados por el terremoto de 1985, obliga tomar en consideración las diversas intervenciones de que ha sido objeto el edificio (desde su construcción en 1929 hasta 1985), pues en muchos casos, las causas probables de tales daños pueden ser explicadas como consecuencia de intervenciones –estructurales y constructivas- no siempre sísmicamente eficientes.

³ Este legajo será donado al Centro de Documentación Sergio Larraín G.M. de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de esta Universidad, como parte de una contribución concreta al medio académico y de investigación.

El antecedente directo que precedió el proyecto del nuevo edificio para el Ministerio de Hacienda, corresponde a una propuesta desarrollada en 1928, bajo el título “*Estudio para un nuevo balcón en el Ministerio de Hacienda*”. Se trata de un juego de cuatro láminas, todas rotuladas por la Dirección General de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, y datadas con fecha 28 de febrero de 1928. Cada una de ellas firmadas por *Garaud*.⁴ Dicho proyecto corresponde a una intervención del Palacio de La Moneda, sede de gobierno y que para la década de 1920 alojaba aún algunas carteras ministeriales, como Hacienda. Se trata, sin embargo, de una obra menor proyectada apenas algunos meses antes del proyecto para el nuevo edificio (**figs. 5.11, 5.12, 5.13**).

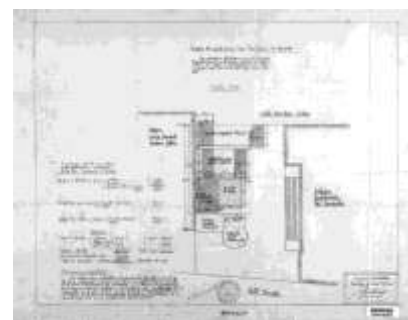


Fig. 5.14 Planta instalación de faenas ampliación Ministerio de Hacienda, s/f. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

Sistema arquitectónico en el Ministerio de Hacienda:

Configuración geométrica y programa: La configuración actual del edificio del Ministerio de Hacienda difiere del proyecto original y es resultado de un conjunto de intervenciones desarrolladas a partir del comienzo de su construcción, en 1929, hasta 1993. Posterior al proyecto y ejecución (1929-1933) de la obra desarrollada por Smith Solar y Smith Miller, se sucedieron un conjunto de intervenciones de pequeña y gran escala. La más importante corresponde a la ampliación del edificio hacia el costado poniente (1949) y que prácticamente duplicó la superficie y carga de ocupación originales. El análisis que desarrolla este capítulo pone atención, sin embargo, en la primera fase del proyecto, pues es en ésta donde se plasmaron parte de los fundamentos arquitectónicos, estructurales y constructivo-materiales del período que esta parte de la investigación abarca.⁵

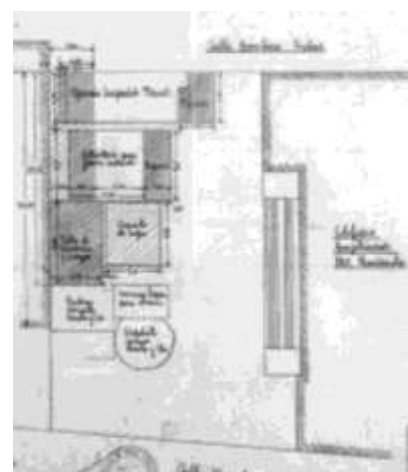


Fig. 5.15 Detalle planta detalle instalación de faenas ampliación Ministerio de Hacienda, s/f. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

Cuando se hace referencia al Ministerio de Hacienda, se debe considerar que forma parte, junto al ex Hotel Carrera, de un conjunto concebido como tal desde sus inicios (**fig. 5.14, 5.15**). Esto es importante por los alcances urbanos y estructurales que implica. Desde de un punto de vista urbano, el conjunto se ideó como dos unidades aisladas, si bien contiguas, volumétricamente semejantes, y de expresión arquitectónica similar.

La separación entre las dos unidades fue mediada por la inserción de una nueva calle, perpendicular a la actual Plaza de la Constitución. Operación urbana que permitió el enriquecimiento del tejido urbano, en

⁴ De acuerdo a la lectura e interpretación que se puede hacer de la firma contenida en los planos.

⁵ Una parte de los documentos fotográficos, sumado a la información contenida en el sitio oficial del Ministerio, señalan un período de construcción de tres años (1929-1931); mientras que de acuerdo a las fechas de los planos oficiales de arquitectura, el período fue algo mayor: entre 1928 y 1933.

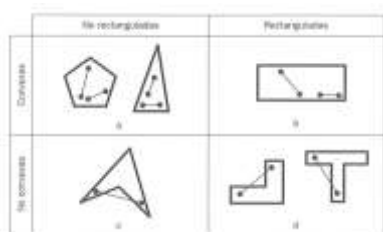


Fig. 5.16 Esquemas de configuración geométrica en planta tipo convexas y no convexas. Fuente: Teresa Guevara, *Arquitectura Moderna en Zonas Sísmicas*, Ed. G. Gili, Barcelona, 2009.

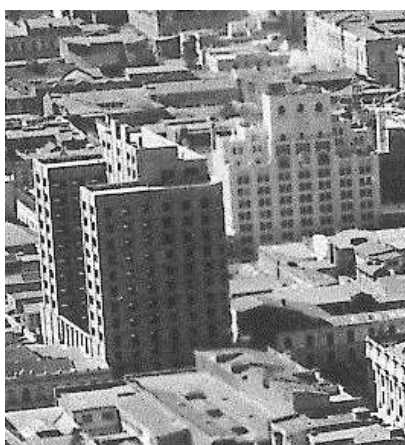


Fig. 5.17 Detalle fotografía vista a vuelo de pájaro hacia el nororiente. En primer plano, Ministerio de Hacienda (Smith Solar & Smith Miller Arquitectos). Se observa la configuración volumétrica de la unidad. Fotografía s/a (1935c). Fuente: Colección Francisco Monge. En: Mario Pérez de Arce, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos, Ediciones Universidad Finis Terrae, Santiago, 2010.

oposición al esquema de división predial preexistente (casas bajas de dos pisos y de fachada continua). Morfológicamente, ello implicó también la conformación de un nuevo perfil, y otra forma de ocupación predial (**fig. 5.16**).

Estructuralmente, en tanto, concebir dos unidades volumétricamente semejantes y aisladas entre sí, supuso mayor libertad en la exploración arquitectónica y estructural del edificio. En lo fundamental, posibilitó el desarrollo de un esquema próximo a la idea planta libre, lo que no habría sido posible (del modo en que fue abordado en el proyecto) en un esquema de unidades adosadas con una más caras ciegas. Otra consecuencia, si bien observada a la luz del conocimiento actual en materia de resistencia sísmica, refiere al período de vibración de cada unidad que en forma de fachada continua (con adosamiento) puede generar daños severos por efecto de choques entre sí (Guevara, 2009).

Volumétricamente, la unidad está compuesta por tres cuerpos principales (zócalo, cuerpo central y cubierta). Entre el tercer subterráneo, la planta baja y el piso segundo⁶, se desarrolla un volumen simple cuya configuración corresponde a la extrusión en planta de los deslindes prediales de emplazamiento. El segundo cuerpo, contenido entre los pisos tercero y décimo segundo, corresponde a un volumen en forma de “U”, cuyos lados mayores y coplanares a los niveles inferiores, conforman las fachadas norte, oriente y sur; mientras que los lados interiores de la boca en “U” (junto con los planos que cierran las alas norte y sur), se abren hacia poniente. Por último, el tercer cuerpo, conformado por los dos últimos niveles corresponde a pisos retirados. La planta del décimo tercer piso conserva la crujía oriente poniente, pero los costados norte y sur figuran retranqueados hasta el plomo de los ejes estructurales de descarga 2 y 9 (**fig. 5.17**). El último piso, en cambio, corona la altura del volumen mediante un tercer plano de retranqueo (flanco oriente) conformando la planta de menor superficie y, en consecuencia, de menor carga estructural.

Distinguir tipos de análisis morfológico es importante en este caso, porque a pesar de que puedan ser aproximaciones distintas, implican a la vez problemas, decisiones y soluciones estructurales y constructivas sintetizadas bajo un mismo criterio de cálculo de estabilidad y diseño arquitectónico, que se pueden resumir en las siguientes. Primero, reducción progresiva de la masa y peso del volumen y elementos

⁶ Se hace la distinción entre la planta baja y el segundo nivel por la presencia de una doble altura en el área del hall central del primer nivel que lo jerarquiza.

estructurales en sentido ascendente. Segundo, ocupación predial total en los niveles públicos. Tercero, conformación coplanar y continua de las fachadas principales. Y cuarto, apertura del volumen en “U” considerando la iluminación natural y ventilación de los recintos interiores en todas las crujías.

Si el primero de los puntos atiende variables estructurales axiales, los siguientes adscriben principalmente esfuerzos horizontales con que se relacionaban los sismos con el comportamiento estructural de las construcciones. En este sentido, las aristas de intersección entre las alas que componen la “U” concentran gran parte de los puntos críticos frente a un determinado evento sísmico. Esto, que en la actualidad es de dominio extendido en la ingeniería y arquitectura⁷, para comienzos del siglo XX no formó parte del repertorio ni en el ámbito de los cálculos de estabilidad, ni del diseño arquitectónico. Así, parte importante de la vulnerabilidad (por geometría) que presenta la primera etapa de Hacienda⁸ estriba principalmente en su composición volumétrica. De hecho, los pilares que articulan los vértices de intersección no presentan diferencias formales ni estructurales que acusen algún tipo de refuerzo (**fig. 5.19**), como el aumento de sección en los pilares esquineros. Son más bien los núcleos verticales los que concentran mayor densidad de elementos rígidos, conformando así un área altamente rígida que, en contraste con las alas laterales, opone un grado de resistencia y comportamiento asimétricos (**fig. 5.19**).



Fig. 5.18 Fotografía fachadas interiores del Ministerio de Hacienda (Smith Solar & Smith Miller Arquitectos).

Fuente: Colección Francisco Monge. En: Mario Pérez de Arce, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos, Ediciones Universidad Finis Terrae, Santiago, 2010.

⁷ Una de las recomendaciones recurrentes en el medio de la ingeniería estructural sismorresistente, sugiere evitar diseños volumétricos irregulares, no obstante simétricos. Así, cuerpos en forma de U, L, H, y en general, aquellas que generen planos de fachada abiertos -no convexos- representan mayor probabilidad de fracturas estructurales a los largo de las aristas de intersección.

⁸ Si bien no hay documentación que así lo indique, se propone que el plan del edificio del Ministerio de Hacienda debió haber considerado inicialmente la ocupación de los solares sur oriente y poniente de la manzana primitiva.

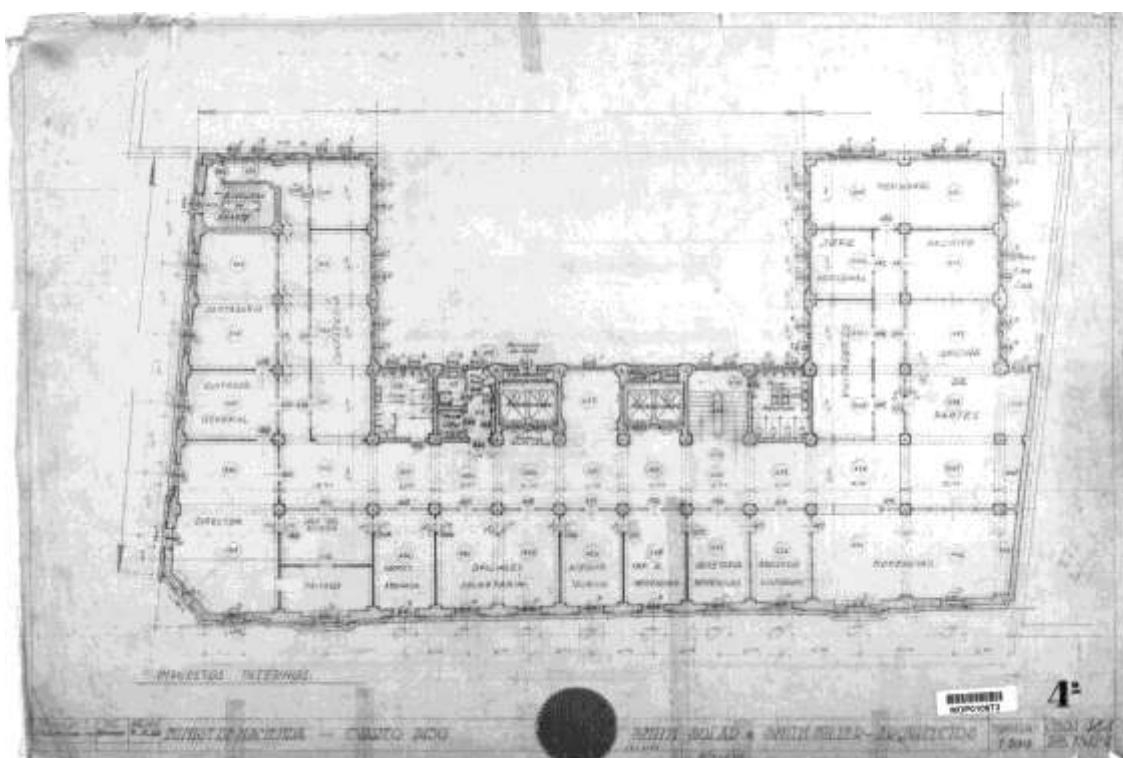


Fig. 5.19 Proyecto Ministerio de Hacienda, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos. Planta cuarto piso, 1929.
Fuente: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

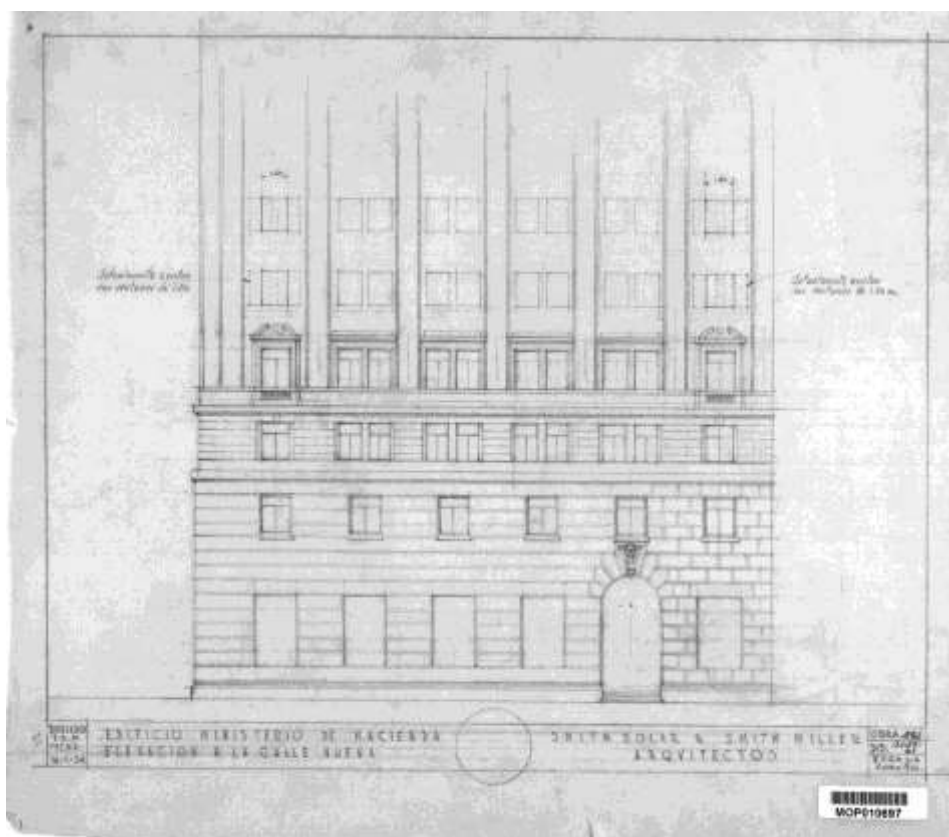


Fig. 5.20 Elevación parcial norte, proyecto de arquitectura Smith Solar & Smith Miller Arquitectos, 1933.
Fuente: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

Otro aspecto importante a considerar radica en el supuesto que la sede del Ministerio de Hacienda haya sido concebida originalmente en dos etapas. En efecto, un examen cuidadoso de la planta del primer nivel del proyecto de los Smith (1933) (**fig. 5.19**) arroja claves al respecto. En primer lugar, los costados norte y poniente del edificio figuran adosados a muros paralelos (graficados con línea doble) y que representan las construcciones preexistentes (demolidas posteriormente). Hecho que deja en evidencia además, el retranqueo de la línea de edificación de Hacienda, en concordancia con los planes de ensanche de calles (y cambios de los perfiles de la ciudad), parte de los debates del período (**fig. 5.20**). En segundo lugar, los contornos (en planta) de los costados norte y poniente del proyecto, están graficados como un sistema de pórticos rellenos con muros (o tabiques sólidos) de sección menor (**fig. 5.20**). A partir de esta observación, se plantea que el cerramiento poniente supone una ampliación futura de la unidad y la extensión de la planta libre pilarizada (**fig. 5.19**). Del mismo modo, el cerramiento del costado norte, debió haber sido ciego en una etapa inicial del proyecto, hasta que se terminaran de demoler las construcciones existentes (de fachada continua), construir el ex Hotel Carrera y la nueva calle entre ambos edificios, conformando así el nuevo perfil. La segunda etapa consideró también la ampliación y conexión en los niveles del subterráneo, como puede observarse en la planta del nivel inferior (**fig. 5.37**).



Fig. 5.21 Fotografía Residencia del Presidente de la República (Palacio La Moneda), fachada norte. Fuente: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.



Fig. 5.22 Fotografía Ministerio de Guerra (anterior a 1930) y Plazuela La Moneda. Fuente: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.



Fig. 5.23 Ministerio de Hacienda, fachada poniente segunda etapa, s/f. Fuente: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.



Fig. 5.24 Perspectiva Fachadas principales (orientación sur) proyecto Edificio Ministerio de Hacienda, Smith Solar & Smith Miller, arquitectos, s/f. Fuente: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

La agregación del volumen de la segunda etapa (de configuración topológicamente análoga a la anterior) que completó la actual unidad arquitectónica de Hacienda (**fig. 5.24**), representó también un conjunto de desafíos estructurales y constructivos, aun con los avances alcanzados durante el período. Por de pronto, la anexión formal y continuidad espacial al tiempo que la aislación estructural entre ambos; la articulación de métodos de construcción (entibación de socialzado) requeridos en la prolongación de los subterráneos y afianzamiento de fundaciones; y sobre todo, el contraste entre las experiencias que marcaron la construcción en cada una de las etapas en el marco de la historia sísmica del país: el terremoto de Talca en 1928 y el de Chillán en 1939 y los respectivos ajustes en el campo de la ingeniería estructural y la arquitectura sismorresistentes.

Así, a partir de la ampliación del proyecto original, se pueden deducir dos consecuencias directas. La primera, respecto a la eficiencia – estructural, espacial y programática- del empleo de la planta libre como recurso arquitectónico flexible, si bien condicionada y adaptada a medios sísmicos. Y segundo, la completación del volumen inicial que derivó hacia un tipo de configuración convexa y cerrada, que desde un punto de vista formal, expresa una unidad compacta, de fachada continua y organizada en torno a un vacío central. La conformación aparentemente unitaria, se disgrega en cambio en, por dos cuerpos en “U” estructuralmente independientes o dilatados, proyectados y ejecutados en condiciones distintas.⁹



Fig. 5.25 Vista aérea plaza de estacionamientos frente a la fachada norte del Palacio La Moneda (1964). Arriba a la derecha se observa el edificio del Ministerio de Hacienda construido con las dos etapas de construcción concluidas, seguido del ex Hotel Carrera. Archivo visual de Santiago.

⁹ A la luz de los conocimientos actuales, un criterio estructural plausible en configuraciones tipo “O”, probablemente sugeriría considerar juntas de dilatación tendientes a concebir y calcular, dos pares cuerpos paralelos entre sí y perpendiculares al otro.

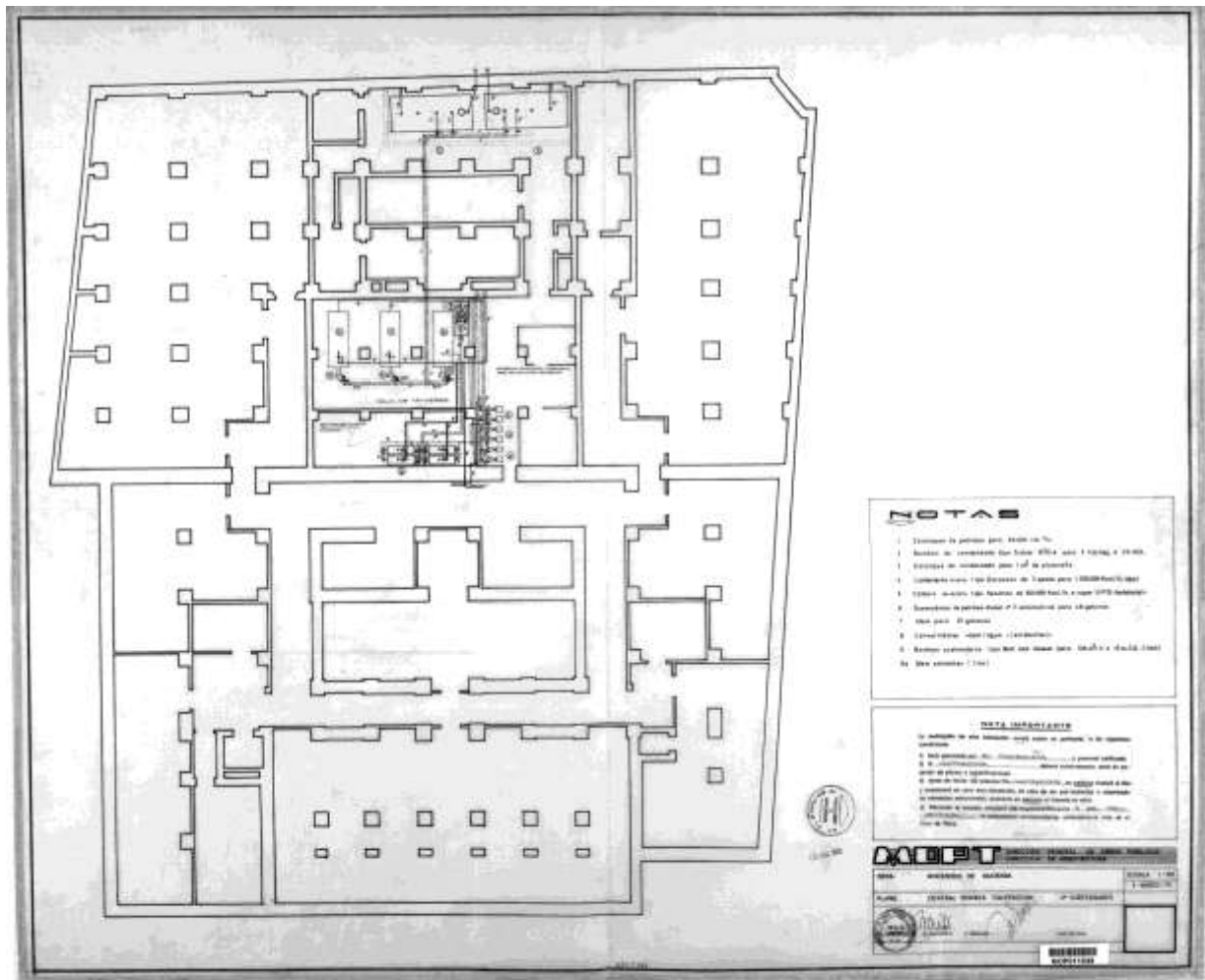


Fig. 5.26 Ministerio de Hacienda. Planta Tercer Subterráneo, Central Térmica Calefacción, 1970. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

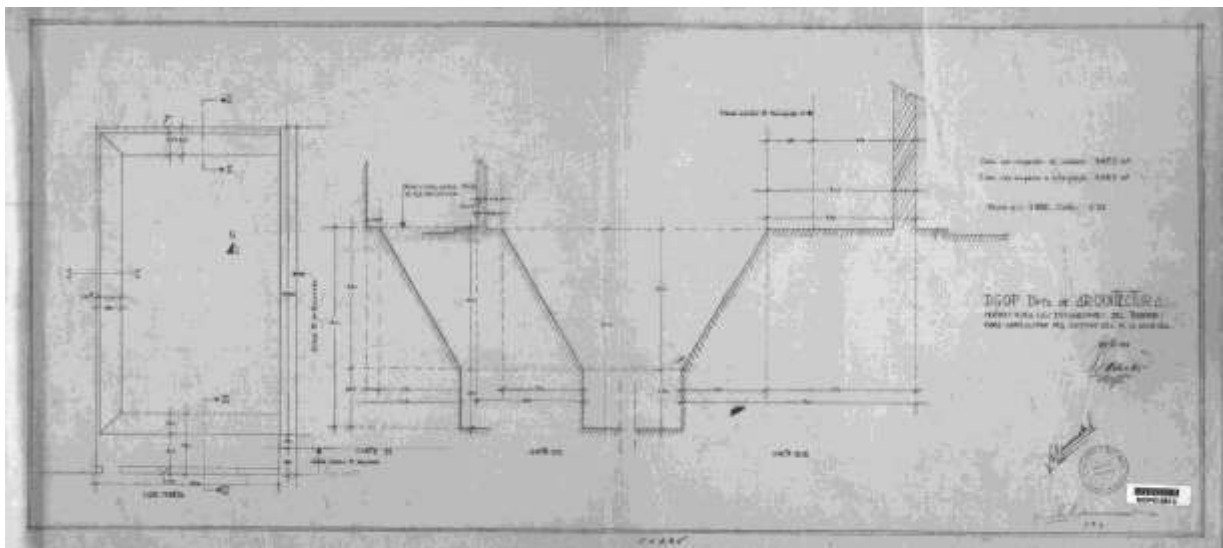


Fig. 5.27 Ministerio de Hacienda. Croquis para las Excavaciones Ampliación Edificio Ministerio de Hacienda. 28 de enero de 1946 (firma ilegible). Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.



Fig. 5.28 Maison Dom-ino, sin localización, Le Corbusier, 1914. Fuente: Fondation Le Corbusier, © FLC-ADAGP



Fig. 5.29 Casa Farnsworth., Plano, Illinois, Estados Unidos, 1945-1951. © Cristina Gastón.

El problema de la planta libre en Chile. Algunas aproximaciones:

Las edificaciones construidas en Chile durante las primeras décadas del siglo XX, estuvieron atravesadas por el empleo de recursos estructurales que, con mayor o menor eficiencia, propendieron a la rigidización del esqueleto interno y de las envolventes del volumen. En ciertos casos, parte de la búsqueda de rigidez cobró expresión formal en elementos soportantes de grandes secciones, y por consiguiente, grandes cuantías de masa y peso. Situación que dio paso a la paulatina sustracción de la masa excedente, y con ello la reducción de cargas estáticas e inercia estructural. Esto se hizo evidente con mayor notoriedad en el empleo de pórticos que bajo el supuesto que aportando mayores secciones, debía lograrse también mayores grados de rigidez. Estructuralmente esto llevó a la construcción de unidades arquitectónicas masivas, pero paradójicamente vulnerables frente a la acción sísmica, debido a las enormes cuantías de la carga propia de los elementos soportantes. Mientras que desde un punto de vista arquitectónico, permitió ciertas aproximaciones a la planta libre y exenta de muros disruptores de la continuidad espacial buscada.

Si la idea arquitectónica de planta libre ofreció, entre otras cosas, mayor flexibilidad espacial y rangos más amplios de posibilidades programáticas, en medios sísmicos tales ventajas se vieron seriamente limitadas, lo que supuso un desafío antes que una solución. Así, parte de los esfuerzos promovidos por arquitectos e ingenieros en Chile, estuvieron concentrados en la búsqueda de soluciones espaciales y estructurales que permitieran conjugar las ventajas de la planta libre con la rigidez de la unidad arquitectónica, necesaria para oponer resistencia suficiente a tensiones sísmicas. Esto explica en gran medida el empleo de robustos pilares, columnas, vigas y losas, empleados principalmente en edificios públicos. Expresión plástica contraria a la economía material y esbeltez que caracterizan algunos ejemplos canónicos del movimiento moderno europeo, como el sistema Dominó (**fig. 5.28**) o la casa Farnworth (**fig. 5.29**), de Le Corbusier y Mies Van der Rohe respectivamente. La contundencia y masividad expresada en los elementos estructurales que caracterizó el período, se puede explicar por el hecho que el estado del conocimiento del fenómeno sísmico y de los cálculos de estabilidad estaban aún en un estado primario. En efecto, la relación entre masa y rigidez estructural como equivalencia de estabilidad y seguridad sísmica, no consideró —más por desconocimiento que por criterio de diseño— el efecto inverso que genera por la sobreabundancia de elementos portantes dimensionados con márgenes superiores a los estrictamente necesarios.

Un sistema porticado supone una solución estructural resistente en un escenario estático. Sistema eminentemente vulnerable cuando el estado en equilibrio sufre perturbaciones de tipo sísmicas, las que se pueden expresar en tensiones y deformaciones estructurales multidireccionales.

El recurso estructural de pórticos rígidos con cabezales (o escuadras) asociados al sistema Hennebique –o sus variantes- fue difundido con relativa profusión durante las primeras décadas del siglo XX en el país. Debido a las triangulaciones que coronan los nudos entre pilares y vigas (**fig. 5.30**), se pensó que serían refuerzos suficientemente rígidos para oponer resistencia a los esfuerzos sísmicos sin tener que recurrir a otros elementos rigidizantes como muros o riostras. En algunos casos, sin embargo, la experiencia demostró que el uso exclusivo de este sistema de marcos rígidos no fue suficiente para resistir tensiones durante eventos de magnitud considerable, como la fábrica Bellavista en Tomé. Vulnerabilidad que quedó recogida en la Ordenanza General (provisoria) de 1930, donde se estableció que “[l]a estructura resistente no debe estar formada exclusivamente por pilares o columnas aisladas (...) y deben establecerse superficies continuas de muros sin vano, a menos que se adopten arriostramientos y marcos rígidos para recoger las fuerzas horizontales.” (OGCU, 1930:74-5).

Otros casos, sin embargo, que emplearon sistemas análogos en complemento con muros altamente rígidos, probaron resistir sismos de gran magnitud. Morfológicamente, estas exploraciones representan casos caracterizados por volumetrías de cierta regularidad exterior, y con elementos estructurales interiores a la vista de rasgos masivos y visualmente pesados, debido al evidente sobredimensionamiento de las secciones. Un ejemplo claro en este sentido, es el Banco Central de Chile (**figs. 5.38, 5.39**), obra de los arquitectos Alberto Cruz Montt y Miguel Dávila, construida hacia 1930. Tanto el hall principal como uno de los salones del edificio enseñan un robusto envigado que descansa sobre pilares de sección igualmente masivos. Mientras los pórticos estructurales del hall del edificio exhiben las escuadras al modo de ménsulas con motivos decorativos, en uno de los salones figura la estructura desnuda y algo más aliviada que la anterior (**fig. 5.39**). Pero más allá de los diferentes tratamientos, en ambos prevalece una expresión espacial densa conformada por los planos de losa, envigados y pilares, donde la trama de cielo semeja más bien un casetonado antes que una estructuración liviana de pórticos arquitebados.

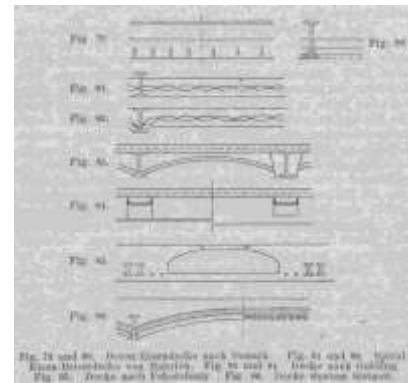


Fig. 5.30 Detalle de diversos sistemas losa-viga en hormigón y acero combinados. Fuente: Polytechnische Journal, Neuerungen auf dem Gebiete des Bauwesens, enero 1895, Tomo 298, Miszelle (S. 273). En:<http://dingler.culture.huberlin.de/search?q=Hennebique>

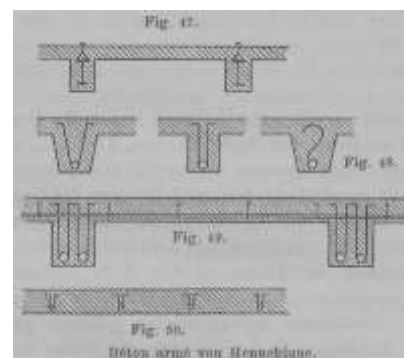


Fig. 5.31 Detalle en sección sistema Hennebique. Fuente: Polytechnische Journal, Neuerungen auf dem Gebiete des Bauwesens, enero 1895, Tomo 298, Miszelle (S. 273). En:<http://dingler.culture.huberlin.de/search?q=Hennebique>

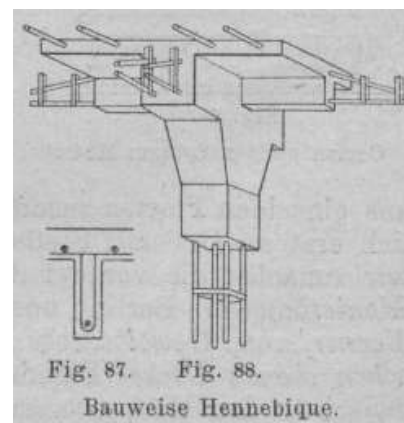


Fig. 5.32. Axonométrica del sistema Hennebique. Fuente: Polytechnische Journal, Feuersichere Baukonstruktionen, Cuaderno 13, 1895, p. 208. En:<http://dingler.culture.huberlin.de/search?q=Hennebique>

La masividad característica de elementos estructurales a la vista prevaleció también en elementos estructurales no visibles -como fundaciones- lo que deja en evidencia un criterio de diseño arquitectónico y estructural antes que un recurso puramente formal. Fundaciones corridas con zapatas tanto o más gruesos que los muros y pilares de los niveles superiores, dejan entrever no sólo los desmedidos márgenes de seguridad de sus secciones, sino que también, la temprana noción sobre la importancia del suelo en zonas sísmicas.

En ocasiones, el despliegue de fundaciones derivó complejos entramados que conjugaron cimientos corridos y zapatas). Un ejemplo de ello es el edificio de Servicios Públicos de Talca (1928), proyectado por el arquitecto Raúl Sierralta, que junto con la incorporación de pórticos rígidos con escuadras, se consideraron fundaciones de exageradas proporciones.

Un sistema que combinó el uso de concreto con perfiles de acero posibilitó, sin embargo, la reducción de las grandes secciones estimadas para fundaciones de edificios en altura. En efecto, hacia fines del siglo XIX, Sullivan subrayaba el aporte del acero en la construcción, que en conjunto con “... el uso del hormigón en las construcciones pesadas se iba difundiendo y la aplicación de hierro de rieles para distribuir cargas concentradas en los cimientos, con lo cual la forma de éstos cambió radicalmente, dejando de ser piramidales para hacerse chatos, liberando así espacio para los subsuelos...” (Sullivan, 1956:222). Este sistema, en principio económico y eficiente, no fue, sin embargo, incorporado en los edificios construidos en Chile, donde el uso de grandes zapatas en fundaciones continuó siendo asimilado como recurso de estabilidad estructural.

Buena parte de la historiografía de la arquitectura en Chile ha considerado el edificio Oberpaur (**figs. 5.33-5.36**) como “el primer caso en que se [hizo] presente de manera decidida la estética de la arquitectura moderna en Chile (...) que parece recoger, a su manera, algo del sentido utópico que acompañó esta estética.” (Crispiani, 2009:38). O dicho de otro modo, una “obra conscientemente moderna” (Eliash, Moreno, 1989:34). Aproximaciones que, más allá de su generalidad, intentan colocar la obra en un medio que adoptó paulatinamente, ciertas decisiones y elementos proyectuales asociados a la arquitectura moderna europea, y en particular, a la idea de planta libre.

Uno de los principales atributos arquitectónicos del Oberpaur (1929) radica en los recursos arquitectónicos empleados orientados a concebir el edificio en forma de planta libre. En las fachadas prevalece una serie compuesta por vigas y vanos continuos, como recurso plástico “destinado a hacer exhibición de la liberación de la fachada de la fechada de la estructura del edificio” lo que, sin embargo, “se cumple sólo en ciertos sectores, ya que la condición sísmica no [lo] permitió (...) debiendo simularse paños de muro que separan una ventana de otra.” (Crispiani, 2009:33).

El orden arquitectónico y estructural de Oberpaur es en este caso, un artificio plástico antes que una condición formal taxativa. En efecto, la expresión de la fachada pública, cuya continuidad permite la lectura de un solo plano -curvado en la esquina-, acentuado por la horizontalidad compuesta por vigas y ventanas corridas, corresponde antes bien, a un sistema de pórticos rigidizados por vigas (antepechos de los vanos) de gran sección. Los pilares sobre los que descansa dicho sistema, han sido desplazados a un segundo plano (interior), y con ello, en apariencia invisibilizados (**fig. 5-33, 5-35**).



Oberpaur (1929), Sergio Larraín Arquitecto. En: Eliash H., Moreno, M. *Arquitectura y Modernidad en Chile / 1925-1985*, Santiago, 1989.



Fig. 5-34 (Izq). Axonométrica edificio Oberpaur (1929), Sergio Larraín Arquitecto. Dibujo: Fernando Camino, Taller Tuca, UC, 1985. En: Eliash H., Moreno, M. *Arquitectura y Modernidad en Chile / 1925-1985*, Santiago, 1989.



Fig. 5-35 (Der). Detalle fachada oriente edificio Oberpaur. Se observa la conclusión de la segunda etapa. En: Eliash H., Moreno, M. *Arquitectura y Modernidad en Chile / 1925-1985*, Santiago, 1989.

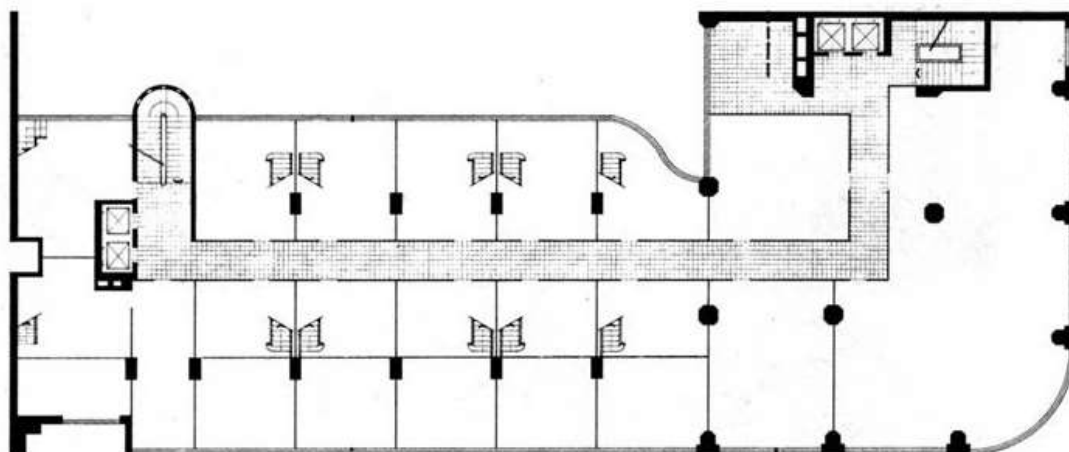


Fig. 5-36 Planta piso tipo edificio Oberpaur (1ª y 2ª. Etapas). En: Eliash H., Moreno, M. *Arquitectura y Modernidad en Chile / 1925-1985*, Santiago, 1989.

Pero el edificio Oberpaur, a diferencia del Ministerio de Hacienda, presenta un tipo de configuración irregular, en gran medida condicionada por la geometría del predio en que se emplaza. Este hecho reporta alcances sustanciales desde el punto de vista sísmico, pues si bien al interior de la unidad comparecen efectivamente apoyos puntuales (pilares) que permiten la libre disposición, los muros medianeros localizados en los extremos del edificio (que confinan la crujía en L) , hacen de éste un edificio liberado solo parcialmente. Mientras que desde un punto de vista estructural, dichos muros reportan planos de rigidez fundamentales para oponer la resistencia necesaria ante eventuales seísmos. El Ministerio de Hacienda, en este sentido, constituye un caso más interesante, teniendo en cuenta que el orden espacial de la unidad, quedó condicionado a la estrategia proyectual (arquitectónica y estructural) que condujo a la concentración de los elementos rígidos en los núcleos verticales (dispuestos próximos al centro de rigidez en planta), la disposición modulada de apoyos intermedios (pilares), y la acción solidaria de muros perimetrales (fachadas fenestradas).

En este sentido, el Ministerio de Hacienda es una obra que también recurrió a recursos similares. Pero a diferencia de otros casos, Hacienda logró una aproximación mucho más cercana a la idea de planta libre, mediante una composición geométrica de la unidad más simple y un orden espacial y estructural claro. A grandes rasgos, el edificio está estructurado por cuatro componentes: fundaciones (corridas y zapatas); muros; pórticos rígidos y losas. Todos fabricados en hormigón armado.¹⁰

Planta libre en el Ministerio de Hacienda y sismo-resistencia por inercia: La configuración geométrica, la estructuración y la composición arquitectónica sintetizada en el Ministerio de Hacienda, obedecen a una lógica de cargas eminentemente axiales. Es decir, a un criterio en que gran parte de los elementos estructurales fueron diseñados en función de la transmisión vertical y continua de cargas, desde el nivel superior al nivel de fundaciones. Esta misma lógica explica en parte, el empleo de fundaciones de grandes proporciones. Pero también recogieron parte de los criterios más importantes contenidos en la primera etapa de la Ordenanza General. El más gravitante en este sentido, fue la concepción del edificio asociado a la

¹⁰ No se ha, considerado aquí elementos secundarios -como tabiquerías- en albañilería, aún cuando, para efectos de resistencia y cálculo estructural sismorresistente, representan cargas muertas importantes a considerar.

idea de varilla empotrada que opone resistencia a las fuerzas horizontales con quien relacionada en el período el fenómeno sísmico. Otros aspectos notables referidos en la Ordenanza y considerados en el proyecto y obra del Ministerio, dicen relación con el criterio de estructuración y la configuración geométrica de la unidad. Así, todo edificio debía cumplir con algunas condiciones, como que “la estructura (...) no debe estar formada por pilares o columnas aisladas (...) [aduciendo la necesidad de contar con] superficies continuas de muros sin grandes vanos” (OGCU, 1930:74). Esta indicación puede ser observada en la obra de los Smith tanto al interior del edificio (marcos rígidos y muros de arriostramiento centrados en los núcleos de circulación vertical), como en las fachadas, en las que se procuró efectivamente mantener planos de muros con ventanas de reducida superficie.

Morfológicamente en tanto, la regularidad volumétrica del edificio estuvo alienada con las disposiciones que procuraron “cuerpos edificados de diferente altura y ligados entre sí” (OGCU, 1930:75), propiciando de este modo, la promoción de unidades homogéneas, compactas y sin grandes variaciones geométricas. Un precepto análogo común a la Ordenanza y al Ministerio de Hacienda, radicó en la regularidad de transmisión vertical de fuerzas (...) [de modo que] sea lo más directa posible, de la techumbre hasta el cimiento.” (OGCU, 1930:75).

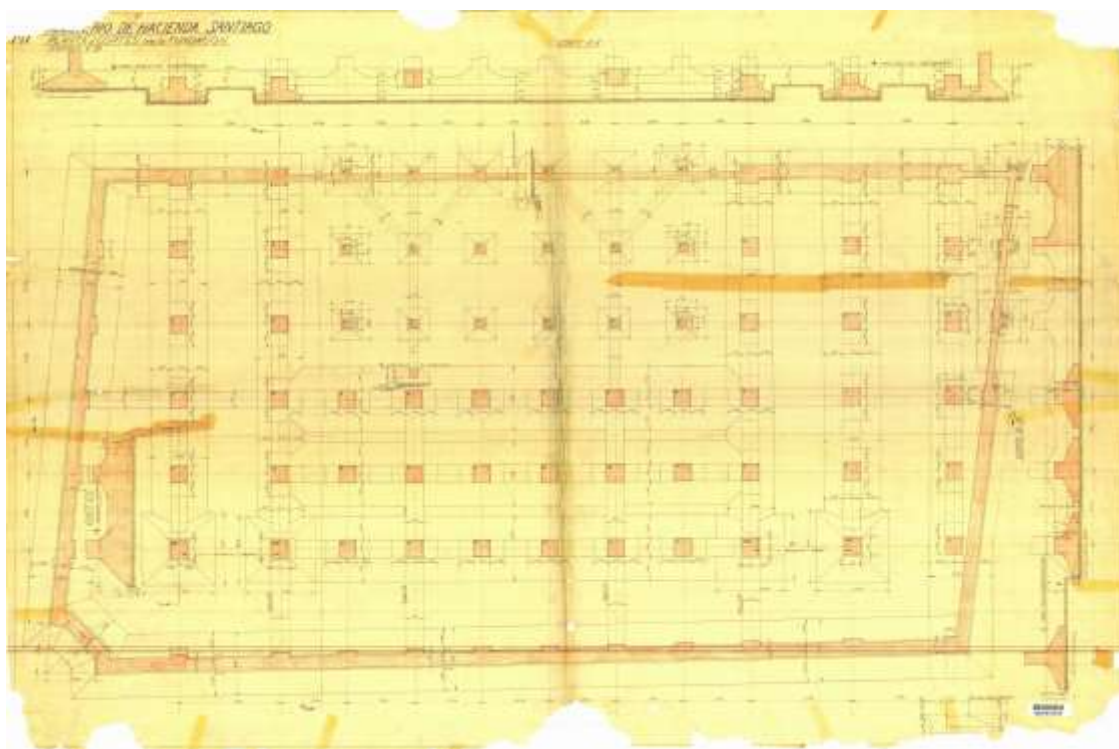


Fig. 5.37 Planta de fundaciones de cálculo estructural, 1929 c. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas

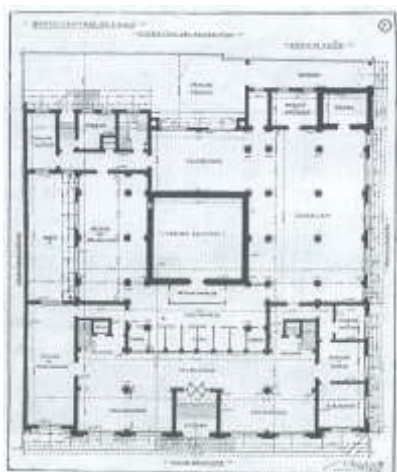


Fig. 5.38. Planta del Banco Central de Chile (1929), Alberto Cruz Arquitecto. En: Pablo Fuentes, Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile, (1894-1929), Santiago, 2009.



Fig. 5.39 Interior Banco Central de Chile (1929), Alberto Cruz Arquitecto. En: Fuentes, Pablo, Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile 1894-1929, Santiago, 2009.

Otro elemento central referido en la Ordenanza, y recogido anticipadamente en el Ministerio de Hacienda, refiere el tipo de suelo y el rol central de las fundaciones. En este caso, las grandes secciones y recurrencia –acaso redundancia– observada en el entramado de cadenas que recorren el total de la superficie de fundación, permiten constatar no sólo el sobredimensionamiento de dichos elementos, sino que también la densidad con que fueron dispuestos y que configuran una unidad basal compuesta por tres elementos estructurantes principales. A saber, muros, machones y pilares (**fig. 5.37**). Los muros que recorren la proyección del perímetro del edificio con espesores variables, actúan como elementos contenedores, mientras que los pilares repartidos al interior del área de fundación reciben las cargas axiales de los pilares de los niveles superiores. Los machones en tanto, sobresalen del plomo interior de los muros que confinan los subterráneos, a objeto de oponer resistencia a los empujes horizontales del socavamiento producido por los niveles subterráneos (**figs. 5.69-5.70**). Sobre el eje del extremo poniente de la planta, figuran dos pares de cadenas de fundación (a 45°), unidas entre sí, aunque de notable menor sección (**fig. 5.37**). La disminución del espesor sobre dicho costado supone una relación directa con la disminución de cargas sobre ese flanco producto de la configuración geométrica del volumen en forma de “U”.

Los cimientos, dispuestos como entramado continuo, actúan así unitariamente para repartir las cargas de los pisos superiores. Los muros, en tanto, en su gran mayoría confinados a los núcleos de circulación vertical y a los planos de cerramiento, proveen planos de rigidez ortogonal, hacia el centro de gravedad y el perímetro del volumen. Mientras que el sistema de pórticos, distribuido regularmente al interior de cada planta, actúa como nervaduras de ligazón entre los muros nucleares, las fachadas y las losas, en tanto diafragmas infinitamente rígidos. De modo que la unidad arquitectónica, concebida como pieza monolítica, actúa efectivamente como un sistema integrado, en el que confluyen cada una de sus partes y que, frente a solicitaciones sísmicas, proveen resistencia por rigidez e inercia solidariamente. Esta concepción de la pieza arquitectónica refiere una directa relación con su constitución constructiva y material que, en este caso, obedece al monolitismo provisto por el hormigón armado. Las decisiones proyectuales reflejadas en el entramado de las fundaciones de Hacienda, permiten colegir uno de los artículos centrales contenidos en la Ordenanza General del período, que señala que

Los cimientos de pilares o apoyos aislados para edificios de más de un piso o de altura superior a los ocho metros [como el caso de Hacienda], deberán quedar en lo posible munidos entre sí y a los cimientos de los muros principales por cimientos transversales continuos o por vigas de hormigón armado o placas de concreto armado. (OGCU, 1930:78).

Teniendo en cuenta la relevancia que la planta baja adquiere en escenarios sísmicos, se examina a continuación el plano del primer nivel del edificio del Ministerio, con el fin de identificar elementos medulares para el análisis aquí propuesto. Para ello se ha reelaborado la planta del primer nivel (planta baja) del edificio (**fig. 5.37**), en el que se diferencian ambas categorías de elementos. La planta permite también servir de complemento al análisis arquitectónico en relación a los componentes de la unidad y los modos ordenación y articulación entre ellos.

Como se mencionó anteriormente, la unidad se ordena en torno a un gran núcleo rígido conformado por muros que alojan las circulaciones verticales y algunos ductos de servicios. Más específicamente, el núcleo central se puede desagregar en cinco sub-núcleos colineales entre sí, dispuestos en sentido norte-sur, y ligados por muros, marcos rígidos y losas. En ese mismo orden, se identifica en primer término un núcleo que congrega diversos servicios, seguido de otro módulo con un par de elevadores. El módulo central (impar), en tanto, actúa como umbral que vincula el hall de acceso del edificio con el hall central. El módulo siguiente corresponde a otro par de elevadores, mientras que una caja de escaleras completa la batería central. En estricto rigor, el núcleo central no es simétrico, aun cuando se observa una propensión hacia la distribución equilibrada de elementos estructurales (**fig. 5.19**). En parte, este criterio arquitectónico-estructural hace referencia a la disposición de núcleos estructurales próximos al centro de gravedad del edificio, y la distribución uniforme de cargas. Más tardíamente (durante la década de 1960 en el caso chileno), estos recursos demostraron rangos de mayor eficiencia sismorresistente y la disminución de efectos de torsión y volcamiento, aunque bajo ciertas condiciones mínimas de estabilidad. De hecho, un escenario ideal desde el punto de vista estructural, propende hacia la simetría (en planta) sobre ambos ejes cartesianos y distribución homogénea de cargas (Guevara, 2009).

Pero la planta de Hacienda dista mucho de ser simétrica, entre otras razones, por la geometría irregular del predio. Estructuralmente se presentan también ciertos elementos excéntricos, como la caja de escalera secundaria, ubicada sobre la esquina surponiente del edificio (vértice superior izquierdo de la imagen), y dos pares de muros que remarcan el hall de acceso principal sobre la fachada oriente (figs. 5.41, 5.42). Por otro lado, si se considera la configuración del volumen, es fácil distinguir que la unidad cuenta con dos centros de gravedad. En efecto, entre los pisos primero y tercero, las plantas abarcan la totalidad de la superficie predial. Mientras que a partir del cuarto piso, el volumen sufre una *sustracción* que da por resultado un cuerpo en forma de “U” orientado hacia el poniente (figs. 5.17, 5.25). Por tanto, esta operación implicó la coexistencia de dos centros de gravedad desplazados entre sí y condicionados al desarrollo vertical del edificio. Esta situación explica además, la reducción de la sección de las fundaciones sobre el área correspondiente al vacío de los pisos superiores en “U” (figs. 5.17, 5.25).

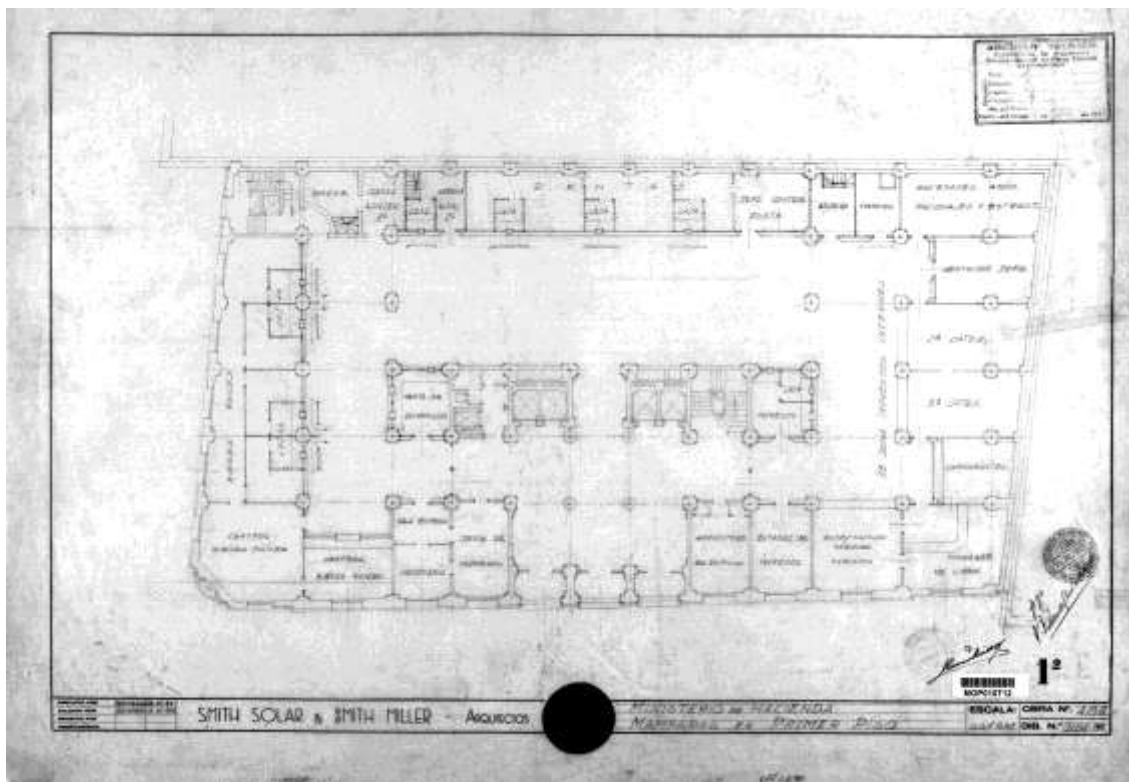


Fig. 5.40 Planta Primer Piso Proyecto Ministerio de Hacienda, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

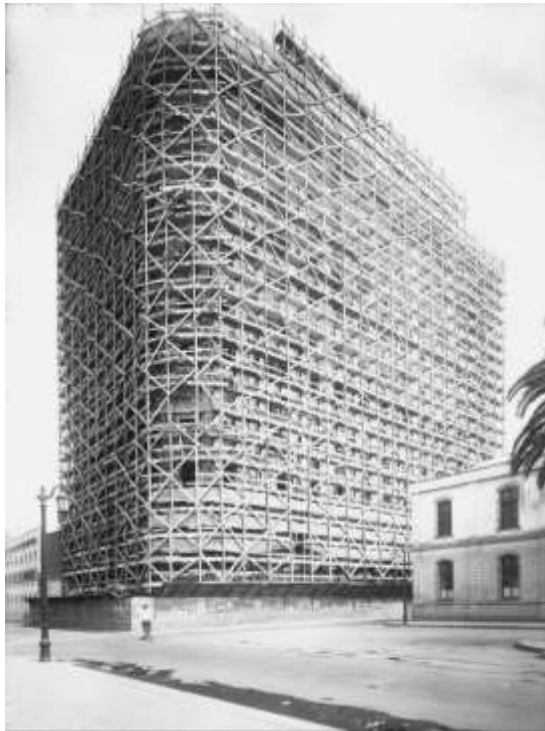


Fig. 5.41. Edificio Ministerio de Hacienda en construcción hacia 1929. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.



Fig. 5.42. Edificio Ministerio de Hacienda en construcción hacia 1929. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

Sistema estructural: la triangulación como recurso de rigidización. De la envolvente aparente a las nervaduras ocultas: En edificios de gran altura erigidos durante el período, se utilizaron sistemas de andamiajes de madera colocados paralelamente al plano de fachadas. Y, no obstante su condición provisoria, la desnuda estructuración de piederechos y vigas obligó la rigidización reticulada de riostras en forma de cruz (**fig. 5.41**), dejando así en evidencia la noción de resistencia a tensiones laterales mediante el recurso de triangulación. Imagen sugerente, que contrasta con el proceso desarrollado hacia fines del siglo XIX en Chicago, donde sus “...arquitectos (...) transportaron a sus fachadas la estructura neutral que consideraban como realidad del andamiaje que se levantaba tras ellas...” (Rowe, 1999:99). En Hacienda en cambio, los andamios no fueron sino estructuras efímeras necesarias para confeccionar el tejido de enfierraduras, colocación de moldajes y vaciamiento de la mezcla de hormigón.¹¹

¹¹ De todos modos, conviene precisar que no se trata aquí de establecer una correspondencia unívoca entre el sistema de triangulación y el problema sísmico. Entre otras razones, porque la necesidad de asegurar la rigidez –en diversos grados- estructural, es transversal a distintos tipos de construcciones y edificios en particular.

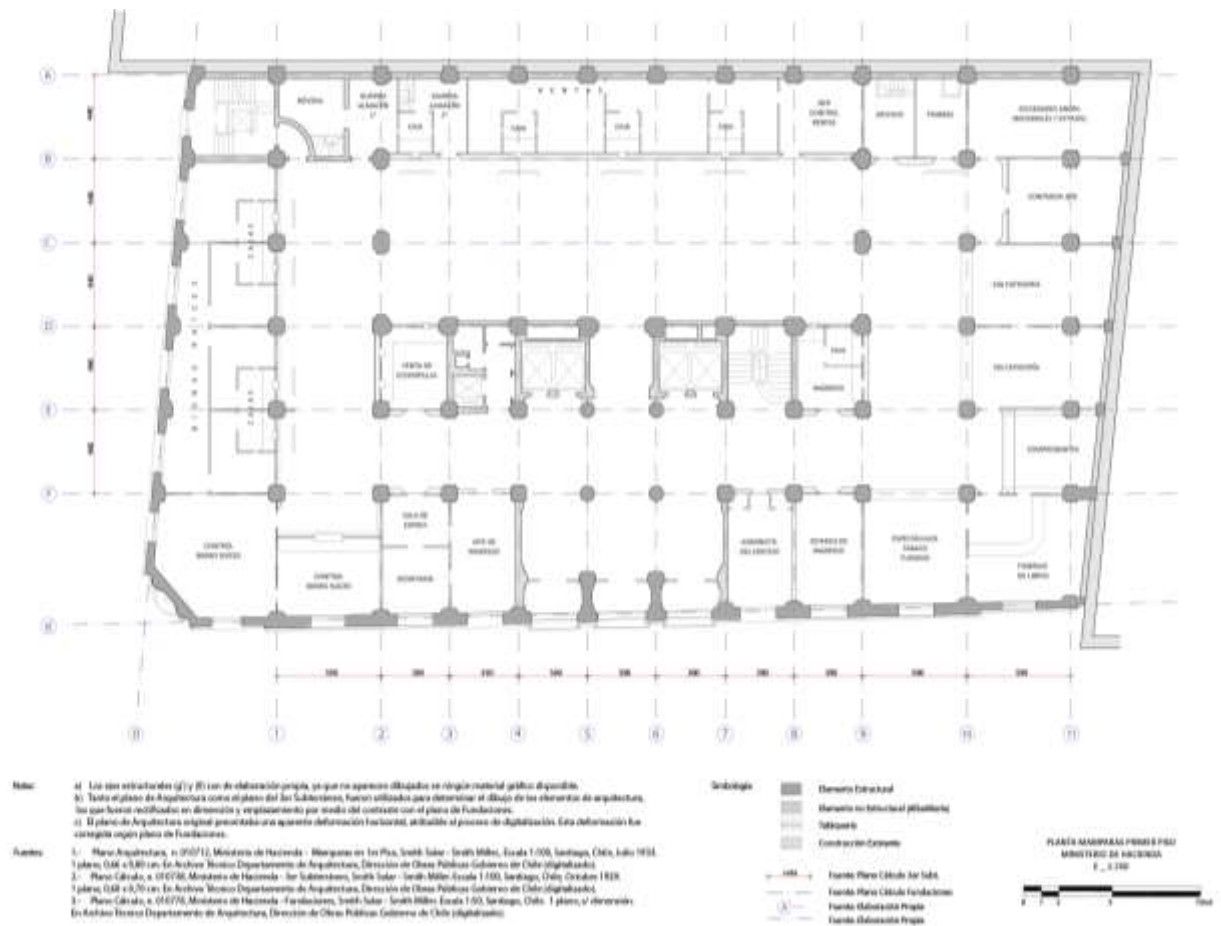


Fig. 5-43 Planta Primer Nivel Ministerio de Hacienda, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos. Redibujado a partir del plano original contenido en el Ministerio de Obras Públicas. Archivo Digital Ministerio Obras Públicas.

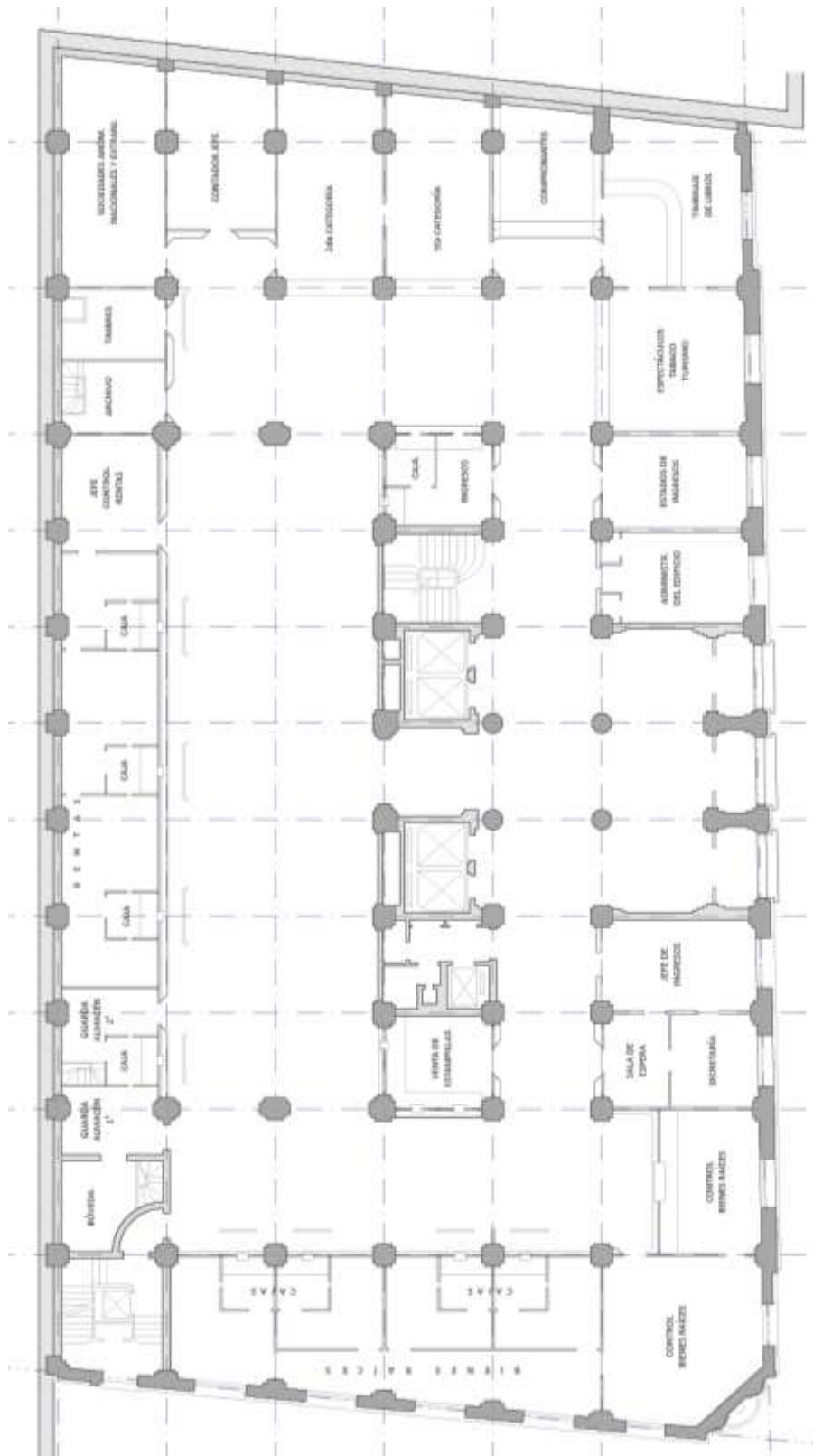


Fig. 5-44 Planta Primer Nivel Ministerio de Hacienda, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos (detalle). Redibujado a partir del plano original contenido en el Ministerio de Obras Públicas. Archivo digital Ministerio de Obras Públicas.

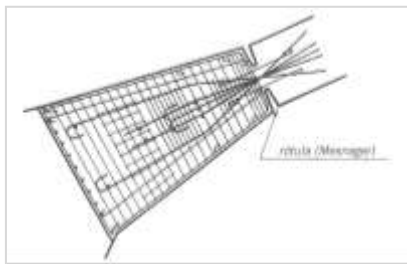


Fig. 5.45 Rótula de Mesanger en estructuras de puentes de hormigón armado. En: Eduardo Torroja, Razón y Ser de los Tipos Estructurales, Madrid, 2010, p. 71.

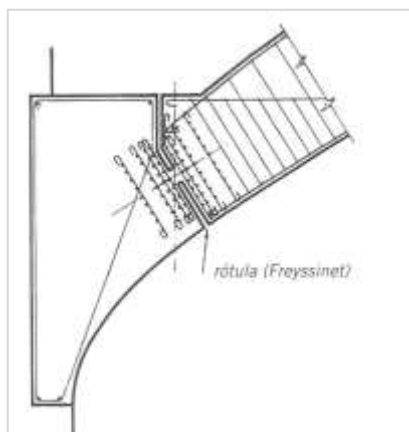


Fig. 5.46 Rótula de Freyssinet en estructuras de puentes de hormigón armado. En: Eduardo Torroja, Razón y Ser de los Tipos Estructurales, Madrid, 2010, p. 71.

La difusión del método de triangulación estuvo potenciada por el empleo masivo de estructuras metálicas en obras monumentales y obras civiles, especialmente en Europa, a partir del siglo XVIII (Torroja, 2010). El acero (laminado, forjado o soldado), fue objeto de variados tipos de soluciones donde el triángulo prevaleció como medio eficiente en obras de gran desarrollo y escala. Así, “la triangulación puede mirarse como un elemento estructural más; tanto más interesante cuando se le aplica, por igual, a la formación de casi todos los otros, sean soportes, vigas, arcos o pórticos; e, incluso, se atreve a sustituir, con su red, las superficies continuas de las estructuras laminares.” (Torroja, 2010:139). Y aunque las solicitaciones estructurales en obras civiles –puentes- y edificios son de naturaleza distinta, la triangulación como recurso de rigidez es común a ambas. En escenarios sísmicos, adquiere además importancia mayor en la medida que, de acuerdo al diseño, oponga la debida resistencia “que evite la flexión parcial o total de sus elementos longitudinales y del conjunto de la pieza.” (Torroja, 2010:139).

Una de las particularidades materiales del hormigón armado radica en el contraste entre su apariencia y su composición interna, pues “es el único material cuyo comportamiento estructural no puede enjuiciarse por los solos valores somáticos aparentes, puesto que el alma resistente, que es la armadura, se oculta en su interior...” (Torroja, 2010:67). Así, mientras las propiedades intrínsecas y las formas en estructuras de acero, madera, piedra o albañilería, son tangibles, en el hormigón armado quedan imbuidas en el alma de la forma aparente.

Condición que lleva, a su vez, a la constitución monolítica del material, mediante un proceso de construcción in situ que permite la prosecución consecutiva de avance basada en la continuidad interna del armado metálico. Así, la amalgama entre “el hormigón y el acero se mantienen unidos como un sólido único, gracias a[l] (...) conjunto de características no elásticas, a (...) condiciones de adaptabilidad, de capacidad de distensiones locales y hasta de microfisuraciones y recristalizaciones en la pasta...” (Torroja, 2010:68).

La articulación como problema constructivo inherente en piezas estructurales de madera o acero estriba en las formas de enlace (unión o trabazón). Mientras que en obras de infraestructura -y en particular en puentes- de hormigón armado, corresponde esencialmente a “rótulas, rodillos de dilatación, etc., [pues] requieren frecuentemente, elementos metálicos.” (Torroja, 2010:70-1), (**figs., 5.45, 5.46**). Sin desconocer la distinta naturaleza de problemas presentes en edificios y en puentes, lo que interesa destacar y relacionar en este caso son las componentes

físicas y geométricas inherentes en sistemas estructurales. Así por ejemplo, las cargas estáticas en arcos actúan por compresión, mientras que en pórticos a la flexión. La alusión a las rótulas aportada por Torroja refiere a los apoyos extremos que salvan una luz determinada en puentes y los puntos de unión críticos aun en materiales monolíticos como el hormigón armado.

Es claro que los problemas físicos, estructurales, materiales de puentes –de hormigón armado en este caso - distan de la complejidad, condición espacial y programática de un edificio. Sin embargo, como se verá durante el desarrollo de esta investigación, los vínculos entre ese tipo de obras de infraestructura y las arquitectónicas, han sido en determinados momentos y aspectos, estrechos y fecundos.

En general, las lógicas internas de los elementos estructurales guardan relación directa con el tipo de material del que están constituidos. Si el pórtico es a la madera o al acero (estructuras adinteladas); el arco es la piedra o albañilería de ladrillo. Sin embargo, la arquitectura –en su dimensión teórica y aplicada- explora formas, materia y construcción del espacio, y en ocasiones, la obra edificada no siempre encarna ni representa las lógicas físicas de los sistemas constructivos ni de las propiedades de los materiales. Aproximaciones que ilustran lo anterior se puede observar en templos griegos del período clásico, estructurados perimetralmente por medio de sistemas arquitrabados pero fabricados en sillería de piedra (**figs. 5-50, 5-51**). Si la piedra trabaja a la compresión, y el sistema constructivo y geométrico idóneo es el arco, en dichos templos se presenta, paradójicamente, bloques de piedra trabajados como pórticos (columnas y vigas o dinteles), es decir, bajo lógicas estáticas idóneas para estructuras de madera.

Parte de lo anterior se entiende en la medida que “... en la arquitectura contemporánea, la estructura ha pasado a detentar el papel que tuvo en la antigüedad clásica y el renacimiento tuvo la columna. Como éstas, la estructura establece por todo el edificio una razón común con la cual se relacionan todas las partes y (...), genera un sistema al que quedan subordinadas todas sus partes.” (Rowe, 1999:91).

En este sentido, probablemente una de las contribuciones más significativas del hormigón armado fue la síntesis material capaz de operar simultánea y eficientemente en condiciones físicas con cargas a la compresión, tracción y torsión. Aporte que redundó a la postre, en una mayor amplitud de alternativas de solución geométrica y espacial,



Fig. 5-47 Puente Quino, vista general puente ferroviario en construcción, río Traiguén, s/a, 1915c. Fuente: Catálogo Fotografía Patrimonial, Museo Histórico Nacional.



Fig. 5-48 Vista general puente ferroviario río Traiguén, s/a, 1915c. Fuente: Catálogo Fotografía Patrimonial, Museo Histórico Nacional.



Fig. 5-49 Vista de un puente en La Unión, X región de Chile, Einar Altschwager, 1930. Fuente: Catálogo fotografía Patrimonial, Museo Histórico Nacional.

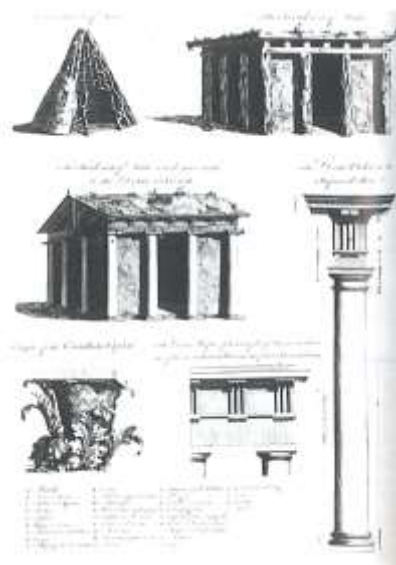


Fig. 5-50 Ilustración de la obra de William Chamber, *Treatise*, 1759, mostrando la hipotética evolución del orden dórico a partir de la primera choza. En: John Summerson, *El Lenguaje clásico en la Arquitectura*, De L. B. Alberti a Le Corbusier, Ed. G. Gili, Barcelona, 1984, p. 122.



Fig. 5-51 Pórtico octástilo. Ejemplo arquitectura clásica de orden dórico, elevación frontal templo griego, sistema arquitrabado. En: John Summerson, *El Lenguaje clásico en la Arquitectura*, De L. B. Alberti a Le Corbusier, Ed. G. Gili, Barcelona, 1984, p. 161.

expresadas en el mayor grado de libertad del diseño arquitectónico, lo que redundó en que “las estructuras de hormigón armado [sean] más prolizas de proyectar.” (Torroja, 2010:69). En cierto modo, la fabricación de edificios (y construcciones en general) en hormigón armado, permitió la superación—no siempre absoluta como se observó anteriormente en ciertos ejemplos— de las limitaciones de la forma impuestas por las propiedades físicas y las lógicas estructurales de los materiales. Como se verá a continuación, el Ministerio de Hacienda recurrió en ciertos nodos estructurales a este mismo principio de estructuración geométrica fundado en el triángulo.

De modo menos evidente, o en apariencia invisibilizados, se presentan también en las nervaduras del alma de algunas componentes estructurantes. Por ejemplo, en la disposición regular de *espárragos* diagonales anclados a la malla que conforman los arcos de los vanos de acceso sobre la fachada principal. Estos fierros actúan a modo de tensores de refuerzo que, amarrados al alma estructural del muro de la fachada, prevén tracciones probables derivadas de tensiones sísmicas. Nótese además la densidad de la malla metálica así como la masividad del muro bajo el terreno natural (**figs. 5-52-5-55**). Otros detalles de interés se observan en el mismo plano, donde se distinguen con claridad la continuidad de la enfierradura, las uniones, dimensionamientos y distanciamientos especificados en la malla de refuerzo metálico.

Sistema constructivo-material: la fábrica monolítica del Ministerio de Hacienda. Articulación de fundaciones, marcos rígidos, muros y losas: Una de las facetas interesantes que aportan los planos de cálculo estructural, radica en la posibilidad que ofrecen para examinar la constitución interna de las piezas soportantes. Una suerte de radiografía y que para esta investigación constituyen una fuente esencial para el estudio de las obras seleccionadas, que en el caso del hormigón armado, reflejan la disposición y distribución de las enfierraduras, cuantías consideradas, espesores, etcétera. Interesa entonces estudiar en detalle parte de los cimientos, muros, marcos y losas del Ministerio de Hacienda a la luz de las fuentes halladas.

Del conjunto de antecedentes recopilados relacionados al Ministerio, se cuenta un juego de planos de cálculo estructural¹², y entre ellos, destaca

¹² La lámina, titulada Ministerio de Hacienda, Santiago, Detalle de la Armadura Fachada Oriente, cuenta con timbre (ilegible), un número de proyecto (484), y número de dibujo (13124¹⁷). Y carece de autoría, firma y data. Sin embargo, es un plano de carácter oficial del Archivo del Ministerio de Obras Públicas.

un corte (parcial) del muro de la fachada oriente. En él se observa, además de las nervaduras de la enfierradura, el armazón que rodea los rasgos de las fenestraciones y los vanos de las tres puertas de acceso y la articulación de la curvatura de los arcos de medio punto que coronan los vanos de acceso principal. Mientras que los vértices superiores e inferiores de las fenestraciones acusan amarres diagonales que en conjunto, configuran un cuadrado rotado en 45° circunscrito al polígono del vano (figs. 5-52-5-55). Esta solución pudo considerar refuerzos diagonales, imbuidos en el plano de fachada, previendo esfuerzos a la tracción (por sismos) y puntos críticos de rotura (agrietamiento) del hormigón.

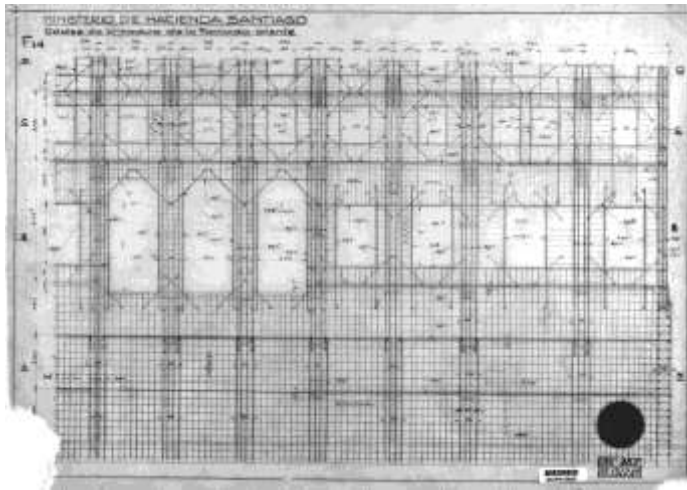


Fig. 5-52 Izq. Elevación fachada principal oriente Plano de cálculo estructural y detalle respectivo. Archivo Digital Ministerio de Obras públicas.

Fig. 5-52 Der. Fotografía fachada principal oriente y detalle respectivo. Archivo Digital Ministerio de Obras públicas.

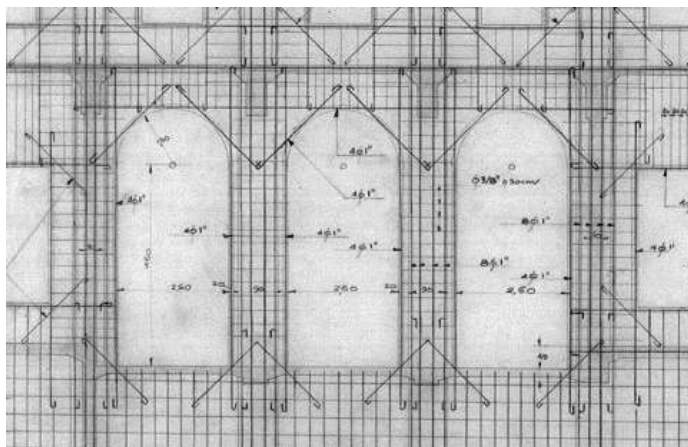


Fig. 5-54 Izq. Detalle elevación fachada principal oriente Plano de cálculo estructural y detalle respectivo. Archivo Digital Ministerio de Obras públicas.

Fig. 5-54 Der. Detalle fotografía fachada principal oriente y detalle respectivo. Archivo Digital Ministerio de Obras públicas.

Por otro lado, el plano que contiene el repertorio de pilares “tipo” considerados en Hacienda, acusan la progresiva disminución de secciones inversamente proporcional a la altura de piso. Mientras el pilar tipo de la planta baja tiene una sección exterior de 0,90m por lado, el del nivel décimo tercero es de apenas 0,30m por lado. Extrapolando, las secciones máximas u mínimas están en razón de 3:1 respectivamente. Las variaciones entre los pilares tipo consideraron tres factores: la disminución de 5 cms (por lado) a razón de dos pisos; la combinación de pilares en forma de cruz griega achatada (desde el piso primero al séptimo) y pilares de sección cuadrada (entre el piso octavo y décimo tercero); y la forma de disposición de los estribos y la reducción de las escuadrías del armazón del armado del hormigón (**fig. 5.56**). Este mismo criterio se encuentra explícitamente señalado en la Ordenanza General de 1930, donde se expresa que “[l]os elementos soportantes de la construcción deben disminuir de espesor a medida que aumente su distancia a la fundación.” (OGCU, 1930:75). Donde se desprende que, en este caso específico, esta disposición –como otras relativas a los cálculos estabilidad- fueron recogidas en el proyecto arquitectónico y estructural con anterioridad a las disposiciones legales citadas.

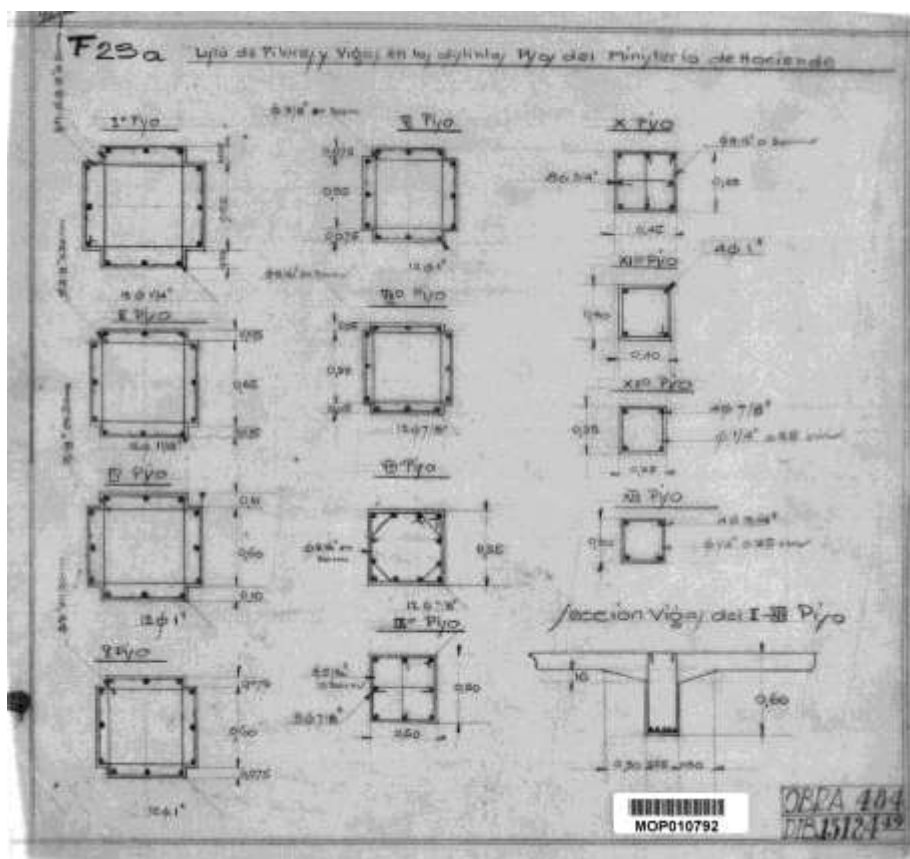


Fig. 5.56. Plano de cálculo estructural. Detalle secciones pilares, s/f. Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

De este modo, las indicaciones relativas a la masa y peso de los elementos estructurales y su continuidad vertical, aludía a un concepto general asociado directamente a la forma y en ciertos aspectos, parte del método de cálculo (estático en este caso). Sin embargo, el modo de resolución interior (no visible) de los elementos en hormigón, fue tarea directa del diseño y cálculo estructural, aún en su incipiente desarrollo. En lo sustancial, el problema se sintetiza en tres puntos centrales: las cuantías y escuadrías estimadas para las enfierraduras; la posición y distribución del tejido metálico (espárragos, estribos, tensores u otro tipo de nervaduras requeridas); y en especial, las uniones y traslapes de las barras del esqueleto metálico en todas sus formas. Así, el criterio de estabilidad de la edificación se fundó en el principio de transmisión directa y continua de cargas axiales de la unidad, donde el crecimiento en altura quedó sujeto a la reducción de masa y peso -inversamente proporcional a la altura- de los elementos estructurantes.



Fig. 5.57 Fotografía terremoto de Japón, 1923. © Siber Hegner. En: www.japan-guide.com/a/earthquake



Fig. 5.58 Fotografía terremoto de Japón, 1923. © Siber Hegner. En: www.japan-guide.com/a/earthquake

Fig. 5.59 Fotografía Edificio Ministerio de Hacienda concluido, fachada principal oriente. Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Arquitectura, Archivo fotográfico.



Fig. 5.60. Plano de Emplazamiento Hotel Imperial, Frank Lloyd Wright, arquitecto. Frank Lloyd Wright Arquitecto. En: Kathryn Smith, Frank Lloyd Wright and the Imperial Hotel: A Postscript. Fuente: Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.

Louis Sullivan, Frank Lloyd Wright y la Escuela de Chicago:

A simple vista, establecer una relación entre Sullivan, Wright y la arquitectura desarrollada a comienzos del siglo XX en Chile puede parecer antojadizo. Más aún, si se intenta establecer relaciones con la trayectoria inicial profesional de Josué Smith Solar. Sin embargo, esta parte del trabajo tiene por objeto identificar elementos –comunes o divergentes– entre parte de los avances en las técnicas de construcción del período, el rol de arquitectos notables en el medio norteamericano; y ciertas obras de interés para el análisis arquitectónico y estructural que enfatiza este trabajo. Al establecer posibles conexiones entre éstas aristas, se espera complejizar el análisis arquitectónico y estructural del Ministerio de Hacienda, en función de las exploraciones morfológico-espaciales, estructurales y materiales del período.

Este trabajo no tiene por objeto ahondar en torno a las relaciones y diferencias entre la arquitectura moderna desarrollada en Estados Unidos y Europa, como tampoco comparar sus procesos internos y dialécticos en función con la *realidad* local chilena coetánea a ese momento. Sin embargo, prestar atención a las tensiones disciplinares de la arquitectura y de la ingeniería que marcaron el período, y observarlas en función al desarrollo económico-industrial y los debates teóricos, puede proporcionar parámetros que permitan examinar con mayor amplitud una de las aristas gravitantes particulares del caso chileno, como el fenómeno sísmico. ¿Hasta qué punto las limitaciones impuestas por este fenómeno natural incidieron en las decisiones proyectuales y en la forma arquitectónica y estructural es lo que interesa relevar en las posibilidades de relación que ha intentado exponer el presente capítulo, en contrapunto a otras situaciones geográficas y del desarrollo de la arquitectura y la técnica?

Como expresión de un sentido testimonial, el gobierno Imperial de Japón instruyó a la Agencia de Asuntos Sociales (Bureau of Social Affairs) la publicación de un compilado con los principales antecedentes documentales (escritos y gráficos) relacionados con el terremoto de 1923 (7,9° Richter). El texto fue publicado tres años más tarde, y tuvo como fin “informar alrededor del mundo lo que nuestra gente ha sufrido desde la terrible irrupción de fuerzas latentes que pueden abrumar a una nación en cualquier momento...” (Home Office Japan, 1926:ii)¹³.

¹³ “(...) in order to inform the world at large of what our people suffered from a terrible outburst of the potential forces which may at any time overwhelm a nation...” Extracto del Prefacio que antecede la publicación titulada *The Great Earthquake of 1923 in Japan*, Compiled by The Bureau of Social Affairs, Home Office, Japan, 926, p. ii. Traducción del autor.

La edición es una fuente del mayor interés, pues da cuenta de la envergadura de la destrucción en las principales ciudades, pero también del proceso de reconstrucción. Entre otros documentos, contiene edictos imperiales, medidas de emergencia y seguridad social, leyes y ordenanzas, planos y fotografías. A pesar de la frecuencia de ocurrencia de terremotos de consideración en el área del archipiélago de Japón, el sismo de Kanto (**figs. 5.57, 5.58, 5.61, 5.62**) ha sido sin duda, uno de los más traumáticos y destructores de su historia y uno de los más significativos en la historia sísmica contemporánea mundial.¹⁴



Fig. 5.61 Las ruinas de Ginza. Vista de la calle reducida a cenizas por los incendios. Fuente: *The Great Earthquake of 1923 in Japan*. Compiled By The Bureau of Social Affairs, Home Office, Japan, 1926.



Fig. 5.62 La nueva Ginza levantada desde las ruinas. Vista parcial de la misma calle graficada en la imagen anterior del edificio Matsuzakaya. Fuente: *The Great Earthquake of 1923 in Japan*. Compiled By The Bureau of Social Affairs, Home Office, Japan, 1926.

Una parte de las construcciones que resistieron el terremoto -dentro de un acotado margen de daños- correspondió a edificios construidos en hormigón armado, y en algunos casos, en altura (**fig. 5.61, 5.62**). En otros, en cambio, fueron construcciones de gran extensión en planta, como el Hotel Imperial de Wright.

Kanto y Tokio fueron las ciudades más afectadas,¹⁵ pero no fueron como completamente arrasadas. Emplazado en Tokio, el Hotel Imperial (**figs. 5.60, 5.63**) proyectado por Frank Lloyd Wright -construido entre 1916 y 1922 y demolido en 1967 (Smith, 1985), suele ser indicado como símbolo de las escasas construcciones que quedaron en pie en la capital, producto del hormigón armado empleado en la obra.

¹⁴ 142.800 muertos; 694.000 construcciones destruidas (por el terremoto y por el incendio que desencadenó); desplazamientos de placas de hasta 4,50m (en la península Boso); entre otros efectos. Fuente: United States Geological Survey, Earthquake Hazards Program. En: www.usgs.gov

¹⁵ Los efectos sísmicos abarcaron siete divisiones administrativas: Tokyo, Kanagawa, Chiba, Shizuoka, Yamamashi, Saitama e Ibaraki. Fuente: *The Great Earthquake of 1923 in Japan*, Compiled by The Bureau of Social Affairs, Home Office, Japan, 926, p. i.

Parte de las causas que explican la resistencia efectiva a la destrucción sísmica fue asociado al empleo masivo del hormigón armado. Material que, junto con otros factores aún en proceso de exploración para entonces, condujeron en el caso de Japón, a la promoción del hormigón armado como material eficiente a la resistencia por oposición y rigidez a las vibraciones sísmicas. Sin embargo, lo que la historiografía no ha diferenciado aún con el énfasis debido, es que el Hotel Imperial debió hacer frente sobre todo a los esfuerzos concentrados en los puntos críticos de su configuración en planta, antes que en su altura. De todos modos, “... the building’s structural merits have tended to overshadow some his other qualities, although it was Wright himself who was principally responsible for the Imperial’s prevailing reputation as an *earthquake-proof building*.” (Nute, 2000:153).

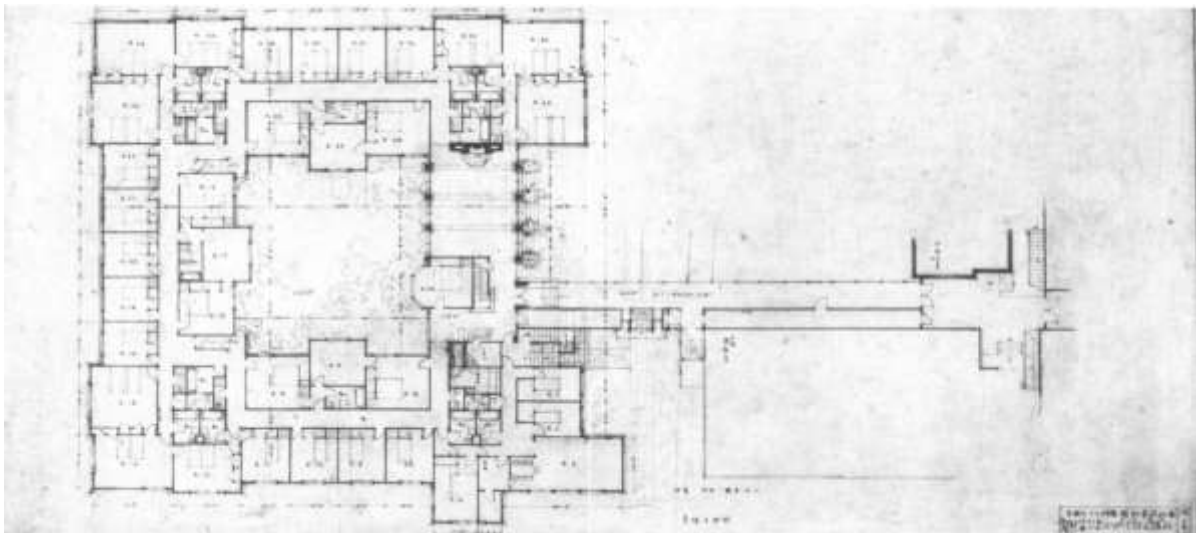


Fig. 5.63 Planta primer nivel Hotel Imperial. Planta del conjunto. Frank Lloyd Wright Arquitecto. En: Kathryn Smith, Frank Lloyd Wright and the Imperial Hotel: A Postscript. Fuente: Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.

Durante la Séptima Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica celebrada en Turquía en 1980, el ingeniero Robert King Reitherman presentó una ponencia que abordó el caso del Hotel Imperial. A pesar de su especificidad, el documento proporciona algunos antecedentes que pueden contribuir a la historiografía de la arquitectura moderna del período, y de Wright en particular. Junto con desmitificar un conjunto de especulaciones generadas en torno al Hotel y al terremoto, Reitherman resitúa su importancia como “a rare example of a designer’s through attempt to integrate architecture and engineering into a comprehensive aseismic design strategy.” (Reitherman, 1980:145). De este modo, a juicio del autor, la particularidad de la obra no estuvo constreñida solamente al uso del concreto, sino también a determinadas

características arquitectónicas y estructurales consideradas en el proyecto¹⁶.

Junto con el sistema de cimientos, muros y losas soportantes, Reitherman destaca la configuración del edificio, la interacción entre los elementos estructurales y no estructurales, y el tipo de suelo de fundación¹⁷ (y su incidencia directa en los daños identificados asociados al efecto de asentamiento). Pero uno de los atributos más interesantes fue el criterio estructural aplicado al proyecto arquitectónico.

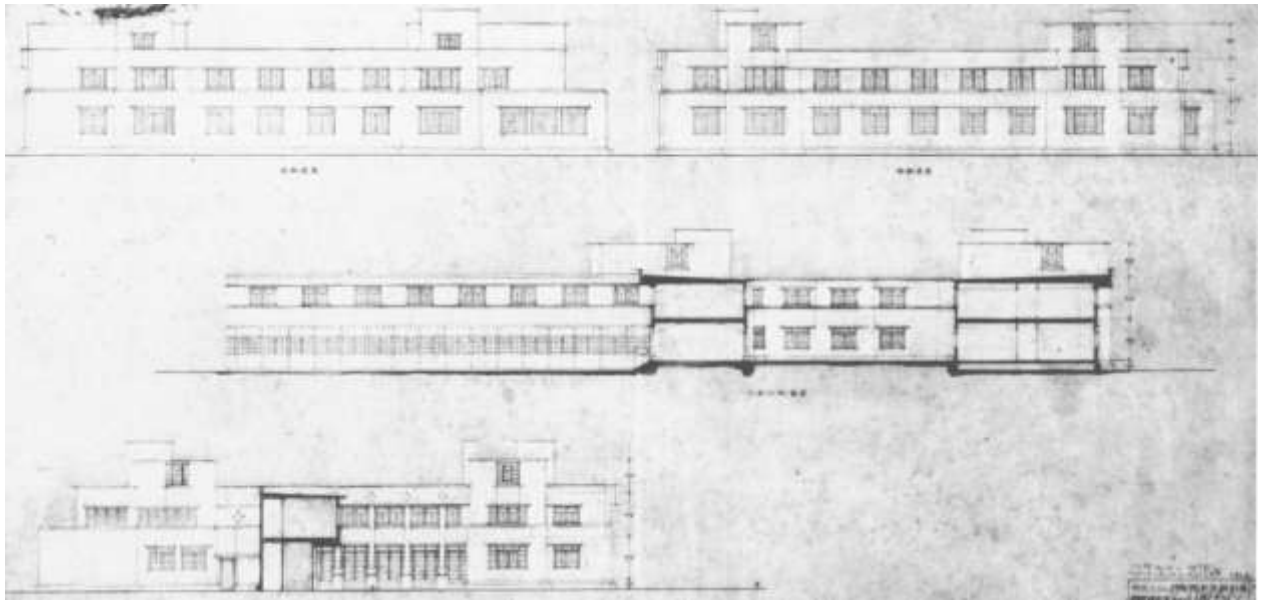


Fig. 5.64 Elevaciones generales Hotel Imperial. . Planta primer nivel Hotel Imperial. Planta del conjunto. Frank Lloyd Wright Arquitecto. En: Kathryn Smith, Frank Lloyd Wright and the Imperial Hotel: A Postscript. Fuente: Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.

Las oscilaciones y solicitaciones estructurales que afectan las construcciones durante un sismo, no excluyen tipos ni programas. No se trata por tanto, de un problema exclusivo para edificios en altura, sino también, a unidades compactas, extendidas y conjuntos complejos. Y más ampliamente, a toda construcción de cualquier índole, como la infraestructura.



Fig. 5.65. Fotografía terremoto de Japón, 1923. © Siber Hegner. En: www.japan-guide.com/a/earthquake

¹⁶ De hecho, agrega que el Hotel Imperial es un caso que se encuentra lejos de ser representativo de aquellos edificios enmarcados dentro de una cierta tradición sismorresistente: "The family tree of our contemporary seismic state-of-the-art can be traced back through Naito (and Suyehiro, Sano, Imamura, Omori, Milne, and others in Japan) and to Italy and elsewhere in the latter half of the nineteenth century, but Wright is not part of this lineage. The Imperial Hotel case stands outside this evolutionary history." (Reitherman R., 1980:145).

¹⁷ Reitherman aclara que gran parte de los daños sufridos por la construcción (aunque en un grado menor de acuerdo a la escala de medición aplicada por las compañías aseguradoras), se debieron al fenómeno de asentamiento del terreno natural sobre el cual estuvo fundado el Hotel.

Y aunque durante las primeras décadas del siglo XX, la comprensión del fenómeno sísmico y sus efectos en las construcciones estuvo en un estado de conocimiento primario, la aproximación desarrollada por Frank Lloyd Wright y el ingeniero japonés Julius Hoto¹⁸ (Reitherman, 1980:147) traspasó algunas de las limitaciones mediante la asimilación de las tensiones estructurales generadas por las ondas sísmicas, antes que por oposición a éstas. Criterio sin duda adelantado para un momento (y lugar) en pleno debate en torno a la resistencia por rigidez promovida por Tachu Naito, “... who was the prime spokesman for the ‘rigidity’ argument in the twenties and the thirties.” (Reitherman, 1980:150). De hecho, el criterio de resistencia por flexibilidad no fue desarrollado sino hasta bien avanzado el siglo, aunque de forma más compleja y afinadamente.

Arquitectónicamente, el edificio fue planteado estratégicamente no como una unidad compacta y rígida, sino como una sumatoria de partes constitutivas del conjunto. En términos estructurales, una lógica semejante a la inclusión de juntas de dilatación empleada en edificios de alta complejidad, gran extensión y configuraciones geométricas diversas como éste. Es muy probable que esta decisión haya incidido positivamente en el desempeño sísmico de la obra como en la minimización de daños estructurales y no estructurales directos y que Wright denominó “joint monolith.” Sistema que consistió fundamentalmente en “a concatenation of simple, symmetrical, small rectangles, mostly three stories (plus basement) tall, about 35’ x 60’ in plan.” (Reitherman, 1980:150).

La condición monolítica del edificio estuvo dada por el sistema constructivo y material, consistente principalmente en hormigón. Si bien parte de la historiografía señala este punto como una de las aristas abiertas en el debate, la mayoría coincide en precisar que los muros de soporte fueron alzados mediante un encofrado de ladrillos por ambas caras, y relleno al interior con cemento. Parte de la polémica se ha centrado en discutir si Wright y Hoto, consideraron efectivamente un sistema de hormigón con nervaduras de acero o simplemente sólido. Para Smith, se trata de una situación ambigua en la medida que “...

¹⁸ Kathryn Smith lo señala como Julius Floto, “a Chicago structural engineer [en conjunto con]; Samuel A. Lewis, a mechanical engineer; and R. M. Schindler, the Viennese architect, employed by Wright between 1918 and 1921.” En: Smith, K., Frank Lloyd Wright and the Imperial Hotel: A Proscript, 1985, p. 296. Y Henry Russell-Hitchcock sostiene que “Wright brought out to Tokio Paul Mueller, the engineer from old Adler and Sullivan office force of the early nineties, to assist him. The many ingenious things they worked out together deserve a detailed engineering analysis...” (Hitchcock, 1973:68). En: Hitchcock, Henry-Russell, In the nature of materials, 1887-1941, The Buildings of Frank Lloyd Wright, Da Capo Press, New York, 1973.

Wright acknowledged that changes made on site during construction were so extensive than the surviving drawings no longer accurately reflect the structure as it was built.” (Smith, 1985:296).

Para Reitherman en cambio, se presentan dos puntos de vista contradictorios entre Wright y Hoto. Mientras el arquitecto señaló (en una carta a John Freeman en 1931) que el concreto no consideró nervaduras de fierro; el ingeniero aludió a la necesidad de su refuerzo interior metálico del sistema mixto de los muros perimetrales (Reitherman, 1985). Divergencia que Hitchcock por su parte, adhiere a la de Wright al enfatizar que “...the outer walls are self-supporting shells of specially made brick filled with concrete (...) [which] leans in against the cantilevered floor slabs and interlocked with their edges.” (Hitchcock, 1973:68).

Si los muros de concreto confinado entre paredes de ladrillo sólido, tuvieron o no alma de acero, no es decisivo para su condición monolítica que, como se ha observado, fue un concepto que primó en el criterio de diseño estructural adoptado en conjunto con el principio de flexibilidad compartimentada de la planta.

Siempre en relación al plano horizontal del proyecto, un segundo adelanto técnico significativo fue el tipo de fundación empleado que, a pesar de su innovador diseño, no pudo contrarrestar el asentamiento del terreno. Reitherman atribuye los daños sufridos por el edificio durante el terremoto de 1923, a la escasa longitud de los pilotes proyectados en forma de racimo (**figs. 5.66, 5.67**). Bajo estándares contemporáneos, el principio estructural de losa superficial flotante anclada al terreno por pilas pudo haber sido el correcto para un tipo de terreno propenso a la licuación (y posterior compactación). Sin embargo, el error estuvo determinado más bien por su escasa profundidad, que en contraste con las experiencias posteriores en Tokio, “[t]aller buildings (...) which used deep pile foundations (...) suffered less damage, indicating that the usual foundation design method was a sound approach.” (Reitherman, 1980:148).

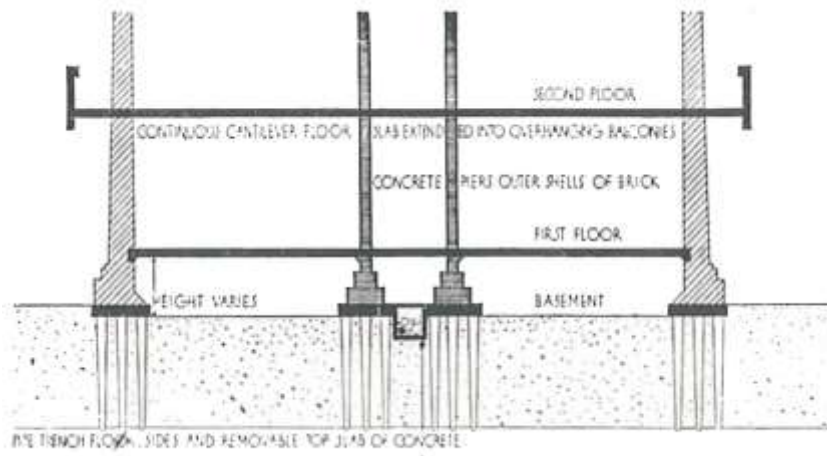


Fig. 5.66 Plano detalle Sistema de fundaciones Hotel Imperial. En: Hitchcock, Hitchcock, Henry-Russell, In the nature of materials, 1887-1941, The Buildings of Frank Lloyd Wright, Da Capo Press, New York, 1973.

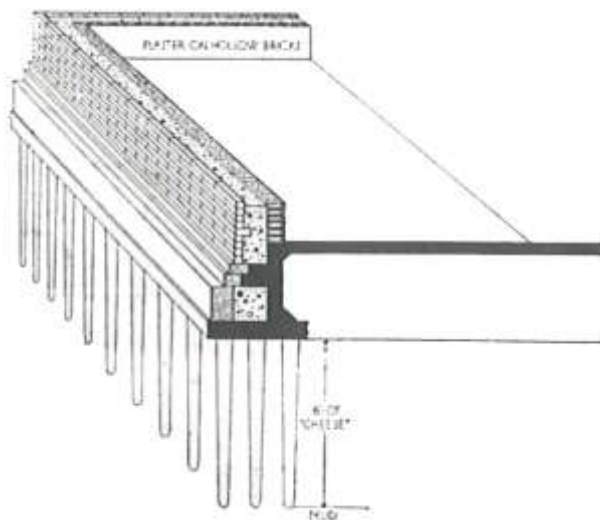


Fig. 5.67. Plano detalle Sistema de fundaciones Hotel Imperial. En: Hitchcock, Hitchcock, Henry-Russell, In the nature of materials, 1887-1941, The Buildings of Frank Lloyd Wright, Da Capo Press, New York, 1973.

Sería injusto, sin embargo, juzgar el grado de eficiencia sismorresistente del Hotel Imperial a la luz de las tecnologías y conocimientos actuales, en circunstancias que muchos de los adelantos incorporados en su diseño fueron, hasta cierto punto, innovadores, y por lo mismo, carentes de testeos y ajustes correctivos, como fue en último término el propio Gran Terremoto. Del mismo modo que sería injusto omitir que, muy anteriormente al proyecto del Hotel, Sullivan consideró una solución conceptualmente análoga en las fundaciones del edificio de Tiendas por Departamento Schlesinger & Mayer (actual Carson Pirie Scott) (**fig. 5.72**). Aunque trascurrieron ocho años entre la elaboración de los planos y la concusión de la obra (1885-6, 1889, 1902-3), el esqueleto metálico del edificio descansa sobre dados de fundación (en forma de tetraedro truncado) desde los cuales nacen pilas desarrolladas hacia niveles más profundos del terreno natural. La innovación en el caso de Wright, más que en el concepto estructural de la fundación, está en los recursos preventivos frente a los desplazamientos y perturbaciones sísmicas potenciales de Japón.

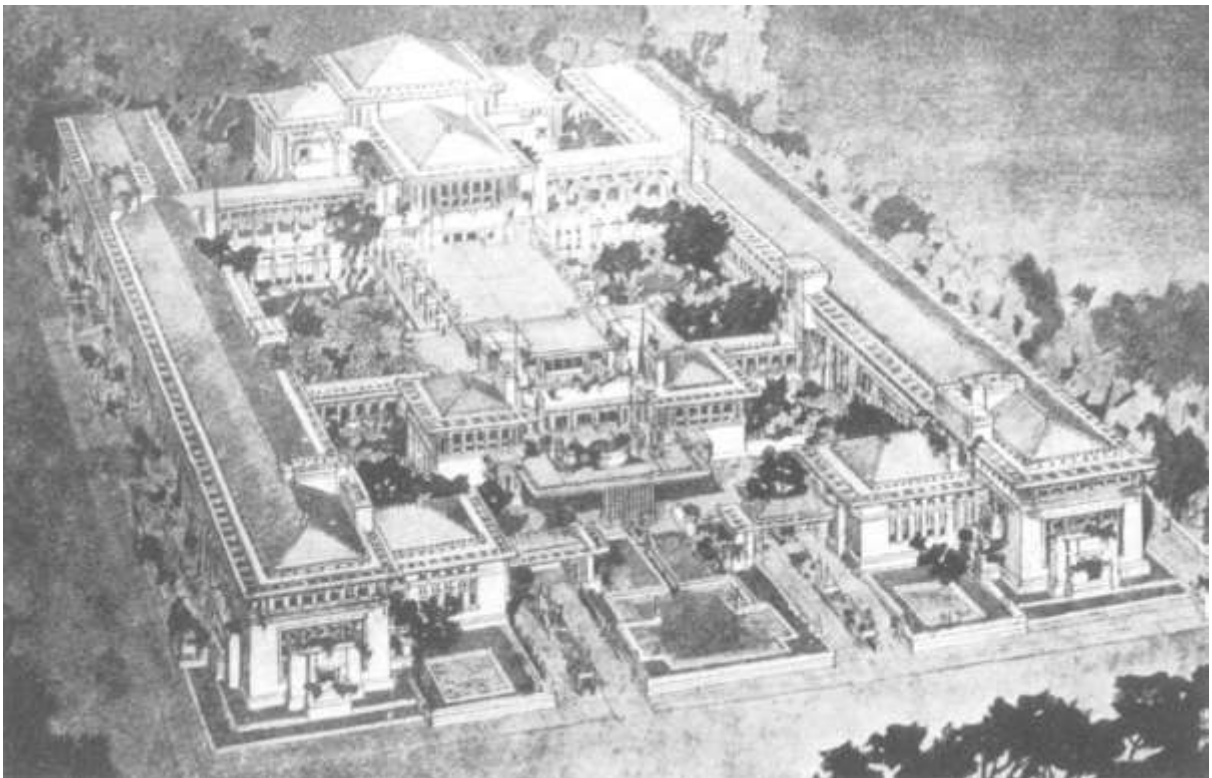


Fig. 5.68. Perspectiva aérea Hotel Imperial. F. Ll. Wright Arquitecto. En: Hitchcock, Hitchcock, Henry-Russell, *In the nature of materials*, 1887-1941, *The Buildings of Frank Lloyd Wright*, Da Capo Press, New York, 1973.

La experiencia cruzada entre la escuela norteamericana y la japonesa en arquitectura, ingeniería estructural y técnicas de construcción fue materializada y sintetizada en parte en el Hotel Imperial (**fig. 5.68**), pero bajo un mismo denominador, como son los sismos. La ironía en la larga trayectoria de proyecto y construcción del edificio hizo coincidir su inauguración oficial con el mismo día (1° de septiembre de 1923) con uno de los grandes terremotos que ha asolado al Japón¹⁹.

Si Wright exploró principalmente problemas arquitectónicos en construcciones de baja altura, aunque no por ello de escala, la forma y método de trabajo se concentró en las variantes espaciales en planta mediante la articulación de los planos (Rowe, 1999), antes que la retícula estructural y alzado característicos de los rascacielos de Chicago de fines del siglo XIX. De hecho, la obra “(...) de Wright (...) se distingue por estar regido mediante (...) un único bloque articulado estructuralmente [en el que], muestra una composición de volúmenes transparentes altamente desarrollada, y en lugar de una solución estructural del armazón <estática>, propone el motivo mucho más dinámico de las vigas voladizas ya empleado en el Hotel Imperial.” (Rowe, 1999:95). Cuando Rowe refiere términos de armazón estática y dinámica sin duda lo hace en un sentido metafórico antes que desde los métodos de cálculo (estático y dinámico) desarrollados para construcciones.

La interpretación que propone Rowe bien puede exceder los alcances plásticos y que, colocados en relación a la sismorresistencia, adquieren pertinencia y coherencia. En efecto, y al menos en el caso del Hotel Imperial, ya sea implícita o explícitamente, parte de los criterios de diseño en juego plantearon problemas de estabilidad estructural de orden estático y dinámico, si bien fueron desarrollados con propiedad hacia el fin de la primera mitad del siglo XX.

Si el Hotel Imperial fue una obra enmarcada en la búsqueda espacial interior –a través del juego articulado de planos (Rowe, 1999)- y estructuralmente monolítico, la obra de Sullivan –en Estados Unidos- puso un contrapunto en tanto estructuras de acero soportantes de construcciones en altura –antes que extensivas en superficie- orientadas principalmente al desarrollo de uso comercial. Así, “... a diferencia de Sullivan, que primeramente se enfrentaba a la arquitectura a fin de

¹⁹ “Ironically, opening day and the most important day in the history of the building were one and the same. Just a few minutes before luncheon, Tokyo was hit by The Great Kanto Earthquake, the most severe Japanese earthquake in the twentieth century.” (Smith, 19885:309).

llevar a cabo una estructura expresiva, Wright se mostró, desde el principio, extraordinariamente sensible a las exigencias de un espacio expresivo.” (Rowe, 1999:99).

Más allá de la utilidad: Louis Sullivan y la configuración morfológica del esqueleto estructural: En Chicago, uno de los principales problemas que debieron enfrentar ingenieros y arquitectos, estuvo determinado principalmente en torno a los medios para lograr el crecimiento en altura. Es decir, las limitaciones fueron de índole eminentemente técnicas, que como notó Sullivan, se vieron paulatinamente superadas: “Apareció el teléfono y los sistemas de alumbrado eléctrico. Las columnas y las vigas de hierro se encerraban ahora en materiales a prueba de incendios; los ascensores hidráulicos pasaron a ser la norma, dejándose de lado a los que funcionaban a vapor o gas. Los materiales sanitarios progresaron con el mismo ritmo de los demás.” (Sullivan, 1956:221). En la proyectación y edificación de los rascacielos primaron también conceptos adheridos a una cierta cultura utilitaria y pragmática, que Hitchcock asume como “our Yankee interest in efficiency and flair for invention, and our highly industrialized society, it is remarkable that our accomplishment has not been even greater.” (Hitchcock, 1944:179).

La Escuela de Chicago –durante su apogeo²⁰– sintetizó pragmáticamente la arquitectura, la técnica y el desarrollo inmobiliario, mientras que en Europa la búsqueda arquitectónica se centró en las aproximaciones teóricas. Proceso que, en términos estructurales, se tradujo en la idea que “(...) el armazón del edificio, concebido para tener un valor utilitario, [que] había sido racionalizado por el tono predominantemente utilitario de la comunidad empresarial de Chicago; (...) en Europa, en donde los simples problemas de utilidad no podían adquirir tal preeminencia, recibió la forma lógica gracias a la voluntad constante de una intelectualidad arquitectónica...” (Rowe, 1999:107).

La lucidez con que Sullivan supo comprender las interrelaciones y dinámica que caracterizaron el desarrollo y crecimiento de Chicago, lo llevó a comprender que la cuestión material fue decisiva. Y que el traspaso tecnológico avanzado por la industria del acero, proveedor de la materia prima esencial que necesitó la infraestructura de transporte

²⁰ Colin Rowe señala al respecto: “La supuesta debacle que anorreo a esos arquitectos de Chicago en los años ochenta es del dominio público. La World Columbian Exhibition segó en seco su desarrollo (...); hasta época relativamente reciente sus personalidades no volvieron a resurgir, santificadas y consagradas en el Panteón del progreso arquitectónico.” (Rowe, 1999:92).

(extensión territorial de las redes de vías férreas), hacia la técnica y los métodos de construcción de los edificios, fue también modular. Aproximación que en un sentido amplio, apela al hecho que “... Chicago pareció prever dos de los principales temas de la arquitectura del siglo XX: la estructura del armazón y la composición de planos de intersección.” (Rowe, 1999:93).

La industria del ferrocarril (los métodos de fabricación del acero y producción)²¹ permitió y proveyó una parte importante de los medios necesarios para erigir rascacielos (Sullivan, 1961). Así, la ingeniería de puentes metálicos trasvasijó parte de sus conocimientos -teóricos y aplicados- hacia la industria de la construcción edilicia, lo que se tradujo en la producción de medios estructurales eficientes y sistematizados, conformados por pilares, vigas, remaches y uniones. Señala Sullivan al respecto, que “(...) los talleres laminaban esas formas estructurales que desde hacía mucho se utilizaban en la construcción de puentes. De este modo, estaba preparado el campo de acción. Se trató de un asunto de visión en materia de ventas, basado en la imaginación y la técnica ingenieriles. Así, se tanteó entre los arquitectos de Chicago el efecto de la idea de un armazón de acero que soportara toda la carga.” (Sullivan, 1956:224).

Pero además de estas consideraciones, hubo también otros conceptos – al menos en Sullivan- que traspasaron el umbral de la eficiencia productiva y la sistematización del proceso de construcción, y que de modo implícito, estuvieron también presentes en el Hotel Imperial de Wright. Para Sullivan los edificios comerciales encarnaron una “...tendencia (...) [hacia el] aumento de la estabilidad, la durabilidad y la altura, con equipos siempre mejores.” (Sullivan, 1956:221). Del mismo modo que Wright puso sus esfuerzos en lograr un Hotel que asegurara una durabilidad y estabilidad, aunque bajo demandas sísmicas, Sullivan lo intentó plasmar en sus obras.

La expresión masiva que prevalece en la fisonomía de Hacienda fue un problema presente también en el caso de Chicago, así como la aspiración a la levedad estructural más ampliamente en la arquitectura moderna. Pero, a diferencia de los procesos desarrollados en Europa, en Chicago se puede observar con mayor contraste la crisis y límites admisibles que alcanzó la estructura material en albañilería en edificios en altura. Y una

²¹ “Desde hacía algún tiempo se utilizaba en las fábricas de Pennsylvania el procedimiento Bessemer para hacer acero ‘suave’, pero la producción se limitaba a rieles; las formas estructurales se seguían laminando con hierro.” (Sullivan, 1961:222).

vez superada, por los rascacielos con esqueletos de acero y hormigón armado.

El edificio Monadnock (1889-92) emplazado en Chicago (**fig. 5.73**), llevó al límite las posibilidades constructivas y materiales en función de la economía y coste de la obra. Fabricado y estructurado con gruesos muros de ladrillo sólido, el Monadnock se distingue por “... el hecho de que, en él, el problema de la arquitectura vuelve a quedar planteado como problema métrico-rítmico...” (Hilberseimmer, 1999:65). Pero al mismo tiempo, condujo a la extrapolación de la estructuración por masa y gravedad. Sullivan pensaba que en este tipo de “...edificios los cimientos tendrían que ir mucho más abajo. Esto resultaría peligroso y de valor dudoso con los muros pesados y la gravedad que mantenía los muros. Se puso en evidencia que los edificios muy altos de mampostería eran por naturaleza antieconómicos, en tanto que los valores de suelo [en Chicago] aumentaban constantemente.” (Sullivan, 1956:223).

En contraste con la condición geográfica local, no deja de impresionar las alturas que logró alcanzar con tales medios constructivos. Ejemplo notable diseñado por “Burnham y Root [quienes] habían preparado los planos para un edificio de mampostería sólida, con 16 pisos, que llevaría el nombre de ‘Monadnock’. Como esto representaba un gran salto desde los nueve pisos, se aplazó su construcción hasta que se viera si la Auditorium Tower se iba o no al infierno (...). Entonces se siguió con el ‘Monadnock’; un asombroso acantilado de ladrillo que se levantaba escuetamente desnudo...” (Sullivan, 1961:222).

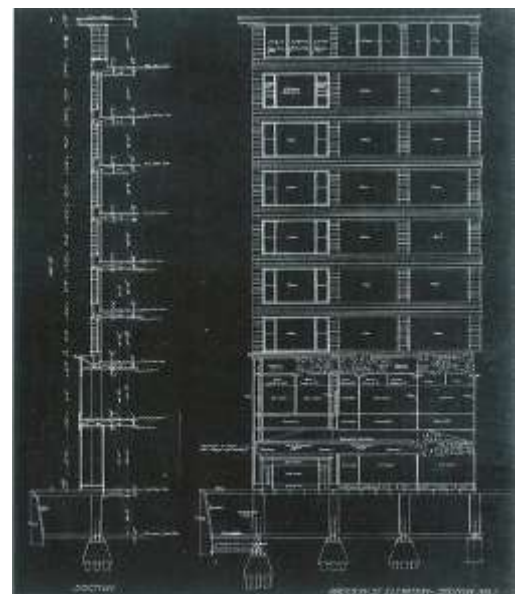


Fig. 5.69 Der. Madison Street Building, Chicago. Sullivan Arquitecto.

En: Hans, Frei Lois Henry Sullivan, Studio Paperback, Germani, 1992.

Fig. 5.70 Izq. Planta piso tipo. Der. Corte y detalle de fachada y fundaciones.

En: Frei, Hans, Louis Henry Sullivan, Studio Paperback, Germani, 1992.



Fig. 5.71. Guaranty (Prudential) Building, 1894-1896. © Henry Fuermann. En: Hans Frei, Louis Henry Sullivan, Studio Paperback, Germany, 1992.



Figs. 5.72. Schlesinger & Mayer (Carson Pirie Scott) Department Store (1885, 1886, 1899, 1902-3). En: Hans Frei, Louis Henry Sullivan, Studio Paperback, Germany, 1992.

Aunque edificios de ladrillo simple –algunos de ellos de escala monumental- han logrado permanecer (aún) en pie en Chile, no cabe duda que para alcanzar alturas comparables a la obra de Burnham y Root se habría requerido de muros con espesores que lo habrían hecho inviable y aun sin garantías de estabilidad sísmica. Además, la ligereza y finura de los detalles alcanzados por la perfilería metálica en los rascacielos de Chicago distaban mucho de las pesadas y toscas formas fabricadas en construcciones en altura en hormigón armado en un país altamente sísmico como Chile. Así, el Ministerio de Hacienda no pretendió una obra esbelta y estructuralmente aligerada, sino más bien un volumen masivo y compacto, pero con algunos grados de libertad confinados al interior.

La escasa literatura que ha mencionado esta obra, ha insistido en compararla con algunos de los edificios de Sullivan, y más tempranamente, si se quiere, con parte de la obra de Richardson. Ello puede no ser necesariamente incorrecto, pero sin duda, se requiere de un análisis con mayor detenimiento. Es sabido que gran parte de la obra –construida y no construida- de Sullivan fueron casas comerciales en altura.²² Del mismo modo, es sabido también que las propuestas de Sullivan exploraron las cualidades plásticas del esqueleto de acero más allá de su mera función soportante, y donde el programa y uso cumplieron un rol central. Edificios con estructuras que adquirieron un rol programático y protagónico, y que “con frecuencia, [pueden llegar a ser] impresionantes afirmaciones de la primacía de la estructura, (...) [aunque] cuesta creer que, para él, el significado de sus planos pudiese tener algún aspecto positivo.” (Rowe, 1999:97).

Los grandes almacenes comerciales –desarrollados tanto en Chicago como en Alemania, Francia o Inglaterra- impusieron requerimientos espaciales, como “la mayor iluminación posible en los espacios de venta y de trabajo, la posibilidad de poder cambiar constantemente su forma y su dimensión, la posibilidad de una circulación sin trabas y un máximo aprovechamiento de las superficies.” (Hilberseimmer, 1999:55).

La consabida consigna de Sullivan de que la *forma sigue a la función*²³, se enmarca precisamente en este punto. En efecto, para el arquitecto la

²² “His innovations with two buildings type, the urban skyscraper and the rural bank (...). During forty-three years of designing buildings (from 1879 to 1922, and with his partner Dankmar Adler to 1895), Sullivan secured almost 240 commissions. Of these over 190 were realized: eighty percent of the total.” En: Twombly, Robert (editor), *Louis Sullivan. The public papers*, The University Chicago Press, Chicago and London, 1987, p. xi.

²³ Sullivan, “[p]odía ahora iniciar tranquilamente el proceso de experimentación práctica (...) cuya meta era hacer una arquitectura que se adaptara a la función: una arquitectura realista basada en necesidades

cuestión esencial del proyecto arquitectónico refería las posibilidades de materializar las necesidades y exigencias de un uso y función determinados. Así, los materiales y las técnicas de construcción eran medios al servicio de una expresión idealmente plástica de la obra.

Sin embargo, desde el punto que propuso Sullivan, Hacienda encarna una paradoja en la relación forma-función, o al menos, un grado de contradicción presentes en ciertos rasgos formales y espaciales. No se trata aquí de establecer una verdad y una correcta forma de proyectar y construir, sino que definir más nítidamente cuáles son los posibles vínculos entre Chicago, Sullivan y Wright, y esta obra en particular de los Smith.

A grandes rasgos, Hacienda es una obra que sintetiza tres grandes vetas en torno a los temas que aquí interesan. Una primera, vinculada a la unidad edilicia, su morfología y configuración geométrica. Una segunda, relacionada al programa de arquitectura y la solución espacial contemplada para los requerimientos. Y una tercera, asociada a los métodos proyectuales y de construcción que comparecen en la obra.

El primero de los puntos refiere en este caso a las similitudes o asociaciones formales con casos formalmente próximos situados en un contexto temporal y de expresión arquitectónica afín. Los rasgos más evidentes resaltan en el orden de composición subyacente en sus partes y en el tratamiento de las fachadas, sobre todo en aquellas más visibles.

El segundo punto en cambio, supone una contradicción cuando se pretende comparar el Ministerio de Hacienda con la obra de Sullivan (por ejemplo, el Guaranty Prudential Building, **fig. 5.71**)²⁴, estriba principalmente en intentar asignarle una forma determinada y los recursos espaciales desplegados en cada uno de los niveles a una función diametralmente distinta al uso comercial o financiero. La estructura de organización, las actividades de trabajo y, en último término, la relación del edificio con su entorno urbano inmediato son diametralmente distintos entre una cartera de gobierno nacional respecto a los requerimientos de los edificios o almacenes comerciales.

Por último, el tercer punto refiere a los métodos de proyecto y construcción, cuya comparación directa con los métodos aplicados en



Fig. 5.73. Edificio Monadnock, Burnham y Root Arquitectos, Chicago.

utilitarias bien definidas (...) en que no se impusiera ningún enunciado, tradición, superstición o hábito de la arquitectura (...) pues (...) [para] que el arte de la arquitectura (...) [sea] de valor inmediato y actual debe ser plástico..." Sullivan, 1961:182).

²⁴ Ver Mario Pérez de Arce, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos, Santiago, 2010, p. 18.

los edificios de Sullivan parecen también forzados, en la medida que los procedimientos entre una faena seca –como el acero- y una faena húmeda y de vaciado en moldes –como el hormigón armado- son tan distintos, como las posibilidades plásticas que cada uno de ellos ofrecen. Este aspecto es importante, porque parte de la eficiencia que supo dar respuesta a las exigencias del mercado inmobiliario en Chicago, estribó en procesos sistematizados de construcción y de cierta rapidez, que en el caso de las obras en hormigón, representan claramente una desventaja comparativa.

Por tanto, si bien las posibles relaciones entre ciertas obras de Sullivan, como la obra en particular de Wright (Hotel Imperial) y el Ministerio de Hacienda, son más bien de índole formal y plástico y ciertamente distintos unos de otros. En otras palabras, refieren más bien denominadores comunes en cuanto exploraciones espaciales, formal y técnica, aunque desarrolladas desde distintos campos de aproximación arquitectónica y estructural en cada caso.

Por ello, “... la revolución estructural de Chicago fue resultado de una combinación (...) de una receptividad despiadada y de una capacidad de ventas llena de imaginación (...) [y para la cual], [según] Sullivan, los arquitectos de Chicago *no exigían* una estructura; sino que esta les fue *dada*; y este hecho sencillísimo serviría para explicar tanto el modo rápido y desapasionado de racionalizar la estructura del edificio como la facilidad con la que tantos arquitectos abandonaron sus métodos para aceptar uno nuevo.” (Rowe, 1999:103).

Por otro lado, Wright hizo de las relaciones espaciales, por medio de la interacción de los planos verticales desfasados y rearticulados, el asunto medular en gran parte de su obra. En Hacienda en cambio, se presenta una dinámica algo más compleja (por la variable sísmica) que sintetiza –esquemáticamente- el cruce de trazas presentes en Chicago, Sullivan y Wright (Hotel Imperial), descontando evidentemente los factores locales. Sin embargo, referir tales cruces no supone a priori una relación lineal y unívoca. Más bien, debe ser comprendida en el marco de un tipo de formación arquitectónica y ejercicio profesional, que en el caso de Smith Solar (primero) y Smith Miller (después), desembocaron en una forma de proyectación y métodos singulares para un momento y condiciones específicas en la historia de la arquitectura en Chile. Y de hecho, la formación universitaria y profesional de la primera etapa de

Josué Smith Solar en la costa este de Estados Unidos durante las últimas décadas del siglo XIX²⁵ debieron resultar determinantes en la aproximación y forma arquitectónica de muchos de sus proyectos, además de las supuestas “modernas técnicas de diseño y construcción en altura en hormigón armado” (Pérez de Arce, 1993:86) incorporadas en el Ministerio de Hacienda.

Lo que Rowe significó en “[l]a estructura (...) [en tanto] catalizador de una arquitectura; (...) [que] la propia estructura también se ha *convertido* en arquitectura, [y] que la arquitectura contemporánea es casi inconcebible sin ella.” (Rowe, 1999:91), en Chile tomó un período mucho más largo que en Chicago, en gran medida, por su condición sísmica y una paulatina cimentación durante décadas, de una arquitectura eficiente a la resistencia de la destrucción.

Unidad arquitectónica compacta y la resistencia por rigidez:

Una de las características morfológicas que distinguen al edificio del Ministerio de Hacienda, es su altura. Rasgo que para el período supuso un impacto sobre el perfil de Santiago, al sobrepasar las alturas entonces predominantes (Masuero, 2003). Sin embargo, al menos otros dos casos lo antecedieron: el edificio del Banco Central y el edificio del Diario La Nación (1928-30), (Gurovich, 2003). Pero, más allá del problema de altura en sí mismo, lo que interesa relevar en este trabajo radica en los conceptos teóricos considerados en el proyecto, y los recursos tecnológicos y medios técnicos empleados durante su ejecución, a la luz de los criterios y nociones de resistencia sísmica del período. En este sentido, lo que distingue al Ministerio de Hacienda de otros edificios erigidos hacia 1930, se sintetiza en tres puntos: sus cualidades arquitectónico-espaciales; los criterios de estructuración considerados; y sus sistemas constructivo y material.

Arquitectónicamente destacan su aproximación espacial hacia la configuración de planta libre explorada en distintos niveles de la unidad, la inclusión de tres niveles de subsuelo y la conformación de un volumen en apariencia regular y homogéneo (**fig. 5.74**). Estructuralmente en tanto, probablemente uno de los aspectos más interesantes se observó en la disminución progresiva de las secciones de

²⁵ Mario Pérez de Arce señala –aunque sin referencias directas que permitan la fuente– lo siguiente: “En 1885 viaja a los Estados Unidos a estudiar arquitectura en la Politechnic College de Philadelphia, y se radica en la vecina localidad de Wilmington, Delaware.” En 1891, luego de un período de viaje por Europa “...se establece nuevamente en Wilmington, Delaware (...) y abre una oficina de arquitectura (...) [y] al mismo tiempo continúa sus estudios y obtiene el título de <Master in Architecture> en Filadelfia...” (Pérez de Arce, 1993:15-6).

los elementos soportantes (en particular pilares y vigas) desde los pisos inferiores hacia los superiores, con el fin de disminuir masa material y carga estática. Responde en este sentido, al principio de resistencia de rigidez por masa, conceptualmente análogo a la distribución de cargas en forma piramidal, en cuya base se reparten las cargas en forma divergente. Así, el criterio de estructuración con que fue concebida la obra deja en evidencia la relación directa con ciertos principios teóricos de cálculo desarrollados hacia la década de 1930. Entre otros, la asimilación del fenómeno sísmico y sus efectos en la edificación como fuerza horizontal aplicada perpendicularmente a uno o más planos de fachada de la unidad. Desde este punto de vista, se puede afirmar que Hacienda es una obra que resolvió tempranamente los desafíos estructurales de la edificación en altura en un medio altamente sísmico, fundado en métodos de resistencia por rigidez, e implícitamente vinculado al paradigma estructural determinista.



Fig. 5.74. Edificio Ministerio de Hacienda, Santiago. Reconstrucción modelo 3D.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

Físicamente, la resistencia por rigidez cobró forma -constructiva y materialmente- a través del empleo masivo de hormigón armado en todos y cada uno de los elementos soportantes de la unidad, proporcionando así un momento de inercia asociado a la constitución monolítica de la unidad, desde sus fundaciones hasta el nivel superior (**fig. 5-75**). Aunque no hay evidencia que permita afirmar con certeza que los criterios de diseño aplicados en Hacienda recurren a fuentes heredadas de la experiencia de Kanto (1923), lo cierto es que incorporó efectivamente parte importante de los planteamientos científicos formulados en torno a dicha catástrofe. El más evidente, precisamente la condición monolítica de la obra, íntegramente concebida en hormigón armado.

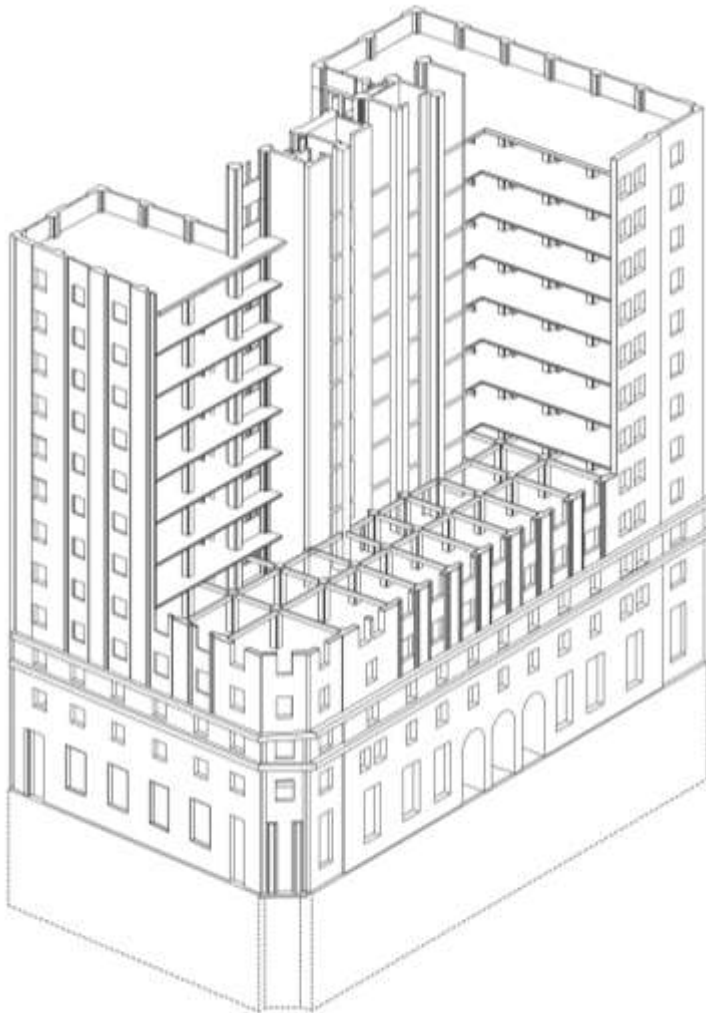


Fig. 5-75. Edificio Ministerio de Hacienda, Santiago. Reconstrucción modelo 3D., axonométrica cortada.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

Otro aspecto de interés, si bien no relacionado directamente con la dimensión sísmica del problema, refiere las posibilidades plásticas del hormigón armado. Sin perder sus propiedades mecánicas y estructurales, el hormigón armado ofreció –además de la resistencia sísmica– un abanico mayor de alternativas formales y lenguajes arquitectónicos en comparación a los materiales mayormente empleados (adobe, el ladrillo y madera). Ejemplo de ello son los tres vanos de acceso centrados en la fachada principal, cada uno coronados con arcos de medio punto, lógica constructiva-material propia de la albañilería de ladrillo o piedra en sillería, no del hormigón armado.

Otro punto a relevar del análisis del Ministerio de Hacienda se refiere a una cierta contradicción presente en la obra, respecto a la autenticidad entre la constitución morfológica de la unidad, el lenguaje arquitectónico y su concepción estructural y constructiva interna. Exteriormente el volumen acusa un orden relativamente regular, expresado en la composición de los planos de fachada mediante vanos iterados modularmente, el uso de elementos ornamentales y arquitectónicos, como pilastras y alféizares. Mientras que la lógica de estructuración que impera internamente, responde a un orden sustentado en el principio de disminución progresiva (masa y peso) desde los niveles inferiores hacia los pisos superiores. Orden que no altera, sin embargo, el principio espacial de los niveles, en orden a proporcionar plantas flexibles y carentes de muros estructurales –salvo en aquellos concentrados en el núcleo de circulaciones verticales y en los planos de cerramiento del volumen (**fig. 5.76**).

En lo que respecta a la relación del edificio con las disposiciones de regulación contenidas en la Ordenanza del período, Hacienda incorporó preceptos fundamentales contenidos en dicho instrumento. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el período del desarrollo del proyecto y ejecución de esta obra, fue contemporáneo con el período de promulgación de la Ley General de Construcciones y Urbanización, e incluso anterior a la entrada en vigencia de la Ordenanza.

Entre los criterios adoptados en el diseño arquitectónico y estructural del proyecto, destacan, por ejemplo, la conformación de un volumen regular, la consideración de vanos de superficie acotada y la constitución monolítica del esqueleto soportante. Respecto a las relaciones físicas de la estructura, se cuenta la transmisión directa de cargas desde los pisos superiores hacia las fundaciones, la distribución de masa y peso de la estructura inversamente proporcional a la altura del edificio, y la

consideración de tres niveles de subsuelo los que, junto con la provisión de fundaciones de grandes dimensiones, contribuyeron a proveer resistencia por rigidez. Todos estos aspectos, también contenidos en la Ordenanza General, redundaron en último término en la asimilación del fenómeno sísmico en tanto fuerza horizontal aplicada a los planos de fachada y de orden estático.

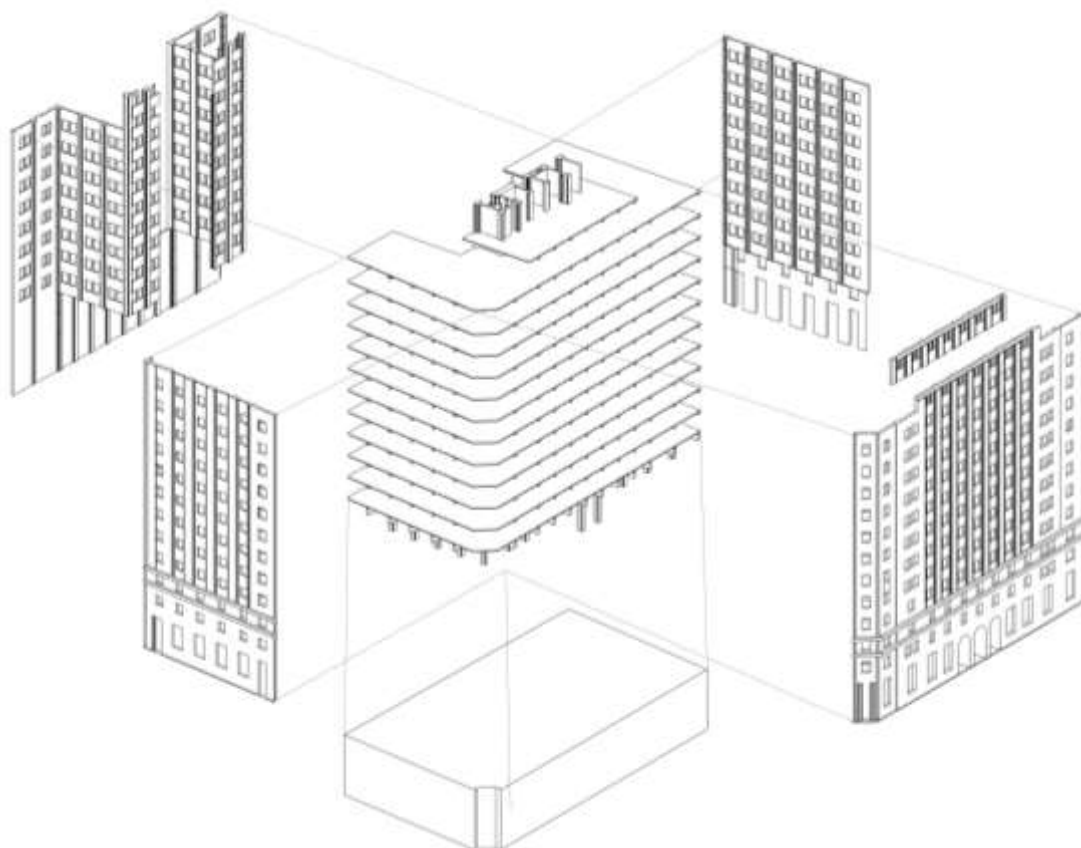


Fig. 5.76. Edificio Ministerio de Hacienda, Santiago. Reconstrucción modelo 3D. Axonométrica explotada.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

Capítulo 6. Masa y levedad en la Estación de Biología Marina de Montemar.

Expresión plástica y tectónica en el borde costero:

Introducción: El epicentro del terremoto de 1985 se ubicó próximo al puerto de Valparaíso¹ y tuvo una magnitud de 7,8². Las principales ciudades de la zona central del país se vieron afectadas de forma importante: Santiago, Valparaíso y Viña del Mar. Esta última, registró daños estructurales en varios edificios emplazados en la primera línea del borde costero, principalmente en edificios en altura, en los que quedaron de manifiesto los problemas asociados a la configuración, el tipo y calidad del suelo de fundación, y los criterios de diseño estructural empleados. Sin embargo, la presente investigación propone el estudio de un edificio particular construido durante el segundo tercio del siglo XX, que se corresponde con la segunda fase de la Ordenanza General, elaborada posterior al terremoto de 1939. La solución formal, estructural, técnica y constructiva de esta obra arquitectónica ha resistido los sismos ocurridos desde su construcción, pero presenta también interesantes aportes relacionados con trabajos de refuerzo estructural de que ha sido objeto. La Estación de Biología Marina, posee además, una serie de atributos arquitectónicos, estructurales y materiales.

Asimismo, representa un caso de interés pues su construcción (en dos etapas), se inscribe entre el terremoto de 1939, la revisión y modificación de la Ordenanza General (1946-9) y su posterior entrada en vigencia. El hecho que se haya ejecutado en dos momentos, permite determinar los cambios estructurales y arquitectónicos introducidos por Gebhard y, al mismo tiempo, ponerlos en perspectiva de los ajustes normativos contenidos en la segunda Ordenanza General.

¹ -33.240 de latitud sur; -71.850 de longitud oeste. Fuente: www.sismologia.cl

² www.sismologia.cl



Fig. 6.1. Vista del conjunto. Situación actual. Imagen obtenida de www.googleearth.com, obtenida en 2015.

El estudio de la obra se concentra en las dos etapas de construcción (1941-5 y 1956-9). Una tercera fase no ejecutada corresponde al jardín marítimo, acuario y museo marino considerados en el programa original. El proyecto tuvo tres versiones, que para esta investigación en particular, serán abordados como antecedentes del proceso proyectual, debido que este análisis se centra en las soluciones constructivas, materiales y estructurales y su vínculo con el desempeño sismorresistente de la obra construida.

Se consideran tres escalas de aproximación: escala de emplazamiento; escala del conjunto arquitectónico; y escala por unidades edilicias. El emplazamiento considera el análisis de los factores y de las estrategias que incidieron en el posicionamiento del conjunto en el sitio y las soluciones proyectuales implícitas. En esta escala comparece también la condición topográfica y geológica del suelo y su relación con las fundaciones y el plano del primer piso (planta baja) en cuanto componente estructural fundamental en la relación entre los terremotos y la arquitectura. La escala del conjunto, en tanto, contempla el análisis del partido general y la disposición de las piezas en cuanto al orden geométrico, la constitución morfológica y volumétrica, y su configuración. La última escala, en tanto, se refiere al estudio de las unidades edilicias en función del orden programático y arquitectónico y la articulación sintética de los sistemas estructurales, constructivos y materiales.

Sistema arquitectónico en el Conjunto Montemar: liberación de la planta, topografía, y geometría en el conjunto de Montemar: La Caleta de Montemar se ubica en el borde costero, entre la ciudad de Viña del Mar y el balneario de Con-Con. Su irregular topografía combina suelo rocoso y material arenoso superficial (**fig. 6.1**). Probablemente estas deben haber

sido las principales dificultades que debió afrontar Gebhard, al tomar posición del partido general del proyecto. Desde un punto de vista sísmico, la complejidad es doble. Por un lado, se trata de un sitio que queda expuesto a eventuales tsunamis; y por otro, asegurar una fundación estable y segura. A ello se agrega que las disposiciones normativas a comienzos de 1940, eran aún muy vagas y genéricas, en parte, porque más que los efectos de los maremotos, los estudios se habían concentrado en los sismos. De hecho, la única referencia a este fenómeno consignado en la Ordenanza de 1936 y la de 1949, sólo señala que “(...) los tabiques y muros delgados deberán ser contruidos para resistir empuje de agua de mar, desde el exterior al interior y viceversa.” (OGCU, 1936:37)³.

Para el segundo tercio del siglo XX, las nociones sobre la importancia del tipo de suelo en la estabilidad y desempeño sismorresistente de un edificio, eran aún primarias. Sin embargo, ya se distinguían los tipo de suelo, sus calidades y eventualmente las diferencias de comportamiento frente a las ondas vibratorias⁴. La presencia de material rocoso fue así una garantía de estabilidad y, al mismo tiempo, una ventaja constructiva y material en el empleo de fundaciones y estructura de hormigón armado. La orientación del conjunto en forma de “U” que mira hacia la bahía, responde a la necesidad de acceso desde el mar de los botes y su función programática en torno a la investigación marina.

Esta conformación se resuelve fundamentalmente a través de cuatro cuerpos independientes y vinculados entre sí por un sistema de circulaciones como pasillos, pasarelas y rampas: “un recurso muy difundido de la arquitectura moderna (encuentro entre bloques perpendiculares)” (Pérez, 1991:30), que sin embargo, en este caso, apela a ciertas excepciones, como la disposición del auditorio de forma paralela y levemente desfasado respecto del cuerpo de oficinas administrativas y laboratorios. El partido general, es también expresión formal, funcional y estructural que responde a las condiciones topográficas y del paisaje que cualifican su emplazamiento y los requerimientos programáticos asociados con la actividad de investigación marina (**figs. 6.2, 6.3**). En este sentido, la configuración morfológica, la expresión plástica y estructural del conjunto, constituyen el “desplazamiento del fin de la arquitectura desde un problema formal a un problema de paisaje [lo que coloca a la] Estación de Biología Marina en un plano de excepción.” (Atria, 2008:127).

³ En: Artículo N°1788, Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, 1936, 1949 (ambas versiones).

⁴ Si bien se distinguían tipos y calidades de suelos, los estudios científicos y su representación en el cálculo estructural de los edificios aún no habían sido incorporados. Y para este caso en particular, esto es especialmente importante porque una de las composiciones de terrenos más permisivas para las construcciones, son las arenas y arcillas, que combinadas con la acción del agua, puede generar su licuación. (Ver si este edificio está fundado sobre la roca granítica que rodea su emplazamiento y expandir el punto, aclarando la salvedad).

Tanto la orientación y la disposición variada en cada una de las unidades, encarnan una doble decisión proyectual. Por un lado, el asentamiento de volúmenes “macizos” sobre un plano elevado respecto del nivel natural del terreno, contenido por muros bajos a modo de contención y delimitación perimetral, y por otro, el alzado de volúmenes apoyados sobre machones, asociados a la idea de planta libre elevada sobre *pilotis*. En este caso, la liberación de la planta responde funcionalmente a los requerimientos programáticos ligados a la actividad marina, pero también a recursos estructurales y constructivos expresados en

“[a] choice of a reinforced concrete structure enabled the architect to accommodate the various uses within the complex topographic and other ground conditions of the site, offering sufficient flexibility in response to the diverse requirements of the functional elements...” (Pérez de Arce, 2010:54).



Fig. 6.2 Vista satelital del conjunto (detalle). Fuente: www.googleearth.com, obtenida en 2015.



Fig. 6.3 Plano de emplazamiento. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

La relación entre el conjunto y la topografía -en sus partes y en el total- implica una solución eminentemente espacial abordada a través del uso de planos laminares como medio de configuración formal y plástica. La disposición en “U” del conjunto, enfrentando la bahía de la caleta hacia el norte, contempla la absorción de las diferencias de nivel del suelo a través del uso alternado de volúmenes, la construcción de un plano (terraplén) y la inclusión de plantas libres, articulada con la distribución programática por unidades. Simultáneamente a la disposición de estas piezas, comparecen planos laminares asociados principalmente al lenguaje estructural expresado en los machones soportantes, vigas, losas, muros frontales y saledizos. En cierto modo, esta condición tectónica y plástica pone en juego el paso transicional de parte de la arquitectura del período, enfocada en la búsqueda y exploración de formas más ligeras en reemplazo de construcciones masivas y sobredimensionadas, donde la estructura pasó a ser un elemento de expresión del lenguaje arquitectónico y de la técnica.

La planta libre en este sentido, no sólo permitió la apertura espacial al interior de la obra y con ello el desarrollo de la flexibilidad programática (Pérez de Arce, 2010), sino que también el uso de elementos estructurales que aportaron una nueva expresión formal. La flexibilidad que supone la lógica proyectual de planta libre, se observa también en la estrategia adoptada por Gebhard para poder construir el conjunto en etapas, y al mismo tiempo, la concepción de unidades independientes (funcional y estructuralmente), mediante juntas de dilatación: principio del cálculo orientado a la simplificación, la anticipación de fracturas en las intersecciones de los volúmenes, y la previsión del comportamiento distinto en cada una de las unidades, estructuradas mediante sistemas heterogéneos, y por tanto, respuestas diversas frente a los efectos de torsión, rotación, distribución de masas y cargas. Y que en un sentido de la unidad total, se puede definir como un “(...) conjunto disgregado pero conectado de los cuerpos y (...), la singular concepción del patio virtual como espectáculo de actos, las funciones, las vistas y los recorridos, convierten a la Estación de Biología Marina en un espacio único donde ver por dónde debía caminar, según Gebhard, el desarrollo de la arquitectura moderna.” (Atria, 2008:133).

La forma en que cada uno de los cuerpos se emplaza en un terreno, que ya por sus características topográficas es complejo, implica necesariamente una percepción parcial del conjunto (**figs. 6.4, 6.5**). Todo el costado que mira hacia el mar, impide una visión total del conjunto. Esto supone un modo de aproximación particular a la obra y a la vez, su condición programática ligada a la actividad marina. En cierto modo, este rasgo de la obra se asemeja, en términos vernaculares, a la funcionalidad y modo de emplazamiento de los palafitos.



Fig. 6.4 Fotografía del conjunto. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.



Fig. 6.5 Fotografía del conjunto. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Breve síntesis de la historia del proyecto y obra: El estado actual que presenta la obra, corresponde a una parte del proyecto original, y es el resultado de la construcción en dos etapas (1941-5 y 1956-9). La tercera fase debía corresponder a la ejecución del acuario, un museo marino y un jardín marítimo (Pérez de Arce, 2010:54). El hecho de que el edificio haya sido pensado y construido por etapas, distanciadas once años desde el término de la primera y el inicio de la segunda, ha sido interpretado como una oportunidad de interés para observar los cambios proyectuales en la obra de Gebhard, en un proceso de maduración y de asimilación formal y estructural que se manifiestan particularmente en el cambio de los pilotis presentes en el anteproyecto. De este modo, la construcción de parte del proyecto en dos etapas, “(...) permite verificar las lógicas de la práctica proyectual arquitectónica en un proyecto de alta complejidad, fuertemente afectado por las condiciones de su programa y su localización (...)”, así como comprender los cambios en la estrategia proyectual y en la forma resultante desarrollados al comienzo y al término de las dos etapas. (Atria, 2008:87).



Fig. 6.6 Serie de planos de anteproyecto del conjunto. Plano de emplazamiento. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.



Fig. 6.7 Fotografía del conjunto en construcción primera etapa del proyecto. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

El anteproyecto del conjunto –del cual se conservan algunos fotomontajes– presenta a grosso modo, un plan maestro similar a las propuestas que le siguieron (**figs. 6.6, 6.11**). Mientras que el programa requerido y la cantidad de volúmenes propuestos no variaron, los cambios principales se observan fundamentalmente en la geometría de algunos de los volúmenes (como el cuerpo de la biblioteca, emplazado en el costado norponiente), la disposición del auditorio que enfrenta el camino costero, y sobre todo, el sistema de *pilotis* del volumen de administración y laboratorios, contiguo al anterior.

La propuesta definitiva, consideraba una distribución y disposición de volúmenes similar a lo que se ejecutó finalmente, a excepción de las unidades no construidas, pero con variaciones en la forma y en la orientación de algunos cuerpos. La primera parte del proyecto incluyó el edificio destinado a laboratorios y acuarios, además del volumen de circulaciones verticales que aloja los recintos de distribución y caja de escaleras. Es probable que ambos edificios hayan sido calculados por el ingeniero Álvaro Alvarado, según puede leerse la inscripción bajo relieve de la fachada norte del volumen central, donde junto con el éste, figura el nombre de Enrique Gebhard. Lamentablemente, los planos del proyecto estructural no se encuentran disponibles. Sólo un juego del proyecto de arquitectura con la firma del arquitecto, permite acceder a la planimetría original, no así de las especificaciones y soluciones estructurales que debió contener el estudio desarrollado por Alvarado.



Fig. 6.8 Maqueta del anteproyecto. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.



Fig. 6.9 Maqueta del anteproyecto. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

La segunda etapa de construcción de Montemar incluyó los volúmenes más expuestos desde el camino público y probablemente, los más destacados desde el punto de vista estructural. En primer plano se ubica el auditorio que, a pesar de su altura menor en comparación con el resto de las otras piezas, destaca formalmente por su condición de volumen totalmente opaco, de estructura muraria combinada con machones frontales gemelos en la fachada norte, y un mural en sobrerrelieve y en color que recorre las caras poniente, norte y oriente. Una cubierta de coronación sobre el área de la caja de escalera, trabajada como una “losa plegada en el techo (...) introduciendo una forma libre y hasta caprichosa en el volumen” (Pérez, 1991:31) sobresale el nivel de la cubierta rompiendo la regularidad del volumen.



Fig. 6.10 Vista del volumen central y la caja de escalera de altura superior, los pilotis y el cuerpo de circulaciones verticales. Fotografía gentileza Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso.

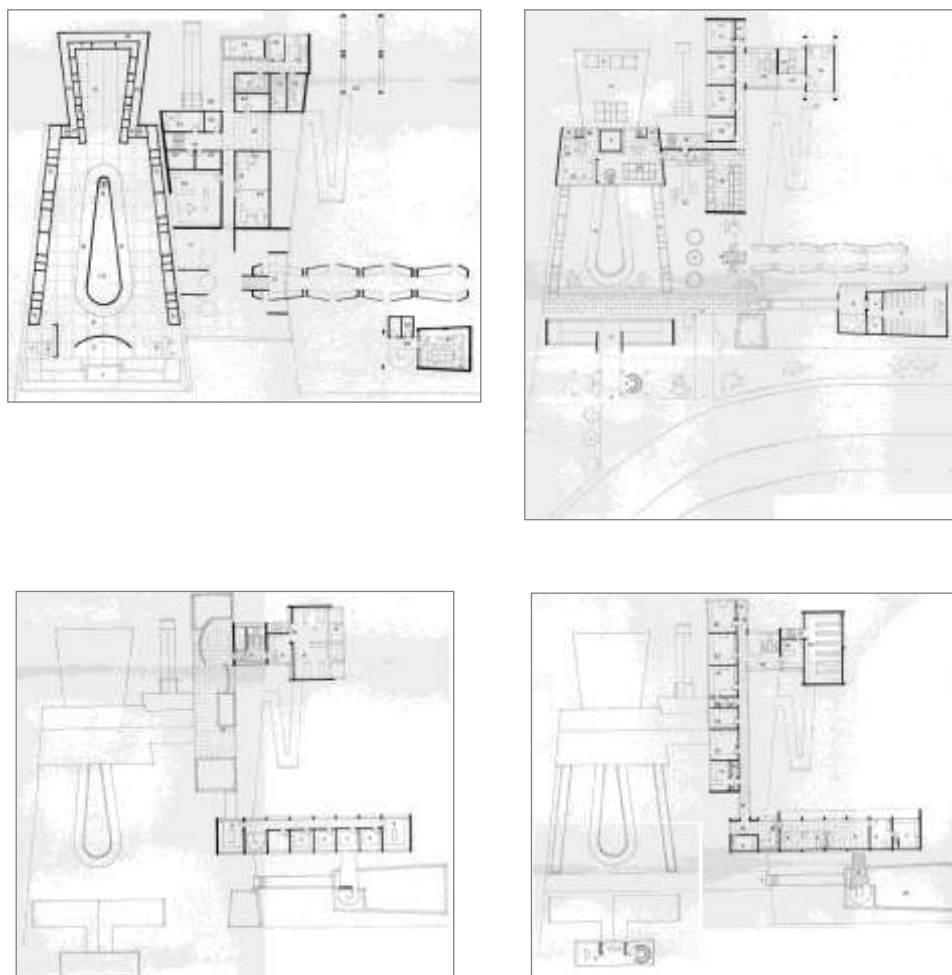


Fig. 6.11. Planta por piso del conjunto correspondiente a la última versión del proyecto. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

A diferencia del resto de los machones y pilares presentes en el resto de los volúmenes del conjunto (a excepción del par de *pilotis* que miran al mar (fachada poniente), el par de machones presentes en el auditorio están colocados verticalmente, pero levemente desplazados con respecto a los plomos del muro frontal y más marcadamente respecto de las fachadas oriente y poniente. Casi como basamento, asoman en la base de éstos los sobrecimientos que acusan también un leve engrosamiento en la sección, para finalmente, apoyarse sobre el dado de fundación que se logra observar en el machón poniente (**fig. 6.12**).

A continuación se desarrolla un segundo volumen, dispuesto desfasadamente en forma paralela al anterior. Esta unidad alberga las oficinas administrativas y laboratorios en dos niveles y se conectan con el resto de los edificios a través de pasarelas y escaleras. Se puede afirmar que su singularidad radica en su monumentalidad, manifestada en las proporciones de la planta y en la doble altura de las piernas de hormigón armado que lo soportan.



Fig. 6.12. Vista del conjunto concluido en sus dos etapas. Archivo Arquitectura Universidad de Chile.

Consideraciones generales del conjunto: La complejidad Estación de Montemar se puede observar en distintas escalas y aristas: en la disposición de las unidades y de la conformación del total; en los sistemas de circulaciones; en el orden estratégico de la articulación programática (y la construcción por etapas); entre otras. Interesa relevar aquí la complejidad presente en los sistemas estructurales, constructivos y materiales que cualifican cada una de las piezas edificadas, cuya heterogeneidad supone no sólo la búsqueda de una solución particular para cada una, sino también, un comportamiento –y eventualmente desempeño- sismorresistente distinto, y la concepción formal que fue adquiriendo en la obra a lo largo de los años.

Las múltiples soluciones presentes al interior de cada unidad o entre ellas, ofrece una diversidad de recursos estructurales y constructivos que en definitiva sirvieron como elementos de expresión de un lenguaje que pone en evidencia las posibilidades materiales –en este caso del hormigón armado principalmente-, en función de las condiciones plásticas de la obra y las limitaciones impuestas por la localización y las nociones de la resistencia a los seísmos. Estos factores deben ser entendidos también en perspectiva del

conocimiento del período y del desarrollo que tuvo la normalización de las construcciones por medio de las regulaciones sismorresistentes.

Arquitectónicamente, el conjunto se configura por medio de un juego de desfases de planos expresados en su distribución, su geometría, en el modo de emplazamiento del conjunto (Riesco, 1991) y en los recursos formales con que Gebhard cualifica cada uno de las piezas. Asimismo, aunque más sutilmente, el tratamiento de planos desaplomados, rotados o inclinados, se aprecia en los encuentros en los diversos paramentos verticales como fachadas, pilares, machones, sobrecimientos, cubiertas y saledizos. Esta condición formal, que en planta se observa claramente en la ubicación de cada cuerpo, se traslada también al juego espacial de planos que inciden en la forma de los volúmenes y los contrastes de luces y sombras.

Estructuralmente, uno de los rasgos más destacados por la literatura es la utilización de los pilares o *pilotis* (sic) en “V”. Sin embargo, no se ha profundizado en la disposición de éstos, ni en la diferencias de cada tipo de apoyo presente en el conjunto, como tampoco en el sistema empleado, probablemente, una de las cuestiones más interesantes desde el punto de vista técnico y morfológico de la obra. Es también un tema de interés desde el estudio y los aportes con que puede contribuir la ingeniería y cálculo estructural, pues concurren soluciones diversas, si bien en base a criterio común (de sismorresistencia). El edificio de Montemar es también una obra arriesgada porque puso en juego decisiones de emplazamiento y proyectuales que en un escenario de alta frecuencia sísmica, se convierte en un desafío constructivo y de resistencia.

Sistema estructural, esqueleto a la vista y resistencia sísmica: de la transición de las masas a la levedad de las formas: La Estación de Biología Marina es un conjunto, que representa en parte, un estado de transición dentro del proceso de transformación de la arquitectura en Chile. Desde una perspectiva morfológica y visual, se abrió hacia la búsqueda de mayor levedad, en sustitución de edificios de expresión masiva conformados por volúmenes regulares y estructurados con sistemas murarios. Es de particular interés en este caso, observar algunos de los cambios conceptuales más radicales del período. Sin duda el más relevante fue concebir la relación entre los terremotos y los edificios en una dimensión dinámica, ya no estática. El proyecto desarrollado por Gebhard, como se verá en el presente capítulo, encarnó una parte de este cambio de paradigma. Es importante agregar además, que dicho proceso debe ser comprendido a la luz del desarrollo y perfeccionamiento progresivo de las técnicas materiales y de construcción, que posibilitaron la prosecución de la normalización de las construcciones y la asimilación de las nuevas teorías estructurales y de estabilidad.

Evidentemente, la búsqueda de formas y sistemas constructivos y estructurales que pudieron contribuir a alivianar los edificios, no fue un ejercicio sólo de la arquitectura y de los arquitectos locales y debe ser comprendido en un sentido más amplio. En el medio local, una de las particularidades características del proceso desarrollado en Chile fue –y ha sido– su condición sísmica y los efectos sobre las construcciones. Particularmente, el paulatino reemplazo de las viejas construcciones por una nueva arquitectura y cultura material (Torrent, 2013) supuso “[l]a satisfacción estética de la masa que dominaba los intentos vernáculos [y que] había sido reemplazada por una tecnología moderna que posibilitaba la concepción de la estructura como un esqueleto de soporte capaz de oponerse al sismo.” (Torrent, 2013:18). En este contexto, cabe preguntarse entonces, ¿qué factores confluyeron en esta relación y de qué modo incidieron en la conformación de la arquitectura moderna en Chile? Esta es una de las preguntas centrales de esta investigación, y que se intentará responder a través del análisis que sigue.

La carencia de fuentes planimétricas del proyecto de cálculo de la primera etapa del conjunto Montemar representa una limitación importante para este análisis. Sin embargo, algunos aportes documentales gráficos pueden proporcionar información relevante a partir de la cual es posible inferir e inducir ciertas características constructivas y estructurales. El volumen central y la caja de circulaciones verticales, están asentados sobre un primer nivel elevado del sobre el terreno natural. Se trata de un zócalo de mampostería en piedra con nervaduras de enfierradura para asegurar su estabilidad. La cara interior del zócalo, que aloja salas de bombas, acuarios, bodegas y servicios, es vertical, mientras que las exteriores se desarrollan en ángulo con un ensanche en la base (**figs. 6.10, 6.13**) Esta geometría obedece probablemente, a una solución estructural por contrarrestar los empujes laterales de la cargas verticales, y eventualmente, las fuerzas mutlidireccionales de los sismos. Debido al sistema de construcción y a la forma del volumen, los cimientos deben corresponder a fundaciones corridas, tomando en cuenta la forma del nivel, y el suelo rocoso que presenta el terreno. Esta suposición, evidente por la forma del edificio, fue en efecto una condicionante contenida ya en la Ordenanza de 1936, en que exige para “muros de adobes o de albañilería de ladrillos (...) cimientos continuos y en casos de usarse pilares aislados, se dispondrán vigas que reemplacen la continuidad de aquellos.” (OGCU, 1936, art. 165:37). Se agrega a continuación, que en el caso de elementos aislados, como pilares, se sugiere ligar las fundaciones.

Sobre el volumen central, los dos niveles superiores que conforman un prisma regular con ventanas intercaladas y dispuestas hacia los vértices superiores (izquierdo en el tercer piso; y derecho en el segundo) corresponden a áreas vaciadas del relleno de albañilería, confinada por un

sistema de pórticos (pilares y vigas) y losas de hormigón armado. Este mismo sistema se observa en el volumen vertical, de altura superior en un piso más, que contiene las circulaciones verticales. Ambos cuerpos se relacionan con el terreno a través de una base maciza a la vista, y la búsqueda de levedad queda delimitada a una sutil separación entre ésta y las plantas superiores, por ventanas superiores corridas interrumpidas por la continuidad de la transmisión de las cargas verticales de los pilares (**fig. 6.12**).

Una razón estructural, constructiva y material que explica también el empleo de un sistema de albañilería reforzada, al menos en el volumen de la caja de escalera que conectaría posteriormente con la biblioteca (segunda fase), se explica por el hecho de requerir un cerramiento de fachada provisorio que facilitara una futura demolición relativamente expedita, que diferencia del hormigón armado, los paños de ladrillo confinados en pilares y cadenas, sí ofrecían.



Fig. 6.13. Construcción de zócalo primer nivel en mampostería de piedra, con refuerzos de espárragos de enfierradura. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Es interesante observar que algunos aspectos centrales de la primera etapa construida del conjunto, expone un grado de dominio aplicado de parte de los criterios y disposiciones contenidos en la Ordenanza General en sus primeras versiones, y que se mantuvieron en el nuevo documento de 1949. De interés resulta, por ejemplo, el uso mixto de sistemas constructivos promovidos en las disposiciones de regulación, y que implicaron una solución sismorresistente en edificaciones de albañilería sin refuerzo estructural. Ello se observa con nitidez en la predominancia de un sistema de albañilería confinada entre pilares y cadenas de hormigón armado que reportan amarre y resistencia estructural a los paños de ladrillos de arcilla (**figs. 6.14, 6.15**). Sistema replicado en volumen del zócalo que, dando continuidad a los elementos soportantes de hormigón reemplazan el relleno de ladrillos por piedra en mampostería (**fig. 6.13**). Los contenidos de la Ordenanza General de 1949 contribuyeron, en esa misma línea, a establecer exigencias más claras en comparación a las versiones anteriores. Y, particularmente interesante, son los artículos referidos a las construcciones de albañilería reforzada (Cap. XXIII). Si las versiones anteriores de la Ordenanza reconocieron la existencia de construcciones de ladrillo sin refuerzo, en este nuevo documento se estableció “los muros de albañilería de ladrillos se construirán entre pilares y cadenas de hormigón armado” (OGCU, 1949, art. 256). Así, los elementos estructurantes de dicho sistema constructivo, estableció que “los pilares de hormigón armado se colocarán en las intersecciones de los muros”, debiendo procurar disponer pilares intermedios cuando los paños de muros tengan una longitud “superior a 1,8 veces la altura de piso o si es mayor a 6m.” (OGCU, 1949, art.257).



Fig. 6.14 Fotografía primera etapa en construcción. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.



Fig. 6.15 Fotografía primera etapa concluida. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Segunda etapa y cambios en la estructura: Sin ahondar en las causas que puedan explicar el lapso de tiempo transcurrido entre la ejecución de la primera etapa y de la segunda, este trabajo pone atención en las diferencias evidentes –y en aquellas menos evidentes– que presentó la obra construida en comparación a las versiones anteriores. Es importante destacar también algunos alcances biográficos citados por la historiografía, sobre el desarrollo profesional que tuvo Gebhard en este período de tiempo, así como el proceso de maduración y búsqueda en su obra, que probablemente, incidieron en las decisiones adoptadas en la versión definitiva de la segunda etapa.

En realidad, la imagen que se conserva del primer proyecto, si bien corresponde a un mismo partido general que conserva la cantidad de unidades y sus relaciones programáticas, hay diferencias importantes, que serán brevemente enunciadas aquí. La primera, es el notable distanciamiento del conjunto con respecto al área pública (camino costero). La segunda, la construcción de un nuevo nivel sobre un área importante, contenido por un muro de contención de piedra, que en la obra ejecutada, se redujo al área próxima a las unidades. Tercero, las circulaciones y formas de recorrido acusan también modificaciones importantes, en particular, la rampa que accede al volumen central. Una cuarta diferencia evidente, es la forma y disposición de las unidades. Todas y cada una presentan cambios ya sea en su forma, como en algunas soluciones formales y arquitectónicas.

Merece mayor detención, un tema ya expuesto en la literatura especializada, la sustitución de los *pilotis* por machones en “V” del volumen prismático de oficinas y laboratorios, y la disposición, morfología y forma de asentamiento del auditorio contiguo. Hay dos cuestiones, sin embargo, que no han sido mencionadas anteriormente. La primera, que la planta del primer nivel del volumen alargado de esta segunda etapa, contiene un área interior de recintos conformados por un cerramiento que combina ventanas y muros de piedra, y rodeada de *pilotis* perimetrales, exentos, y dispuestos regularmente (**fig.6.8**). Eventualmente, esta fachada retranqueada, podría haber aportado a la rigidez del volumen con muros estructurales solidarios. Por tanto, la decisión de liberar completamente el primer nivel permite suponer que Gebhard pudo haber tenido otras razones además de las puramente estructurales, como para reemplazar los pilares verticales por machones diagonales. Una de esas pudo haber sido la elevación total del volumen, otorgando a ese nivel, un espacio exclusivo para los elementos portantes. Una segunda diferencia es la composición de la fachada oriente, que en la maqueta del anteproyecto, se desarrolla con ventanas corridas en toda la extensión longitudinal intercaladas con cintas opacas (antepechos). Por último, la cubierta está conformada por una bóveda rebajada, que sobresale

levemente del plano, y que fue reemplazada en el proyecto definitivo por una cubierta plana (pero no aterrizada)⁵, (**figs. 6.8, 6.9**).

Como señala Atria, Gebhard inició la ejecución de la segunda etapa del proyecto de regreso de su estadía en Argentina donde había ensayado la disposición de pilares diagonales (Atria, 2008), pero aplicados como soporte estructural de la pasarela cubierta y elevada que conectaba el edificio de administración con la estación de ferrocarriles en Bahía Blanca (provincia de Buenos Aires) (**fig. 6.16**). Un proyecto no ejecutado, que diseñado en conjunto con el arquitecto local, Miguel Roca. La propuesta en este caso, puso en juego algo que fue trabajado posteriormente con mayor profusión, al separar la estructura de la envolvente hacia el exterior, con lo cual, al igual que en la propia estación de ferrocarriles, lograba un sistema de soporte estructural colgante. Un esquema que pudo haber funcionado en un territorio asísmico (como la costa oriental de Argentina) pero que en el caso de Chile, hubiese requerido soluciones más complejas, costosas y seguramente, con un diseño estructural que habría desmejorado la idea pura de cuerpos colgantes.

En cualquier caso, no queda del todo claro si hubo efectivamente una relación directa entre esta parte del proyecto en Argentina y las modificaciones que Gebhard introdujo al proyecto a su regreso. Sí es un hecho concreto que había ya una búsqueda estructural y plástica en la morfología de los edificios, y que en ciertos elementos, se puede observar con mayor detención en los machones en “V” y el sistema en “W” presentes en la segunda fase.

El lenguaje empleado por Gebhard en los dos volúmenes de la primera etapa tratados como cajas, presentes ya en el anteproyecto, contrasta con el desarrollo del tercer cuerpo que completa el período entre 1941 y 1945, correspondiente a la biblioteca. A partir de la caja de escaleras, sobresale hacia el norte un sistema que combina muros y pilares articulados mediante una compleja red de relaciones formales y estructurales. La planta del primer nivel tratada como planta libre, se estructura de hormigón armado a la vista, por un binomio de pilares y riostras en forma de “W” (vista frontal). El primero de ellos, expuesto hacia el norte, se compone de un par de pilares iguales colocados en los extremos de frente, levemente girados sobre el eje vertical. Las diagonales descargan simétricamente las cargas verticales del volumen superior, desde el punto medio de la fachada hacia la base y

⁵ Otra diferencia, identificada a partir de la comparación entre el estado actual de la obra y el proyecto de arquitectura, es la no ejecución del quiebravista considerado originalmente a lo largo de primer nivel de oficinas, diseñado con costillas verticales, y confinadas al interior de un marco sobresaliente del plano de la fachada, todo en hormigón armado. La consideración de planos verticales y girados en su eje vertical, debieron responder al control pasivo lumínico y de temperatura del sol poniente.

cimientos en los extremos. Tanto los pilares como las diagonales que confluyen en vértices de apoyo, descansan sobre dados de fundación.

En un segundo plano y colocado a una altura intermedia entre el nivel del terreno natural y el volumen superior, se desarrolla un cuerpo trapezoidal invertido -que aloja el depósito de libros- y retranqueado respecto de la estructura a la vista, en sus tres caras: oriente, poniente y norte. El sistema pilares ubicado en el costado posterior, se diferencia del primero por diagonales truncadas a media altura, correspondiente el plano de intersección de la losa inferior (encuadernación) con la que se encuentra, que sin embargo, penetran hacia el interior. Las diagonales trasladan también las cargas de la caja *suspendida* hacia los dados de fundaciones que descargan en el suelo rocoso (**figs. 6.17-6.19**). Al respecto, si bien la Ordenanza vigente para entonces, recomendaba en el caso de fundaciones aisladas, ligarla mediante vigas horizontales, la obra de Gebhard no recogió tal disposición, probablemente debido al hecho de que el suelo de fundación representaba el mejor escenario de asentamiento, por su constitución rocosa.

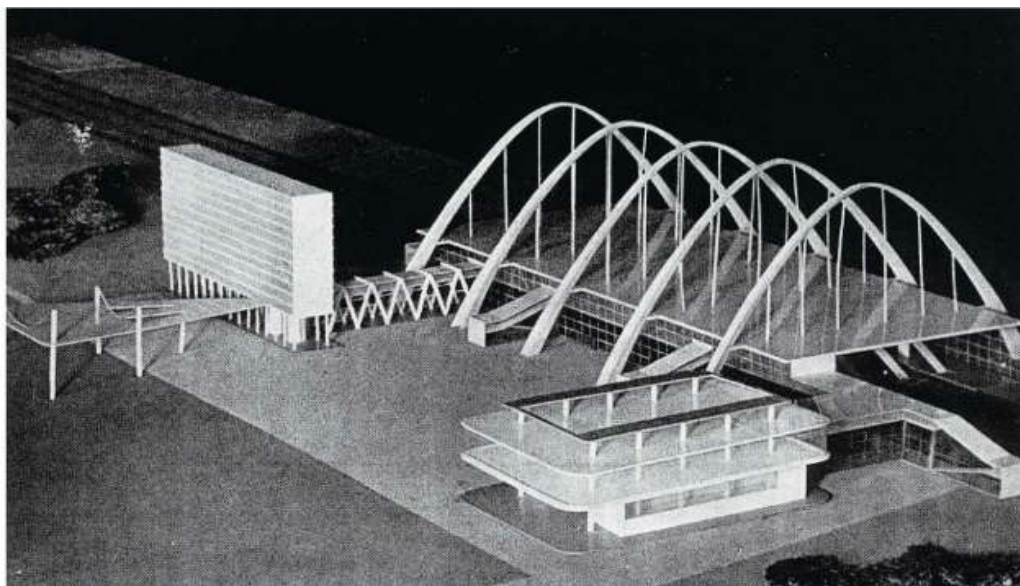


Fig. 6.16. Maqueta proyecto Complejo Estación de Ferrocarriles, Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires, Argentina, 1950c.

El segundo nivel, destinado originalmente a encuadernación, presentaba un frente opaco y sus costados con vanos enmarcando las vistas poniente y oriente. El tercer piso que contiene la biblioteca, se abre hacia el mar a través de un par de ventanas corridas, separadas entre sí por un pilar ubicado en el punto medio del plano frontal. Esta misma fachada (norte) tiene un tratamiento en relieve en el que sobresalen los cabezales de los paramentos verticales (muros y pilares), remarcando así las líneas que representan los elementos estructurales de aquellos secundarios, como en este caso, el antepecho de la ventana superior. Originalmente, la obra tuvo un balcón del largo de la fachada norte, demolido posteriormente (Fig. 18). Las razones de su eliminación se desconocen, pero es interesante destacar que uno de los elementos que la Ordenanza consideraba como vulnerables por destrucción sísmica era, en efecto, los balcones. Debido al uso estructural predominante del hormigón armado, con seguridad la terraza en voladizo proyectada debió haber estado amarrada a la estructura primaria con el mismo material, otorgando así continuidad material y resistencia.

Recogiendo la idea de sentido instrumental conferido por Pérez de Arce a la estructura, en el cuerpo de la biblioteca el sistema de pilares y riostras del primer plano constituye un recurso plástico y estructural, a través del cual Gebhard logra, por un lado, conservar la apariencia de volumen suspendido, y por otro, otorgar el necesario soporte.



Figs. 6.17, 6.18. Vista parcial del volumen biblioteca segunda etapa de construcción. Archivo Arquitectura Universidad de Chile.

Esta solución evidencia el conocimiento técnico por parte del ingeniero y del arquitecto, relativo a la transmisión concentrada de esfuerzos a lo largos del eje de un determinado elemento estructural. Algo que posteriormente derivó en los criterios de diseño orientados a la disminución de secciones, economía material y ligereza de las estructuras, fundamentados en el desarrollo de las teorías estructurales que generaron las bases de un cálculo más preciso. En esta línea, como destaca Dembo, el ingeniero Pier Luigi Nervi fue uno de los mejores representantes durante parte de la mitad del siglo XX, a través del uso del hormigón armado, y posteriormente, del ferrocemento. Su trabajo se tradujo en una “obra (...) [que] no sólo significa una revolución en el campo del diseño estructural, sino, además, un vuelco radical en los valores estéticos del mismo.” (Dembo, 2003:102). Por medio del ferrocemento, Nervi exploró alternativas formales, funcionales y racionales, que lo llevó a “la eliminación de los encofrados de madera (...) y [lo] utilizó para producir formaletas (...) [con las cuales] era posible reproducir las líneas de esfuerzo de la estructura y concentrar el material en donde realmente se necesita.” (Dembo, 2003:97). Conceptos que posteriormente derivaron hacia una efectiva reducción de material, optimización de recursos y economía, tanto en las obras civiles de ingeniería como en la arquitectura.

En el conjunto de obras civiles, la construcción de puentes es quizá, una de las más atractivas desde el punto de vista del diseño estructural y del resultado edificado. Una parte de ese atractivo se puede explicar por el hecho de que se trata de obras (funcionales), desprovistas –generalmente– de accesorios, y de una honesta expresión formal que deja a la vista los elementos de soporte que permiten el cruce de un punto a otro. Asimismo, “la ligereza de la estructura tiene mayor potencial en las construcciones que tienden a la horizontalidad, que aquellas cuya tendencia es la verticalidad (...) [por] las cargas por efecto de gravedad como la deformidad causada por las posibles cargas horizontales (...) [que] frustran las aspiraciones de soluciones que exijan poca masa.” (Dembo, 2003:110).



Fig. 6.19. Vista del conjunto con las dos etapas concluidas. El volumen de la biblioteca con el balcón frontal. Fuente: Universidad de Valparaíso.

En el diseño estructural de puentes, se pueden encontrar también, como en la arquitectura aunque posteriormente, los intentos por restar masa a los elementos portantes. Del mismo modo que Nervi en el cálculo de edificios, Maillart tuvo como “objetivo central (...) eliminar, dentro de las formas estructurales propuestas, el material que no necesita o (...), concentrar el material en las zonas de máximos esfuerzos.” (Dembo, 2003:112).

Tanto el conjunto de Montemar (**fig. 6.20**), como algunas consideraciones contenidas en la Ordenanza General del período de estudio, recogen algunos conceptos y criterios de las obras civiles en Chile, desarrollados de forma más sistemática desde inicios del siglo XX, en especial, en cuanto a la utilización del hormigón armado. Este es, con cierta seguridad, uno de los antecedentes que contribuyeron a la redacción de la Ordenanza, y por tanto, de los conocimientos de la ingeniería ya desde sus inicios. Formalmente, las intervenciones efectuadas por Gebhard al proyecto, al menos en lo que es posible en la segunda fase, se caracterizan por ciertos rasgos asociados a la arquitectura de puentes, en particular, en el volumen alargado posado sobre las piernas de hormigón que protagoniza el conjunto. Se observa también operaciones estructurales, formales y plásticas en el tratamiento de los elementos y la forma de disponerlos, que recogen también algunas de las aspiraciones y criterios heredados de la disciplina de la ingeniería.



Fig. 6.20. Vista del conjunto con las dos etapas concluidas. Fuente: Archivo Arquitectura Universidad de Chile.

En este sentido, cabe destacar uno de los artículos contenidos en la Ordenanza General del período, que hace referencia a criterios generales de estructuración, estableciendo que “en los cálculos de estabilidad de toda construcción se tomará en cuenta la acción sísmica y se establecerán las solicitaciones y fatigas que ella produce en sus diversos elementos.” (OGCU, 1949:art.248-1). Si bien esta disposición puede ser general (y en el presente una obviedad), fue crucial en el período. Y en el conjunto en Montemar ello puede ser constatado no sólo en las decisiones con que fue concebido el proyecto y los métodos de estructuración y construcción empleados, sino que también, en una de las cualidades arquitectónicas más notables de la obra, que se observa en la solución empleada en los machones en “V” de los diversos cuerpos. En efecto, la torsión de dichos elementos obedece, desde un punto de vista estructural, la necesidad de proveer resistencia a cada uno de estos elementos, y por extensión, al sistema completo, en los dos ejes del edificio (longitudinal y transversal). En un sentido abstracto, supone la rigidización articulada de forma tridimensional previendo precisamente, la acción sísmica en un sentido dinámico (no estático y lineal), recogido también en la Nueva Ordenanza General de 1949.

La estrategia proyectual desplegada con mayor decisión (en comparación a su primera versión) principalmente en el volumen norte-sur de oficinas, consistente en la liberación total del primer nivel y el desarrollo de los machones en “V” colocados a lo largo de la fachada longitudinal, y virados en el plano transversal, supuso por un lado, una operación más radical en la relación del cuerpo con la topografía existente, a la vez que de menor impacto (por concentrar apoyos puntuales); y por otro, una expresión de la forma más rotunda que coloca al sistema estructural de hormigón visto en un rol protagónico, casi escultural.

El paralelepípedo, de 5,60 de ancho y 29,85m de largo, desarrollado en una sola crujía, contiene el programa en dos niveles superiores distribuido en compartimentos de área similar, salvo el recinto de cabecera norte, destinado a oficina. Esta pieza del conjunto, se estructura mediante elementos de hormigón armado, que combina machones, vigas, losas, y muros. Sus fundaciones son dados del mismo material de 1,50m de lado y 1,00 m de alto. Los dados se asientan en un emplantillado a una cota de 1,50m desde el nivel de terreno natural. Las divisiones interiores son tabiquerías (elementos secundarios) y por tanto, representan cargas muertas. Los antepechos de las ventanas que recorren las fachadas poniente y oriente, son también elementos secundarios o relleno de albañilería.

El proyecto de cálculo que se conserva en parte⁶, fechado en el mes de agosto de 1955, de decir, un año antes del inicio de las obras, está firmado por el ingeniero civil Raúl Camposano. La información contenida en las láminas que se conservan, es de gran valor, no sólo para este trabajo histórico-arquitectónico, sino también como antecedentes para futuras intervenciones y reparaciones orientadas a su conservación.

Este edificio, a diferencia de los proyectados en la primera etapa, es esencialmente un cuerpo monolítico articulado con un sistema estructural tipo mesa, con fundaciones puntuales. Solución, esta última, idónea al tipo de suelo costero. Atria señala una asociación entre este edificio en particular, con la solución empleada por Le Corbuiser al tratar algunos edificios alzados sobre un plano superior, semejante al plano de una mesa sobre patas de soporte (Atria, 2008). El tema, sin embargo, es algo más complejo en este caso, no sólo por la variante de los seísmos en el diseño y cálculo estructural, sino por la forma plástica y el diseño estructural que debió dar una efectiva vialidad a las búsquedas tectónicas de Gebhard.

El sistema estructural está conformado por una primera losa de 10 cm de espesor, que descansa sobre un envigado. Dos vigas maestras longitudinales de sección 0,50m x 1,1m y que recorren todo el largo, están colocadas de forma excéntrica respecto al centro de gravedad de los machones. Un módulo de 3,50m a eje, trazada la posición de un segundo orden de vigas transversales, de sección similar, que en los puntos de apoyo sobre los machones, desarrollan un ancho de 0,60m. Las dos plantas superiores (segundo nivel y cubierta), se articulan mediante un sistema de pórticos transversales y paralelos entre sí, dispuestos en módulos de 3,50m, replicando la geometría del primer nivel. Los machones, en este caso, están dispuestos en sentido oriente poniente, para de este modo, asegurar la rigidez del área interior, del mismo modo en que está colocados los tabiques divisorios de los recintos, cuyas cargas muertas se transmiten directamente a las vigas transversales, aunque también excéntricas al centro de gravedad de éstas. Por último, los muros que conforman los cabezales del volumen, a pesar de su apariencia exterior homogénea (tratada con una gruesa capa de estuco), están estructurados también mediante pórticos doble de pilares y vigas. Volumétricamente, esta unidad particular del conjunto, se enmarca en la clase B y C especificada en la Ordenanza General de 1949. Dicha clasificación estuvo segregada por los sistemas constructivos y materiales empleados, según el caso. Así, el volumen en cuestión puede ser comprendido en dos partes: el primero relacionado con el esqueleto a la vista constituido en hormigón armado, y el segundo (la caja cerrada

⁶ Un número importante de planos de arquitectura, cálculo estructural, y de emplazamiento, además de planos reconstructivos de la obra, se encuentran en el Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

propiamente tal), construida en sistema de albañilería reforzada. Pero, lo que interesa destacar aquí, atraviesa un problema geométrico y de composición señalado en la propia Ordenanza. En efecto, en edificios de albañilería reforzada, se limitaba la altura a máximo cuatro pisos, y una altura máxima de cada piso no mayor a cinco metros (OGCU, 1949:art. 242). Respecto a las proporciones, se señala que “la razón entre la altura del edificio y la longitud del menor lado del rectángulo de área circunscrita a la base no será superior a la 2,50.” (OGCU, 1949:art. 242).



Fig. 6.21. Vista del conjunto con las dos etapas concluidas. El volumen de la biblioteca con el balcón frontal. Fuente: Universidad de Valparaíso.



Fig. 6.22. Vista del volumen en planta libre. Fotografía desde la calle. Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

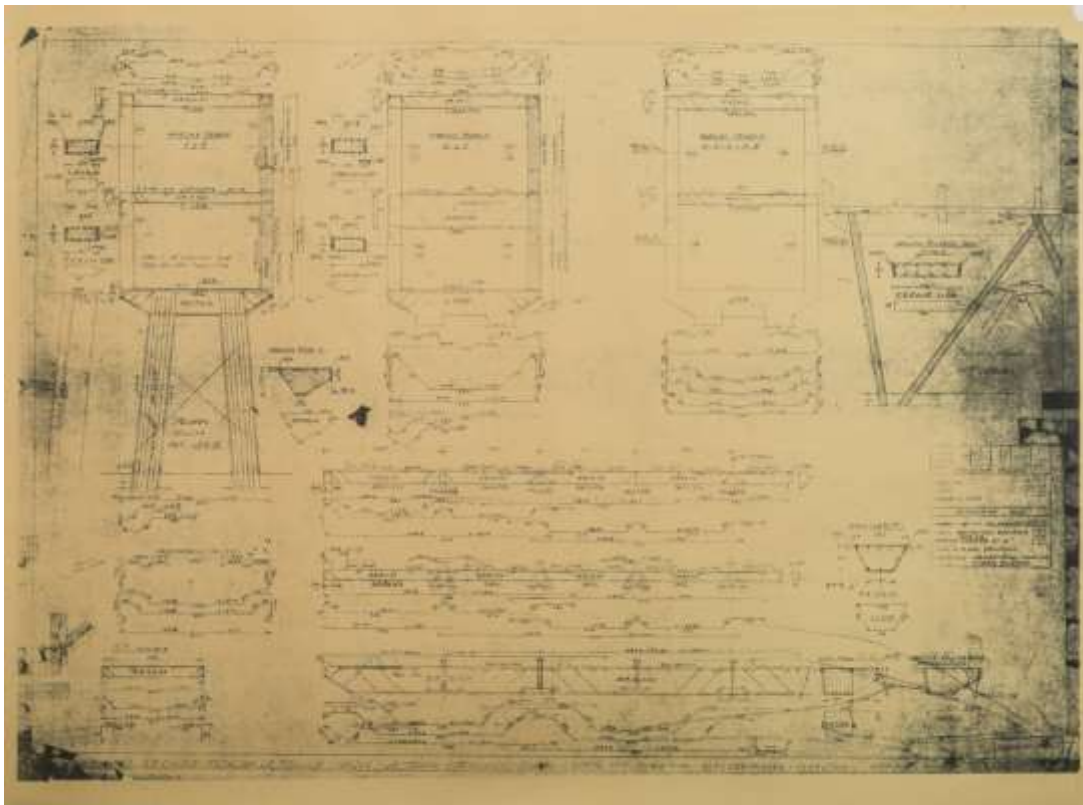


Fig. 6.23 Elevaciones transversales y detalles de vigas, cálculo estructural. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile

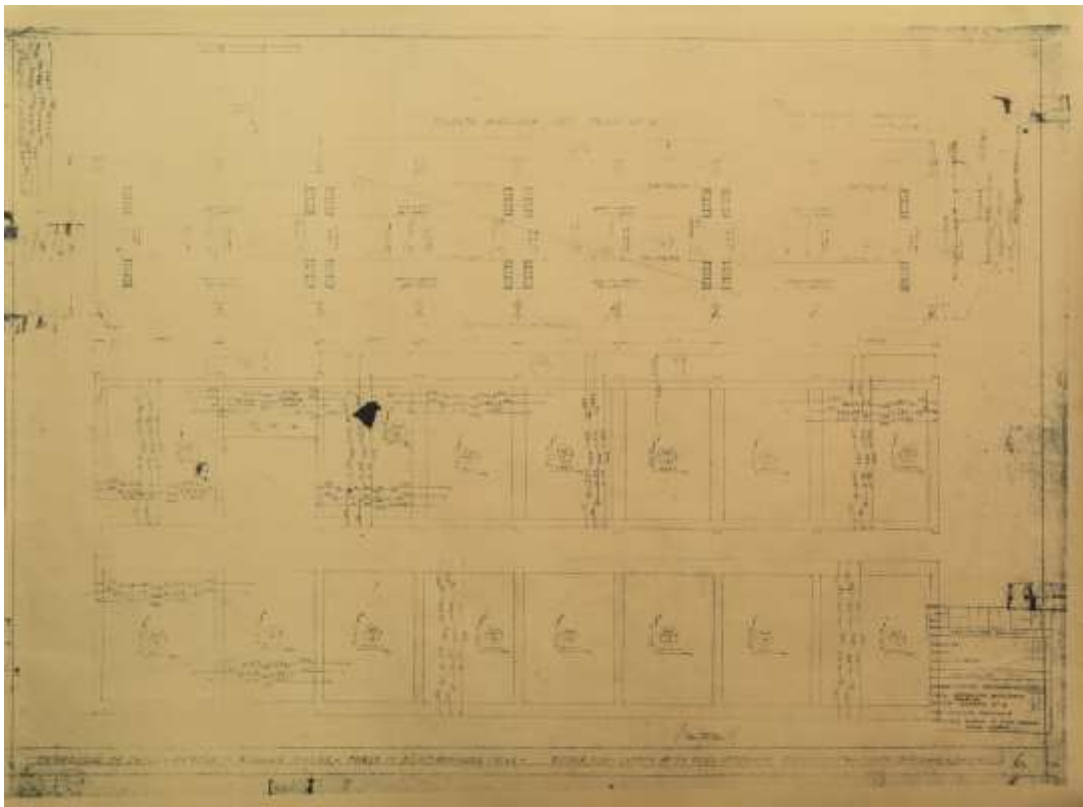


Fig. 6.24 Plantas de cálculo estructural (fundaciones, primer y segundo niveles). Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile

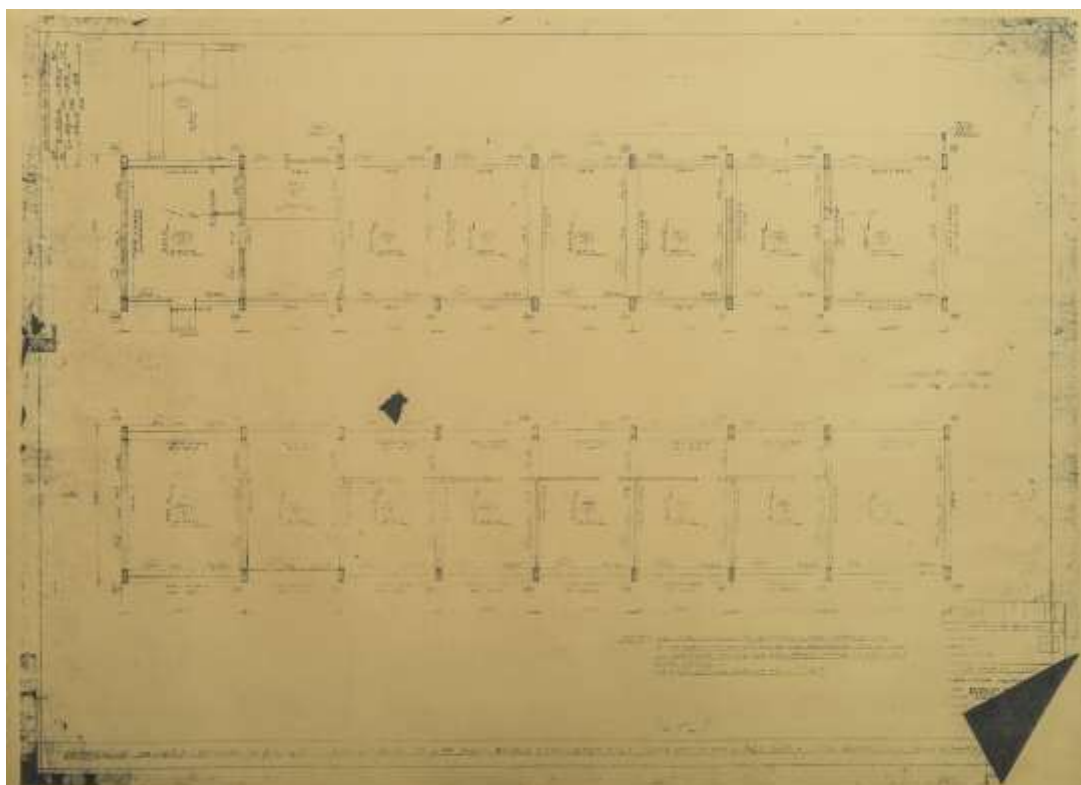


Fig. 6.25. Planta de losas, cálculo estructural (primer y segundo niveles). Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile

En lo relativo a la planta baja, se puede agregar que la forma de disponer un machón puede ser comparado con el criterio estructural propio de una viga. El conocimiento empírico y en el conocimiento científico, resulta evidente que las vigas deben estar colocadas en sentido vertical, pues de este modo, oponen mayor resistencia a las cargas verticales para las cuales trabajan, disminuyendo la flexión en el punto más desfavorable, es decir, en el punto medio de su largo. Del mismo modo, los machones –en tanto paramento estructural- suponen un sentido de disposición acorde con el mayor esfuerzo que deben contrarrestar. En el caso de este volumen, la dirección más desfavorable es, evidentemente, el costado longitudinal, que proporcionalmente, representa seis veces el ancho. A pesar de ello, Gebhard coloca el sistema de machones en “V” en sentido normal al largo y con ello, les imprime una carga teórica (en un escenario sísmico) a la cara más vulnerable del machón (cercano al punto medio de la cara mayor). Desde una perspectiva estructural, esto supone una anomalía y un mayor esfuerzo por asegurar condiciones de estabilidad, sismorresistencia y disminución del riesgo por fallas (**figs. 6.23-6.26**).

Buena parte de la literatura que ha trabajado esta obra, destaca el empleo de “pilares” en “V” como expresión de una solución orientada “estructuralmente (...) para transmitir a tierra las fuerzas horizontales dinámicas del bloque superior [donde], la curiosa disposición que tienen y la manera cómo algunos de ellos penetran en la playa, hacen que se tiendan a considerar en sí, como un elemento ciclópeo distinto en género al resto de la construcción” (Riesco, 1991:27-8). En efecto, se trata de elementos estructurales de dimensiones superiores en proporción a la altura de los volúmenes que sostienen, y que le imprimen una cierta monumentalidad, y al mismo tiempo, un punto de contraste en proporción a las dimensiones del volumen superior.

En esta misma línea, Pérez sostiene que el reemplazo de los pilotis presente en el proyecto inicial, por pilares en forma de V, fueron “probablemente introducidos por razones estructurales”. (Pérez, 1991:30). En términos plásticos, agrega, éstos contribuyeron a “un aumento de la complejidad y (...) una búsqueda de expresividad (...). Prueba de ello es, en primer lugar, la introducción de los pilares en “V”, que sea cual fuere la razón de su utilización, constituyen una característica fundamental del conjunto que podría ser relacionada con algunas de las búsquedas de la arquitectura brasileña, como las de A. E. Reidy.” (Pérez, 1991:31).

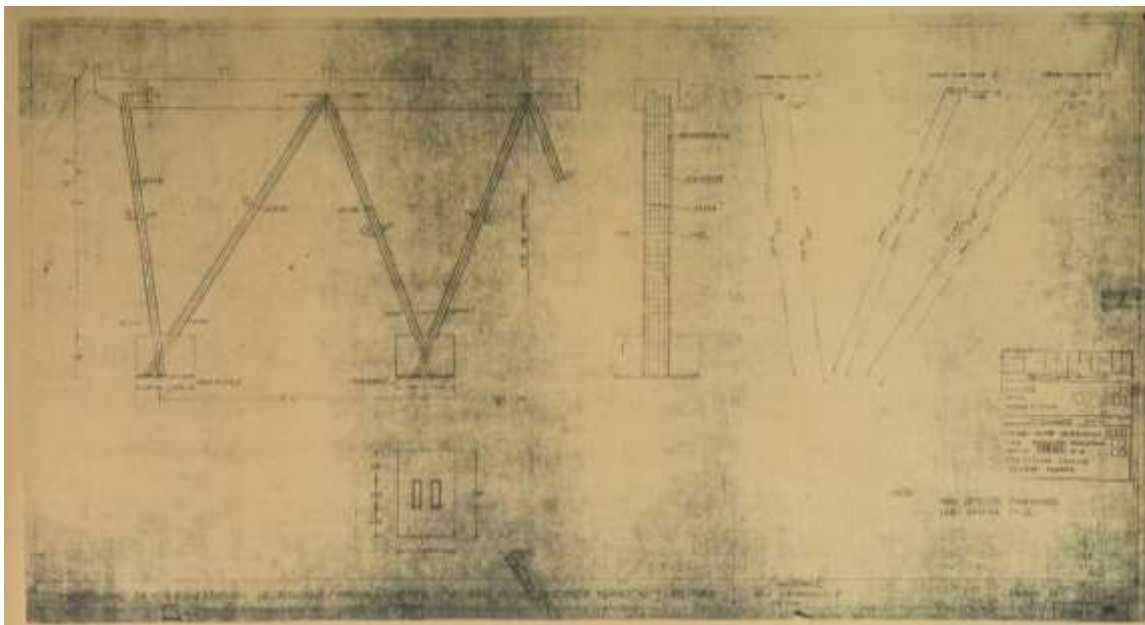


Fig. 6.26. Detalle fundaciones y pilares (machones) edificio planta libre. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Una publicación más reciente en que Pérez de Arce analiza esta obra, propone que la inclusión de estos elementos responde a un doble objetivo: respecto al uso y programa; y como medio operacional, en el que los

Pilotis, or pilings, were instrumental and simultaneous unfolding for activities, liberating the beach areas destined for the fishermen's tasks. Connecting the plinth to the beach, V-shaped ramps echo form of the pilotis, stressing the light appearance of the building's impact on the ground. (Pérez de Arce, 2010:54).

Más adelante, el autor señala la asociación de estas formas de expresión con la arquitectura de Brasil, punto que será desarrollo en mayor profundidad más adelante en este escrito.

Es cierto que este edificio en particular refleja un esfuerzo por establecer una relación de transparencia con el entorno, pero tampoco debe desconocerse que la visión global del conjunto, más allá de sus complejas relaciones y tratamientos de planos estructurales y formales, evidencia también algunas contradicciones, en especial, en la resolución morfológica de la primera etapa. Tampoco se trata de un conjunto de edificios de marcada levedad, porque de hecho, la estructura a la vista que prima en ciertos elementos, combinan alternadamente, secciones reducidas con secciones mayores, distanciándose así de una composición regular y homogénea liviana y transparente. La forma y las secciones de la estructura, acusan así, las nociones del período que atribuían un adecuado desempeño sismorresistente a la presencia de elementos estructurales muchas veces sobredimensionados, de hormigón armado y de gran rigidez, como sinónimos de estabilidad y resistencia.

En este sentido, la razón que atribuye Atria a la inclusión de los mal llamados pilares en “V”, se explican debido a que “Gebhard dejó de lado la expresión purista de los pilares cilíndricos utilizados en la primera versión (...) [y los sustituyó por un] sistema de pilares planos dispuestos en diagonal, con lo que solucionaba las solicitaciones sísmicas sin tener que recurrir a la utilización de muros de arriostamiento para absorber los esfuerzos horizontales.” Atria, 2008:110). Sin embargo, como se ha intentado exponer aquí, hay razones que van más allá de la mera correlación con el problema sísmico.

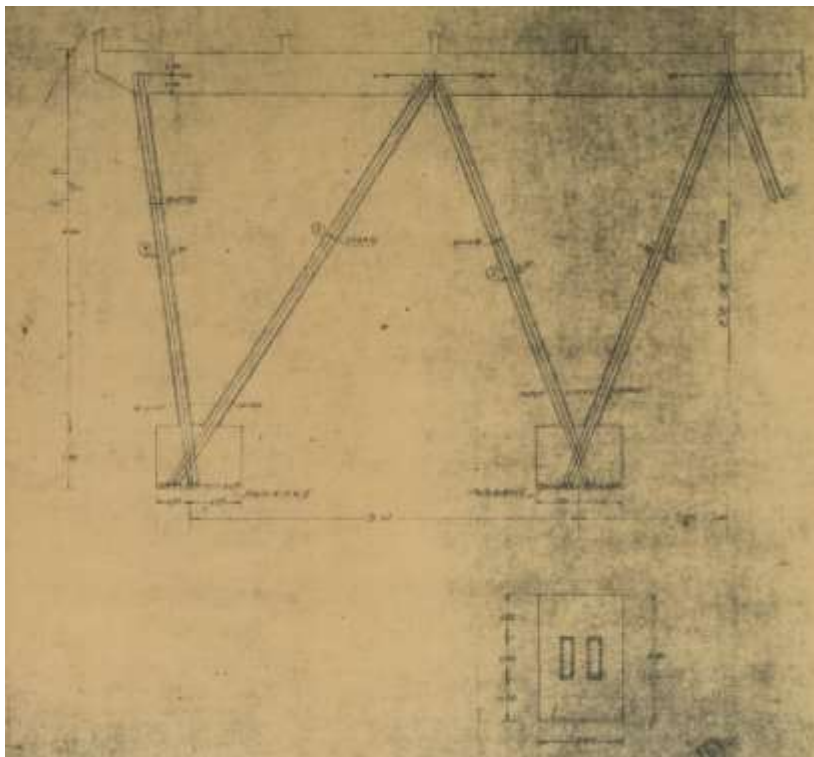


Fig. 6.27. Plantas de cálculo estructural (fundaciones, primer y segundo niveles). Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile

Cabe entonces preguntarse, ¿qué causas llevaron a Gebhard disponer los machones en un sentido contrario al que debieron haber tenido?, y ¿qué formas de expresión plástica buscaba el arquitecto en esta solución, tal vez la más radical y contradictoria respecto de los proyectos anteriores?

La formación académica y profesional de Gebhard permitiría descartar un error de criterio de diseño arquitectónico y estructural. Lo mismo para el ingeniero Camposano. Por tanto, las razones que pudieron haber contribuido a construir el edificio de ese modo, pueden estar entonces, próximas a una búsqueda espacial, tectónica y plástica, donde el cálculo estructural, como señala Nervi, son un medio para alcanzar un concepto diseño estructural (Dembo, 2003), que en este caso, es llevado a una cierta monumentalidad.

Una razón probable que explique esta operación contraria al pragmatismo estructural y económico, es la búsqueda personal de Gebhard en el desarrollo de una arquitectura *moderna*, pero construida a partir de las condiciones locales, dentro de las cuales, se cuentan los seísmos. La introducción de la variante en “V” del soporte estructural de la planta libre, bien puede responder efectivamente a la necesidad de oponer resistencia a los esfuerzos dinámicos de las vibraciones sísmicas. Pero este tipo de exploraciones fueron también desarrolladas contemporáneamente, en países de la región asísmicos, en especial, Brasil, como se verá más adelante. Otra

causa probable, se relaciona con dos cuestiones que pudo haber tenido Gebhard a la vista. La primera, como una búsqueda morfológica y plástica orientada a lograr mayor levedad del edificio, lo que explica la completa liberación del nivel primero, la construcción de machones de doble altura, y el uso de una reducida sección. Esta idea, ya referida por Pérez de Arce, encuentra sus antecedentes en parte de la arquitectura brasilera del período. La segunda, con el principio impulsado por Le Corbusier, del tratamiento de la planta libre con *pilotis* exentos, que además del modo regular de disposición en el plano de fachada, su condición de elementos soportantes verticales, eran esencialmente cuerpos muy esbeltos. Pero el problema de la esbeltez, en especial en países sísmicos, representa en sí mismo un problema. Por ello, es posible que Gebhard haya dispuesto los machones con la cara menor hacia los costados del prisma, en un esfuerzo y artificio (en palabras de Pérez de Arce, instrumental) lograr una composición de planta libre cercana a las formas de Le Corbusier, el menos en las caras longitudinales y expresadas idealizadamente en sus elevaciones.

De este modo, la lectura de los planos del proyecto sugiere una representación de un volumen apoyado (artificialmente) sobre *pilotis* esbeltos, a través de los cuales se logra la levedad y transparencia del edificio, al menos, desde las vistas laterales. Por el contrario, la fachada frontal, de menor desarrollo y trabajada como lienzo del mural que la cualifica, exhibe piernas estructurales en su ancho mayor, levemente girados sobre ese plano (**fig. 27**). En términos de diseño estructural, se evidencia un deliberado sobredimensionamiento de las secciones propuestas, estrategia común en el período de estudio, en que se optaba por asegurar la resistencia sísmica por medio del empleo de elementos estructurales de secciones mayores. Algo que ha seguido siendo desarrollado progresivamente con mayor precisión hasta el presente.

La condición monolítica, de rigidez y las posibilidades plásticas del hormigón armado, se pueden observar particularmente en el edificio de oficinas administrativas, en cierto modo, de forma contradictoria. Por un lado, la plataforma que recibe el prisma de los niveles superiores, conformada por el sistema de vigas y losa, es ante todo, un volumen masivo, con vigas de grandes secciones y colocadas próximas unas de otras. Si bien, en estricto rigor, no corresponde, se asocia con la forma de construcción de casetonados. Es decir, conceptualmente, como un cuerpo lleno al que se le sustraen porciones de masa y conservando las nervaduras que otorgan rigidez y resistencia. No es el caso en este edificio, pero su morfología masiva de la losa inferior y el esqueleto del sistema, se aproximan más a una estructura pesada, no del todo depurada y liviana. Sin embargo, los machones diagonales y sucesivos, alcanzaron secciones considerablemente menores, en especial en el lado menor y a pesar de ser los elementos que reciben las cargas del volumen total. La reducción de la sección pone en

evidencia también, un proyecto de cálculo estructural que debió aproximarse a los límites de dimensionamiento y rangos de seguridad vigentes para entonces.

La terminación de los cabezales de las vigas transversales, en forma de cuchilla y similar a una escuadra, se relaciona también con la idea de disminución de material, peso, y por tanto, economía presupuestaria, que pone en evidencia una búsqueda cuya forma sintetiza el orden y composición del cuerpo construido. Una suerte de lenguaje articulado entre la arquitectura y la ingeniería. Esta misma lógica se puede observar en los contornos de las losas (del edificio de oficinas administrativas y de la biblioteca), o en el tratamiento de vigas.

Materia: sistema de construcción, materiales y sus propiedades:

El empleo del hormigón armado y albañilerías, en este caso en particular, suponen una respuesta adecuada a una limitante determinante para el uso de otros materiales, como el acero. Debido a su emplazamiento en el borde costero, la acción corrosiva del ambiente salino aporta restricciones para la elección de los materiales. Pero en la Estación de Montemar, haber recurrido al hormigón armado, se corresponde también con los múltiples factores que conformaron el proceso proyectual y de construcción, como se ha intentado presentar en esta parte del trabajo. Incidieron en ello, fundamentalmente sus propiedades físicas, su cualidad monolítica, la apertura hacia la configuración de un mayor repertorio de posibilidades formales, y evidentemente, la asociación con su capacidad sismorresistente asimilada en el período.

Es evidente que la posibilidad de haber considerado -parcial o totalmente- el edificio en acero, a la vista era inviable por las condiciones ambientales y la reducida durabilidad de la vida del edificio. Sin embargo, la obra consideró algunos elementos interiores, como escaleras, en este material, e incluso, en el exterior, como barandas y pasamanos, ubicadas a lo largo de los recorridos de las rampas y pasarelas de circulación.

Si bien el hormigón armado pareció ser la mejor opción material para la construcción de la obra, en combinación con paños de albañilería, es necesario tener en cuenta que la atmósfera salina y su continua acción corrosiva sobre los elementos ferrosos, es muy agresiva. La constitución del hormigón, que combina propiedades materiales del cemento (resistencia a la compresión) y de las enfierraduras de acero (resistencia a la tracción), sintetiza en un solo material, las fuerzas principales a que se exponen las construcciones durante un evento sísmico. Pero por otro lado, al tener un entramado interno de fierro, presenta un grado de vulnerabilidad a la corrosión, incluso considerando una mezcla cementicia homogénea que le

otorgue total recubrimiento. Puede contribuir en esto, la absorción de humedad salina por capilaridad, o bien, por el grado de porosidad en una faena deficiente constructivamente, o bien, por errores de construcción relativos al distanciamiento entre la enfierradura y el plano de terminación del elemento de hormigón.

Una vez ha penetrado el agua, la expansión del fierro por la oxidación es inevitable, y en consecuencia, la ruptura –en mayor o menor grado- de la masa del elemento en cuestión. Este tipo de patología se puede observar en la actualidad en parte del conjunto. Pero lo que interesa relevar aquí, es la importancia de las propiedades, cualidades y defectos de un determinado material, que en un medio altamente sísmico, pueden verse agravados.

Como ya se adelantó, las diversas unidades del conjunto, están conformadas por un sistema mixto de hormigón armado y albañilería, que en ciertos casos, corresponde a albañilería reforzada, y en otros, a sistemas porticados.

Otro aspecto material, ligado también al problema estructural y a la estrategia proyectual elaborada por Gebhard, fue la inclusión de juntas de dilatación o separación entre bloques. Constructivamente, fueron consideradas como vía posible para la construcción del conjunto por etapas, pero desde el punto de vista del cálculo estructural, son necesarias –como se sabe- no sólo para el desarrollo del proyecto, sino también como una medida preventiva en la generación potencial de daños durante un sismo, como consecuencia de las diferencias en el comportamiento de las distintas unidades.

Es interesante destacar que si bien en la Ordenanza de 1936, si bien de modo implícito, se consideró la dilatación entre unidades (específicamente en el caso de construcciones vecinas), no hubo aún una noción asociada al cálculo que así lo haya estimado. Al menos en la reglamentación chilena. Pero lo que resulta notable, fue que en la modificación enviada en 1940 (decreto N°3388) se haya dispuesto que

Cada edificio se construirá, en general, como un cuerpo o conjunto de cuerpos aislados, en forma rectangular, con sus muros propios independientes (...) [y] no podrá construirse [edificios] formando un solo cuerpo con los edificios vecinos (...) (Decreto 3388, 1940, inciso 14).

Esta disposición fundamental en la prevención de daños estructurales, tanto para conjuntos como para unidades vecinas y pareadas, fue sin embargo, excluida del texto definitivo aprobado en 1949. No se tiene evidencia de las razones que motivaron esta decisión ni de los actores que la promovieron. Pero no cabe duda de que significó un retroceso, en contraste con los aportes sustanciales incorporados.

A pesar de ello, Montemar debió considerar juntas, en particular, a lo largo de las uniones que conectaron las distintas etapas de construcción, lo que se explica por la necesidad impuesta por el proceso de construcción del conjunto en etapas. Sin embargo, es evidente que la decisión excedió las disposiciones de la Ordenanza colocándose en este sentido, en una posición avanzada en comparación a la estructura de regulación nacional (las juntas fueron consideradas recién en la Norma NCh 433 de 1972). Este hecho, pone de manifiesto que las herramientas y conocimientos con que contaban los profesionales, abarcaron un espectro mayor a los contenidos en la Ordenanza. Y recíprocamente, que no todos los avances en materia de cálculo de estabilidad al menos, estuvieron volcados en el instrumento regulador.

Durante la primera mitad del siglo XX, las nociones sobre la importancia y las limitaciones de la esbeltez de los elementos estructurales y su potencial vulnerabilidad frente a la destrucción, estaba presente, al menos de modo intuitivo. Del mismo modo que la asociación de las construcciones de hormigón armado, su rigidez y sismorresistencia. Esto se puede observar en una de las modificaciones introducidas a la Ordenanza General, en la que señala que

“Los muros, antetechos, cortafuegos, chimeneas y otros elementos que sobresalgan de la techumbre, sean constructivos o decorativos, deberán calcularse a la acción de los temblores (...) [y] se recomienda que (...) sean totalmente de hormigón armado; pero se permitirá que los esfuerzos sean transmitidos por cadenas y pilares.”⁷

⁷ En: Modificaciones en carácter transitorio introducido a la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización del 20 de noviembre de 1935. En: Maldonado, Pfenning, 1965:87). Decreto 2233 del 20 de Abril de 1942.

El hormigón armado, ya con anterioridad a esta fecha⁸, fue sinónimo de garantía de estabilidad y seguridad, que como se observa en la cita anterior, considera también las componentes resistentes del sistema porticado de pilares y cadenas. Es importante, notar sin embargo, que a pesar de la valoración del material, se plantea en términos de recomendaciones y no con carácter de obligatoriedad. Cuestión que se puede explicar en parte, por no ser aún un material totalmente masificado para entonces, de costos elevados en comparación con las albañilerías y la madera. Además de estas cuestiones, es importante tener en cuenta la competencia de las industrias asociadas a la construcción, que abarca círculos más amplios que los procesos de fabricación e incorporación de materiales y tecnologías. Esto se puede observar, por ejemplo, en la prevalencia que conquistó la industria del cemento y del hormigón armado, por sobre las estructuras de acero, ampliamente difundidas en las construcciones (obras civiles y edificaciones) en Estados Unidos.

Por otra parte, los edificios de hormigón armado [Clase B], la nueva Ordenanza (1949) exigía la consideración de losas del mismo material, que debían ir “ligadas solidariamente a la estructura soportante de manera que se evite su destrucción en caso de temblor”, por tanto, entendido en su condición material y estructural, el hormigón armado requiere y suponía entonces, un trabajo continuo (solidario) estructuralmente y monolítico, que incide en último término, en la composición y forma de la obra. Algo que se puede observar con cierta claridad en las unidades construidas durante la segunda etapa de la Estación de Montemar, y en especial, en el edificio de oficinas⁹.

La búsqueda plástica, tectónica y formal del pilar en V: Durante la primera mitad del siglo XX, una parte importante de los países del cono sur confluyeron, por distintas vías, hacia un proceso de estrategias desarrollistas¹⁰, las que se materializaron de formas diversas.

Países como Brasil, Venezuela, Argentina y Chile, marcados por el liderazgo de gobiernos autoritarios, fueron reflejo de algunas de estas transformaciones. Este período coincidió además “régimenes estatistas y liberales, democráticos y dictatoriales”, todos ellos acoplados al “clima modernizador (...) de nacionalismo económico y político.” (Almandoz, 2013:268). A partir de la década de 1930 -y desde 1950 con mayor énfasis- la

⁸ En 1908 fue fundada la primera planta de cemento en Chile, ubicada en La Calera (Cemento Melón, actualmente aún en funcionamiento). Con anterioridad a esa fecha, debía importarse principalmente desde Estados Unidos y Europa.

⁹ Este apartado será desarrollado con mayor extensión. Se considera un análisis de la obra que recoja algunos de los principales conceptos y criterios contenidos en la Ordenanza General, en las versiones de 1936 y 1949, con el fin de determinar aquellas disposiciones que pudieron haber determinado parte del resultado formal de la obra.

¹⁰ Definir conceptos y precisar afirmación.

gran mayoría de las naciones latinoamericanas fomentaron políticas económicas basadas en la *Industrialización por Sustitución*, lo que generó un período de relativa prosperidad, especialmente en las grandes economías, como Argentina, Brasil, México (Almandoz, 2013).

Parte de ese proceso se llevó adelante a través de cuantiosas inversiones en obras públicas, algunas de ellas de carácter monumental. Un ejemplo de ello, aunque algo más tardío en comparación a Argentina y Chile, es el caso de Venezuela, gobernado por el dictador Marcos Pérez Jiménez (1952-9). En Brasil en cambio, Getulio Vargas, que gobernó interrumpidamente entre 1930 y 1945, propició el desarrollo a través de la industria. En Chile, en tanto, lo hizo Carlos Ibáñez del Campo, quien fortaleció el aparato estatal por medio de la creación de un conjunto de instituciones. Como se observó en la primer parte de este trabajo, la Ley 4.563 fue, entre otras cosas, un instrumento orientado a la planificación de las ciudades, de las construcciones y sus procedimientos, promulgada durante el régimen de Ibáñez. En este sentido,

La planificación de la economía y (...) [el] desarrollo de las obras públicas (...) constituyeron los más destacados aportes de un gobierno que esperaba llevar a Chile por la senda de la modernización material. Entre los resultados de esta acción se cuenta la aplicación de los primeros planes de vialidad científicamente estudiados que se ejecutaron en el país. (Booth, 2009:100).

En este escenario, los caminos y puentes, pasaron a ser íconos de aquel desarrollismo, y medios de difusión de una idea nacional de progreso. Pero fue en los puentes donde probablemente la monumentalidad dio cabida a la expresión y puesta en escena de los avances tecnológicos que posibilitaron la conectividad. Si bien dicho proceso se desarrolló desde la segunda mitad del siglo XIX sobre todo en Europa, fue durante el siglo XX en que los puentes adquirieron mayor protagonismo, sobre todo, por la expansión de la producción de acero y del hormigón armado, ambos materiales que ofrecieron soporte para salvar grandes luces.

Brasil asumió el proceso de modernización (en un sentido amplio) también a través del fortalecimiento del Estado y sus instituciones. Una de las herencias de aquel proceso a gran escala, se tradujo en ambiciosos planes urbanos, desarrollo de grandes proyectos habitacionales y de vivienda social,

inversión en infraestructura pública, entre otras. La obra de mayor envergadura, fue sin duda, la erección de la nueva capital (Brasilia, 1956-1960), donde le cupo un destacado rol a Lucio Costa (especialmente en el diseño del plan), y a Oscar Niemeyer, en el proyecto y ejecución de un número colosal de edificios.

Por otro lado, el arquitecto también brasilero, Affonso Reidy, cumplió un destacado rol, aunque de menor figuración que el anterior, en especial, debido a una muerte temprana, pero también, por una marcada menor producción arquitectónica, que se explica en parte, por su aporte al sector público.

Affonso Reidy y Enrique Gebhard comparten algunas similitudes, como arquitectos, en la visión frente a la sociedad y el rol del arquitecto, y en ciertos rasgos formales y cualidades espaciales presentes en las obras. Tanto Reidy como Gebhard compartieron una marcada preocupación por la dimensión social de la profesión, en particular en torno al problema de la vivienda social, debatida con mayor énfasis a partir de la década de 1930. En segundo lugar, ambos desarrollaron parte de su carrera profesional en el sector público, al interior de ministerios (en el caso de Gebhard) y en el gobierno local o municipal (en el caso de Reidy).

En cierto sentido, se trata también de personajes que han quedado relegados a una segunda esfera de influencia en la historiografía de la arquitectura del período, debido tal vez al reducido elenco de obras construidas y en parte también, a una vocación centrada en el ejercicio profesional auténtico y en la responsabilidad social del arquitecto, antes que la prevalencia de la figura. Las conexiones probables de la obra de Gebhard, y en particular de la Estación de Biología Marina, con la arquitectura brasilera, han sido planteadas por la literatura especializada en términos aún generales.

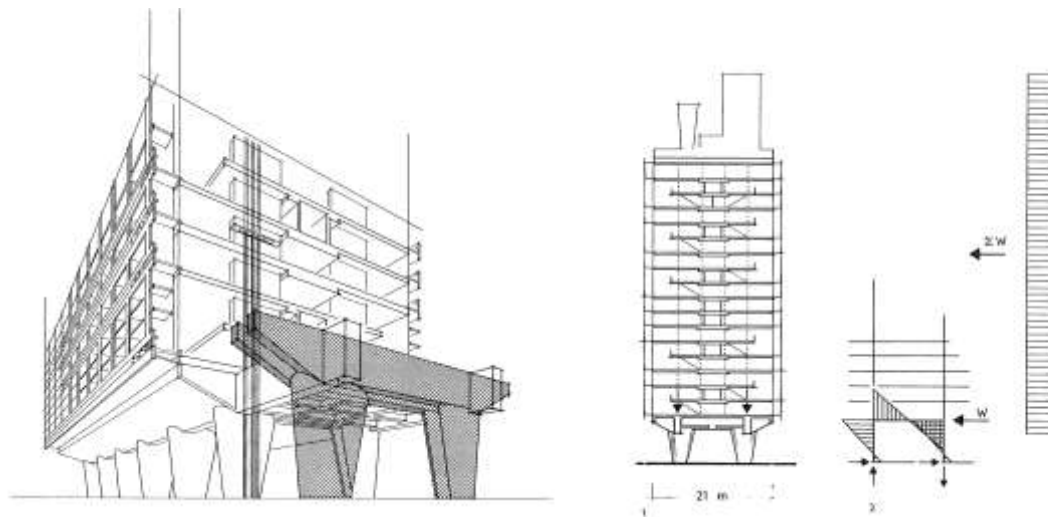
Esta tesis propone ahondar en las relaciones entre Gebhard y sus pares en Argentina y Brasil, dos naciones con las que tuvo contacto directo durante parte de su carrera profesional que coincide también con el período de construcción de la obra. Lo que interesa también poner en valor aquí, son las posibles razones que tuvo el arquitecto, o al menos, identificar similitudes con otros casos (Brasil y Argentina) que puedan haber aportado ... respecto de los cambios introducidos por Gebhard en las distintas etapas del proyecto. Es decir, una primera versión del anteproyecto (**fig. 6.6**); tres versiones graficadas en planta del conjunto (**fig. 6.11**); y por último, las modificaciones materializadas en la ejecución de la primera etapa de la obra en contraste a la segunda. La aproximación de análisis en este caso, propone profundizar más allá de supuesta razón estructural en atención al fenómeno sísmico que ha referido la literatura al respecto.

El empleo de elementos estructurales en “V” se remonta a las construcciones de la antigüedad, siendo reinterpretadas, de acuerdo a las técnicas disponibles, en distintos momentos históricos y culturales. Siegel refiere en este sentido, el uso de estructuras en V invertida desde los Zigurats de Sumeria, pasando por contrafuertes y arbotantes en el Románico y Gótico respectivamente, hasta las variantes desarrolladas en obras modernas, principalmente en Europa.

En el espectro de la denominada arquitectura moderna (europea), la obra Le Corbusier es probablemente la que explora con mayor fecundidad el problema entre la escala urbana y la unidad edilicia a través del desarrollo del primer nivel como planta libre. Desde la aproximación analítica que propone esta tesis, esto es importante, porque es la planta del primer nivel la que representa mayor interés al ser el plano que se ve sometido a mayores esfuerzos durante un evento sísmico. Por tanto, la solución estructural, su configuración y las relaciones del volumen superior y de sus fundaciones son factores que pueden determinar un adecuado desempeño sismorresistente, y al mismo tiempo, incidir en la constitución morfológica de la unidad edilicia.

Uno de los proyectos más representativos en la obra de Le Corbusier, en el que explora una variante de los apoyos de la planta libre, es en la Unidad Habitacional de Marsella (1946-52). El volumen que aloja las viviendas en altura, agrupadas en un paralelepípedo regular coronado por una cubierta aterrazada que recibe parte del programa comunitario del edificio, y el alzado de ductos de ventilación y de servicios formalizados con irregulares formas construidas en hormigón armado, es sostenido por un sistema de mixto de machones, vigas maestras longitudinales amarradas con pares de vigas transversales –achaflanadas en los extremos a modo de escuadra– y colocadas en los en el centro axial de los soportes verticales. Una solución similar a la desarrollada por Gebhard en el volumen de oficinas de la segunda etapa. El área interior de losa delimitada por el sistema de vigas maestras –longitudinales y transversales– está reforzada también con un sistema regular de vigas (**figs. 6.28, 6.29**). El sistema estructural de la planta del primer piso que aquí interesa enfatizar, está construido en hormigón armado y actúa por tanto, en un sentido monolítico e integrado, recogiendo en parte, las recomendaciones y disposiciones incluidas en la Ordenanza. Al igual que muchos de los informes técnicos referidos en pasajes anteriores, parte de las disposiciones de regulación enfatizaron la necesidad de garantizar la estabilidad de las construcciones –como medida preventiva frente a los sismos– asegurando una debida ejecución de obras, principalmente respecto a la continuidad de los elementos estructurales. Este punto fue particularmente importante, porque fue extensivo no sólo para aquellos edificios que contaran con más de una clase de construcción (sistema constructivo), sino que también, para aquellos casos como las edificaciones erigidas únicamente en hormigón armado. Aunque no fue un

requerimiento obligado, la Ordenanza intentó propiciar la homogeneidad constructiva y material, al menos en unidades aisladas. Montemar representa en este caso, un ejemplo al que concurren diversos sistemas, pero segregados en las unidades componentes del conjunto, y que no obstante, sintetiza una conjunción total.



Figs. 6.28, 6.29. Unidad de Habitación de Marsella, Marsella, Francia, 1946-52, Le Corbusier. Corte fgado, corte transversal y diagrama de momento aplicado sobre la estructura del primer piso (planta libre). En: Court Siegel, *Structure and Form in Modern Architecture*, New York, 1975.

En esta obra, los pilares de sección circular dispuestos regularmente sobre el perímetro de la planta baja –como sistema y lenguaje arquitectónico sintetizados de modo rotundo en la Ville Savoye (1929)- fueron en este caso sustituidos por elementos de sección irregular, semejante a la forma de embudo y virado en su eje normal (fig. 29). Si bien son elementos masivos próximos a la estructura muraria, conceptualmente se trata de una estructura en “V” (Siegel, 1975) donde la transmisión de cargas verticales son distribuidas concéntricamente de forma convergente hacia las fundaciones (fig. 30). Como “las paredes portantes resultaban una limitación para las exigencias de flexibilidad de las plantas que debían permitir la circulación ininterrumpida [Le Corbusier optó por] el uso del sistema aporticado” (Dembo, 2003:92), como en el caso de Marsella. Conceptualmente, el sistema “V” actúa como pares de pilares diagonales y cuya área intersticial comprendida por los dos vértices superiores y el vértice inferior es opaca y constructivamente rellena en hormigón armado. El paso de esta primer forma masiva a la utilización de estructuras en “V” más esbeltas, donde se dicho intersticio se vacía, fue un paso en la búsqueda plástica de estructuras más livianas, y al mismo tiempo, síntesis de un sentido racional en el uso, economía y ahorro material, que redunda en

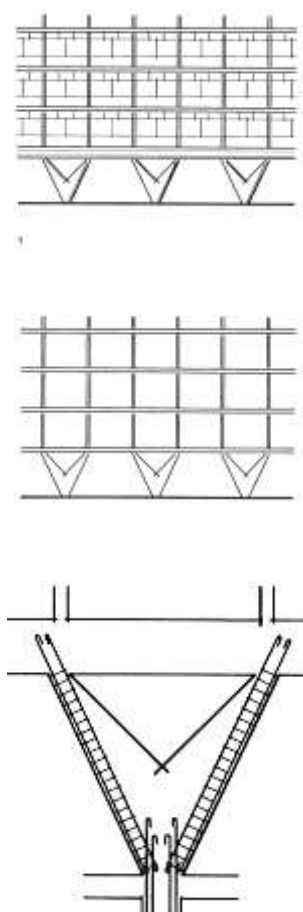
último término en la reducción de costos¹¹, en cuya búsqueda avanzó en extenso Oscar Niemeyer (**fig. 6.30**).

Un segundo caso de interés es el edificio de la Secretaría General que forma parte del conjunto de las Naciones Unidas ubicado en París (1953-8), proyectado por el arquitecto y diseñador industrial húngaro Marcel Breuer (1902-1981), en conjunto con el arquitecto Bernard Zehruss y el ingeniero italiano Pier Luigi Nervi. Un sistema estructural semejante a la Unidad de Habitación de Marsella, pero con una solución radicalmente distinta en planta en forma “Y” (**fig. 30**), esta obra recurre también a la solución de la planta libre por medio de elementos estructurales en “V”, edificados en hormigón armado. El edificio está estructurado en su primer nivel con marcos rígidos, entre otras razones, porque esta solución permite la generación de “good platforms on which to erect multistory buildings.” (Siegel, 1975:100). Y con ello, proporcionar alternativas de libertad programática y diseño arquitectónico. En este sentido, el marco rígido “is a form that opens up the building and at the same time, concentrates the vertical and the wind loads at its base in a structurally impressive way.” (Siegel, 1975:100). Ventajas que en el caso de los países sísmicos, se ven exigidas a soluciones que suponen comportamientos más complejos y violentos en comparación a la fuerza vectorial horizontal teórica que el viento supone sobre los planos de fachada. En ambos casos –vientos y sismos–, sin embargo, la búsqueda de soluciones estructurales y arquitectónicas del período de estudio, entre comienzos de siglo y 1950, aún no diferenciaban con claridad la acción de cada fenómeno sobre los edificios. En efecto, las nociones de cálculo, la mejor comprensión de lo sismos y la relevancia de los suelos y las fundaciones, se llevaron a cabo con mayor intensidad desde la segunda mitad del siglo en adelante.

La variante de planta libre en el edificio de la Secretaría General de Naciones Unidas explora la forma geométrica espacial en base al triángulo (como elemento básico de rigidez) articulados combinadamente en los soportes verticales y en las vigas. El sistema es concebido volumétricamente configurado geométricamente con un juego alternado de triángulos opuestos que aportan rigidez, transmisión y concentración de cargas. Las losas superiores en tanto, soportadas por muros colocados en el eje longitudinal de los pilares, son placas de hormigón ahuecadas para disminuir el peso y otorgar rigidez al plano horizontal (**figs. 6.34-6.37**).



Figs. 6.30. Estructura obra gruesa del Hospital Sul América, Río de Janeiro, Brasil, 1952, de Oscar Niemeyer. Detalle de nervaduras de acero de pilar en “V”; sección elevación longitudinal y esquema de cargas y estructura. En: <http://commons.wikimedia.org>

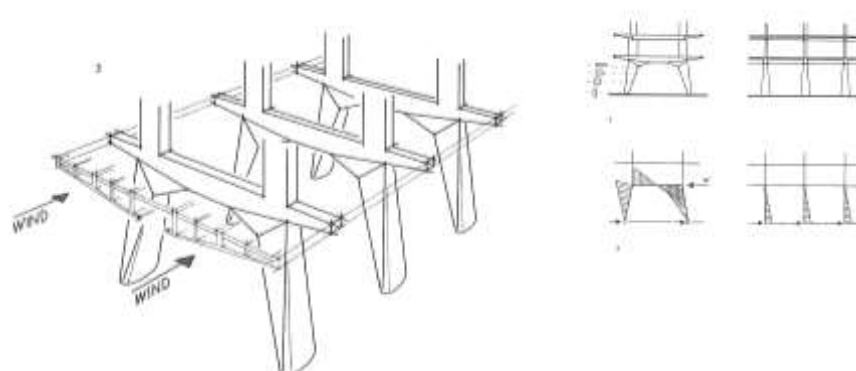


Figs. 6.31, 6.32, 6.33. Esquema estructural del Hospital Sul América, 1952. Detalle de nervaduras de acero de pilar en “V”; sección elevación longitudinal y esquema de cargas y estructura. En: Court Siegel, *Structure and Form in Modern Architecture*, New York, 1975.org

¹¹ En el problema de la vivienda, este fue un uno de los factores importantes relacionados con las políticas de provisión de vivienda social, tanto en la Europa de entre y posguerra, como en los países latinoamericanos.

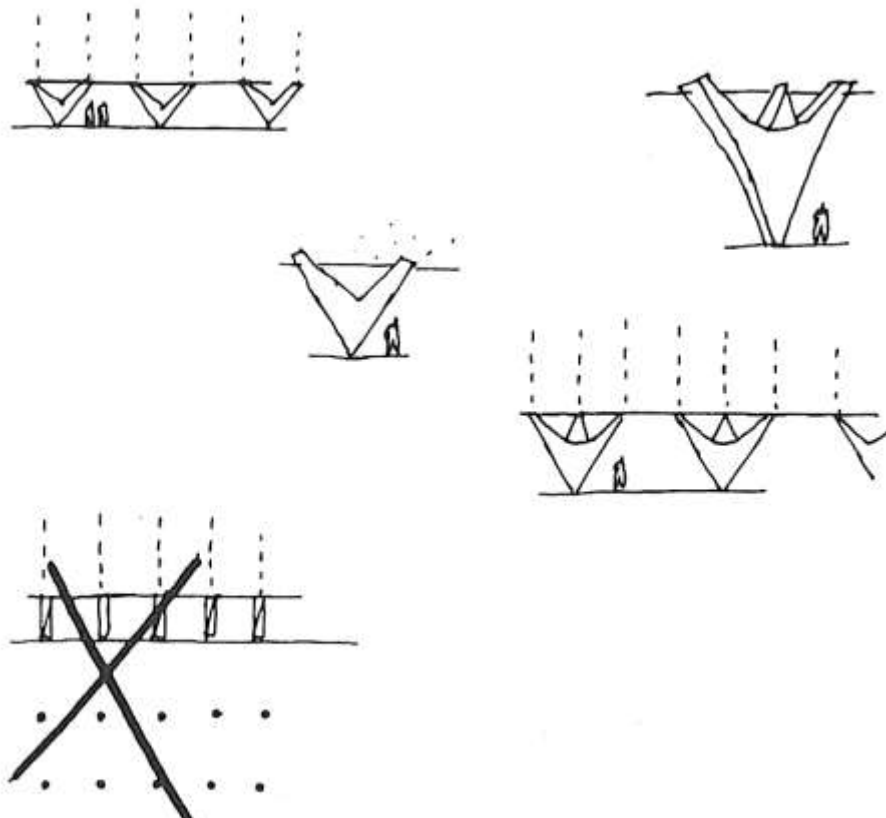


Figs. 6.34, 6.35 Plano de emplazamiento conjunto Naciones Unidas, París y corte fugado planta primer nivel N. U. París, 1953-8. En: Court Siegel, *Structure and Form in Modern Architecture*, New York, 1975



Figs. 6.36, 6.37 Esquema de esfuerzos y sistema estructural. A la derecha, diagramas de momento de la planta del primer nivel. Edificio N. U., París. 1953-8. En: Court Siegel, *Structure and Form in Modern Architecture*, New York, 1975.

La exploración de otras alternativas del *pilotis* fue desarrollada también por Oscar Niemeyer y Affonso Eduardo Reidy en Brasil. Debido a la prolífica obra de Niemeyer, tales variantes alcanzaron un mayor espectro de posibilidades formales y estructurales (en comparación con los edificios diseñados por Reidy) que en ciertas obras institucionales, lograron una expresión de mayor esbeltez y con ello levedad estructural y arquitectónica. Esto se puede observar en parte de los edificios construidos en Brasilia, como el Palacio Planalto (1956), el Palacio Alvorada (1956) o, más tardíamente, el Palacio de Relaciones Exteriores (1960-70). Una solución similar en planta libre se presenta en dos edificios que acogen distinto programa, ubicación y fecha de construcción. El primero de ellos corresponde al Hospital Sul América, ubicado Rio de Janeiro (1952); y el segundo, al edificio de departamentos ubicado en Hansaviertel, Berlín, Alemania (1957).

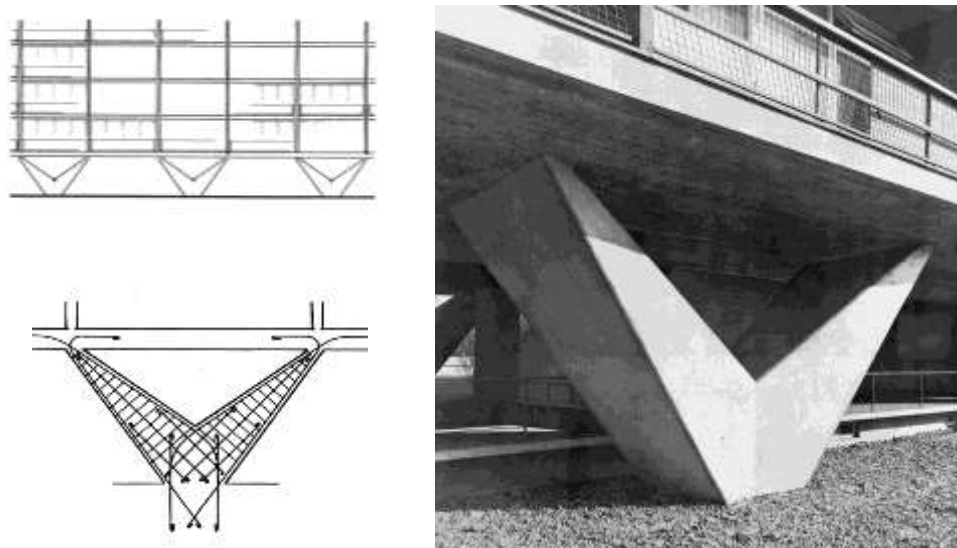


Figs. 6.38 Croquis de variantes del pilotis desarrollado por O. Niemeyer. En: Hugo Segawa, *Arquitecturas no Brasil, 1900-1990*, Sao Paulo, 1999.

Similar a la solución estructural empleada en el edificio de la Unesco en París de Breuer, Zehrffuss y Nervi, el edificio de departamentos en Berlín, construido en hormigón armado, Niemeyer utiliza pilares en “V” de sección variable y pensados como elementos tridimensionales, donde las cargas se transmiten a lo largo de un plano superior de superficie reducida al mínimo (casi una arista). A partir de ésta, la transmisión de cargas confluye en un plano de convergencia correspondiente a la intersección de las piernas de cada una de las componentes de la estructura en “V”, para de este modo, aglutinar pares de cargas verticales hacia un solo punto basal (**fig. 6.38**).

Los estudios formales a través de los cuales Niemeyer indagaba las posibilidades constructivas, plásticas y estructurales del pilotis recto, fueron duramente criticados por posturas más ortodoxas respecto de la relación entre la forma y la función de los elementos. La monografía dedicada a la arquitectura de Brasil, contemporánea al año de su publicación (1954), de la revista *Architectural Review*, se refería a las exploraciones morfológicas alternativas al *pilotis* (cilindro puro), como extravagancias y

superficialidades, ajenas a la esencia de la arquitectura, donde la forma sigue a la función¹², y como actos arbitrarios sin mayor fundamento. Dado el año de su edición, es probable que haya estado dirigida al Hospital Sul America de Niemeyer (**fig. 6.39**). Sin ahondar en esta polémica, es interesante poner de relieve que, sin embargo, estas variables formales cumplieron en efecto una función concreta en la arquitectura del período, y en particular, en aquella desarrollada en países sísmicos como Chile, donde lejos de ser un capricho, fue una necesidad funcional, estructural y, en último término, de seguridad.



Figs. 6.39 Esquema estructural del Hospital Sul América, 1952. Detalle de nervaduras de acero de pilar en “V”; sección elevación longitudinal y esquema de cargas y estructura. En: Court Siegel, *Structure and Form in Modern Architecture*, New York, 1975.

Una figura de menor difusión en la literatura de la arquitectura moderna de Brasil, pero que jugó un papel destacado, fue Affonso Eduardo Reidy (1909-1964). Arquitecto contemporáneo a Niemeyer y Lúcio Costa, desarrolló gran parte de su carrera profesional en Río de Janeiro, y en particular, como arquitecto municipal de la ciudad. Su obra abarcó tanto planes urbanos como conjuntos y edificios con programas diversos.

Una obra de interés para este trabajo, es el Conjunto de vivienda social Marqués de Sao Vicente, ubicado en Gávea, Río de Janeiro y corresponde a un plan de formalización un asentamiento preexistente de precarias condiciones. Su construcción se llevó adelante entre 1952 y 1955, pero sólo se ejecutó parte del plan maestro, que originalmente contemplaba siete bloques de vivienda contenidos en volúmenes rectos, regulares y paralelos, y

¹² “As formas livres sao puramente decorativas [...]. Inicialmente os pilotis eram retos, mas agora estao comencando a tomar formas muito barrocas. A boa arquitetura é aquela em que cada elemento cumpre sua finalidade e nunhum elemento é supérfluo (...). *Architectural Review*, 1954. En: Segawa, Hugo, *Arquiteturas no Brasil, 1900-1990*, Editora da Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1999.

otro cuerpo ondulado. El resto de los edificios alojaban un heterogéneo programa de servicios y equipamiento. De todo este vasto plan, sólo se construyó el edificio de departamentos en forma de “S” (**fig. 6.40**).

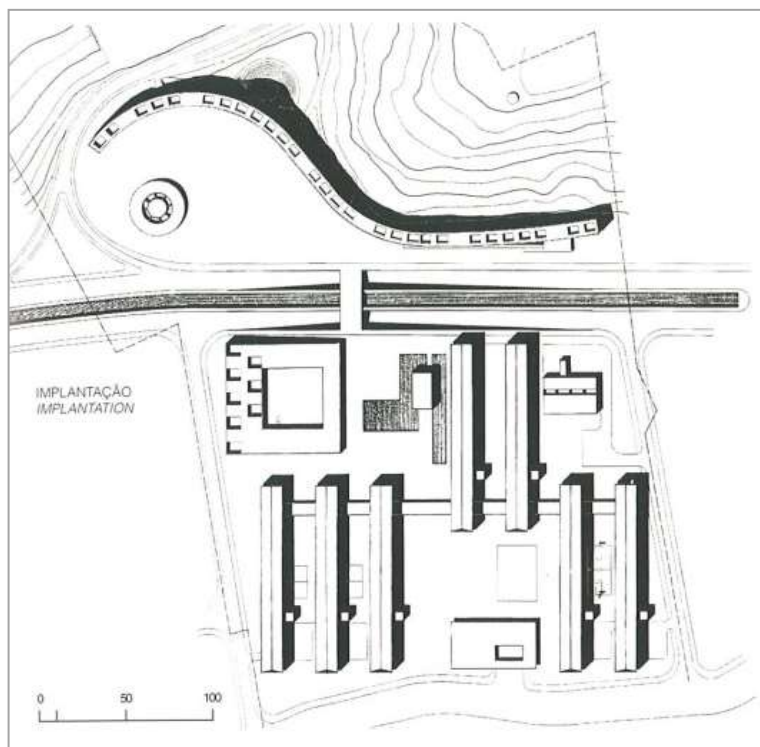


Fig. 6.40 Plano de emplazamiento. Conjunto Residencial Marqués de Sao Vicente, Río de Janeiro, 1952. Affonso E. Reidy. En: Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

El bloque superior (**fig. 6.40**), presenta una planta compuesta por curvas y contracurvas, de radios variables en cuyo extremo poniente se extiende en forma cuasi recta. Su forma se asocia con soluciones similares que encuentran sus antecedentes en el proyecto de viviendas Conjunto Residencial Catacumbas, desarrollado en Río de Janeiro en 1951 (**fig. 6.42**), y en especial, en el Conjunto Residencial Pedregulho (1946). Este último, de escala similar a Márques de Sao Vicente, está también conformado por una serie de bloques rectangulares, pero dispuestos de forma menos regular. Un gran edificio con tramos rectos y ondulados, se despliega a lo largo del borde de mayor longitud del predio (**fig. 37**). La topografía fue también una variable relevante en la solución propuesta por Reidy, que en Gávea adquirió proporciones monumentales y de compleja resolución, como se verá a continuación. El diseño propuesto por Niemeyer para el edificio de departamentos Copán (Río de Janeiro, 1952-7), recoge una forma del desarrollo en planta que muestra cierta recurrencia con los casos anteriores, y que también se vinculan, en su morfología y extensión de escala monumental, con los planes urbanos para Río desarrollados por Le Corbusier en su visita a Sudamérica en 1929 (**figs. 6.41, 6.43**).

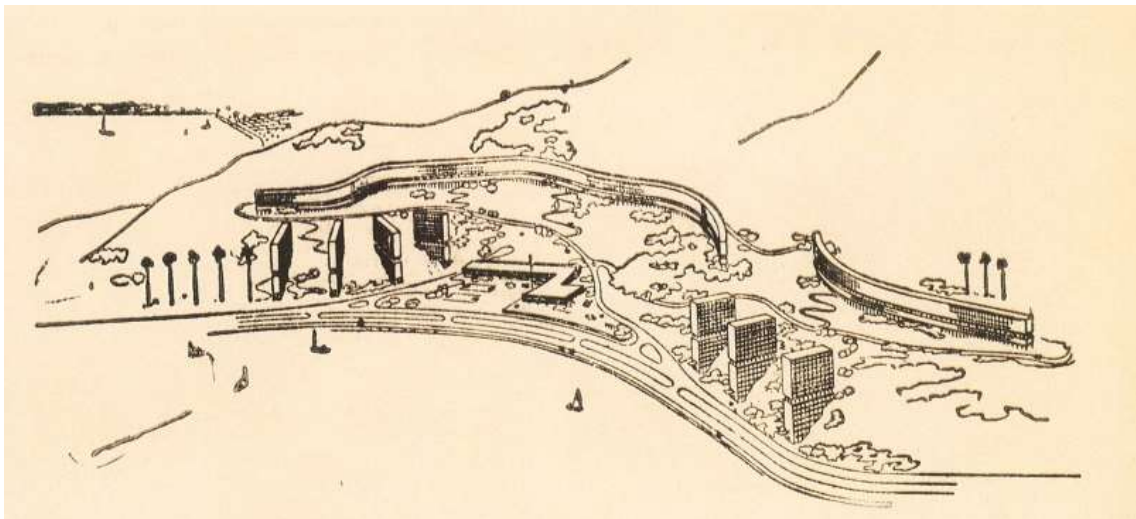


Fig. 6.41 Plano de emplazamiento, Conjunto Residencial Pedregulho, Río de Janeiro, 1946. Affonso E. Reidy. En: Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

En Pedregulho, Reidy elabora el gran bloque sinuoso, que aloja departamentos tipo A, mediante un volumen de crujía regular que varía de acuerdo a las curvas y contracurvas de la planta. Es un volumen de planta extruida, en cuyo primer nivel, se dispone la planta libre con pilares verticales y de sección circular. El encuentro entre el edificio y la pendiente del terreno, es absorbido por los *pilotis* de la planta baja, que manteniendo la misma sección, varían, sin embargo, en su altura, en función de las depresiones naturales. Arquitectónicamente, el nivel de calle pública, que en la práctica recoge la función de planta libre, se encuentra sobre una cota intermedia. Esta operación permitió la fundación del edificio en un terreno en pendiente y no intervenir la topografía preexistente (ya sea por razones económicas, de paisaje u otras). Arquitectónicamente, se trata de una reinterpretación conceptual de planta libre, acondicionada a las exigencias y dificultades de una topografía irregular, que consistió en resituar la planta baja a la altura de un nivel intermedio del edificio, en proyección del plano de acceso desde el espacio público por medio de puentes, y con ello conservar la continuidad visual en un cierto horizonte.



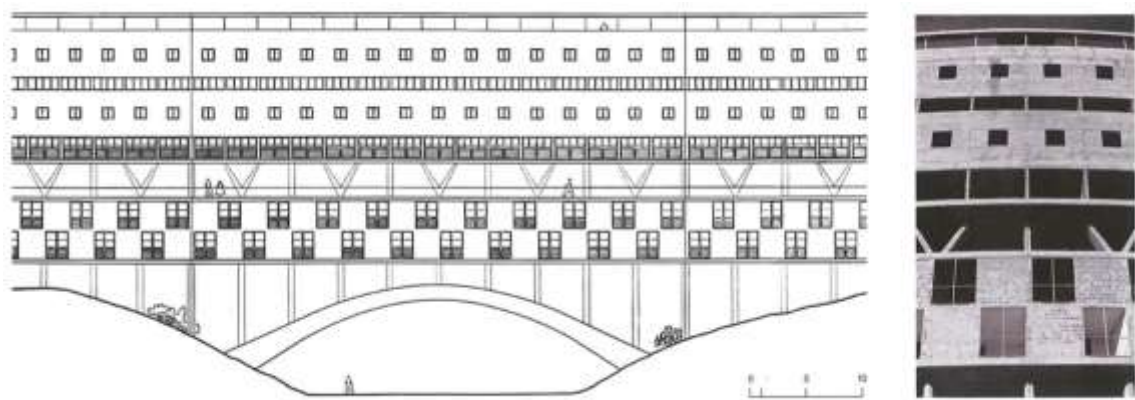
Figs. 6.42 Plano Conjunto Residencial Catacumbas, Laguna Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, 1951. Affonso E. Reidy. En: Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

Seis años después, Reidy ensaya nuevamente esta solución formal, con algunas variantes que son de interés para este trabajo, donde el rol de los ingenieros colaboradores (Carmen Portinho, Sidney Santos, David Astracan y Carlos de Oliveira Góes) fue decisivo. Esta unidad, que como se mencionó anteriormente, fue la única pieza del plan maestro que fue ejecutada, se emplaza sobre la pendiente natural del terreno, al igual que en Pedregulho. En Gávea, Reidy replica el traslado de la planta libre y nivel de acceso hacia un nivel intermedio del edificio, también con puentes conectores. La forma sinuosa de la planta es también un rasgo común. Sin embargo, hay tres cambios de índole estructural que merecen atención. Los dos primeros, se relacionan con las obras civiles y de infraestructura; mientras que la tercera, se refiere a la inclusión de una variante del soporte de la planta en “V” distinta a las observadas en las páginas anteriores.



Figs. 6.43 Croquis para Río de Janeiro elaborado por Le Corbusier, 1929.

Sumado a la complejidad estructural y programática que supone el asentamiento del edificio sobre un terreno en pendiente, el bloque debió considerar el atraveso de una vía vehicular elevada, aunque trazada y construida con posterioridad al proyecto y obra iniciales. Uno de los desafíos para los ingenieros y para el propio Reidy, estuvo marcado por la preexistencia de una importante depresión del terreno, que en su altura mayor alcanzaba cerca de 10 metros. El diseño condujo a la construcción de una suerte de puente de hormigón armado y de forma arcada, con lo cual se reducía la altura máxima y al mismo tiempo, no obligaba un replanteo de las secciones de los *pilotis* ni su modulación regular. Más allá del ingenio que representa la consideración de un puente como parte de las componentes estructurales, esta solución pone en evidencia también el estrecho vínculo entre las obras civiles de ingeniería y la arquitectura del período, donde la acción conjunta de arquitectos e ingenieros, sumada a la disponibilidad de recursos materiales y técnicos, contribuyeron a la amplitud del repertorio formal de la arquitectura.



Figs. 6.44 Conjunto residencial San Vicente de Gávea, 1952, E. Reidy, Elevación parcial fachada longitudinal. A la derecha, detalle construcción en obra gruesa. Nótese los machones en “V” de la planta intermedia y los vanos intercalados de las plantas inferiores. En: Afonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

En esta misma línea, los pilares en “V” colocados sobre la planta libre del nivel de acceso intermedio, es también otra de las particularidades de esta obra. A diferencia de los casos citados anteriormente, Reidy reinterpreta el soporte con pilares aplanados, cuyo lado mayor corre perpendicularmente a la crujía del edificio, mostrando así, hacia ambas fachadas longitudinales, la sección menor y con ello, un el lado más esbelto. Un segundo rasgo de los machones, se observa en el grado de inclinación del eje gravitacional del lado mayor (figs. 6.47, 6.48), lo que sumado a la compleja perspectiva al interior de la planta libre derivada de un punto de fuga siempre cambiante – por las curvaturas en planta-, aumentan su condición espacial dinámica durante el recorrido.



Figs. 6.45, 6.46 Fotografías del conjunto en etapa de construcción. En la parte inferior, el puente de hormigón armado con andamiajes y moldajes de madera. A media altura, los machones en “V”. En: Afonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.



Fig. 6.47 Fotografía de la planta libre a media altura (nivel de acceso al conjunto). Se observan los machones en “V” girados en elevación. En: Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

Fig. 6.48 San Vicente de Gávea, en atapa de construcción. Se observan los sistemas de construcción empleados: estructura de hormigón armado y tabiquerías de albañilería. En: Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

Un último elemento que se debe destacar es la composición de las fachadas, en las que se intercalan ventanas corridas, con vanos modulares de sección cuadrada colocadas a lo largo de un par de cintas de hormigón (sobre el nivel de acceso); y un tercer orden, también de vanos de forma cuadrada de mayor superficie que recorren la cinta inferior al nivel de planta libre, en forma de zig-zag alternada y regularmente. La cubierta corona el edificio acusando el retranqueo del plano de fachada, logrando así, la lectura de un llenos y vacíos horizontales (calle y cubierta), puntuales (vanos) y variables en el plano que amortigua la irregular topografía con la losa del primer piso (**figs. 6.49**).

Para esta investigación, además de los machones en V utilizados por Reidy, el puente arcado de hormigón armado que salva la luz de la depresión del terreno natural en que se emplaza el edificio, son los elementos de mayor interés y que establecen una síntesis expresiva con las obras civiles y el trabajo de los ingenieros, pasando a ser elementos distintivos de la composición formal del volumen. En términos materiales y estructurales, el uso de hormigón armado en puentes “generó una opción ante las estructuras de acero, al permitir mayor flexibilidad en el tema de la forma (...) [y] obtener continuidad estructural en el elemento portante, lo que se traduce en mayor rigidez.” (Dembo, 2003:112).



Fig. 6.49 Fotografía a vuelo de pájaro del conjunto, posterior a su construcción. Se observa la autopista que atraviesa el edificio, intervención posterior a su construcción. En: Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

Como se ha intentado exponer de modo sintético en las páginas anteriores, la búsqueda formal de las variantes del *pilotis ortodoxo* empleado por Le Corbuiser, llevó a diversas alternativas plásticas y estructurales de la mano principalmente de Niemeyer y Reidy en Brasil, dos de los principales exponentes de la arquitectura moderna de ese país. Esta exploración derivó en la inclusión de pilares en “V” tratados como volúmenes. En este escenario, Reidy introdujo una nueva reinterpretación de mayor esbeltez y trabajada como elementos laminares. Por otro lado, la rotación del eje de vertical aporta también una condición espacial pero también estructural, al contrarrestar esfuerzos laterales.

No hay evidencia concreta que permita aventurar una *influencia* directa de la arquitectura brasilera, con la obra de Gebhard, y en particular, en la Estación de Biología Marina, que debido a las etapas de construcción distanciadas en el tiempo, permiten identificar y analizar los cambios introducidos entre una y otra. Un primer examen, sin embargo, del conjunto, las propuestas espaciales y estructurales presentes, y de las lógicas proyectuales sintetizadas en la obra, posibilita la relación con algunas de las obras revisadas hasta aquí, y en especial, con el edificio de departamentos en Gávea, de Reidy.

La Estación de Biología Marina, despojo material y ligereza estructural: Los elementos estructurantes presentes en el conjunto emplazado en Montemar, son representativos de un momento clave del proceso de regulación sísmica en el país. Su construcción en dos etapas, permite observar estrategias proyectuales arquitectónicas y criterios estructurales que exponen dos modos de aproximación programática y solución morfológica. Si la primera fase estuvo regida por la disposición de volúmenes puros y cerrados, y cuyas plantas bajas descansan en toda su extensión en el terreno, arraigados mediante fundaciones corridas perimetrales; los edificios de la segunda etapa lo hicieron en un sentido inverso. Tales cuerpos (en especial el edificio de oficinas), fueron concebidos como volúmenes elevados del terreno natural mediante complejos sistemas estructurales articulados mediante losas, vigas y machones que, en su conjunto, transmiten las cargas y esfuerzos convergentes en nodos de fundación en forma de dados (**figs. 6.50, 6.51**).

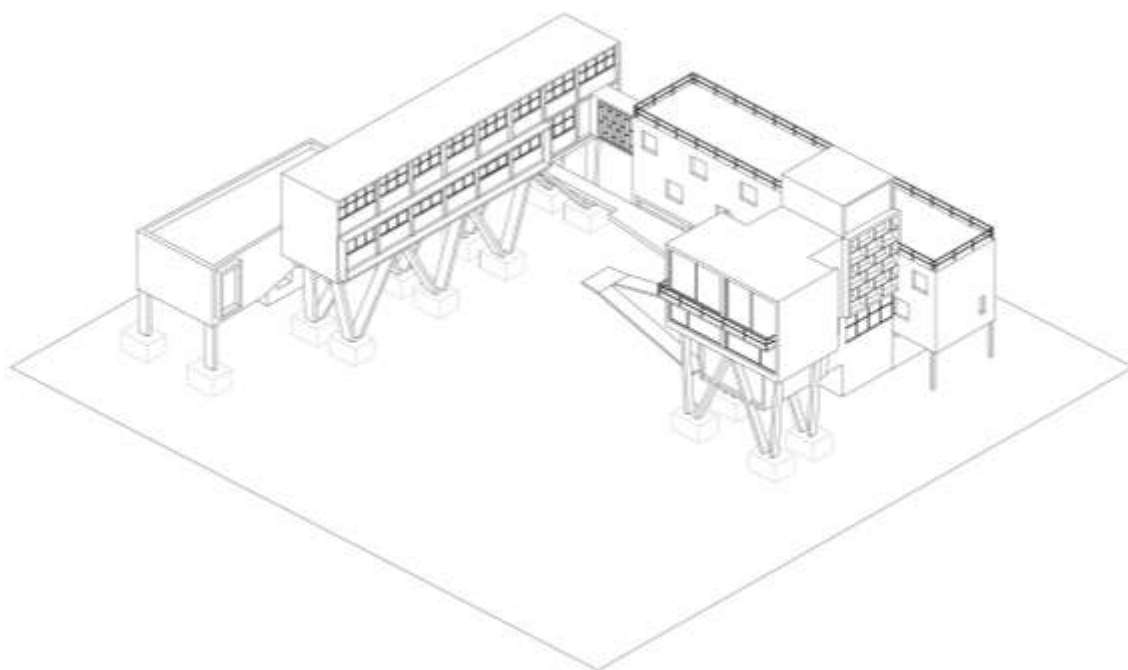


Fig. 6.50 Conjunto Estación de Biología Marina Montemar, Reñaca, V región. Reconstrucción modelo 3D.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

Las variantes estructurales más distintitas empleadas en dichos sistemas, radican en los machones en “V”, levemente rotados en sus tres planos cartesianos, para asegurar así un suficiente grado rigidez en los planos longitudinales y transversales de cada cuerpo. Esta operación arquitectónico-estructural sugiere un conocimiento tácito de uno de los aspectos sustanciales que incluyó la Nueva Ordenanza General de 1949 (a través del cálculo dinámico) y que, entre otras materias, redundó en la consideración del centro de gravedad y centro de masa de cada elemento estructurante, la relevancia central de las fundaciones en el comportamiento y desempeño de un edificio sometido a esfuerzos sísmicos, y sobre todo, la interpretación de las fuerzas que actúan durante un evento en un sentido tridimensional, con velocidad y aceleración, y la confluencia de tensiones multidireccionales. Por ello la disposición levemente rotada de los machones en “V” no sólo refieren medidas de atenuación de efectos de torsión en planta, sino que también, la compleja propagación de las ondas sísmicas desde el terreno hacia las fundaciones, y desde éstas, hacia el resto del sistema arquitectónico.

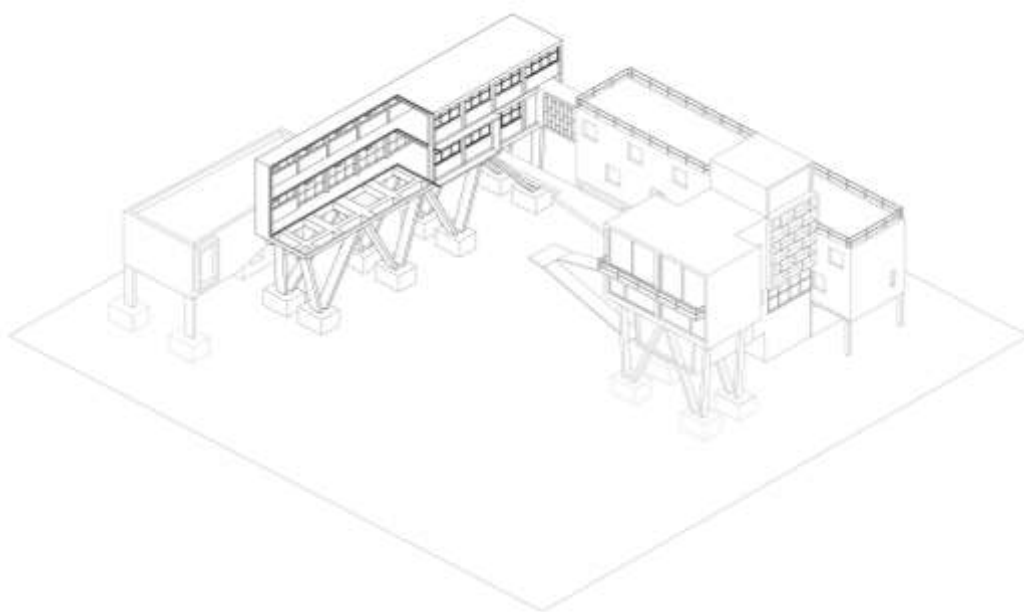


Fig. 6.51 Conjunto Estación de Biología Marina Montemar, Reñaca, V región. Reconstrucción modelo 3D. Axonométrica cortada.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

Por otro lado, el sistema constructivo y material predominante en la obra de Gebhard (en particular en los cuerpos agregados en la segunda etapa), dejan en evidencia el rol esencial depositado en el hormigón armado, empleado en diversas formas estructurales: pórticos, muros, machones, diafragmas y, evidentemente, fundaciones (**fig. 6.52**). Con todo, es importante subrayar que ninguna de las piezas arquitectónicas que forman parte del conjunto, tiene una condición monolítica en hormigón armado, a diferencia del Ministerio de Hacienda. De hecho, el principal sistema constructivo corresponde a marcos

rígidos que confinan paños de albañilería o tabiques no estructurales, apoyados (en la base) y amarrados (en la cubierta) por diafragmas infinitamente rígidos de hormigón armado, estructural y materialmente solidarios a los anteriores.

El hecho arquitectónico más significativo, radica sin embargo, en la construcción de plantas bajas despojadas de soportes estructurales redundantes y paramentos secundarios (en este caso) accesorios. Principalmente, en los volúmenes de oficinas, auditorio y biblioteca. Los alcances de esta propuesta arquitectónica rebasaron pues, una de las principales limitaciones edificatorias endémicas en el país, al superar construcciones compactas arraigadas al terreno de fundación en toda la planta baja o en los planos de subsuelo. La Estación de Biología Marina es, en este sentido, una obra que sintetizó aproximaciones arquitectónicas, estructurales, constructivas y materiales centrales del período, y que estableció un orden espacial y plástico complejo (para un medio altamente sísmico) alejado de soluciones formales predominantes en el país.

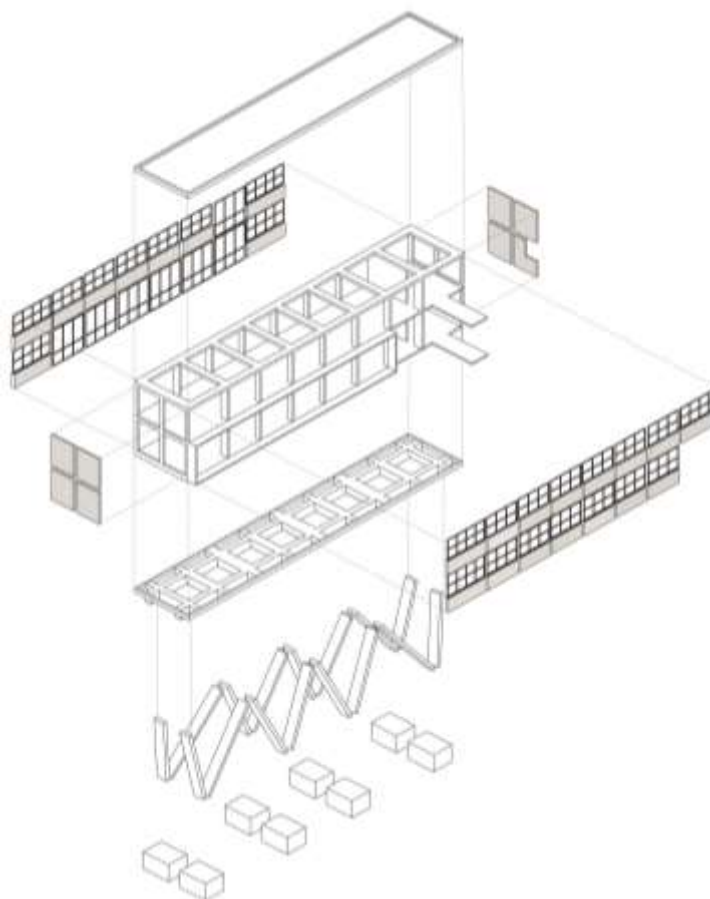


Fig. 6.52 Estación de Biología Marina Montemar, Reñaca, V región. Reconstrucción modelo 3D, edificio de oficinas. Axonométrica explotada.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

Capítulo 7: Edificio Corporativo ENDESA. Síntesis arquitectónica del nuevo paradigma sismorresistente.

**La expresión plástica de la forma sismorresistente:
tectónica, estructura vista y planta libre.**

Introducción: El edificio de la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (Endesa), construido entre 1961 y 1968 (Larrañabel, 1969), es una obra notable desde distintos puntos de vista. El presente capítulo, sin embargo, examina específicamente aquellas cualidades arquitectónicas, estructurales, constructivas y materiales con énfasis en los criterios y decisiones proyectuales adoptados en función al diseño sismorresistente. Aspectos que desde una perspectiva histórica, constituyen una parte relevante del último período que esta investigación abarca (1949-1972) y que estuvo marcado, entre otras cosas, por el paso de un paradigma estructural determinista hacia un paradigma probabilístico (Arriagada, 2011).

El edificio Endesa es una pieza de interés para este trabajo, porque sintetizó aproximaciones arquitectónicas y estructurales significativas para el período (1960s) que lo sitúan como una de las obras de mayor interés en el medio local. Se plantea que constituye una síntesis arquitectónica en la que convergen, por un lado, una parte sustancial de los principios del paradigma estructural probabilístico - posteriormente formalizado con la oficialización de la Norma 433 OF72 Diseño Sísmico de Edificios-; y por otro, la articulación espacial y plástica de los sistemas relevantes en esta investigación, a saber, estructural, constructivo y material.

Así, el análisis contenido en este último capítulo examina la obra en su dimensión arquitectónica, estructural constructiva y material, para comprender la relación y articulación de los componentes que conforman la unidad arquitectónica y comprender los mecanismos constructivos y materiales empleados bajo el paradigma estructural probabilístico.

Sistema arquitectónico en el edificio Endesa y el cuerpo singular:

Próximo al casco histórico de Santiago, el proyecto se emplazó en un terreno con una extensión cercana a los 10.000m² de superficie. Los requerimientos considerados en primera instancia, implicaba un grado de intervención mayor respecto de la torre de oficinas que finalmente se ejecutó. Esta operación supuso la implantación de un nuevo orden urbano en un tejido preexistente. Operación que debía cumplir “el papel de reforzar esta área con instituciones y edificios de relevancia, entonces en grave proceso de deterioro.” (Jünemann, 1996:96).

Una de las decisiones radicales consideradas ya en los inicios del proyecto, fue el “vaciamiento” de los predios de emplazamiento, que permitiera disponer la totalidad del programa. Mientras que, desde un punto de vista urbano-arquitectónico, “la orientación adoptada para la torre (...) muestra claramente la intención de crear un amplio espacio de ingreso por la esquina de las calles Santa Rosa con Marcoleta...” (Aguirre, 1969:55). Así, el volumen aislado de la torre en medio inserto en un tejido conformado por construcciones de fachada continua y baja altura, introdujo un nuevo orden urbano y espacial (**figs. 7.1, 7.2**).

Posiciones encontradas al respecto se desprenden, por ejemplo, a partir de la dimensión monumental y potencial efecto de regeneración urbana que pudo impulsar el proyecto (Jünemann, 1996); en contraste con los reparos formulados por Sergio Larraín al referirse genéricamente que “[e]l edificio en altura no puede proyectarse aisladamente. Es demasiado grande su impacto en la ciudad para que su construcción sea resuelta sin considerar el contexto urbano.” (Larraín, 1965:29).



Figs 7.1, 7.2 Vistas del edificio de Oficinas Endesa (1980 c). Vista hacia el sur de Santiago. Fuente: Archivo fotográfico Ministerio de Obras Públicas.



Fig. 7.3 Revista de la Construcción. Número especial Tercer Aniversario, Año III, Mayo 1965, N°35, Santiago de Chile.



Fig. 7.4 Artículo Edificación en Altura. Revista de la Construcción. Número especial Tercer Aniversario, Año III, Mayo 1965, N°35, Santiago de Chile.

No será tarea de este trabajo ahondar en las consecuencias urbanas que la obra generó. Interesa en cambio, poner atención a los alcances arquitectónicos y estructurales que implicaron el alzado del volumen en forma de una determinada configuración geométrica. Se plantea que tales características representaron ventajas sustantivas en el diseño estructural y, al mismo tiempo, un grado de libertad que posibilitó su diseño arquitectónico y plástico rotundo, en tanto cuerpo completamente rodeable. Sísmicamente, la torre aislada permitió también evitar esfuerzos y tensiones presentes en otras formas de agrupación -como fachadas continuas, pareos o adosamientos-, sistemas constructivos y materiales variables o mixtos, y fluctuaciones de los períodos de vibración (Guevara, 2012). (**figs. 7.3**).¹

Si bien la condición singular es uno de los rasgos morfológicos característicos del edificio Endesa, es importante señalar que la torre aislada no fue un recurso local exclusivo con éste. De hecho, fue una solución proyectual especialmente difundida en conjuntos de vivienda -en extensión o altura- como la Villa Frei o las Torres de Tajamar respectivamente. Cotas superiores que en algunos casos, reflejaron la “permanente (...) tendencia del hombre para edificar tan alto como sus posibilidades técnicas lo permitan (...) que se da, en nuestro siglo, a través de las torres de habitación o de trabajo” (Larraín, 1965:29), como la torre Endesa.

En términos generales, se puede afirmar que la construcción en altura en Santiago y en las principales ciudades del país, fue un tema de debate cuyos antecedentes se remontan hacia el primer tercio del siglo XX, observado en el vaso del Ministerio de Hacienda. Sin embargo, a partir de la década de 1960 se dio paso a un debate sobre edificios aislados y de alturas superiores a las alcanzadas previamente. Una parte de este debate fue canalizado en publicaciones especializadas, como la Revista de la Construcción.²

Entre éstos, la edición de mayo de 1965 incluyó un artículo titulado “Edificación en Altura”, que daba cuenta de los principales problemas asociados a ese tipo de construcción, abordados en un Foro³ organizado por “la División Construcción del Instituto de Ingenieros de Chile, a petición del Directorio de la Cámara Chilena de la Construcción” (Revista de la Construcción, mayo 1965:29).

¹ “El desarrollo tecnológico permitió dotar de todos los servicios a cada unidad [aislada], cada vez con mayor autonomía (...) [de manera que] cualquier edificio de altura que incluyera varias funciones urbanas, podía ser pensado y diseñado como un organismo autónomo, con resultados que estarían más determinados por sus componentes internos (como sistemas) que simplemente como una continuación de los alineamientos urbanos.” (Guevara, 2009:24).

² El primer número fue publicado en julio de 1962. De tiraje mensual, cada número incluyó artículos de proyectos de arquitectura nacional, difusión de técnicas constructivas, materiales y temas en general ligados a la industria de la construcción, como índices de precios de materiales, insumos, leyes y normas afines.

³ Entre los expositores concurren los arquitectos Sergio Larraín, Fernando Castillo, Luis Prieto, entre otros. Mientras que entre los distintos ingenieros, cabe destacar la participación de Arturo Arias, Santiago Arias y Rodrigo Flores. En: Revista de la Construcción N°36, Año III, Santiago de Chile, mayo de 1965.

Entre otros factores, se señala por ejemplo, la incorporación de tecnologías que proveyeron medios que facilitaron la erección de unidades entre 50 y 80 metros de altura. En efecto, hacia la segunda mitad del siglo XX en Chile, los métodos empleados en la construcción fueron ampliados hacia el “trabajo de los equipos mecanizados en todo tipo de obra (...) [cuyos] modernos sistemas (...) [permitieron] cumplir con las faenas con alto rendimiento técnico, gran velocidad y bajo costo.” (Revista de la Construcción, 1963, N°14:37). El conjunto habitacional Torres de Tajamar marcó en este sentido, un hito significativo en el país. La envergadura de la obra, las complejidades derivadas de la escala del proyecto, y la altura de la torre (80 metros de altura aproximadamente), imprimieron la necesidad de “una coordinación y relación estrechísima entre arquitectos, ingenieros estructurales, constructores e ingenieros de especialidades.” (Revista de la Construcción, 1963, N°10:37).

El aporte que supuso la incorporación progresiva de maquinarias en las faenas de construcción, se vio contrastado con el rezago observado en su desarrollo conceptual, dejando en evidencia una cierta dicotomía entre práctica y teoría. En efecto, a partir de 1960 se pudo observar “un cierto aumento de la mecanización de faenas (...) [tales como] grúas automotrices; elevadores de carga; plantas de fabricación de hormigón; seleccionadoras de áridos; máquinas de herramientas, etc... [en contraste con] los conceptos constructivos permanecen estacionarios desde hace unos 20 años.” (Aedo, 1965:4).

Otra variable esencial que cruza la ecuación entre superficie predial y altura de la edificación –sin contar consideraciones estructurales, técnicas y constructivas– radica en la rentabilidad. Esto es importante, porque los edificios en altura contruidos han sido concebidos fundamentalmente en hormigón armado. Y, por tanto, el factor económico derivado de los costos de construcción, jugó un rol que bien pudo ser determinante en la forma de la pieza arquitectónica (altura, proporciones, materialidad, terminaciones, etc.).⁴ Así por ejemplo, el hormigón armado empleado en las Torres de Tajamar de tradujo en “aumentos de costo de la obra gruesa de 28% para las torres altas [que impacto] sólo en un 2,7% sobre el valor total de venta del conjunto, lo que estará compensado en exceso por la utilidad adicional que significa el mejor aprovechamiento del suelo.” (Prieto, 1965:29-30).

⁴ El número de mayo de 1965, la Revista de la Construcción citaba al arquitecto Carlos Infante, señalando la posibilidad de “establecer relaciones literales, fórmulas, que permiten, en base al costo del terreno, aprovechamiento de él, costo por m² del edificio, aumentando cada piso que se eleva, y la superficie edificada por habitante, calcular la altura económicamente más conveniente.” (Revista de la Construcción, mayo 1965:30).

Los alcances que plantea la edificación urbana en altura exceden ampliamente el tópico en que este trabajo se concentra.⁵ Pero fue sin duda, uno de los factores centrales considerados en el proyecto arquitectónico y determinante en el proyecto y cálculo estructural. Interesa entonces, examinar esta variable en función a las posibilidades técnicas y tecnológicas que permitieron el alzado de este tipo de construcciones. Y al mismo tiempo, relevar las limitaciones impuestas por el fenómeno sísmico al diseño arquitectónico-estructural y la superación de tales desafíos. En este sentido, el edificio Endesa es un caso que complejizó el alzado en altura, pues debió resolver además el desafío que supuso la configuración de plantas absolutamente libres de apoyos intermedios (entre los planos de fachada y los núcleos centrales).

Por otro lado, la concepción de la torre de oficinas obedeció a un requerimiento programático derivado de un plan de reorganización de la empresa⁶ a gran escala (Endesa, 1993:69). En efecto, la Empresa Nacional de Electricidad sufrió un plan de reorganización hacia 1961 y con posterioridad a la conclusión de dos etapas de expansión previa, consistente en la construcción de centrales hidroeléctricas y su distribución a lo largo del territorio nacional, respectivamente. Así, en 1955 se dio inicio a un proceso de reestructuración (1955) “basada en diez departamentos a cargo del gerente, que a su vez dependía del gerente general.” (Endesa, 1993:59). Posteriormente, y luego de procedimientos legales y normativos⁷ (sobre tarificación, rentabilidad, etc.), Endesa pudo “inyectar nuevo dinamismo a su misión que procuraba el desarrollo industrial y económico de Chile” (Endesa, 1993:60), lo que se tradujo en la “eficiencia de la nueva organización que se dio –fundada en la capacidad técnica de sus ingenieros y operarios y en la conducción acertada de sus ejecutivos...” (Endesa, 1993:62-3). En la línea de refuerzo de los recursos humanos de la empresa, “la nueva organización requirió numerosos viajes al extranjero por parte de los profesionales de la empresa con el fin de profundizar sus especialidades (...) [y el fomento de] programas internos de perfeccionamiento (...) con apoyo de universidades e instituciones de carácter técnico.” (Endesa, 1993:69-70).

⁵ Por ejemplo, los alcances en términos de planificación y densificación urbana; instrumentos de regulación comunal; las transformaciones morfológicas o el impacto en el tejido de la ciudad pueden generar la irrupción de edificios altos. Temas por lo demás, aún vigente en la actualidad.

⁶ El documento Endesa, señala al respecto: “Un paso de trascendencia en el plano administrativo lo constituyó, en 1968, la ocupación del edificio propio de calle Santa Rosa número 76 en Santiago (...) [y que] el 10 de junio de ese año, el directorio sesionaba por primera vez en él.

Siete años habían transcurrido desde que se tomó la decisión de construir el edificio.” En: Endesa, 1993:73). Luis Larraguible agrega al respecto que “el edificio cumplió ocho años desde que se programó hasta que se construyó. El programa primitivo era de 1.000 personas, y el que finalmente hubo que adoptar fue de 1.400.” En: Revista AUCA N°15, junio, julio, 1969, p. 55.

• ⁷ Se refiere “el decreto número 244, de 1931, que regía el sector eléctrico y sus tarifas.” (Endesa, 1993:59), que en conjunto con la presión impuesta por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, fue “urgente establecer un sistema tarifario técnico que considerara, además, mecanismos de reajustabilidad para adecuarlo a la fuerte inflación que aquejaba a Chile desde 1940 (...) [y que] llegó a sus niveles más altos entre 1953 y 1955. El proyecto de ley (...) que ordenaba la situación (...) sólo pudo ser promulgado (...) por el Ejecutivo en 1959.” (Endesa, 1993:59-60).

En este contexto, el proyecto recogió la necesidad de aglutinar en un solo conjunto (que a la postre se redujo a la torre de oficinas) “al personal disperso hasta entonces en diez inmuebles diferentes.” (Endesa, 1993:69).

Dos anteproyectos, dos equipos de arquitectos y la materialización

de la unidad arquitectónica: La historiografía del edificio Endesa es muy acotada. Sin contar medios especializados (publicaciones monográficas en revistas de arquitectura), solo dos publicaciones ahondan en ciertos aspectos de la obra y sus autores: la monografía de la obra de Emilio Duhart escrita (1994) por el arquitecto Alberto Montealegre; y una segunda monografía sobre la obra de Jorge Aguirre Silva (Alfredo Jünemann, 1996). La información contenida en ambos volúmenes es escueta, lo que no impide, sin embargo, que converjan en la polémica sobre la autoría y originalidad de la obra.⁸

Alberto Montealegre colaboró en la oficina de Emilio Duhart entre 1961 y 1971.⁹Situación que explica, en parte, las razones que lo movieron a reivindicar en su libro la autoría de la propuesta que le cupo a Duhart antes de que se excluyera del equipo de arquitectos. Sostiene al respecto, que “la idea propuesta por Duhart, de edificar en altura y usar la manzana completa para el proyecto, fue resistida desde el comienzo por el resto de los arquitectos encargados (...) [lo que llevó a Duhart a] desarrollar su alternativa de proyecto en su oficina.” (Montealegre, 1994:126). Sin embargo, en definitiva “el anteproyecto fue desarrollado por otros arquitectos, perdiendo en forma importante sus características originales.” (Montealegre, 1994:128).

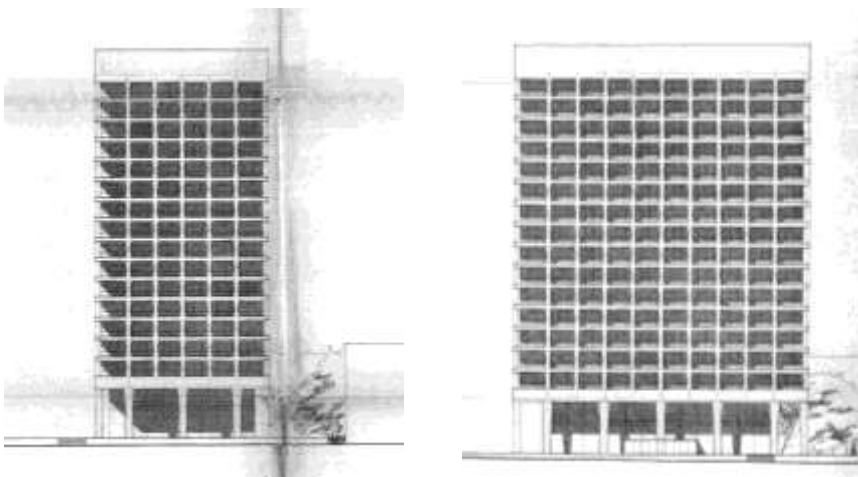


Fig. 7.5 Edificio Endesa. Elevaciones fachadas norte y poniente anteproyecto presentado por Aguirre, Duhart, Etcheverry y Larraguibel Arquitectos (1963). Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

⁸ Situación que devino del retiro de Emilio Duhart, dejando el proyecto definitivo y obra en manos del resto: arquitectos Jorge Aguirre, Gastón Etcheverry y Luis Larraguibel. Este último, jefe de la unidad en tanto arquitecto empleado de la empresa.

⁹ Fuente: <http://www.montealegre-beach-arquitectos.cl/> Rescatado en mayo de 2016.

Por otro lado, el arquitecto Alfredo Jünmann (cercano a Jorge Aguirre),¹⁰ atribuye la autoría de la idea original al grupo conformado por Aguirre, Etcheverry y Larraguibel, sosteniendo que el alejamiento de Duhart se debió principalmente a las discrepancias -entre éste y Larraguibel- sobre la altura de la torre de oficinas y no sobre el partido general del conjunto.¹¹

Debido a las limitaciones de las fuentes disponibles, no es posible dilucidar con fundamento y claridad esta controversia. Sin embargo, una serie de proyectos desarrollados por Duhart en torno al período en que fue concebido el edificio Endesa, permite identificar problemas y exploraciones arquitectónicas comunes entre sí y vinculadas expresamente a la contrapropuesta presentada por Duhart.¹²

Aunque este capítulo centra su análisis en la torre de oficinas de Endesa -y no en el conjunto-, es importante examinar brevemente las versiones del plan maestro que antecedieron la construcción de la obra. El material gráfico reproducido en las monografías de Duhart y Aguirre resulta insuficiente para analizar en detalle la obra. Sin embargo, el expediente municipal del edificio aporta un conjunto de antecedentes planimétricos cruciales para esta investigación y en su gran mayoría inéditos. El grueso de material consiste en planos del proyecto definitivo de la torre de oficinas, e incluye planos de arquitectura, cálculo estructural, y ciertas especialidades (clima, sanitario, electricidad). Mientras que un número menor de éstos corresponde al anteproyecto.¹³

Se examinarán a continuación distintas versiones del emplazamiento, conjunto y sus unidades. Un primer plano, fechado en 1962 y denominado “Terreno Edificio Endesa”, corresponde a un levantamiento topográfico de las propiedades ubicadas al interior de la manzana, con sus veredas y parte de los bordes contiguos. El plano arroja principalmente tres escalas de información. La primera, evidencia la irregularidad de los contornos perimetrales de las

¹⁰ Al inicio del prólogo del libro titulado Jorge Aguirre Silva. Un arquitecto del Movimiento Moderno en Chile, señala el propio autor (Alfredo Jünmann) que “he tenido el privilegio de conocer a Jorge Aguirre desde mi primera juventud, por razones familiares; y posteriormente (...) compartiendo con él en docencia en la Escuela de Arquitectura.” En: Jünmann, 1996:8).

¹¹ Jünmann sostiene que con posterioridad a la entrega del anteproyecto (desarrollado entre 1962 y 1963), se desencadenó “una ruptura en el equipo profesional, y en el proyecto se han retirado los nombres de Emilio Duhart y de Alberto Montealegre, profesionales que optan por desarrollar, en forma paralela en su propia oficina, una propuesta diferente.” (Jünmann, 1996:97). Por otro lado, Alberto Montealegre (autor de la monografía de Duhart y socio en para cuando se les invitó a formar parte del equipo de arquitectos) plantea que “la idea propuesta por Duhart, de edificar en altura y usar la manzana completa para el proyecto, fue resistida desde el comienzo por el resto de los arquitectos encargados. Finalmente Duhart debió desarrollar su alternativa de proyecto en su oficina.” (Montealegre, 994:126).

¹² Una vez retirado del equipo de arquitectos, Duhart elaboró su propia propuesta (Montealegre, 1994). Del conjunto de planos contenidos en el expediente municipal consultado en esta investigación, se pudo constatar que el anteproyecto firmado por Duhart es cronológicamente coincidente con el juego de planos presentado por la contraparte (1963).

¹³ Los nueve planos que conforman el expediente municipal del anteproyecto, dos corresponden a distintas opciones de emplazamiento. La principal diferencia entre ambos radica en la concepción de la torre aislada (opción 1a) por un lado; y la torre aislada en conjunto con otras dos unidades de 4 pisos de altura cada una, todas ellas emplazadas sobre una gran plaza de acceso, calles y estacionamientos vehiculares. Ambas alternativas fueron presentadas en calidad de anteproyecto a la municipalidad de Santiago en la misma fecha (mayo de 1963) y fueron elaboradas por el mismo equipo de arquitectos, como figura en las viñetas: Jorge Aguirre, Emilio Duhart, Gastón Etcheverry y Luis Larraguibel. La autoría del dibujo, en cambio, acusa la participación de Sergio López en el primer caso, y Roberto Montealegre, en el segundo.

propiedades, y que posteriormente concluyó con la regulación de límites alineados y continuos. De hecho, el plano singulariza una “zona de expropiación” ubicada sobre el costado surponiente de la manzana, y un retazo de propiedad de Endesa ocupando parte del ancho de la calle (**fig. 7.6**). La segunda escala de información corresponde a la identificación de los paños de propiedad de la empresa, la superficie de cada uno y su delimitación. La tercera escala de información distingue las propiedades de Endesa, aquellas en proceso de compra por parte de la misma, y las que no eran de su propiedad. Se puede afirmar entonces, que en 1962 estuvo en marcha un plan de expansión orientado hacia la adquisición de predios contiguos a las propiedades de la empresa y que, a la postre, derivó en una macro fusión de lotes que permitió el emplazamiento del conjunto.

Un segundo plano (**fig. 7.7**), fechado en diciembre de 1964, corresponde a un borrador que presenta bordes regulares de veredas y contornos de línea oficial de la manzana. La imagen carece de deslindes, aunque se individualizan tres polígonos correspondientes a construcciones existentes (no necesariamente de propiedad de un tercero). El conjunto Endesa consta de tres unidades ortogonales y aisladas entre sí dispuestas sobre un gran paño que ocupa gran parte de la manzana. Este proyecto consideraba también la penetración de la manzana por medio de una calle interior con acceso por San Isidro.

El tercer registro corresponde a un “Esquema de emplazamiento del edificio y construcciones existentes.” El plano (**fig. 7.8**), que al igual que lo anteriores, representa el contorno completo de la manzana, grafica solamente el contorno de la torre principal, la que se emplaza al interior de un polígono ortogonal e irregular que representa la “primera etapa” del proyecto. Mientras que en las cuatro esquinas, se representan las propiedades y construcciones existentes hacia mayo de 1965.

Por último, una cuarta lámina (**fig. 7.9**), fechada de diciembre de 1965, presenta una traza coincidente respecto de la anterior, tanto en los bordes exteriores de la manzana, las construcciones existentes, la delimitación de la primera etapa, como la torre principal. El plano agrega además cotas de frentes prediales sobre calle San Isidro y Santa Rosa. Estas últimas, aparentemente intervenidas en manuscrito sobre el original.

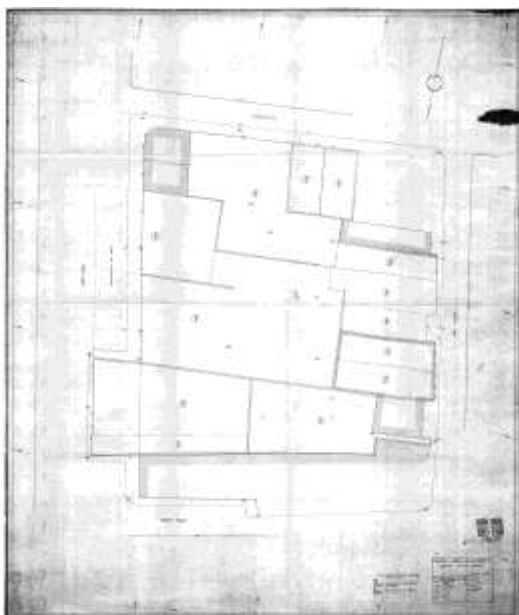


Fig. 7.6 Empresa Nacional de Electricidad S.A. Plano de emplazamiento terreno de Endesa y predios aledaños. (1962). Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

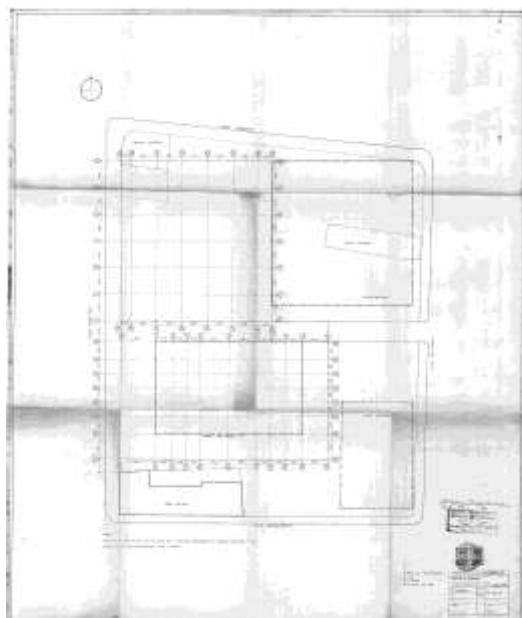


Fig. 7.7 Empresa Nacional de Electricidad S.A. Edificio Endesa. Planta de localización y emplazamiento proyecto sobre predios en la manzana. (1965). Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

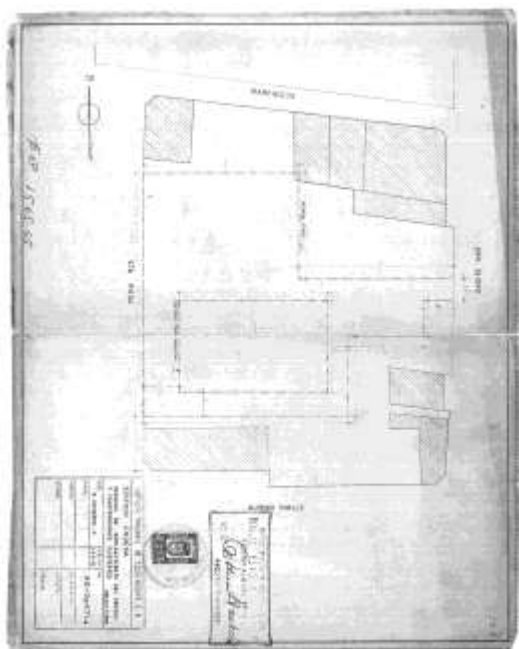


Fig. 7.8 Empresa Nacional de Electricidad S.A. Plano de emplazamiento terreno de Endesa, predios aledaños y construcciones existentes. (1965). Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

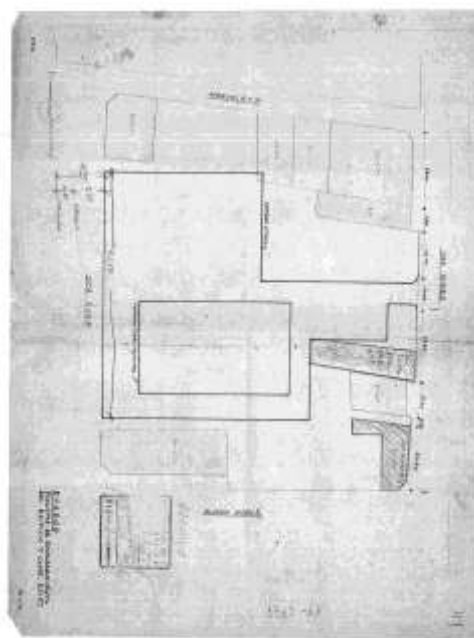


Fig. 7.9 Empresa Nacional de Electricidad S.A. Plano de emplazamiento terreno de Endesa, predios aledaños y construcciones existentes. (1965). Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

El anteproyecto de Emilio Duhart. Variables plástico-estructurales y prevalencia del orden geométrico: Junto con el despeje de gran parte de la manzana en que se emplazó el proyecto, la propuesta de Duhart se diferenció, entre otras cosas, por la disposición de las unidades dentro del conjunto (**fig. 7.10**); mientras que la torre de oficinas fue semejante a la solución final tanto en volumetría, proporciones, como en la regularidad del orden geométrico que impera en las plantas, cortes y elevaciones. Sin embargo, un examen más detenido permite identificar algunos detalles arquitectónicos y estructurales relevantes, y cuyos alcances pueden dar luces respecto a la autoría de la obra. Pero sobre todo, sitúa la condición plástica del edificio en un campo de exploración tectónico en que Duhart estuvo abocado en cierto período.

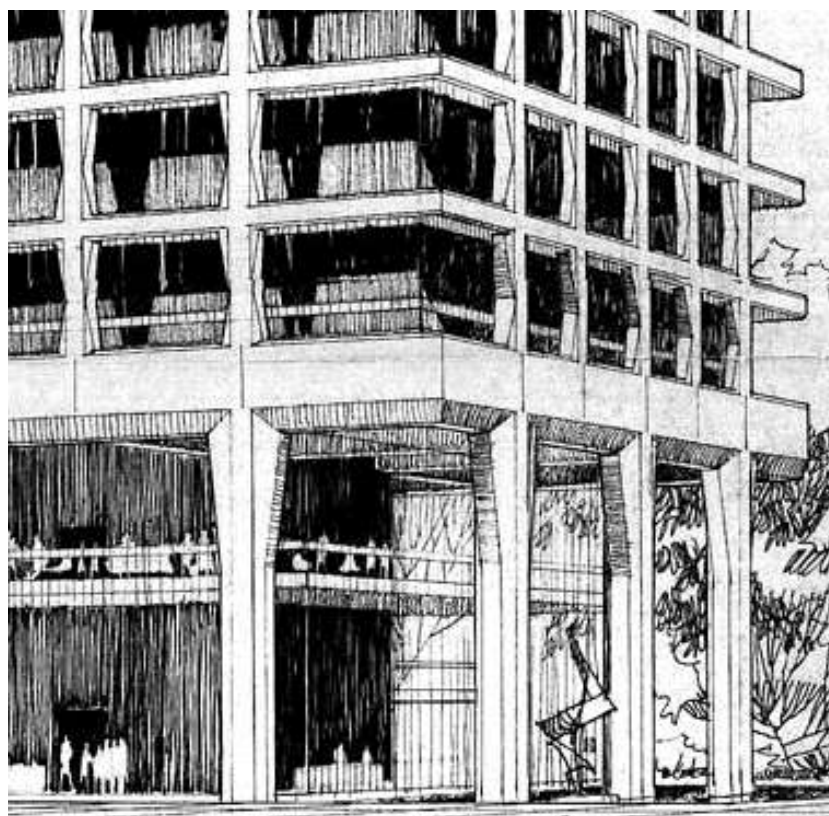
A grandes rasgos, las diferencias más evidentes corresponden a alternativas formales y espaciales que no implican necesariamente cambios sustanciales a la lógica interna del edificio. Uno de los contrastes entre el anteproyecto de Duhart y el proyecto definitivo se evidencia en la coronación de la torre. En el primer caso se consideró un remate superior en forma de cinta continua coplanar a las fachadas; mientras que en el segundo se resolvió a través de un volumen (en dos niveles) retirado en sus cuatro flancos (**fig. 7.10**).



Fig. 7.10 Anteproyecto Edificio Endesa. Perspectiva fachadas norte y poniente. (1963). Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

Una segunda diferencia se observa en el piso zócalo. La perspectiva presentada por Duhart deja entrever el interior de la planta baja, espacialmente articulada por un gran vacío de triple altura, acotada por el plano de losa del tercer piso abalconado hacia el hall y que rodea en forma de anillo el núcleo central de circulaciones verticales. El cielo del gran hall central deja a la vista un envigado en ambos ejes cartesianos, probablemente de hormigón armado, que semejan aquellos pesados envigados tipo casetonados empleados en las primeras décadas del siglo XX; aunque en este caso, de menor espesor y por tanto, más livianas (**fig. 7.11, 7.12**). El proyecto definitivo, en cambio, redujo el vacío interior a una doble altura confinada al costado norte de la planta baja (acceso principal), y ocupando el resto del vacío con plantas en dos niveles- destinadas a satisfacer el aumento de las exigencias programáticas devenidas en el transcurso del proyecto (Larraguibel, 1969).

Junto con los planos del anteproyecto de Duhart, el expediente municipal contiene una perspectiva del conjunto en que destaca la representación de la torre de oficinas. Se trata de un documento particularmente interesante, pues si se observa con detención, se advierten ciertos rasgos formales cualitativamente distintos en comparación al proyecto definitivo (**fig. 7.13**).



Figs. 7.11, 7.12 Destalles anteproyecto Edificio Endesa. Detalle perspectiva fachadas norte y poniente. (1963). Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

En ella se observan los pilares exentos que recorren el perímetro de la planta baja presentan una sección regular -aparentemente octogonal- hasta los dos tercios inferiores de su altura; y una sección progresivamente mayor en el último tercio hasta empalmar con las vigas maestras. Estas últimas, en cambio, sugieren una sección de ocho lados también, con mayor desarrollo en altura y menor ancho. Duhart exploraba así variantes formales y plásticas de elementos estructurales exentos y a la vista. Acaso una aproximación escultórica de los paramentos estructurales elementales.

Un rasgo aún más interesante se desarrolla en los marcos modulados de la estructura reticular que cubre los pisos superiores de la torre, en dos aspectos fundamentales. En primer lugar, la modulación de la retícula exterior propuesta por Duhart tiene un gran más denso en comparación al proyecto finalmente ejecutado. En efecto, los vanos confinados al interior de la secuencia de pórticos representados en la propuesta de Duhart consideraron un apoyo intermedio entre los pilares principales de la planta baja. Diseño que aportaba mayor densidad visual de la masa (en el plano lleno-vacío de las fachadas) y, al mismo tiempo, un aumento del peso propio y de los costos económicos. Y aunque las proporciones empleadas en los módulos de la grilla de las fachadas y en las secciones de sus componentes, no aparentan contrastes notables respecto al proyecto final, los pilares acusan una sección volumétrica compleja.

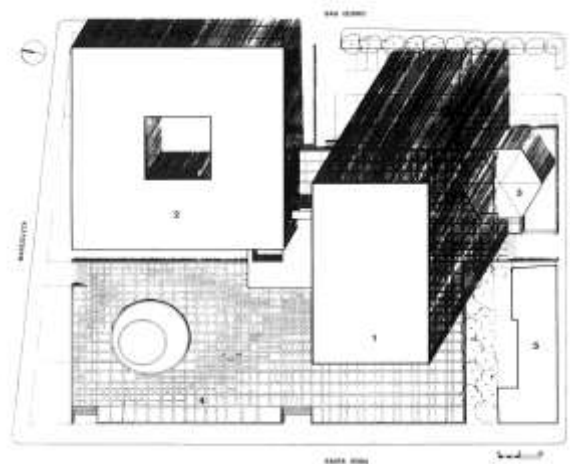


Fig. 7.13 Planta de techos del conjunto. Anteproyecto propuesto por Emilio Duhart. Fuente: Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

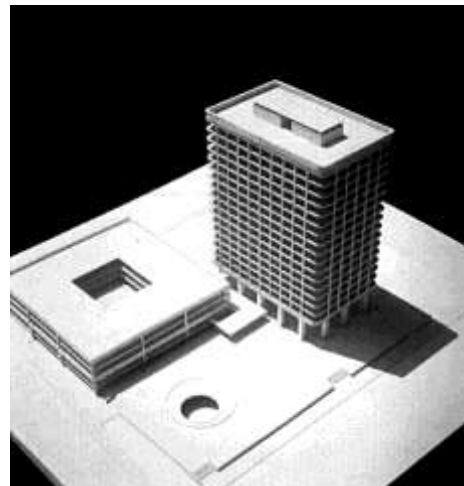
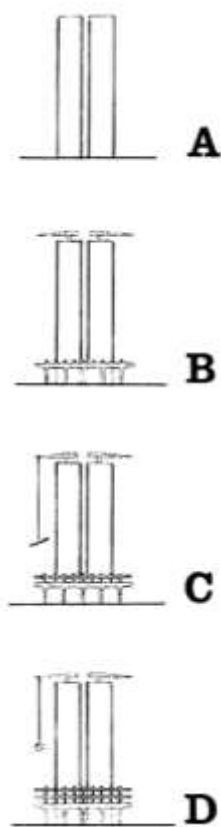


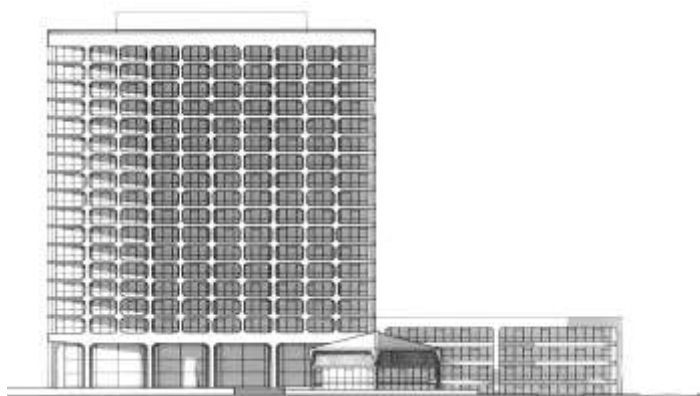
Fig. 7.14 Fotografía maqueta conjunto de la propuesta de Emilio Duhart. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.



Cada una de estas piezas está conformada por dos secciones octogonales sobre los planos de los extremos inferior y superior del pilar, y un plano – aparentemente- cuadrado a media altura, conformando así una especie de octaedros invertidos y truncados en un plano de cuatro lados (**fig. 7.15**). Finalmente las fachadas portantes del edificio fueron construidas con pilares de sección regular por piso, con secciones mayores en los niveles inferiores y menores en los superiores. Con todo, su aspecto exterior refleja una regularidad que supuso al mismo tiempo la disminución del carácter escultórico elaborado por Duhart.

La lámina de la perspectiva forma parte del juego de planos del anteproyecto presentado por Duhart, pero las plantas y elevaciones –junto con una maqueta- dan cuenta de una versión probablemente posterior y más completa. En estos planos se aprecia por ejemplo, una nueva variante de las fachadas reticuladas, resueltas sobre un plano perforado por polígonos rectangulares, apaisados y de esquinas redondeadas. De suerte que la trama, en este caso, presenta un aspecto de malla plana con cierto espesor, contenida por bandas de vigas maestras que enmarcan el pórtico de triple altura de la planta baja, y vigas maestras que circundan la coronación del piso superior. Remata el volumen el piso retirado sobre la losa de cubierta, proyección del núcleo interior (**figs. 7.16, 7.17**).

Fig. 7.15 Esquema del proceso de construcción torre de oficinas proyecto Endesa. Propuesta de E. Duhart. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.



Figs. 7.16 Elevación sur anteproyecto conjunto Endesa. Propuesta de E. Duhart. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.

Figs. 7.17 Elevación poniente anteproyecto conjunto Endesa. Propuesta de E. Duhart. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.



La propuesta de Duhart no sólo significó una variante formal y plástica de la unidad. Fue también una estrategia de construcción ideada desde los fundamentos estructurales y espaciales del proyecto. Así, el plan de construcción propuesto por Duhart planteó una secuencia de avance desde el interior hacia el exterior. Es decir, alzando los núcleos verticales de hormigón armado fabricado en obra, para desde éstos servir de apoyo y distribución para la construcción e instalación del resto del edificio (**figs. 7.15, 7.18**). Es interesante observar que la estrategia obedece a una secuencia lógica coherente con la concepción arquitectónica y estructural de la unidad. Es decir, asegurar en primer lugar la erección de la columna rigidizante central (núcleos verticales), seguido de los pórticos exteriores y posteriormente la instalación de vigas y losetas prefabricadas en hormigón armado (**fig. 7.19**). Esta secuencia explica, por ejemplo, las ranuras preconcebidas en las aristas y muros de las torres centrales, graficadas en la axonométrica (**fig. 7.18**).

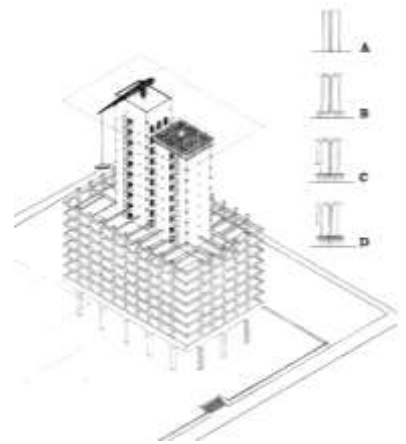


Fig. 7.18 Axonométrica del proceso de construcción torre de oficinas proyecto Endesa. Propuesta de E. Duhart. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.

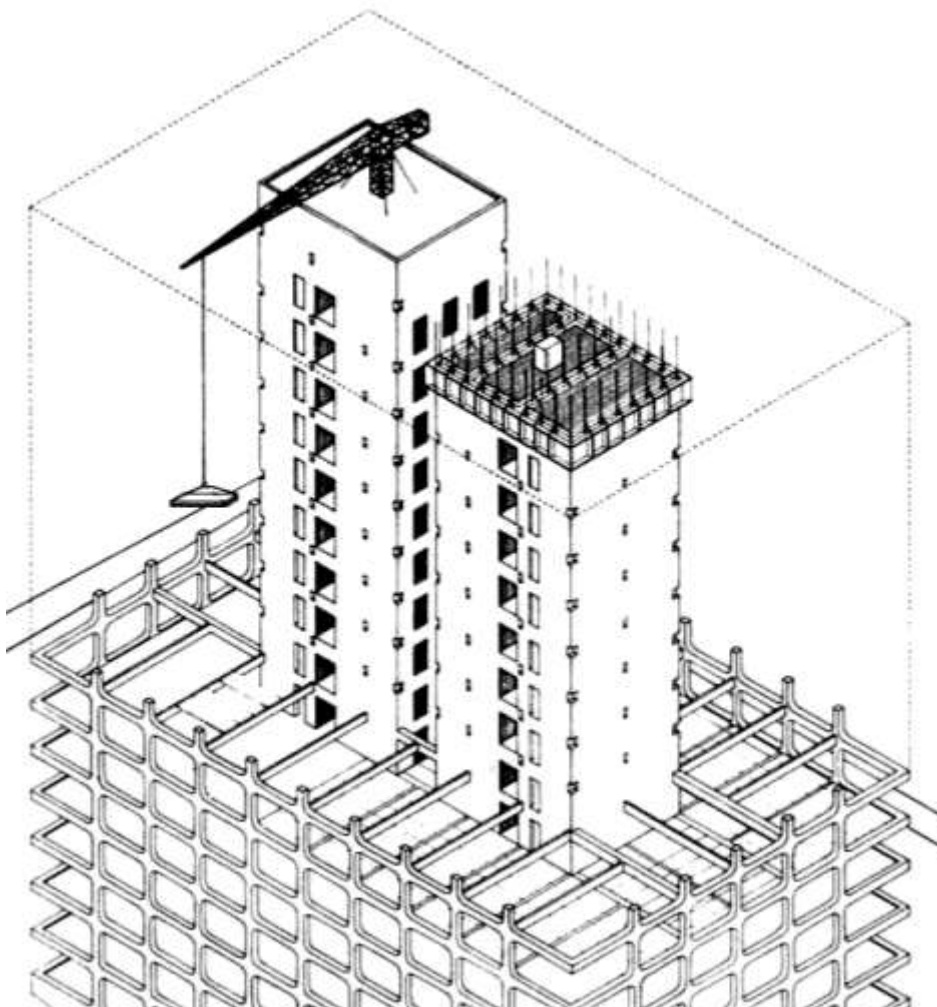


Fig. 7.19 Detalle axonométrico del proceso de construcción torre de oficinas proyecto Endesa. Propuesta de E. Duhart. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.

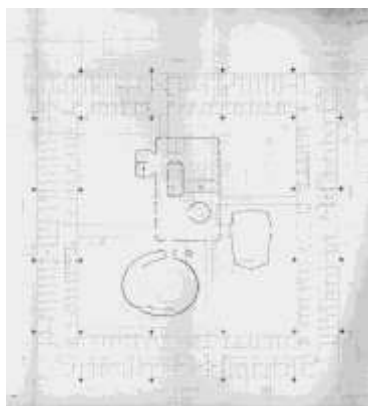


Fig. 7.20 Edificio de la sede en Santiago de Chile de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Planta del conjunto. Emilio Duhart Arquitecto. En: Revista Técnica y Creación N°9, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1966.



Fig. 7.21 Edificio de la sede en Santiago. Fotografía detalle proceso de construcción pilare y vigas de hormigón armado visto. Emilio Duhart Arquitecto. En: Revista Técnica y Creación N°9, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1966.

Más allá del hecho que la obra construida haya sufrido variaciones en comparación al anteproyecto y contrapropuesta presentada por Duhart, es posible afirmar que prevalecieron, en última instancia, parte importante de los fundamentos espaciales, constructivos y estructurales concebidos en sus inicios.

Estructuras a la vista como expresión plástica de la edificación:

Aunque la discusión sobre la autoría de la obra no es el tema central en este trabajo, es importante comprender que las variantes arquitectónicas exploradas, desde los ensayos preliminares hasta su construcción, forman parte de una búsqueda más amplia y compleja en la obra de Duhart. Se plantea así que el proyecto germinal y la obra ejecutada refieren una búsqueda arquitectónica y plástica ligada directamente con la obra de Duhart, y cuya contribución resultó decisiva. Este supuesto se fundamenta en el breve análisis de ciertas obras desarrolladas por Duhart¹⁴ –con anterioridad y posterioridad a la construcción de la torre Endesa- con el fin de comprender, en un sentido más amplio, las exploraciones arquitectónicas (espaciales, formales, plásticas y estructurales) ensayadas por el arquitecto.

Probablemente, una de las obras más importantes y difundidas en el medio local e internacional¹⁵ de Emilio Duhart, sea el edificio Cepal-Naciones Unidas (1960-6) (Torrent, 2013). Entre otras cualidades, como su escala monumental, complejidad programática y orden arquitectónico, imprimen a la sede de la Cepal en Santiago de Chile una multiplicidad de entradas de análisis. Interesa aquí, sin embargo, examinar brevemente los aspectos relativos a la conformación espacial del volumen principal, su criterio de estructuración y los recursos de construcción allí empleados.

El partido general del edificio en forma de anillo, “es un conjunto de cuatro naves estructuradas en base de grandes luces libres con un mínimo de puntos de apoyo y con el piso colgado desde la superestructura” (Revista Técnica y Creación N°9, 1966:70). Problema arquitectónico-estructural que, en un país recurrentemente sísmico como Chile, representó un desafío significativo, y que se puede observar en el material gráfico que registró el proceso de construcción (figs. 7.20, 7.22). Es interesante además notar que el llamado a concurso fue realizado en noviembre de 1960, es decir, apenas seis meses luego de ocurrido el terremoto de Valdivia. Y que, durante su ejecución (1960-6), debió enfrentar el terremoto de La Ligua en 1965. Así, la estrategia proyectual de las naves que conforman el anillo “previó que la estructura pendular del piso principal de oficinas absorbería casi completamente las

¹⁴ El grueso de la obra de Emilio Duhart fue concebida y construida entre 1941 y 1992 (Montealegre, 1994). Pero, considerando el período que este capítulo estudia, se prestará atención a edificios relacionados a la búsqueda espacial y estructural presente en Endesa, desarrollados durante la década de 1960.

¹⁵ Agregar algunas publicaciones y referencias.

aceleraciones y el impacto del sismo (...) lo que fue confirmado en el sismo del 28 de Marzo d 1965...” (Revista Técnica y Creación N°9, 1966:70).

Constructivamente en tanto, el edificio en anillo fue concebido

[as] an autonomous, single unit; a continuous pavilion suspended over ground level, hanging from a structure above. This structure consists of a succession of post-tensioned concrete elements supported on two continuous lateral main beams; the latter rest on four columns aligned on each side of the quadrangle, cantilevered at the corners. (Torrent, 2013:56).

Así, las cuatro naves se estructuran mediante un sistema combinado de recursos tecnológicos empelados de modo más o menos reciente en Chile. La estructura colgante, descansa a su vez en cuatro pares de pilares tetraédricos y truncados en el extremo que recibe las vigas maestras. Esta operación constructiva y estructural permitió así la conformación de “[a] free plan allowed by the hanging volume permitted continuity of the space in enclosure and transparency between the inner courtyards and the outside.” (Torrent, 2013:58).

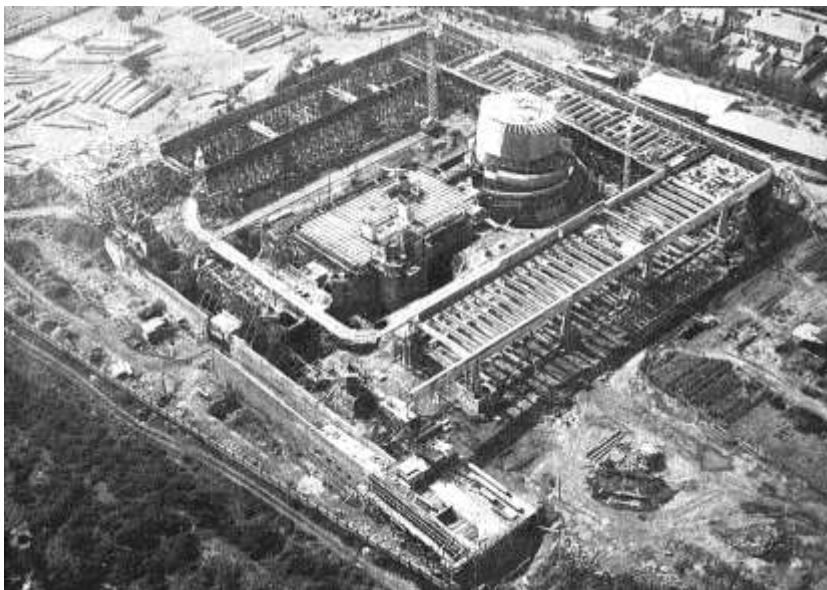


Fig. 7.22 Fotografía aérea (vuelo de pájaro) proceso de construcción del conjunto. En: Revista Técnica y Creación N°9, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1966.

A diferencia de la torre Endesa, donde prevalece la verticalidad como eje ordenador, el edificio Cepal corresponde a una exploración hacia un sistema

estructural, constructivo y material *antigravitacional* (Duhart, 1965),¹⁶ pensados para un cuerpo eminentemente horizontal, que “se expresa en las grandes vigas de bordes de la superestructura con apoyos articulados y deslizantes (...) [y] voladizos de las cuatro esquinas.” (Revista Técnica y Creación N°9, 1966:70). En efecto, mientras el criterio de diseño estructural se fundó en el principio de cuerpo suspendido y comportamiento (sísmico) pendular, los paramentos estructurantes fueron concebidos en hormigón armado fabricado en obra, pre y postensado (Revista Técnica y Creación N°9, 1966).

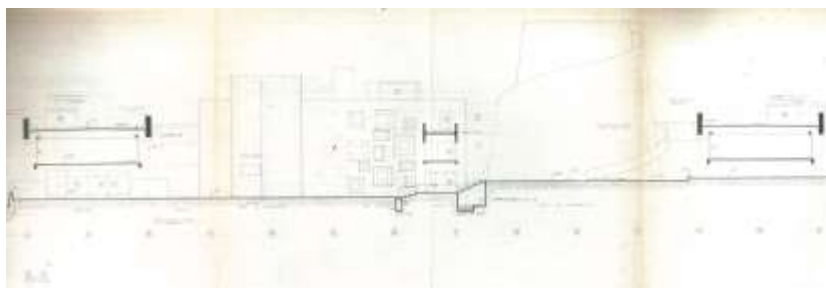


Fig. 7.23 Proyecto Cepal. Corte longitudinal. Emilio Duhart. Arquitecto. En: Revista Técnica y Creación N°9, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1966.



Fig. 7.24 Edificio Cepal. Fotografía del conjunto en proceso de construcción. Se observa el esqueleto de hormigón armado. En: Revista Técnica y Creación N°9, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1966.

La volumetría piramidal de los pilares, el empleo de recursos –para entonces recientes en el medio local- constructivos y materiales innovadores, como

¹⁶ En: Revista Técnica y Creación N°9, marzo de 1966, Instituto de Edificación Experimental, Universidad de Chile.



elementos estructurales pre y postensados, vigas, viguetas y losas prefabricadas, combinadas con hormigón armado fabricado en obra y a la vista (**figs. 7.21-7.24**), forman parte de un repertorio de recursos arquitectónicos, estructurales y constructivos incorporados posteriormente en el proyecto Endesa.

Es interesante observar que la solución arquitectónico-espacial que guía el volumen principal de la Cepal semeja –bajo determinado punto de vista- la solución comúnmente adoptada en naves industriales. Es decir, la necesidad de salvar luces sin apoyos intermedios de modo que su planta quede absolutamente despejada en superficie. Asimismo, en el rubro industrial (especialmente ligados a la producción) se han empleado con mayor vigor recursos técnicos, como sistemas de prefabricación.

Entre las instalaciones fabriles que emplearon tales métodos En Chile, se cuentan los Talleres de Fábrica y Manufacturas Sumar (**fig. 7.27**), donde se utilizaron “vigas de 20 y 25 m. [sic] de luz (**fig. 7.28**) (...) diseñadas por (...) [Depetris] y calculadas con la cooperación del ingeniero Sr. Salomón Chornik, y el arquitecto Sr. Willy Ernst...” (Depetris, 1965:45). Mientras que los elementos secundarios¹⁷ fueron concebidos como “viguetas prefabricadas y pretensadas de 9 m. [sic] de luz hechas al pie de la obra, con ingeniosos moldes y bancos de tensado, usando gatos livianos Gifford-Udall.” (Depetris, 1965:47-8).

¹⁷ Una de las empresas especializadas en la fabricación e instalación de elementos estructurales de hormigón pre y postensados fue Inapreco. Entre otros productos, proveyeron vigas, viguetas, bovedillas, placas de entrepiso, entre otros. En: Revista Técnica y Creación, N°8, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago de Chile, mayo de 1965, p. 39-42.



Fig. 7.27 (izq). Fábrica y Manufacturas Sumar, Santiago de Chile. Fotografía aérea del conjunto. En: Revista Técnica y Creación N°8. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.

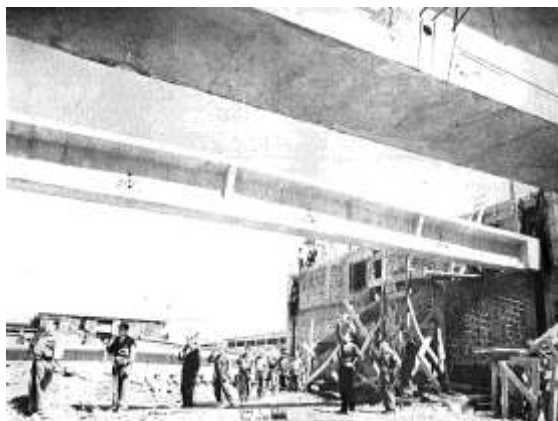


Fig. 7.28 (der). Fábrica y Manufacturas Sumar, Santiago de Chile. Fotografía detalle vigas prefabricadas en hormigón armado. En: Revista Técnica y Creación N°8. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.

Y aunque este tipo de piezas estructurales se caracterizan por su calidad constructiva y resistencia estructural controlada, acusan de todos modos grados de sobredimensionamiento que impiden soluciones espaciales livianas. Se trata más bien, de cuerpos pesados y evidentemente masivos, salvo aquellos casos contruidos con estructuras metálicas.

Un segundo caso de interés es la Industria Said-Maipú S.A.¹⁸ Se trata de una obra desarrollada por la oficina del arquitecto Depetris quienes aportaron también al diseño estructural, mientras que el cálculo recayó en los ingenieros calculistas Pedro Hidalgo, Leonardo Benetti y Mario Fava. Lo que interesa relevar en esta obra recae en la expresión de los elementos de hormigón pretensado a la vista considerados en las cuatro naves paralelas del conjunto proyectado. La primera etapa consideró una de las dos grandes naves centrales del conjunto, desarrollada en una caja de 180 metros de largo y 36 metros de ancho dos niveles. Las otras dos naves, del mismo largo pero de 21 metros de ancho fueron postergadas para una segunda etapa. (**fig. 7.31-7.33**).

La expresión plástica del esqueleto a la vista de pilares y vigas de hormigón postensado, deja en evidencia el carácter masivo y contundente del volumen, reforzada por un sistema de pórticos rigidizados por su masividad (secciones entre 1.40 y 0.80 metros en nudos de unión) y la geometría tridimensionalmente triangulada (**figs. 7.29, 7.30**). Sin embargo, es en la sección de las fundaciones donde se observa un volumen de masa y peso

¹⁸ Arquitectos: O. Depetris, R. Carvallo; E. López. Construcción: Depetris Planeamiento y construcciones industriales; Propietario: Said Maipú S.A.; Destino: Industria Textil; Ubicación: Camino a Melipilla, Maipú, Santiago; Superficie terreno: 150.000m²; Superficie construida: Primera etapa: 15.000m²; Fecha proyecto: 1963; Período construcción: 1964 (obra gruesa). Fuente: Revista Técnica y Creación N°8, mayo de 1965, p. 59.

probablemente desproporcionado a las cargas consideradas para un uso exento de máquinas de alto tonelaje, como talleres mecánicos, por ejemplo. Es un caso que deja en evidencia así, las dificultades y limitaciones persistentes en el medio local (profesional, técnico y tecnológico) que impedían lograr estructuras más esbeltas y ligeras, como las desarrolladas en Brasil.

A diferencia de los Talleres Sumar, la techumbre y cubierta de las instalaciones Said fue resuelta en cerchas metálicas, que si bien resultaron más livianas que las vigas de hormigón, dejaron en evidencia el sobredimensionamiento de los elementos portantes de hormigón, más bien acordes con una construcción de grandes cuantías axiales y varios pisos. En todo caso, se debe destacar el asomo –parcial- exterior de los pórticos estructurales y la expresión plástica que imprimen en las fachadas laterales.

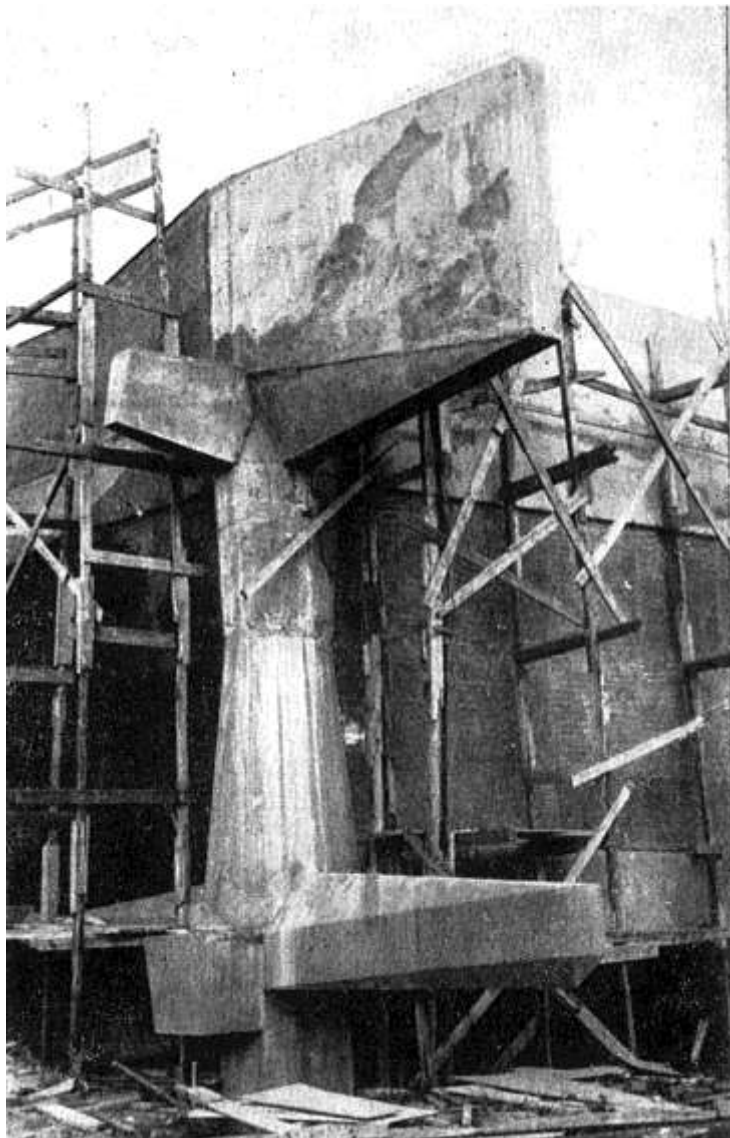


Fig. 7.29 Fábrica y Manufacturas Sumar, Santiago de Chile. Fotografía detalle estructura en hormigón armado. En: Revista Técnica y Creación N°8. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.



Fig. 7.30 Fábrica y Manufacturas Sumar, Santiago de Chile. Fotografía detalle enfierraduras vigas postensadas en hormigón armado. En: Revista Técnica y Creación N°8. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.



Fig. 7.31 Fábrica y Manufacturas Sumar, Santiago de Chile. Planta nave galpón primera etapa. En: Revista Técnica y Creación N°8. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.



Fig. 7.32 Fábrica y Manufacturas Sumar, Santiago de Chile. Fotografía fachada longitudinal nave primera etapa. En: Revista Técnica y Creación N°8. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.

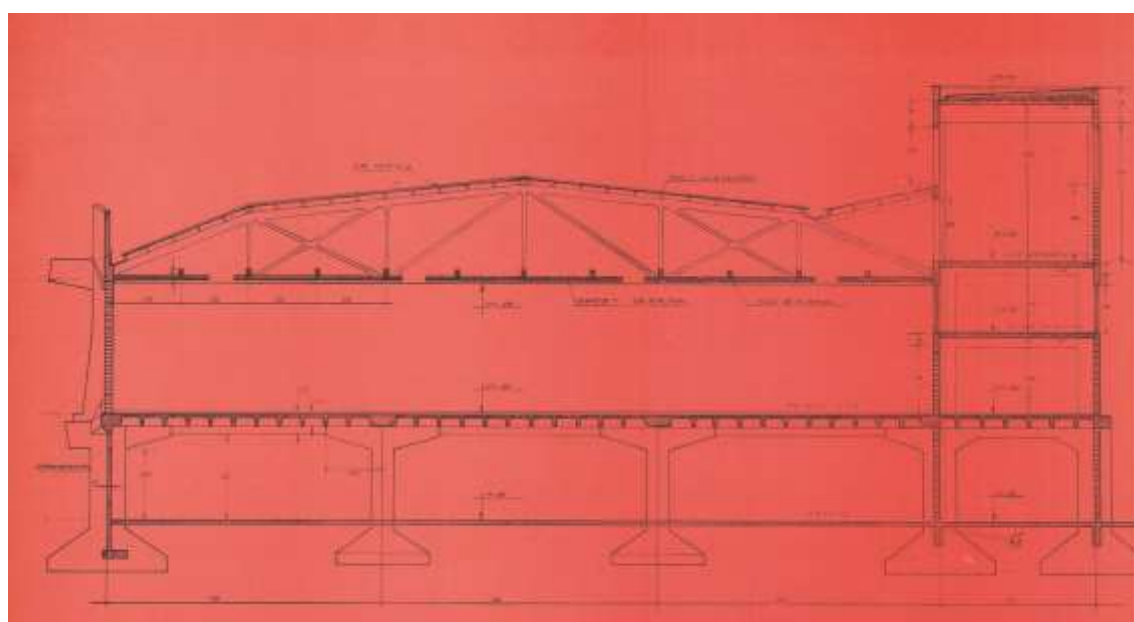


Fig. 7.33 Fábrica y Manufacturas Sumar, Santiago de Chile. Corte transversal nave galpón primera etapa. En: Revista Técnica y Creación N°8. Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.

Un tercer caso del rubro industrial es el conjunto que aglutina la fábrica de alimentos Carozzi (1961)¹⁹ En ésta, Duhart ensayó una estrategia arquitectónica y estructural distinta de la empleada en la sede Cepal, reinterpretada posteriormente en otros proyectos, incluido Endesa.

El complejo industrial está compuesto por tres unidades, que alojan tres funciones centrales, ordenados en forma lineal y consecutiva. Esto es, un cuerpo de ocho pares de silos;²⁰ un edificio destinado al molino y tolvas; y un tercer volumen que contiene las instalaciones de la fábrica propiamente tal (**fig. 7.34- 7.36**). Interesa aquí examinar brevemente el volumen del molino, pues constituye una variante de la búsqueda plástica orientada hacia la liberación de las plantas, a la vez que la expresión plástica de los sistemas estructurales, constructivos y materiales en que se funda.



Fig. 7.34 Fábrica alimentos Carozzi. E. Duhart arquitecto. Fotografía elevación poniente sector molino y silos.



Fig. 7.36 Fábrica alimentos Carozzi. E. Duhart arquitecto. Perspectiva a vuelo de pájaro del conjunto etapa proyecto, fachadas norte y poniente. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.



Fig. 7.35 Fábrica alimentos Carozzi. E. Duhart arquitecto. Fotografía vuelo de pájaro del conjunto.

El edificio del Molino es un paralelepípedo de una crujía, con ocho niveles interiores, incluido un subterráneo. Dada la naturaleza de sus funciones, la unidad arquitectónica no resuelve al interior la espacialidad que la planta libre supone. De hecho, entre los niveles tercero y séptimo, la estructuración interior está conformada por muros continuos; mientras que los dos pisos inferiores más el subsuelo, se aproximan a un plano interior libre, si bien mediante apoyos intermedios. Geométrica y compositivamente, destaca la inclusión pilares aislados, en serie y colocados al centro, sirviendo de distribución de las cargas de los niveles superiores (**figs. 7.37, 7.38**).

¹⁹ La obra corresponde a un complejo industrial emplazado en las cercanías de Santiago (Nos, Comuna de San Bernardo, Región Metropolitana) y construido en 1961. Fuente: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ediciones ARQ, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1994.

²⁰ Es importante mencionar que el estudio estructural particular de silos ha sido un tópico recurrente en el campo de la ingeniería y cálculo estructural sismorresistente del país. Sin embargo, debido a las limitaciones que impone estas tesis, no serán aquí abordados.

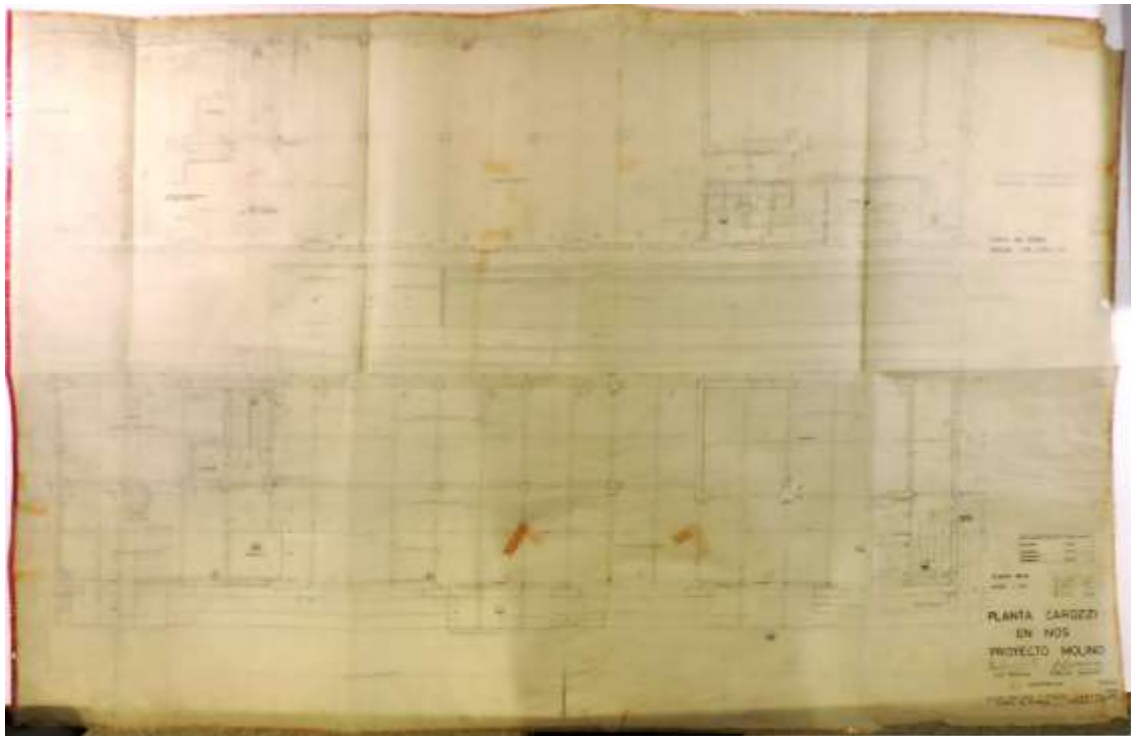


Fig. 7.37 Proyecto Molino Fábrica alimentos Carozzi. E. Duhart, L. Mitrovic, arquitectos. Planta baja. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

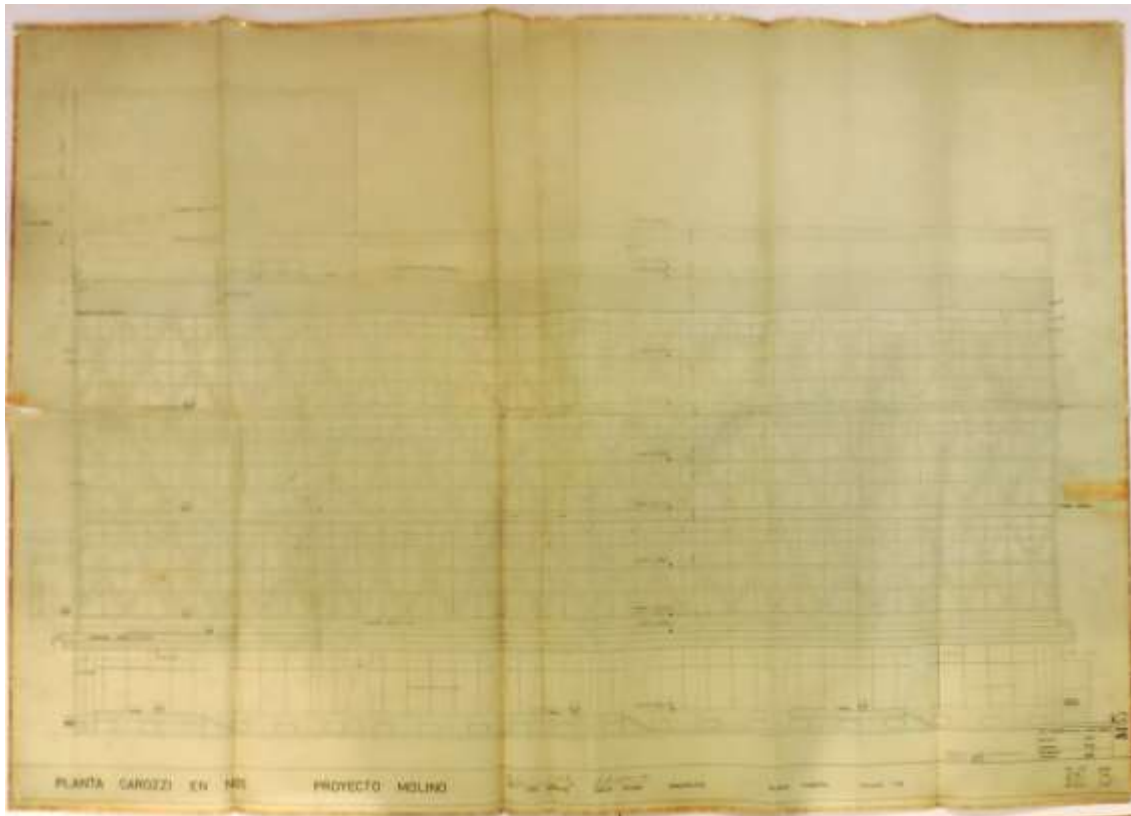


Fig. 7.38 Proyecto Molino Fábrica alimentos Carozzi. E. Duhart, L. Mitrovic, arquitectos. Elevación fachada poniente. Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

El rasgo más interesante, sin embargo, se observa en las fachadas laterales y, particularmente, sobre el costado poniente. Si en el edificio Cepal el principio estructurante fue por suspensión de la *superestructura* (efecto pendular), en el edificio Molino de Carozzi se observa la aproximación hacia la distribución rigidizada de cargas –en base a un orden geométrico triangulado– a la vez que expresión plástica, específicamente en la fachada poniente del Molino. En resto de las fachadas, sin embargo, presentan un orden ortogonal en muros (con fenestraciones) y marcos rígidos, trabajados en un solo plano sin relieves (**figs. 7.37, 7.38**). La exteriorización de la estructura en la fachada poniente supuso una posibilidad arquitectónica de planta libre, fundada en la autonomía de los elementos soportantes respecto de los elementos no estructurales.

A grandes rasgos, la fachada está conformada por tres planos consecutivos. En primer lugar, el cerramiento acristalado hacia el interior del volumen. Seguido por la malla estructural a la vista, cuya geometría se organiza en tres series horizontales, regulares y paralelas de machones en forma de cruz “X”, y unidas entre sí por losas. Y un tercer plano saliente, conformado por franjas horizontales de losas sostenidas por vigas perpendiculares y colocadas alternadamente acostadas o en vertical. Estos elementos, además de acentuar la horizontalidad de la modulación, actúan como una suerte de quiebravista que, en conjunto con la malla intermedia, integran una sola unidad material en hormigón armado. El conjunto está enmarcado por elementos laminares (vigas, losas y muros) que recorren el perímetro de la elevación (**figs. 7.34, 7.39-7.42**).



Fig. 7.39 Fotografía detalle volumen molino fábrica Carozzi, fachada poniente. © Luis Mitrovic

La cáscara reticular, semejante a una malla desplegada, ocupa los seis pisos superiores del edificio, mientras que la planta baja fue reservada para los pilares que la sostienen. Estos elementos, en forma de cruz maciza y alargada hacia los extremos superior e inferior, acusan también el juego de planos paralelos retranqueados unos de otros. Pero, a diferencia de los pilares piramidales empleados en la Cepal, los apoyos basales del Molino fueron concebidos como planos extruidos y levemente separados del cerramiento (fig. 7.42).



Figs. 7.40, 7.41 Fotografías detalle estructura de hormigón armado fachada poniente, volumen molino fábrica Carozzi. © Luis Mitrovic.



Fig. 7.42 Detalle fotografía volumen molino fábrica Carozzi, fachada poniente. © Luis Mitrovic.

Un edificio que empleó variantes arquitectónicas familiarizadas con el Molino Carozzi fue la Central de Distribución de Correos de Chile (**fig. 7.43**), proyectado por el arquitecto Boris Guiñerman (Aguirre, . Construido parcialmente (1970c),²¹ el requerimiento espacial gravitó esencialmente en torno a la necesidad de contar con plantas despejadas impuesta por la logística del programa. Esta obra, raramente referida por la literatura especializada, recogió parte de las exploraciones desarrolladas previamente por Gebhard en la Estación de Biología Marina de Montemar y por Emilio Duhart en las instalaciones industriales de la empresa Carozzi.

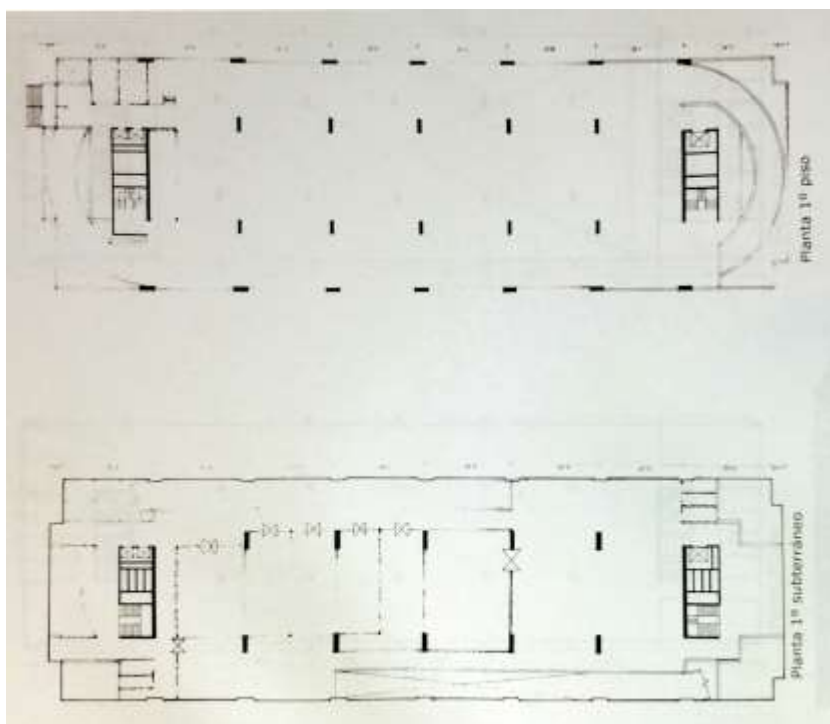


Fig. 7.43 Edificio Central de Distribución Correos de Chile. Planta primer piso y primer subterráneo. Torrent, Horacio, Ciudades de Barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX, IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil, 25 al 27 de marzo de 2013.

Si Gebhard liberó la planta baja echando mano a un recurso tipo palafito, la Central de Correos lo hizo, al igual que en el Molino Carozzi de Duhart, insertando machones en los planos de las fachadas longitudinales, y confinando las fachadas laterales en planos prácticamente opacos constituidos por marcos rígidos de hormigón armado rellenos de albañilería (**fig. 7.44**). La crujía considerada en este caso exigió, a diferencia de la Estación de Biología Marina Montemar y, parcialmente en Carozzi, la inclusión de pilares

²¹ De la totalidad del edificio proyectado, se ejecutó tan solo una parte, que no obstante su parcialidad, reporta aún en el presente la búsqueda arquitectónica y estructural centrada en vaciar el interior de las plantas sin disminuir por ello los márgenes de estabilidad, resistencia y rigidez estructural necesarios.

De este modo, la propuesta arquitectónica recogió las necesidades exigidas por un programa que requería de “un espacio homogéneo, regular y flexible (...) permitiendo [así] que una misma estructura portante [acogiera] las distintas fases para la clasificación de las cartas.” (Aguirre, 2001:7). A pesar del esfuerzo que supuso la exteriorización de la estructura en los costados oriente y poniente, el proyecto contempló al interior de las plantas dos núcleos verticales –de muros en hormigón armado- y una secuencia de 5 pares de machones intermedios, que corren paralelos al eje transversal de la nave con el fin de distribuir las cargas superiores (**fig. 7.44, 7.45**).

La estructura que antecede las fachadas longitudes, en tanto, está conformada (en cada plano oriente y poniente) por un sistema de machones diagonales en “V”, de ángulos y desarrollo variables, enmarcados en los extremos superior e inferior por vigas maestras. Mientras que dos vigas longitudinales de sección doble “T” y *atiesadas* con aletas perpendiculares al alma, recorren la longitud de la nave en dos niveles intermedios. Tanto vigas maestras, como vigas doble “T” y los pilares basales conforman una sola estructura monolítica unida por machones en “V” colocados consecutivamente en forma invertida uno de otro, configurando una suerte de tejido monolítico de hormigón armado (**fig. 7.45**).

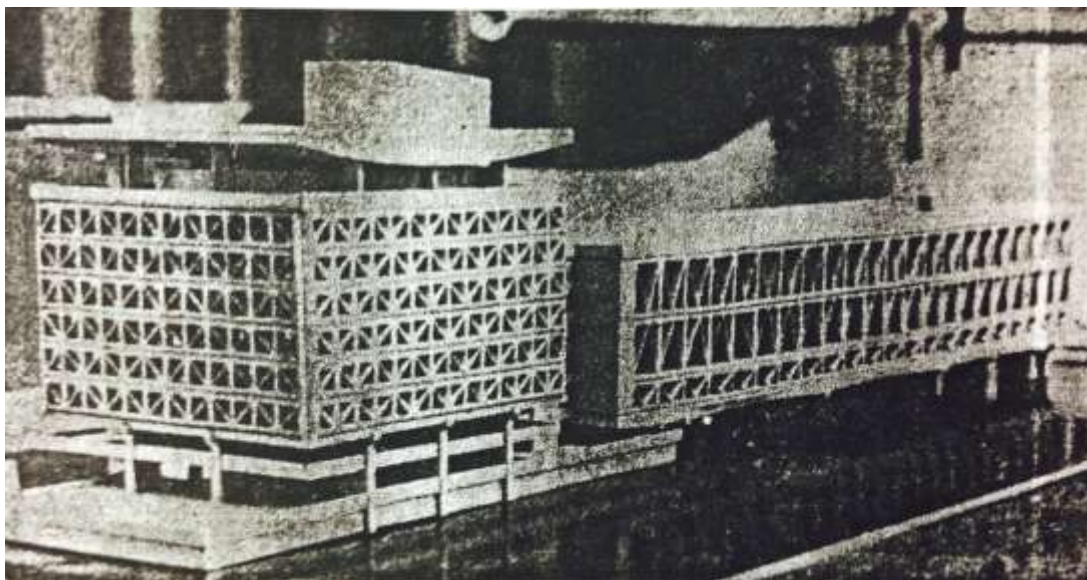


Fig. 7.44 Edificio Central de Distribución Correos de Chile. Fotografía maqueta proyecto del conjunto. Torrent, Horacio, Ciudades de Barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX, IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil, 25 al 27 de marzo de 2013.

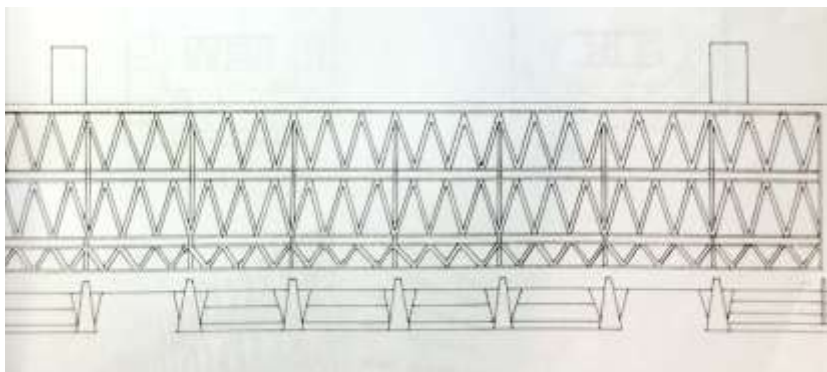


Fig. 7.45 Elevación parcial fachada oriente edificio Central de Distribución Correos de Chile. Torrent, Horacio, Ciudades de Barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX, IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil, 25 al 27 de marzo de 2013.

En un sentido general, se observan cuatro órdenes estratificados verticalmente. En primer lugar, la planta baja conformada por una secuencia regular de pilares que sirven de apoyo a la viga maestra que soporta a su vez la losa del segundo nivel. En el caso de los pilares, destaca su sección variable, semejando virtualmente la intersección perpendicular de dos triángulos truncados e invertidos, pero perpendiculares entre sí (**fig. 7.45**). Un segundo orden corresponde al segmento confinado al segundo piso del edificio, conformado por una serie reticulada de machones en “V”. Los otros dos órdenes, semejantes entre sí, corresponden al tercer y cuarto piso, y al quinto y sexto respectivamente. En cada uno de éstos se observa una serie reticular de machones en “V” de orden gigante (o si se quiere doble altura), confinados por una viga en “T” normal al plano de fachada. La grilla virtual que rige la composición del plano, expresa la distribución de las cargas diagonales y la rigidez necesaria en ambas fachadas. Pero también permite identificar la relevancia de los machones que cruzan verticalmente la malla reticulada y acentuando los ejes estructurales jerárquicos alienados a los pilares de la planta baja. Este orden subyacente obligó la variación angular de los machones en “V”, pasando del triángulo equilátero empleado en el segundo nivel, a triángulos isósceles de base menor. (**Figs. 7.46-7.48**).



Fig. 7.46 Edificio Central de Distribución Correos de Chile. Fotografía edificio (primera etapa) en proceso de construcción, fachadas sur y poniente, detalle. Torrent, Horacio, Ciudades de Barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX, IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil, 25 al 27 de marzo de 2013.

Fig. 7.47 Edificio Central de Distribución Correos de Chile. Fotografía edificio (primera etapa) en proceso de construcción, fachadas sur y oriente. Torrent, Horacio, Ciudades de Barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX, IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil, 25 al 27 de marzo de 2013.

Las obras revisadas aquí sucintamente, y en particular las desarrolladas por Duhart, comparten un sentido de exploración espacial transversal a todas ellas. Corresponden en general a paralelepípedos acostados, de una o dos crujías y de alturas cercanas a los 40 metros. Todos estos casos se centran además en resolver la horizontalidad del edificio a través de distintos recursos estructurales, desde el péndulo invertido empleado en la Cepal, hasta la transmisión descendente de cargas a través de diagonales rígidas.

Sin embargo, el Ministerio del Trabajo de Duhart (1969)²² trasladó el problema arquitectónico-estructural ensayado previamente en función a la horizontalidad, hacia un problema vertical en un volumen en altura. Atendiendo el requerimiento inicial del concurso (construcción en dos etapas), la propuesta de Duhart consideró la inclusión de un “piso cintura” a media altura, “que alojaba una cafetería y marcaba ambas etapas.” (Montealegre, 1994). Solución constructiva y estructural compleja e innovadora para entonces, que habría posibilitado la conclusión de los pisos superiores del edificio sin obstruir el funcionamiento de la primera fase (**fig. 7.49-7.53**).

El edificio, emplazado en el casco histórico de Santiago, fue proyectado inicialmente como torre aislada, formalmente ligada a los volúmenes vecinos a través de una marquesina perimetral a media altura de la planta baja. Sobre este nivel, resaltan los monumentales marcos rígidos que reciben la convergencia de cargas superiores y que transmiten cenitalmente a las fundaciones (**fig. 7.52**). En este caso, el anteproyecto fue concebido bajo el principio estructural empleado previamente en la fachada poniente del Molino Carozzi, pero aplicado como principio rector en todo el volumen, conjugando así altura, planta libre y sistema estructural compuesto (losas, pilares y vigas), rigidizado por una malla triangulada continua y monolítica de hormigón armado a la vista.



Fig. 7.48 Edificio Central de Distribución Correos de Chile. Fotografía edificio (primera etapa) fachadas oriente. Torrent, Horacio, Ciudades de Barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX, IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil, 25 al 27 de marzo de 2013.

²² Proyecto ganador del Concurso Público Nacional de Arquitectura (Montealegre, 1994).

Del anteproyecto ganador al proyecto finalmente ejecutado hubo variaciones que modificaron sustancialmente el aspecto exterior del edificio, pero conservó el criterio de estructuración inicialmente empleado, si bien invisibilizado por los planos de recubrimiento en las fachadas. El contraste entre ambos proyectos obedeció a la decisión de construir el proyecto en una sola etapa (Montealegre, 1994). Por tanto, la división programática y estructural considerada en primera instancia dejó de tener sustento, lo que redundó en la supresión de la planta conectora entre ambas fases presente en el anteproyecto. Mientras que el esqueleto estructural a la vista fue sustituido por fachadas laminares perforadas (fenestraciones). Así, la distribución alternada lleno-vacío en cada piso, estableció un trazado virtualmente ligado a la estructura diagonalizada anterior.

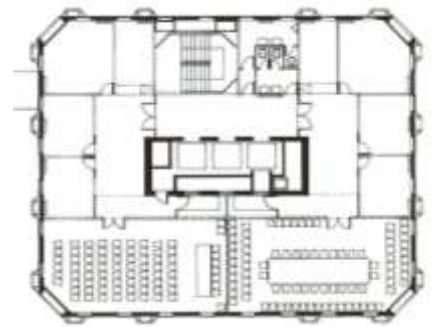
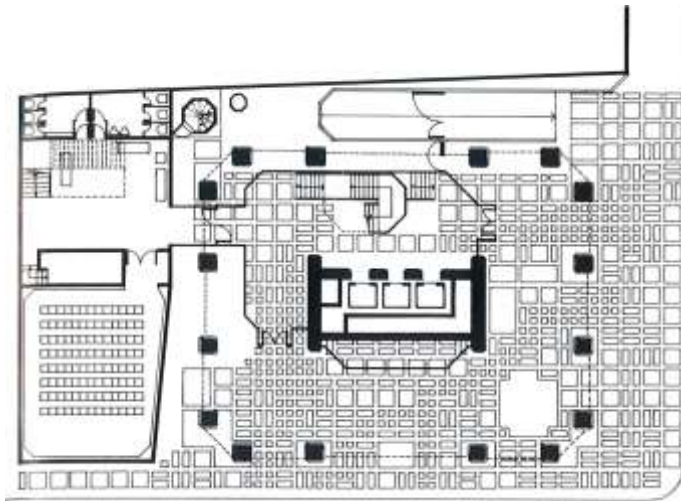


Fig. 7.49 Edificio Ministerio del Trabajo. E. Duhart arquitecto. Arriba: Planta primer nivel. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.

Fig. 7.50 Edificio Ministerio del Trabajo. E. Duhart arquitecto. Izq. Planta primer nivel. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.



Fig. 7.51 Edificio Ministerio del Trabajo. E. Duhart arquitecto. Perspectiva fachadas principales anteproyecto. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.



Fig. 7.52 Edificio Ministerio del Trabajo. E. Duhart arquitecto. Fotografía obra construida. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.



Fig. 7.53 Edificio Ministerio del Trabajo. E. Duhart arquitecto. Fotografía obra construida. Detalle estructura a la vista. En: Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.

Se debe subrayar que el Ministerio de Trabajo fue proyectado y ejecutado con posterioridad a la torre Endesa. Sin embargo, marcó un hito cronológico dentro del proceso de exploración arquitectónica desarrollado por Duhart durante la década de 1960, incluyendo el edificio Endesa. Esto es importante porque permite constatar que los ejercicios ensayados en cada una de estas obras no supone necesariamente una trayectoria lineal ni un patrón *evolutivo* de la forma. Son, antes que nada, aproximaciones espaciales, estructurales, constructivas y materiales orientados hacia la concreción de una idea arquitectónica. En este contexto, la torre de oficinas Endesa derivó hacia una solución plástica de la estructura a la vista más simplificada, y que reemplazó la expresión de la retícula diagonalizada por la disposición seriada de marcos ortogonales, no por ello menos rígidos.

Sistema estructural: aparente simpleza, velada complejidad y la materialización del paradigma probabilístico: Uno de sus rasgos que distingue al edificio Endesa radica en la regularidad geométrica que rige la totalidad del partido general, expresada en la configuración y orden del volumen, como en la modulación de la estructura a la vista. En cambio, otras cualidades estructurales menos evidentes -o derechamente veladas- se pueden identificar al examinar la simpleza del orden espacial y estructural que impera en todos sus planos (verticales y horizontales), en la unión de los elementos soportantes, la continuidad de transmisión de cargas verticales o en la rigidez de los pórticos que rodean las fachadas (Arias, 1985).²³

Asumiendo que parte de las cualidades arquitectónicas y estructurales que comparecen en la obra (aquellas aparentes y aquellas veladas), cabe preguntarse cuáles son los atributos en que se funda el supuesto que asimila el edificio Endesa en tanto síntesis arquitectónica del paradigma estructural probabilístico expresado a través de conceptos espaciales, constructivos y materiales notables. Este apartado tiene por objeto determinar los puntos medulares que hacen efectivamente de esta obra una síntesis de principios arquitectónicos y estructurales paradigmáticos durante el período.

Un primer hecho relevante refiere al proyecto estructural, desarrollado por una de las figuras destacadas en materia de cálculo sísmico en Chile. En efecto, el ingeniero a cargo de dicho proyecto fue Rodrigo Flores, quien se desempeñó profesionalmente en Endesa hacia la década de 1940. Sin

²³ Una operación de este tipo implica una serie de consecuencias que exceden los alcances espaciales, como por ejemplo, el control lumínico o la climatización interior artificial. Una de las razones fundamentales con las que contra argumentaron los autores del proyecto (Luis Larraguibel y Jorge Aguirre) fue la inclusión de un sistema de climatización interior -de avanzada para el período- que requería completa hermeticidad del plano de fachada. Mientras que desde un punto de vista funcional y económico, los elementos estructurales salientes contribuyen, a juicio de Larraguibel, a la protección “durante varias horas del día (...) un buen porcentaje del ventanal corta [sic] el sol y la luz molesta [ahorrando el hecho que] el empleado (...) [tuviera] que retirar su escritorio del plano de la ventana, perdiéndose superficie útil.” (Revista AUCA, 1969:53 revisar cita APA para revistas).

embargo, el encargo le fue encomendado cuando trabajaba en forma particular.²⁴ Esto es importante porque Flores fue, entre otros destacados profesionales, uno de los ingenieros que contribuyó al perfeccionamiento de los criterios y métodos de cálculo estructural impulsados a partir de la segunda mitad del siglo XX en el país. Por tanto, su experiencia y conocimientos proveyeron conceptos teóricos fundamentales al proyecto estructural del edificio.

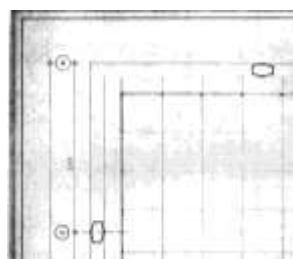
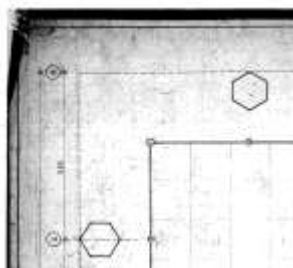
Por otro lado, hubo una conexión directa del profesional con los grupos de estudio asentados en California. De hecho, mantuvo un estrecho vínculo con figuras relevantes en la historia de la ingeniería sísmica mundial. Así por ejemplo, el proyecto de la Compañía de Aceros del Pacífico (1946) –calculado por Flores– contó con la colaboración de John Blume, a quien conoció durante su estadía en Estados Unidos (alrededor de 1945). Estadía que le permitió “imponerse de los adelantos en materia de investigación sísmica y de cálculo avanzado de estructuras (...), [y] nuevos métodos (...) [aplicados] en el diseño de las obras civiles.” (Sáez, 1989:21). Mientras que en cuanto a contactos, destacan “Jacobsen en Standford, Salvadori en Columbia y Martel y Housner del CALTEC.” (Sáez, 1989:22). Ello explica en parte, la incorporación de la teoría de los espectros (espectro de aceleraciones) en la Norma NCh433 of.72, desarrollada con anterioridad principalmente en el medio estadounidense.

En este sentido, parte sustancial de los contenidos teóricos recogidos en la Norma de 1972 fueron plasmados y materializados con anterioridad en la torre Endesa, siendo gravitante la figura de Flores. Así, para comprender de modo más profundo las lógicas que comparecen en el sistema de estructuración del edificio, se debe examinar la obra construida a la luz de la información contenida en los planos de arquitectura y cálculo estructural. Aunque no se cuenta con la totalidad de los juegos de planos de la obra, se ha accedido a un volumen importante de láminas correspondientes al proyecto de arquitectura y cálculo estructural.²⁵

El análisis que se desarrolla a continuación aborda la dimensión arquitectónica, estructural, constructiva y material de la torre Endesa, para comprender sus lógicas espaciales, formales y de resistencia que posibilitaron su erección a la luz del nuevo paradigma de cálculo. Desde este punto de vista, la operación fundamental que prevalece en la obra radica en la lógica que subyace en la conformación de un volumen de planta libre. Articulada por

²⁴ En pues en 1956 había ya fundado su oficina profesional particular. De hecho, la totalidad de los planos de cálculo cuentan con la rúbrica (fechada en 1965) de Rodrigo Flores e I.T.P ingenieros encabezada por Elías Arze, otra figura relevante en materia de cálculo sísmico especializado en estructuras de acero. Si fuese así, resulta curioso de todos modos que una empresa de esas características y que gestionó interna y directamente el desarrollo del proyecto, encomendara el cálculo a terceros. Situación que podría explicarse, sin embargo, por la especialización y experiencia alcanzada por Flores en cálculo estructural sismorresistente y su vínculo previo con la empresa.

²⁵ Entre otros, planos de plantas por piso, elevaciones y detalles. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.



Figs. 7.54, 7.55 Edificio de oficinas Empresa Nacional de Electricidad S.A. (Endesa), proyecto. Detalle planta arquitectura piso tipo, 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

elementos rígidos (muros nucleares, losas, vigas y marcos perimetrales), la obra supone una síntesis entre el sentido arquitectónico y el diseño estructural, asegurando así los principios básicos de estabilidad, resistencia sísmica y durabilidad allí presentes.

La rigidez del núcleo vertical no sólo refiere la constitución en hormigón armado de sus muros, sino también al diseño y concepción estructural que lo rige. Esto es, la conformación de un cuerpo binuclear (Aguirre, 1969) conformado por dos cajas, con vanos puntuales, ligadas entre sí por una estructura en “H” (**figs. 7.54-58**). De hecho, la decisión arquitectónica de concentrar los ascensores “espalda con espalda” (Larraguibel, 1969) estuvo condicionada por la necesidad de disminuir la congestión de personas en horas punta.²⁶ Mientras que estructuralmente proveyó una “ventaja de longitud de muros resistentes en el sentido transversal [en que un] esquema de núcleo único (...) daba cuatro muros estructurales (...) [en circunstancias que] los calculistas requerían cinco (...) [obtenidos] con la H central.” (Aguirre, 1969:51).

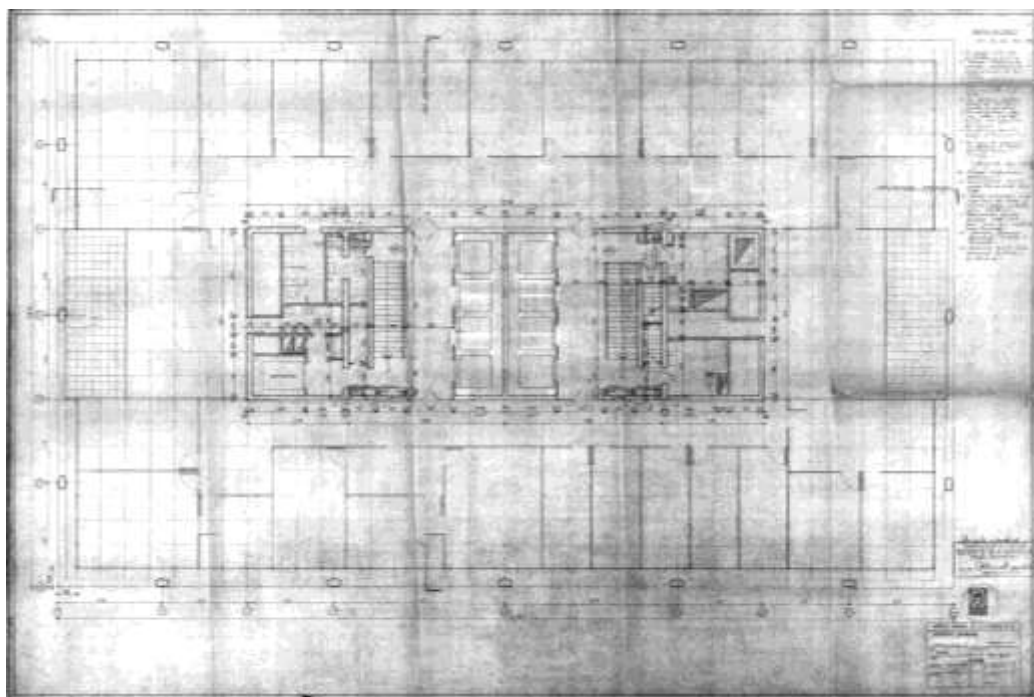


Fig. 7.56 Edificio de oficinas Empresa Nacional de Electricidad S.A. (Endesa), proyecto. Planta arquitectura piso tipo, 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

²⁶ “Después de las 8:30 llegan en 15 minutos 1500 personas al edificio y el requerimiento de los vestíbulos corresponde exclusivamente a la circulación vertical. Si en ese momento tuviéramos un sólo [sic] vestíbulo con los ascensores cara a cara, de la cola de personas excedería toda el área prevista, congestionando al máximo.” (Larraguibel, 1969:50).

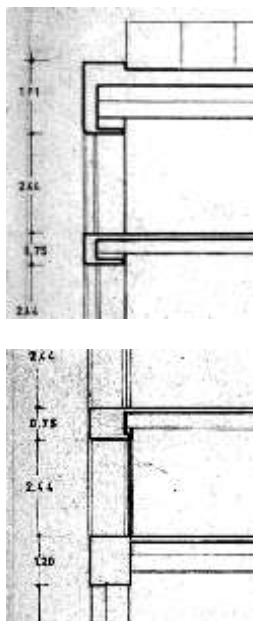


Fig. 7.59 Detalle plomo fachada norte. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

La torre está conformada verticalmente por un nivel zócalo de tres niveles, coronado por un cuarto piso que se distingue por su confinamiento -inferior y superior- mediante vigas de altura mayor (1.80m y 1.20 respectivamente). El cuerpo intermedio, en tanto, corresponde al conjunto de pisos tipo que van desde el nivel 5 al 19. Este último recibe una viga maestra de 1.71m de altura que remarca el término de la secuencia vertical de plantas libres. Los niveles superiores (piso 20 y 21) corresponden a pisos de carácter técnico retirados en las cuatro fachadas (**figs. 7.60, 7.61**). Salvo los pisos retirados, el resto de la unidad se enmarca por la grilla perimetral que conforman las cuatro fachadas. Se trata de una secuencia de marcos rígidos solidarios al resto de la estructura y modulados regularmente dentro de un esquema cartesiano.

La cara frontal de los pilares y vigas que conforman las retículas de fachada, presentan dimensiones prácticamente homogéneas (60 y 75 centímetros), acentuando así una aparente regularidad. Sin embargo, es en los espesores de las vigas donde se absorben importantes variaciones que redundan en vigas de sección mayor en los niveles inferiores, y sección menor hacia el plano de cubierta. Es decir, una lógica de progresiva disminución de masa y peso estructural en sentido ascendente.

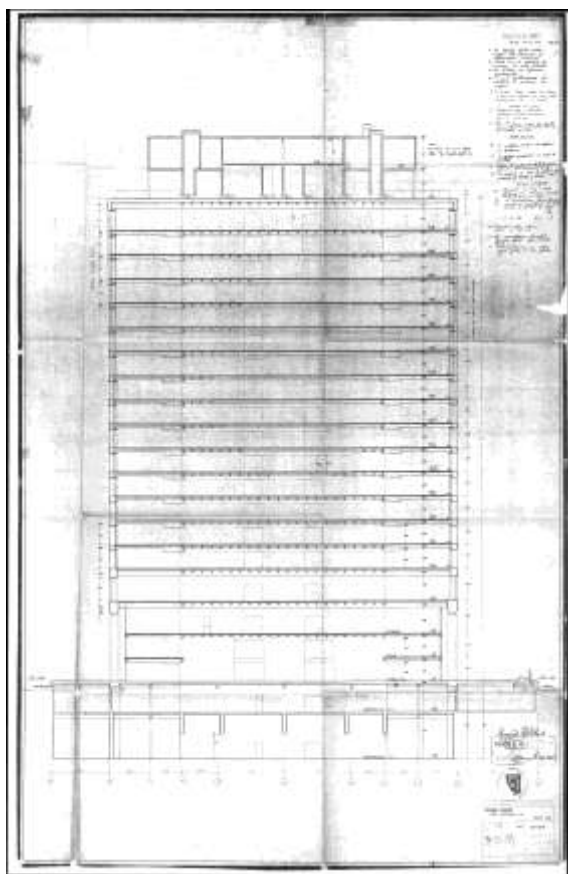


Fig. 7.60 Edificio oficinas Endesa, corte longitudinal. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

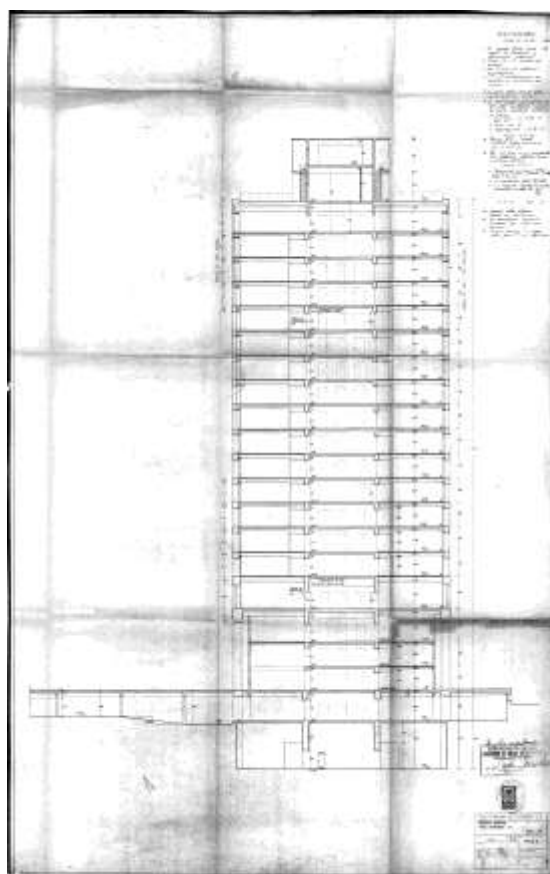


Fig. 7.61 Edificio oficinas Endesa, corte transversal. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

Así, la viga maestra que corona del pórtico perimetral en la planta baja, presenta un espesor de 1.30m y la siguiente -en sentido ascendente- 1.10m. A partir de la viga superior del quinto piso, el espesor de las vigas se reduce progresivamente en razón de 10cm cada dos vigas, que concluye con un binomio de vigas (piso 19) de 0.30m de ancho. Formalmente, esta variación progresiva se resuelve conservando el plano exterior de las fachadas a plomo y absorbiendo la diferencia sobre los planos de encuentro entre la cara interior de la estructura de marcos con el cerramiento acristalado en cada nivel. (**figs. 7.60-7.62**).

Esta operación incidió de forma análoga en la sección de los pilares, cuya geometría hexagonal, imprimió un grado de complejidad adicional en la solución formal y constructiva. De este modo, la sección hexagonal conserva intactos los lados frontales (plano de fachada), mientras que los costados se reducen como si fuesen comprimidos. Esto queda expresado con claridad en la marcada diferencia entre las secciones de los pilares de la planta baja y los pilares de la planta superior (**figs. 7.54-7.55**). Un segundo alcance radica en la absorción de la variación de distanciamiento entre la cara interior de la estructura porticada y el plomo de cerramiento en cada planta de oficinas, a través de la prolongación de la base de las vigas superiores en cada piso, que generó una suerte de cenefa -o espesor falso- hasta empalmar con el plano de cristal de la fachada (**figs. 7.59-7.62**).

Pero la disminución de las secciones conforme la altura del edificio aumenta, no sólo se vincula con un problema de reducción de masa y peso de cada uno de los elementos estructurantes, y por extensión, del volumen en su totalidad. Refiere también una dimensión teórica y normativa, que respondió a la concepción de la unidad edificada y su respuesta a los sismos en un sentido dinámico, no lineal y condicionado al período de vibración. Para ello, la Norma estableció que “Todo edificio deberá ser estructurado de modo que en cada uno de sus niveles la fuerza que actúa sobre cualquier elemento debido a la acción del momento de torsión (...) [y] no podrá exceder a la fuerza que actúa sobre el mismo elementos como resultado de la distribución del esfuerzo de corte.” (NCh433 Of.72:art.6.2.8). Por tanto, el cálculo de cada piso por separado, sirvió de herramienta y método para determinar las secciones específicas a cada caso, teniendo en consideración las partes y la totalidad del sistema arquitectónico.

Los muros del núcleo central, en cambio, presentan espesores regulares en gran parte del recorrido vertical, salvo en los niveles inferiores y superiores. Los muros transversales (sentido norte-sur) tienen un espesor de 50cm, mientras que los longitudinales varían entre 45cm, en el primer piso, y 40cm en los pisos tipo (**figs. 7.57-7.58**). Esta característica implica un leve aumento en superficie útil, pero una disminución considerable en la masa y peso del edificio y, por tanto, del costo de construcción, sin disminuir por ello

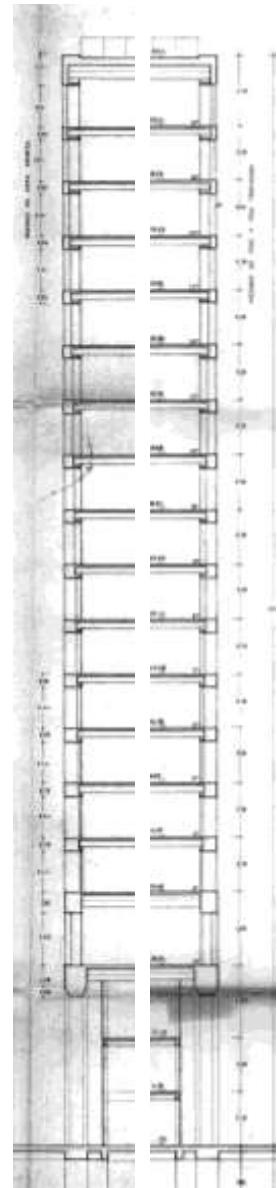


Fig. 7.62 Detalle plomos fachadas norte y sur. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

la estabilidad y resistencia, al tiempo que una cualidad arquitectónica y estructural. Uno de los temas de fondo expresados en este rasgo formal radica en los ajustes de rangos (secciones mínimas) establecidos en los métodos y procedimientos de cálculo estructural que, subordinados al orden arquitectónico, supo dar solución eficiente a la condición plástica del edificio. El criterio de disminución de masa y peso se manifestó también en la exclusión de tabiques interiores sólidos de albañilería (cargas muertas) de división interior,²⁷ para cuyo efecto se recurrió a la planta libre como plano de soporte de “tabiques modulares móviles.”

Del total de planos contenidos en el expediente municipal, se cuenta solo una planta de fundaciones correspondiente al área bajo la plaza de acceso, donde se logra, sin embargo, identificar una parte de los cimientos del borde norte de la torre de oficinas. A partir de esta fuente, si bien limitada y parcial, se pueden observar dos situaciones importantes. En primer lugar, que las fundaciones de la torre están ligadas a una plataforma de fundaciones de superficie muy superior a la proyección del área que ocupa la torre (**fig. 7.63**), lo que se explica por razones de orden programático. Pero desde un punto de vista sísmico y estructural, esta solución supone el refuerzo del plano de fundación del edificio incluso más allá de lo estrictamente necesario. Se trata por tanto, de un criterio de fundación que combina cimientos corridos (muros perimetrales), dados y vigas de amarre entre unos y otros, los que unidos a las fundaciones de la torre, actúan como un sistema. El segmento parcial de cimientos del borde norte de la torre presenta así una estructuración de cimientos corridos con salientes (a modo de contrafuertes) correspondientes axialmente con los pilares de la planta baja. A partir de la representación del plano, se puede colegir la ligazón de los cimientos perimetrales (colineales al plano exterior de la torre) conforman, junto con las fundaciones del núcleo vertical, una malla estructural ligada por vigas (**fig. 7.63-7.64**).

Desde el punto de vista normativo, la inclusión de planos subterráneos supuso la disminución de las cargas aplicadas en la totalidad de las plantas del edificio, en el entendido que “Cuando el edificio tenga subterráneos, por debajo del nivel basal el esfuerzo de corte en los entrepisos de éstos subterráneos podrá considerarse constante (...) [y] se podrá admitir que son nulas las fuerzas sísmicas al nivel de cada piso subterráneo...” (NCh433 Of.72:art.6.2.3). De este modo, la carga basal quedó confinada solo a la planta baja, que en este caso, estuvo concentrado en los tres primeros niveles, considerando la triple altura proyectada.

²⁷ Los únicos tabiques y muros de relleno considerados en el edificio, se concentran en el núcleo vertical y fueron construidos en “concreto <tipo C> (150Kg/cm²) y mallas <acma>.” Plano de cálculo estructural, Empresa Nacional de Electricidad S.A., Planta Cielo Entrepiso, lámina N°116-8 de fecha 28/09/1965. Archivo Técnico Departamento de Arquitectura, Dirección de Obras Municipales, I. Municipalidad de Santiago.

Tomando en cuenta el rol fundamental que cumplen las plantas bajas cuando se ven sometidas a esfuerzos sísmicos, la torre Endesa representa un caso importante pues los pilares que recorren libremente una altura de 21.39m (equivalente a tres niveles), carecen de elementos de arriostramiento en las áreas de intercolumnios, logrando con ello una limpieza formal del edificio, la transparencia y fluidez visual entre los pilares y el plano de cerramiento y la prevalencia de una geometría exteriormente ortogonal. Se conforma así una secuencia de pilares y vigas trabajados combinadamente con planos ortogonales e inclinados.²⁸ Forma que desde un punto de vista estructural implicó la incorporación de polígonos irregulares y alejados de secciones en base a cuadrados o rectángulos. Esto es importante porque representa una exploración formal alejada del criterio de resistencia por oposición a la fuerza sísmica en sentido cartesiano. Este tipo de solución supuso un logro arquitectónico, plástico y espacial, que fue posible por el empleo de recursos estructurales, científicos y técnicos de la construcción para un medio altamente sísmico como Chile.

Junto con los pórticos de las fachadas y el núcleo vertical, un tercer grupo de elementos soportantes está conformado por losas de hormigón armado y viguetas pretensadas y prefabricadas que completan el sistema soportante. Tanto las viguetas como las losas se apoyan en las paredes del núcleo central y pórticos exteriores, desarrollando una longitud libre de apoyos intermedios de 9.0m a eje. Sobre la planta baja, completan el sistema un conjunto de cuatro vigas maestras (dispuestas en sentido norte-sur) que refuerzan las esquinas del núcleo murario generando cuatro áreas de losas (alas poniente y oriente; costados norte y sur) en cuyo interior se distribuyen las viguetas a 1.30 de distancia entre sí (**fig.7.67-7.69**). Solución estructural que expresa variantes frente a la observación propuesta por Torroja en 1957, cuando propuso que el sistema de hormigón –pre y postensado– “no se trata simplemente de un diferente proceso de construcción, sino que toda la estructura ha de venir pensada y proyectada especialmente, para ser construída [sic] por elementos prefabricados y posteriormente enlazados entre sí.” (Torroja, 2010:79).

En este sentido, la Norma 433 Of.72, consideró las losas conformadas por elementos prefabricados²⁹, en tanto diafragmas rígidos, en cuyo caso “los pisos y cubierta, las fuerzas horizontales aplicadas al nivel de cada piso deberán ser distribuidas entre los diversos elementos destinados a resistir dichas fuerzas de modo que en cada nivel exista equilibrio de fuerzas y compatibilidad entre las deformaciones de esos elementos y la condición de

²⁸ La sección hexagonal irregular, compuesta por cuatro lados semejantes (bordes superiores e inferiores) y otros dos, distintos de los anteriores, de longitud igual a 0.60m. Cada uno de estas caras iguales reciben el plano basal de la viga maestra que completa el sistema de pórticos, y cuya sección trapezoide invertida varía progresivamente hacia el plano de convergencia en el punto medio entre los apoyos.

²⁹ “Las losas formadas con elementos prefabricados de hormigón armado, hormigón precomprimido o albañilería armada podrán aceptarse como capaces de asegurar la distribución (...) siempre que hayan tomado precauciones adecuadas para lograr uniones efectivas entre las losas y los elementos verticales...” (NCh433 Of.72:art.6.2.4).

diafragma rígido.” (NCh433 Of.72:art.6.3.1). Se trata, por tanto, de una disposición normativa alineada con la forma y orden predominante en el edificio Endesa, observable tanto en la modulación regular de los elementos estructurantes, de cada nivel en forma autónoma, y de la unidad arquitectónica como sistema.

Sistema constructivo y sistema material en Endesa. La firmeza y la rigidez monolítica en hormigón armado: El edificio Endesa es una construcción fundamentalmente constituida en hormigón armado, aunque una parte de elementos secundarios fueron concebidos en acero³⁰. El análisis que sigue se apoya en la premisa que se trata de una pieza esencialmente monolítica, considerando que la totalidad de su obra gruesa está constituida por muros, pilares, vigas, losas y tabiques de hormigón armado. De modo que interesa examinar con mayor detención aquellas características propias de su condición material y la forma en que sus componentes constructivos se articulan, en el entendido que “[c]onstruir es unir materiales y elementos constructivos (...) [en forma] resistente, durable, factible, estética, funcional y económica.” (Rojo, 1985:36).³¹ Constructiva y materialmente, uno de los aportes notables en Endesa radica en la articulación integrada de los sistemas estructurales y constructivos que comparecen en el núcleo central, en los marcos exteriores, y en los diafragmas horizontales (losas y vigas prefabricadas), observable no sólo en sus cualidades plásticas, sino que también en los finos acabados.

Podría pensarse que la calidad obtenida en la factura del hormigón fue posible mediante sofisticados procedimientos y técnicas de construcción. Sin embargo, lejos de incorporar supuestas “novedades en materia de moldajes” (Lawner, 1969:62), fue fabricada con métodos de construcción tradicionales.³² Esto es relevante, porque más allá de las consideraciones estéticas que puede representar un buen acabado en hormigón armado visto, supone sobre todo un estricto proceso de confección que redundaba esencialmente en la resistencia estructural y material. La ausencia de imperfecciones en las caras y aristas de los elementos estructurales a la vista presentes en la obra, fue una demostración que dejó en evidencia que la construcción rigurosa y controlada, ejecutada por mano de obra capacitada –y con oficio–, podía dar óptimos resultados. Esto fue posible, entre otras razones, por la “consciencia de la responsabilidad que a cada uno se exigía” (Larraguibel, 1969:62), transversal

³⁰ Específicamente, los niveles subterráneos cuentan con estructuras metálicas que soportan altílos los que, a su vez, están destinados particularmente a los equipos de aire acondicionado.

³¹ En: Rojo, Sergio, Construir es Unir, Revista CA N°42, diciembre 1985.

³² Por ejemplo, el trabajo en los encofrados de madera, basado “un cuidadoso arriostamiento y aplomado de toda la carpintería, ejecutada con álamo cepillado y machihembrado (...) [mientras que] todo el corte de concreto de efectuó en canterías previstas en el diseño y ejecutadas con mucha prolijidad en el moldaje.” (Larraguibel, 1969:62).

a los maestros carpinteros y al cuerpo de profesionales y técnicos involucrados.³³

La experiencia de los ingenieros de Endesa, concentrada principalmente en obras civiles de gran escala (represas y centrales hidroeléctricas), fue en cierto modo traspasada también a la obra. Además de la destacada trayectoria de Rodrigo Flores, ingeniero estructural del edificio, los conocimientos adquiridos en infraestructura se tradujo concretamente en el método de ejecución. En efecto, “Endesa tenía la experiencia (...) de la Central hidroeléctrica de Rapel, en la cual ya se habían realizado buenos moldajes de sentido convencional...” (Larraguibel, 1969:62) y que sirvió de ejemplo para la capacitación de operarios clave en obra.

Si la estrategia de edificación propuesta en primera instancia por Duhart estuvo basada en un procedimiento jerarquizado que priorizaba la erección de los núcleos verticales y en segundo término, la estructura exterior, vigas y losas; el plan de ejecución adoptado finalmente estuvo cruzado por los tiempos requeridos por el hormigón (vaciado, fraguado y secado). Se optó así por

ejecutar hormigones de sobrerrevoltura (...) [por] etapas [dejando] <llaves de concretadura> en cada piso. Luego de 28 días (...) de fragua de un determinado sector, debía procederse a concretar esas llaves con un hormigón muy especial, cuya especificación indicaba una revoltura de 28 minutos antes de vaciar. (Larraguibel, 1969:62).

Fuera del aspecto físico del hormigón armado a la vista, su estabilidad y resistencia dependen, además de las variables que convergen en su preparación, de sus propiedades mecánicas -teóricas y/o de ensaye en laboratorio-. Al respecto, es interesante destacar que la totalidad del esqueleto soportante del edificio Endesa “fue calculado para un hormigón de alta resistencia, en que las tasas más bajas son 300 Kg./cm² a los 28 días...” (Larraguibel, 1969:61). Un índice elevado y muy superior a los empleados en elementos no estructurales del mismo edificio (**figs. 7.68-7.69**), lo que da cuenta de un grado del conocimiento técnico más fino y específico en comparación a las décadas anteriores. Este punto no es trivial, pues del mismo modo en que los avances científicos en cálculo estructural permitieron reducir

³³ “En toda esa enorme masa de hormigón visto que constituye la fachada, no hubo una sola reparación, retape o relleno que ejecutar. Por cierto que todo este nivel de rigurosidad significó al comienzo dificultades con el personal de obra, el cual no está acostumbrado en nuestro medio a este tipo de trabajo y tiende a descuidar o subestimar las especificaciones que considera exageradas según su formación empírica.” (Larraguibel, 1969:62).

paulatinamente las secciones de los elementos estructurales (y con ello el peso propio, mayor economía material y reducción de costos en la construcción) en la edificación, se pudo también distinguir y jerarquizar las calidades y resistencias de materiales en función al rol y uso dentro de la unidad.

La eficiencia constructiva del hormigón armado no sólo ha estado sujeta a una correcta ejecución y a sus propiedades materiales internas. Ha estado condicionada también a la adherencia entre componentes, fundamentalmente entre barras de acero y concreto. En este sentido, la Norma Chilena que sustituyó las barras lisas por barras estriadas contribuyó de forma sustantiva al mejoramiento de la integración de los materiales que componen el hormigón armado. Y que en el caso del edificio Endesa, fue uno de los aspectos considerados en la constitución material del esqueleto soportante y que contribuyeron, en conjunto con otros, a la eficiente rigidez y resistencia que caracterizan la obra. La especificación de barras estriadas considerada en las Normas oficiales datan de 1960 (NCh211 EOF.60, ex INDITECNOR 31-119ch). Y a su vez, sus antecedentes provienen de una red de Normas relacionadas publicadas hacia fines de la década de 1950.³⁴

Estructuralmente, en tanto, la condición monolítica del sistema constructivo y material predominante en Endesa, recogió uno de los artículos fundamentales sobre la materia contenidos en la Norma 433 Of. 72. Se señala allí que “los muros de hormigón armado o de albañilería reforzada o armada y todo otro elemento capaz de absorber fuerzas horizontales deberán considerarse como parte integrante de la estructura (...) y dimensionarse consiguientemente...” (NCh433 Of.72:art.8.3.1). Aspecto que en el edificio Endesa pudo observarse en el dimensionamiento diferenciado de las secciones de pilares y vigas, pero también, desde un punto de vista material, como un sistema integrado entre los marcos rígidos exteriores, los diafragmas horizontales, y los núcleos verticales monolíticos.

³⁴ Las normas que fijaron las cuantías y especificación de barras lisas datan desde comienzos del siglo XX. Entre la evidencia hallada en este trabajo se cuenta el documento publicado por la Dirección General de Obras Públicas, República de Chile, titulado Especificaciones Técnicas Generales para el Empleo de Barras Lisas de Acero en Obras Fiscales de Hormigón Armado (aprobadas por Decreto N° 1.149 de 30 de junio de 1936), Imprenta La Ilustración, Santiago de Chile, 1936. En 1964 fue publicada la Norma INDITECNOR 31-129ch (Norma Chilena Oficial NCh 221 Of64) titulada Barras laminadas de acero de rieles, para hormigón armado, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1964. Otras Normas relacionadas son, por ejemplo: Norma Chilena Oficial NCh 206 Of. 56, Acero laminado en barras para remaches estructurales. Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización, Santiago, Chile, 1958. Viene de la serie Norma Chilena Oficial NCh 207 Of.56, INN, Santiago, Chile. NCh211 Of. 1970: Barras con resaltes en obra de hormigón armado (tensiones de adherencia, longitudes de anclaje, empalmes y ganchos). Anula y reemplaza NCh211 EOF.60 (Ex INDITECNOR 31-119ch). NCh 211 EOF60 (Ex INDITECNOR 31-119ch) NCh429 Of. 1957 Hormigón parte I. NCh430 Of. 1961 Hormigón parte II.

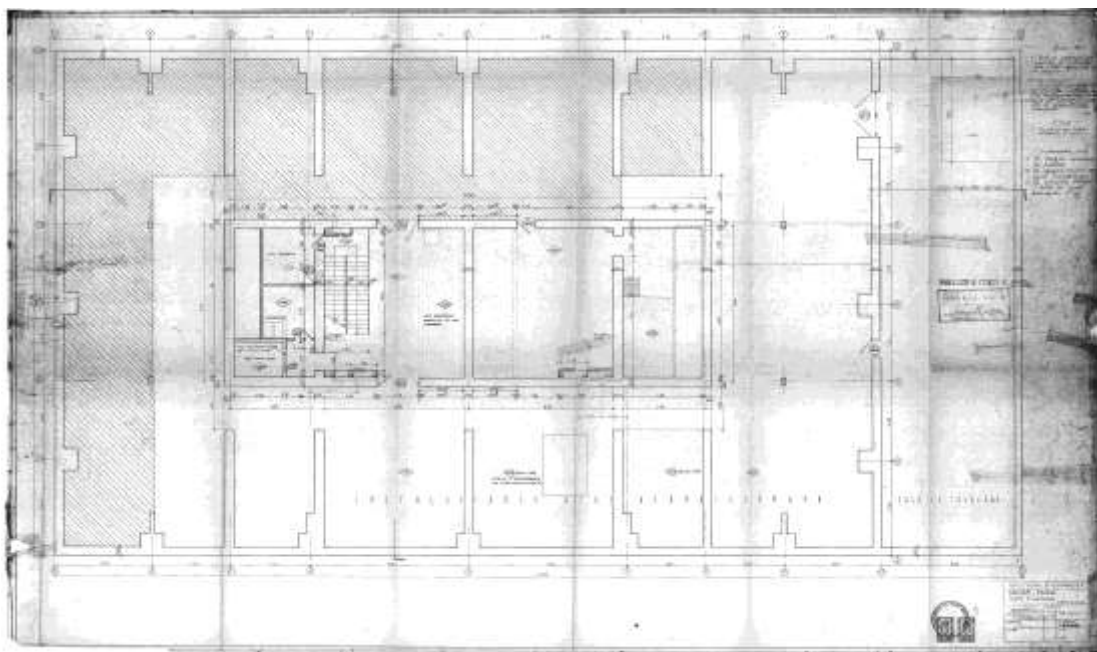


Fig. 7.63 Planta arquitectura segundo subterráneo. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

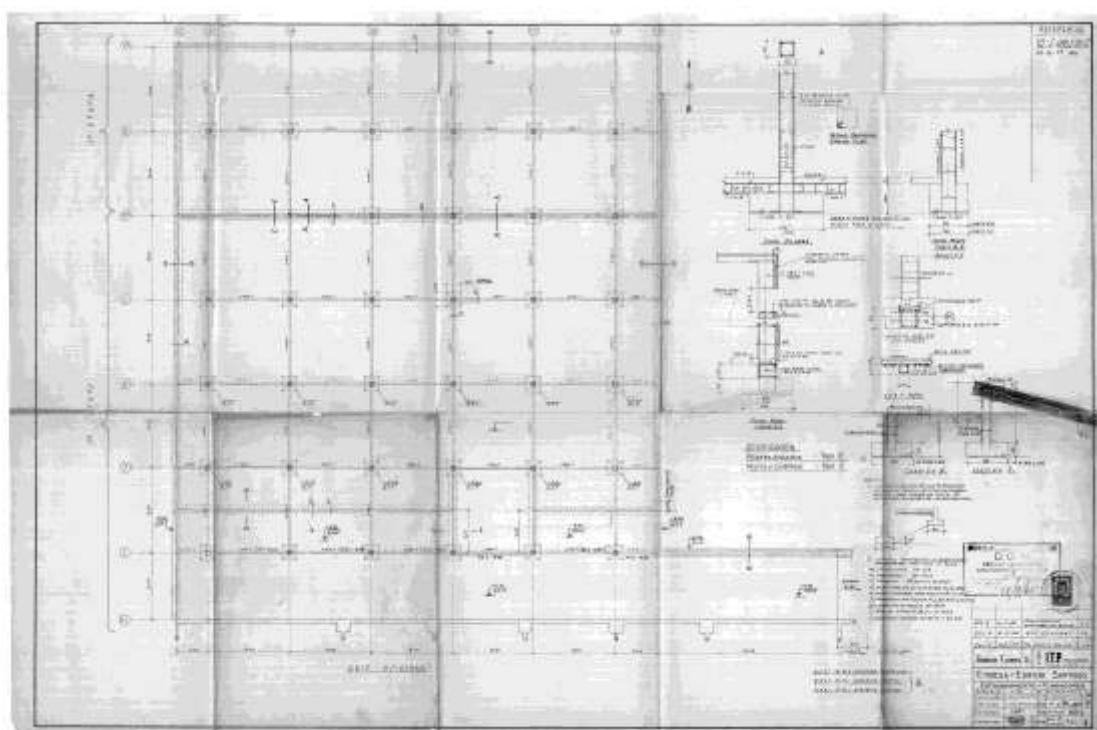


Fig. 7.64 Planta cálculo estructural estacionamientos y fundaciones sector plaza. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

“El paso de la fachada perforada (años 1925-1940) a la de vidrio y al muro cortina, es un problema superficial de diseño que no trasciende a las raíces de la Arquitectura ya que no implica cambios sustanciales en el concepto estructural ni en los materiales (...) [y que] bajo la presión de Arquitectos y usuarios esclavos del <gusto contemporáneo>, los Ingenieros afinan el estudio del comportamiento de la estructura rígida a la acción sísmica.” (Aedo, 1965:4-5).

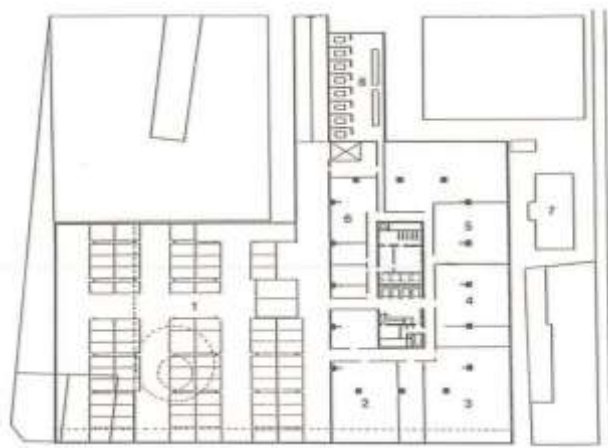


Fig. 7.65 Esquema del conjunto nivel subterráneo. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

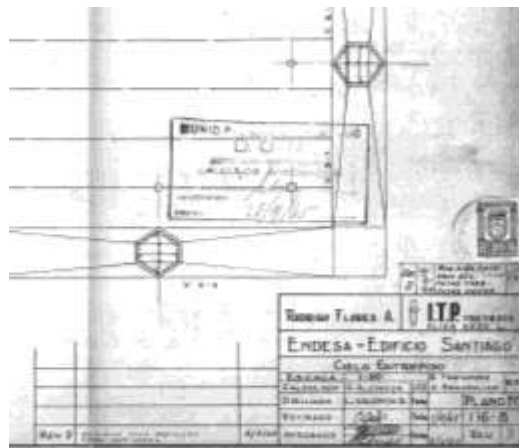


Fig. 7.66 Detalle planta cálculo estructural cielo nivel entrepiso. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

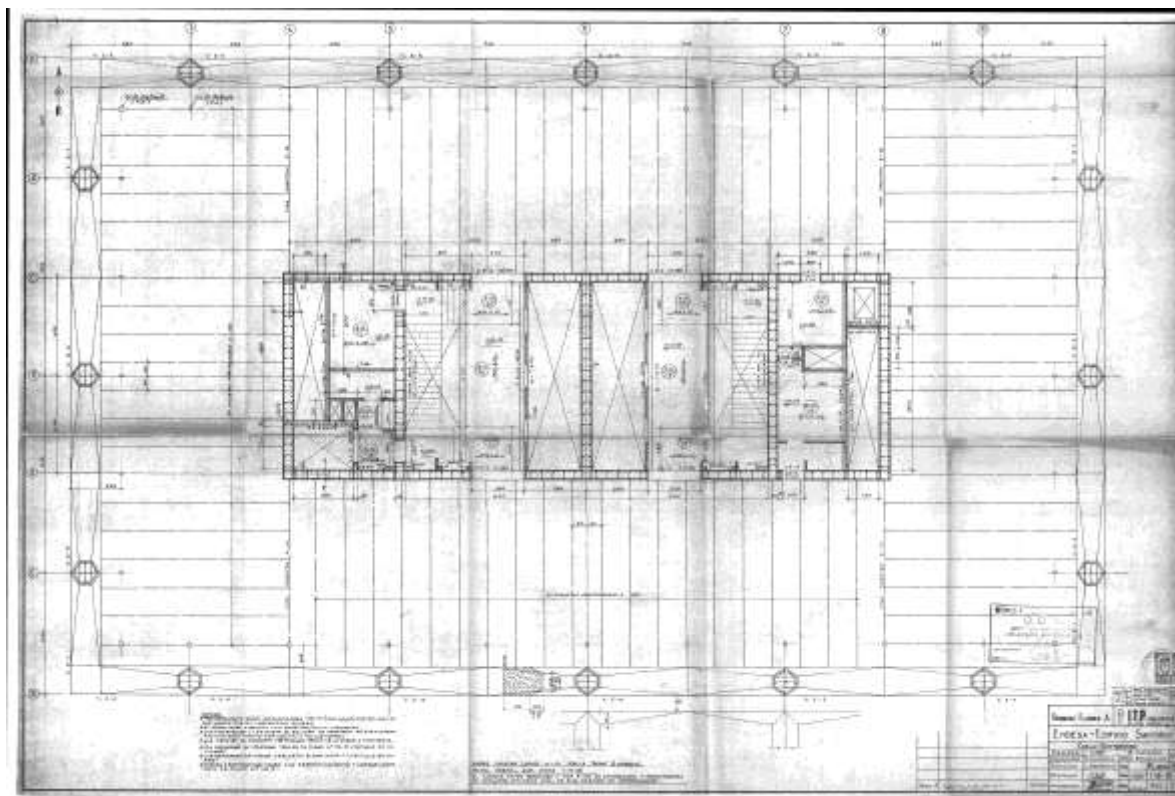


Fig. 7.67 Planta cálculo estructural cielo nivel entrepiso. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

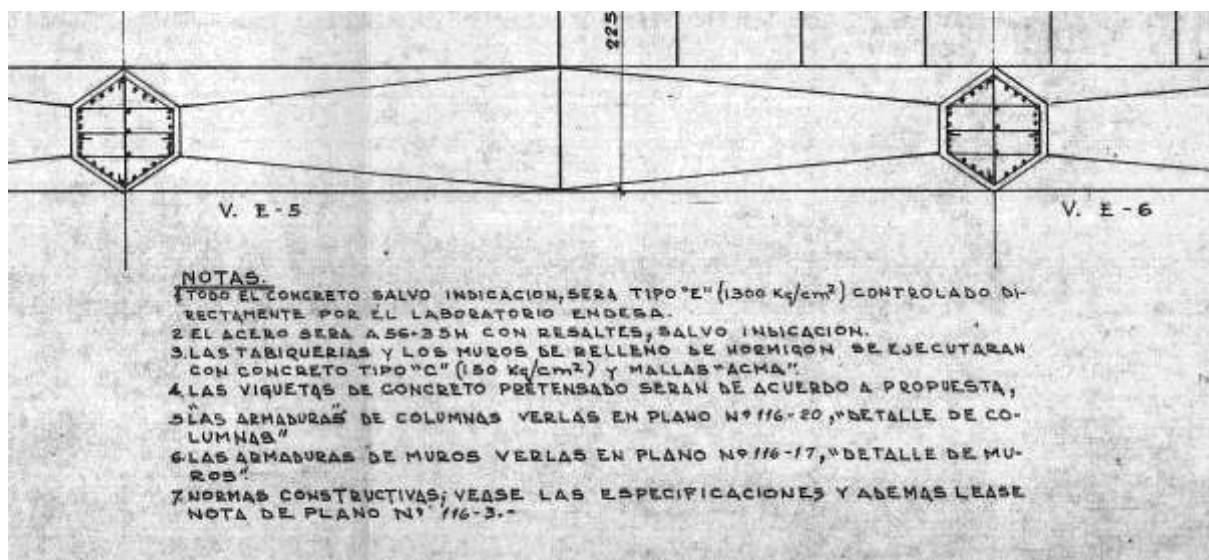


Fig. 7.68 Detalle pilares y vigas planta de cálculo estructural cielo nivel entrepiso. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

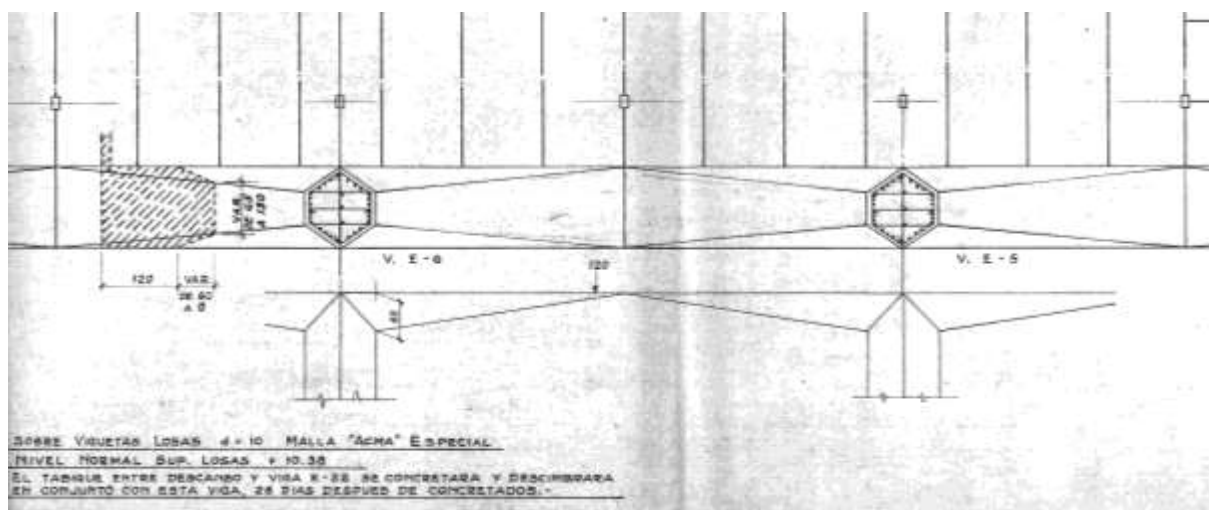


Fig. 7.69 Detalle pilares y vigas planta de cálculo estructural cielo nivel entrepiso. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

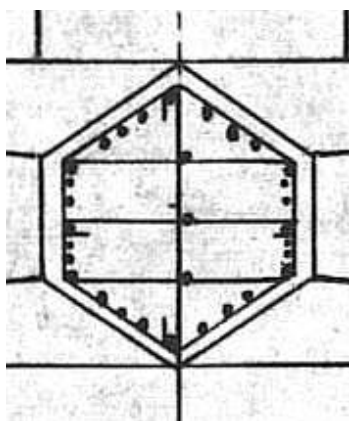


Fig. 7.70 Detalle pilare hexagonal. Planta cálculo estructural cielo nivel entrepiso. Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

La arquitectura porosa de la torre Endesa: En un sentido más amplio, las cualidades arquitectónicas y estructurales de esta obra se enmarcan en el diagnóstico propuesto por Aedo, al decir que

la ausencia de fracasos espectaculares (como ha ocurrido en edificios elevados construidos en otros países) son alentadoras para la consagración del uso del hormigón armado y validez de las Normas (...) [en que] la ausencia de riesgo habrá que atribuirlo a los altos coeficientes de seguridad utilizados en el cálculo; al exagerado concepto de monolitismo estructural que domina casi la totalidad de los edificios y otras obras importantes y al criterio conservador aplicado por Arquitectos e Ingenieros en la estructuración y dimensionamiento de esos edificios. (Aedo, 1965:4).

Es probable que la crítica (respecto al *criterio conservador* en los diseños arquitectónicos y estructurales) formulada por Aedo, tengo asidero si se considera un universo amplio de edificaciones erigidas durante ese período. Sin embargo, interesa aquí subrayar un cierto rasgo de la arquitectura chilena del período esbozada –involuntariamente– por Aedo. Esta tesis plantea, en cambio, que la arquitectura de los terremotos en Chile (si bien por medio del análisis acotado a apenas tres casos de estudio) consagró paulatinamente el uso masivo del hormigón armado como recurso sísmicamente eficiente. Y al mismo tiempo, pudo alcanzar mayores grados de libertad en un medio históricamente limitado por las exigencias impuestas por el fenómeno sísmico y la destrucción endémica de edificios, ciudades y obras de infraestructura.

El edificio Endesa representa así, un caso que logró materializar la espacialidad concebida en el proyecto de período y los recursos constructivos y materiales del período. Es cierto que las secciones de los elementos soportantes protagónicos (como los pilares exteriores de la planta baja) carezcan de esbeltez, al igual que los pilares y vigas de los marcos que conforman las fachadas (**fig. 7.71**). Pero en cierto modo, esta obra, como las analizadas en los capítulos anteriores, dan cuenta también de las limitaciones que impone un territorio altamente sísmico. Así, el edificio Endesa representa no sólo atributos arquitectónicos, plásticos, estructurales y constructivos (**figs. 7.72, 7.73**). Expresa también, de forma menos tangible, la proximidad hacia los límites máximos del diseño arquitectónico y estructural en un período y emplazamiento particulares. Dicho de otro modo, se trata de una pieza arquitectónica que sintetizó la maximización de los conocimientos teóricos y recursos técnicos y tecnológicos disponibles. Una suerte de obra que encarna las aproximaciones teóricas exploradas en los espectros de diseño sismorresistente.

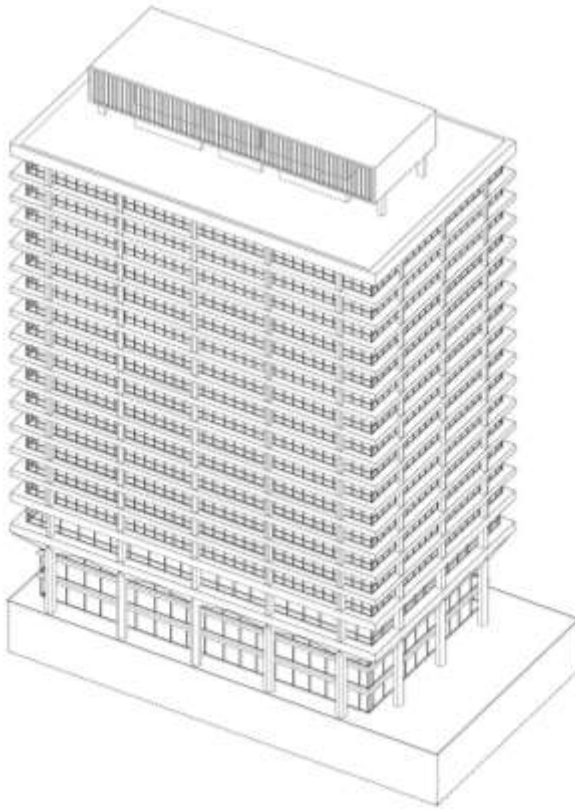


Fig. 7.71 Edificio ENDESA, Santiago.
Reconstrucción modelo 3D.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo:
Nicole Henríquez.

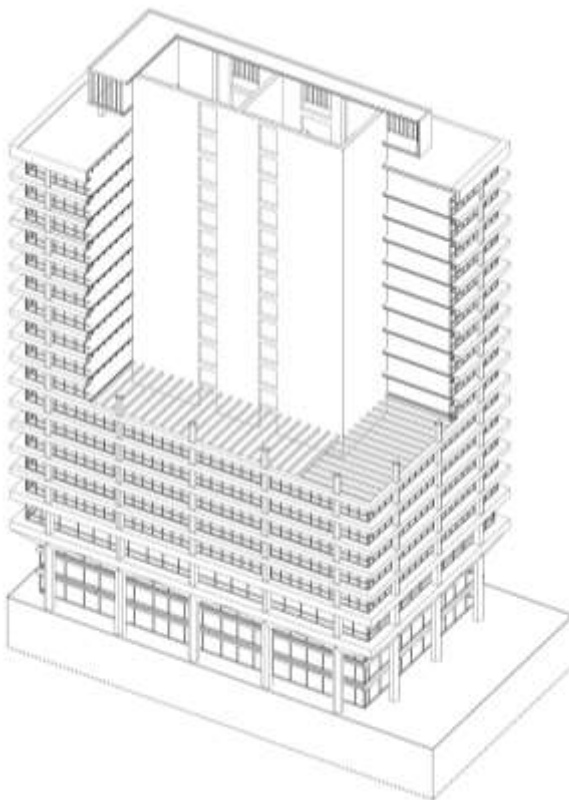


Fig. 7.72 Edificio ENDESA, Santiago.
Reconstrucción modelo 3D. Axonométrica cortada.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo:
Nicole Henríquez.

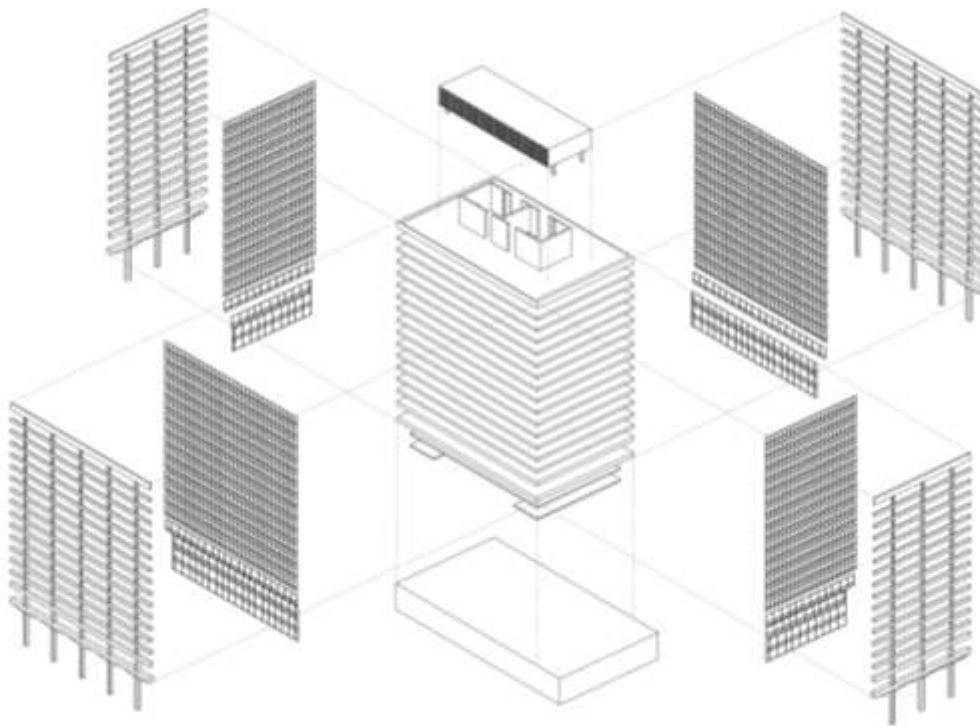


Fig. 7.73 Edificio ENDESA, Santiago. Reconstrucción modelo 3D. Axonométrica explotada.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

De la unidad arquitectónica compacta a la unidad arquitectónica porosa:

La conformación de una arquitectura sísmicamente resistente en Chile, la que ha quedado de manifiesto en los últimos grandes terremotos ocurridos en 2010 y en 2014, se comprende como parte de un proceso desarrollado desde comienzos del siglo XX y, con mayor énfasis, durante el segundo tercio del mismo. La relación entre los seísmos y la arquitectura es un tema de alta complejidad, pues concurren diversas disciplinas y múltiples factores en un campo de investigación regido por probabilidades. Con todo, las construcciones en el país han logrado –paulatinamente, a lo largo del siglo pasado- estándares de resistencia a los terremotos que han logrado disminuir las probabilidades de destrucción a gran escala.

Los terremotos ocurridos a lo largo de la historia del país y, particularmente, durante el siglo XX, deben ser comprendidos en términos de serie, y no como hitos aislados unos de otros, como buena parte importante de la historiografía de la arquitectura en Chile, hasta ahora, lo ha planteado. Esto es importante, porque el proceso de regulación y normalización de la edificación con sesgo sismorresistente, estuvo condicionado y sujeto a una dinámica caracterizada por continuos eventos destructivos que propiciaron instancias de perfeccionamiento mediante ajustes correctivos a prueba y error. Por otro lado, los cambios y transformaciones materializados en la arquitectura –ya sea en determinadas obras o en períodos de tiempo específicos- no supone necesariamente el establecimiento de un nuevo estado general. Es decir, un proceso de cambio y transformación obedece a una dimensión más compleja que un proceso en sentido lineal. Este punto cobra especial interés al establecer algunos puntos de encuentro y divergencias entre el proceso de regulación materializado en el conjunto de instrumentos que le dieron forma, y la construcción de determinadas piezas arquitectónicas, como las examinadas en esta investigación.

Y si bien la Ley N°4563 General de Construcciones y Urbanización y su Ordenanza homónima contribuyeron hacia el establecimiento de un cierto orden en el proceso de construcción de la edificación en el país, no constituyeron instrumentos inéditos. Así lo ha puesto en evidencia el conjunto de documentos referidos a la edificación fiscal, publicados con anterioridad a la promulgación de la Ley y Ordenanza General. De este modo, la oficialización de la Ley General y su Ordenanza, deben ser comprendidas como medios regulatorios que formaron parte de un cuerpo de regulación y normalización más amplio, y que marcó una trayectoria histórica del propio proceso regulatorio. Si la alta recurrencia de terremotos en Chile debe ser comprendida en función a series sísmicas -antes que a eventos particulares y aislados-, los instrumentos de regulación suponen una

lógica similar. No se trata pues de un solo instrumento carente de antecedentes, sino que de un conjunto de documentos modificados sucesivamente conforme la destrucción, los avances técnicos y tecnológicos, y los conocimientos relativos a la resistencia sísmica, que así lo permitieron.

Desde el punto de vista del proceso de regulación de la edificación sismorresistente en Chile, el período comprendido entre 1929 y 1972 es, posiblemente, uno de los más interesantes. Entre otras razones, porque fue durante ese tercio de siglo en que se elaboró y se introdujeron cambios sustantivos en los contenidos de la Ordenanza General (en todas sus versiones)¹ y, posteriormente, a la Norma Chilena 433 Of.72, basados en distintas aproximaciones teóricas y métodos de cálculo estructural. Los métodos estático y dinámico (validados en las Ordenanzas, Normas y en la práctica profesional de ingenieros y arquitectos), junto con el paso del paradigma determinista al paradigma probabilístico, posibilitaron la materialización de obras edilicias en distintos momentos, que sobrepasaron las históricas limitaciones de la construcción en un medio de alta recurrencia y magnitud sísmica.

Tales limitaciones estuvieron concentradas principalmente en los recursos relacionados con las técnicas y tecnologías de construcción, carencias en la calidad de mano de obra, déficit de homogeneidad en la calidad de los materiales e insumos de la construcción, y en los procedimientos de ejecución de las obras. Por ello es importante subrayar que el proceso de regulación de la edificación en Chile estuvo orientado también en gran medida hacia la normalización o delimitación clara de todos estos factores. Proceso que deja en evidencia una trayectoria histórica que debe ser comprendida como tal, pues tanto los ajustes de regulatorios, normativos y procedimentales, como los cambios y transformaciones de la arquitectura en Chile.

Pero si los instrumentos de regulación y normalización configuraron un marco con límites relativamente acotados en la edificación, un factor clave que contribuyó decisivamente en la conformación de una arquitectura resistente a los terremotos en Chile, fue el hormigón armado. En efecto, el hormigón armado, como recurso material y constructivamente eficiente frente a las solicitaciones sísmicas, representó una piedra angular que proveyó al mismo tiempo soluciones estructurales, constructivas y materiales. Es decir, fue un medio resistente y al mismo tiempo versátil, que posibilitó la constitución de obras de escala y cualidades espaciales difícilmente factibles de ser realizadas con otros medios, como el ladrillo, la madera o el adobe. Y si bien el acero pudo haber ofrecido una alternativa

¹ Ver anexo.

competitiva al hormigón armado, sus propiedades mecánicas y estructurales no resultaron compatibles con los criterios de cálculo y diseño estructural adoptados tempranamente en Chile, basados preliminarmente en la experiencia japonesa que supuso la resistencia sísmica por oposición y rigidez.

Ello se tradujo así en la obtención de cuerpos edificados estructuralmente rígidos, morfológicamente continuos y materialmente monolíticos. Y aun cuando los métodos de cálculo de estabilidad permitieron obtener elementos estructurantes progresivamente más esbeltos y visualmente algo más livianos, lo cierto es que las limitaciones impuestas por el medio sísmico del país, ha redundado en última instancia, en la prevalencia de edificaciones en que predominan recursos rigidizantes de orden murario. Ejemplo de ello son los edificios del Ministerio de Hacienda, la Estación de Biología Marina Montemar y la torre de oficinas de la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (Endesa).

Pero, ¿qué relación hubo entre las materias contenidas en los diversos instrumentos de regulación y las obras edificadas, y particularmente en estos tres casos? ¿Hubo efectivamente una relación directa entre la reglamentación y la construcción, o fue más bien un proceso ambivalente, en que los instrumentos de regulación no siempre condicionaron una determinada forma arquitectónica, estructural y constructiva? Más aún, ¿quedaron dichos instrumentos rezagados (en determinadas circunstancias) en comparación con ciertas obras arquitectónicas? Ofrecer respuestas rotundas o absolutas a estas preguntas sería incurrir en errores parciales. Principalmente, por el hecho que el desarrollo de la arquitectura en el tiempo no supone un proceso lineal y único. Más bien, conviven múltiples situaciones y condiciones en una amplia diversidad de obras y casos de estudio, no siempre uniforme. Con todo, es importante señalar que tanto el Ministerio de Hacienda, el conjunto en Montemar, como el edificio Endesa, corresponden a casos en los cuales se plasmaron y materializaron conceptos contenidos en los instrumentos de regulación –de cada período respectivamente- y en los que se introdujeron, al mismo tiempo, conceptos teóricos, técnicos y tecnológicos avanzados para entonces. Muchos de ellos, recogidos con posterioridad en las Ordenanzas o Normas, según sea el caso. De manera que la relación entre los instrumentos de regulación y normalización y la edificación, estuvo también –en determinados casos- cruzada por una suerte de intercambio menos tangible. Dicho de otro modo, las obras arquitectónicas también sirvieron de referente y proveyeron algunos contenidos que nutrieron las materias de reglamentación.

El Ministerio de Hacienda, cuyo proyecto fue desarrollado con anterioridad a la promulgación de la Ley 4.563 de 1929 y a la entrada en vigencia de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (1930, 1931, 1936),

permite sostener que los criterios de diseño arquitectónico, estructural, constructivo y material que comparecen en la obra, fueron considerados con anterioridad a éstos. Hecho que hace de este caso una obra notable por los desafíos que su construcción supuso no solo por su altura -muy superior al régimen predominante en Santiago y otras ciudades, sino que también por las aproximaciones qué? hacia la planta libre presente en los distintos niveles de la unidad. Otro aspecto notable fue la incorporación de criterios de diseño estructural fundamentales, como la consideración de secciones en disminución progresiva directamente proporcional con la altura del edificio en cuestión. Operación que tuvo por finalidad disminuir las masas y cargas axiales del peso propio de la estructura. Bajo esta misma lógica se comprende también las masivas fundaciones -para los estándares contemporáneos, absolutamente desmedidas y sobredimensionadas- sobre las que descansa el volumen.

La relación del Ministerio de Hacienda con parte de los contenidos de la primera fase de la Ordenanza General (1930-6) se observa en la interpretación de la acción sísmica sobre un volumen determinado como fuerza horizontal puesta en relación proporcional a la altura de éste. Ello explica, por ejemplo, la disminución progresiva de las secciones de los elementos estructurantes (salvo las losas o diafragmas) y sitúan la concepción de la obra dentro del paradigma determinista, donde la acción (en este caso, la fuerza de un sismo) genera un determinado efecto en la unidad arquitectónica. En este sentido, Hacienda es un caso representativo no sólo de dicha filosofía estructural, sino que también un exponente de los criterios de resistencia por rigidez basado en el empleo monolítico de hormigón armado (salvo en elementos secundarios como tabiques interiores) y que lo dotaron de una cualidad particular. Otro aspecto de interés que comparten esta obra y la Ordenanza General del período, radica en el orden que comparece en el sistema estructural, fundado sobre el principio que consideró la inclusión de pilares (sistemas porticados) siempre y cuando se proveyeran paramentos rigidizantes que contribuyeran al empleo articulado de “muros resistentes exteriores y de muros interiores rígidos, normales a los primeros.” (OGCU, 1930:75).

Por último, Hacienda representa la concreción del criterio de estructuración de cálculo estático, figurativamente asociado a una varilla empotrada a la que se aplica una fuerza lateral, pues los tres niveles considerados en el subsuelo, actúan efectivamente como una base empotrada de forma contundente, considerando la altura total de la unidad.

Arquitectónicamente, la propuesta plasmada en el proyecto de Smith Solar y Smith Miller, sintetizó conceptos espaciales y programáticos radicales para el período -como la inclusión de planos libres en gran parte de la superficie

por pisos- junto con criterios de estructuración que posibilitaron su construcción efectiva y sísmicamente resistente.

La expresión masiva, regular y contundente observada en el volumen del Ministerio contrasta, en cambio, con las múltiples variantes exploradas en la Estación de Biología Marina en Montemar. El conjunto edificado, permite distinguir no sólo los volúmenes y etapas que allí comparecen, sino que también las diversas aproximaciones arquitectónicas y estructurales contenidas en la obra de Gebhard. De interés mayor resultan entonces las piernas en “V” sobre los que descansan el volumen de oficinas (segunda etapa) y el cuerpo que aloja la biblioteca y el archivo. En un sentido concreto e interpretativo, el principio espacial y estructural empleado en ambos volúmenes, obedece a una lógica inversa a la que prevalece en el Ministerio de Hacienda. Es decir, en este caso el primer nivel disminuye sustancialmente su masa y peso para resistir las cargas provenientes del paralelepípedo que soporta: un principio análogo a una mesa de varias patas, donde la resistencia y rigidez, si bien está lograda también por un esqueleto monolítico de hormigón armado (al igual que en Hacienda) y conformado por marcos y diafragmas rígidos, concentra las cargas estáticas en las cotas superiores y la base es reducida a solo apoyos elementales. La liberación de la planta fue posible allí, mediante la disposición articulada, continua y solidaria de una doble secuencia paralela de machones en “V”, los que junto con proveer de rigidez mediante el principio de triangulación (principio ya contenido en la Ordenanza de 1930 en adelante), actúan como elementos intermediarios de la transmisión de cargas hacia dados de fundación bien afianzados en uno de los suelos mejor calificados (roca granítica) en las Ordenanzas y, en particular, en la de 1949.

Aunque la importancia del tipo de suelo de fundación de un edificio emplazado en un medio sísmico fue parte de los contenidos de las primeras Ordenanzas (1930-6), fue a partir de la segunda fase (posterior al terremoto de Chillán) en que se le atribuyó un rol verdaderamente esencial, junto con los cimientos de la edificación. Esto estuvo alineado también con la interpretación de los efectos de los seísmos asociados al método dinámico, donde la transmisión de las ondas de vibración en propagación por la corteza terrestre, afecta directamente las fundaciones y, desde éstas, al resto del edificio. Conceptos que mediante el cálculo dinámico posibilitaron también la construcción de obras de mayor altura y complejidad. Y en este sentido, la Estación de Biología Marina fue más bien una aproximación a la complejización de problemas arquitectónicos, estructurales, constructivos y materiales presentes en la obra, antes que una obra compleja resuelta mediante el cálculo estructural. O, dicho de otro modo, se trata de una exploración en que hasta cierto punto Gebhard empujó las posibilidades arquitectónicas hacia las proximidades limítrofes que el cálculo estructural y los conocimientos del período lo permitieron. Esto queda de manifiesto en

las esbeltas secciones de machones en “V”, su disposición a contrapelo de los lados normales a las fuerzas representativas de un sismo (tendientes al pandeo), y la ubicación de un centro de gravedad desplazado con respecto al centro de masa de dichos elementos soportantes (rotación tridimensional).

Resulta también notable el contraste observado entre la esbeltez de los machones a la vista en comparación a la constitución masiva que comparece en la losa que éstos sostienen. Masividad que se ve visualmente aumentada por la disposición de vigas maestras y secundarias de gran sección. Así, el plano horizontal que conforman el diafragma de losa y las vigas longitudinales y transversales, proyectan una apariencia que semeja un sólido al que se le retiraron porciones de masa, antes que elementos unidos por agregación. Pero esta dualidad, más claramente evidente desde la mirada de un observador que se posa al interior del entramado de machones en “V”, refuerza precisamente el contraste entre el peso de cargas expresada en el conjunto losa-envigado, y el soporte que ejercen las piernas a la vez que la disipación convergente que materializan la estructuración en “V”.

En términos generales, la construcción del conjunto de Biología Marina coincidió aproximadamente con un momento crítico del proceso de regulación, durante el cual se impulsó un cambio sustancial sobre el criterio de cálculo estructural (del método estático al dinámico) y que motivó la oficialización de un nuevo instrumento (promulgado en 1949). En este sentido, la Estación de Biología Marina condensó parte de ambas fases regulatorias, pues los edificios de la primera etapa –de cimientos corridos– obedecieron a criterios de resistencia por inercia, mientras que las construcciones de la segunda se aproximaron a nociones del comportamiento dinámico.

Pero el principal cambio registrado en el proceso de regulación y normalización estuvo marcado por la escisión de los contenidos referidos al cálculo estructural anexado en la Ordenanza General, y la entrada en vigencia de la Norma Chilena de Diseño Sismorresistente. Este hecho, además de las consecuencias disciplinarias que implicó, trazó un rumbo que a la postre condujo hacia un cambio de paradigma determinista por uno probabilístico.

La normalización de los sistemas constructivos y materiales y la progresiva prevalencia del hormigón armado en el medio local, en tanto recurso asociado a la resistencia sísmica por rigidez, cobró expresión también en la torre Endesa. En efecto, todos sus elementos de soporte, salvo las vigas secundarias bajo las losas de los niveles, fueron concebidos en hormigón armado. Decisión que sintetizó la interpretación arquitectónica del material y que, a diferencia del Ministerio de Hacienda y de parte de la Estación de Biología Marina, esta vez se lograron elementos de menor sección,

particularmente en pilares, vigas y losas. Mientras que el esquema de estructuración recurrió a la concentración de muros rigidizantes concentrados en los núcleos de circulación vertical. Es interesante notar que tanto el Ministerio de Hacienda como en el edificio Endesa, se consideró el mismo criterio de estructuración basado en el aligeramiento progresivo de los elementos estructurantes conforme el aumento de altura del volumen.

Físicamente, la resistencia por rigidez cobró forma -constructiva y materialmente- a través del empleo masivo de hormigón armado en todos y cada uno de los elementos soportantes de la unidad, proporcionando así un momento de inercia asociado a la constitución monolítica de la unidad, desde sus fundaciones hasta el nivel superior. Sin perder sus propiedades mecánicas y estructurales, el hormigón armado ofreció -además de la resistencia sísmica- un abanico mayor de alternativas formales y lenguajes arquitectónicos en comparación a los materiales mayormente empleados (adobe, el ladrillo y madera).

La paulatina hegemonía que adquirió el hormigón armado en materia de edificación, no puede ser atribuida solamente a los problemas causados por el fenómeno sísmico. Pues, como se ha visto en esta investigación, el hormigón armado (en su dimensión como sistema constructivo y sistema material) no garantiza por sí solo la resistencia. Aún más, tanto en Chile como en otros países, abundan casos de edificios erigidos en ese material y que han colapsado durante eventos sísmicos de gran magnitud.

Tanto la Norma NCh433 de Diseño Antisísmico, como la Norma NCh170 Hormigón Armado, conformaron un marco de regulación que estimuló la construcción de edificios en ese material. Tendencia que estuvo fundamentada en los principios de estructuración contenidos en la Norma, orientados a la conformación de unidades monolítica, continuas y regulares; la propensión de edificios concebidos sísmicamente resistentes en base al supuesto de resistencia por rigidez. En este sentido, la inclinación por el empleo de estructuras de hormigón armado estuvo también vinculado directamente a la conjugación de elementos soportantes condicionado por la inclusión de muros, ya sea en la totalidad de la unidad arquitectónica, o de forma parcial combinada con otros elementos como pórticos o sistemas de pilares y envigados.

Disminución progresiva de las secciones de los elementos soportantes (en particular pilares y vigas) desde los pisos inferiores hacia los superiores, con el fin de disminuir masa material y carga estática. Responde en este sentido, al principio de resistencia de rigidez por masa, conceptualmente análogo a la distribución de cargas en forma piramidal, en cuya base se reparten las cargas en forma divergente. Así, el criterio de estructuración con que fue concebida la obra deja en evidencia la relación directa con ciertos principios

teóricos de cálculo desarrollados hacia la década de 1930. Entre otros, la asimilación del fenómeno sísmico y sus efectos en la edificación como fuerza horizontal aplicada perpendicularmente a uno o más planos de fachada de la unidad. Desde este punto de vista, se puede afirmar que Hacienda es una obra que resolvió tempranamente los desafíos estructurales de la edificación en altura en un medio altamente sísmico, fundado en métodos de resistencia por rigidez, e implícitamente vinculado al paradigma estructural determinista.

La autenticidad morfológica de la unidad, el lenguaje arquitectónico y su concepción estructural y constructiva interna. Exteriormente el volumen acusa un orden relativamente regular, expresado en la composición de los planos de fachada mediante vanos iterados modularmente, el uso de elementos ornamentales y arquitectónicos, como pilastras y alféizares. Mientras que la lógica de estructuración que impera internamente, responde a un orden sustentado en el principio de disminución progresiva (masa y peso) desde los niveles inferiores hacia los pisos superiores. Orden que no altera, sin embargo, el principio espacial de los niveles, en orden a proporcionar plantas flexibles y carentes de muros estructurales –salvo en aquellos concentrados en el núcleo de circulaciones verticales y en los planos de cerramiento del volumen.

El edificio Endesa representa no sólo atributos arquitectónicos, plásticos, estructurales y constructivos. Expresa también, de forma menos tangible, la proximidad hacia los límites máximos del diseño arquitectónico y estructural en un período y emplazamiento particulares. Dicho de otro modo, se trata de una pieza arquitectónica que sintetizó la maximización de los conocimientos teóricos y recursos técnicos y tecnológicos disponibles. Una suerte de obra que encarna las aproximaciones teóricas exploradas en los espectros de diseño sismorresistente.

Todos estos factores, confluyeron en último término, en un resultado morfológico, formal y arquitectónico particular en Chile, en el cual se asimilaron las nuevas tecnologías, las variantes de lenguajes y expresiones arquitectónicas amplias (desde los estilos hasta la arquitectura moderna), pero con la particularidad condicionante del fenómeno sísmico y el diseño estructural como medio de resistencia a la destrucción.

Desde un punto de vista normativo, la torre Endesa plasmó también criterios de diseño como la transmisión regular de masas y cargas desde los niveles superiores a los inferiores, la consideración de la planta baja y el esfuerzo de corte basal generados durante eventos sísmicos, y sobre todo, la regularidad geométrica del volumen como respuesta a la prevención de efectos de torsión y desplazamientos asimétricos por efecto de cargas excéntricas. Los elementos estructurantes considerados, las formas de unión

entre éstos, la condición monolítica y continua, así como la regularidad con que fue concebida la unidad, dejan en evidencia parte sustancial de los criterios contenidos en la Norma NCh433 de 1972, habiendo resuelto al mismo tiempo, condicionantes arquitectónicas y espaciales de alta exigencia.

Las aproximaciones a la planta libre ensayadas en el edificio del Ministerio de Hacienda, y posteriormente en la Estación de Biología Marina Montemar, fue desarrollado con mayor levedad en la torre de oficinas Endesa. Es interesa destacar al respecto, el contraste entre el Ministerio y éste último, considerando la expresión plástica predominante en ambos casos. Una mirada cruzada permite comprender la solución arquitectónica lograda en Endesa donde fue posible emplear el esqueleto soportante como parte constitutiva de los planos de fachadas recurriendo a pórticos estructurales y no muros perimetrales. Operación que no sólo significó el alejamiento del empleo de muros en las fachadas como recurso que reportó rigidez estructural, sino que también el empleo de elementos soportantes puros puestos al servicio de la expresión plástica del edificio. Ambos casos basados además en un mismo esquema de estructuración con núcleos murarios ubicados hacia el centro de la planta y elementos porticados en el resto de las áreas de cada planta y nivel.

En síntesis, el estudio de los casos analizados a la luz del proceso de regulación y normalización desarrollado en Chile, ha permitido verificar dos aspectos fundamentales. En primer lugar, que durante el transcurso de los 43 años que ha cubierto el estudio, los diversos instrumentos de regulación han demostrado ser medios relativamente eficientes en un medio en el que la alta frecuencia sísmica ha sido la causa principal de la destrucción endémica registrada a lo largo de su historia. Los casos de estudio confirman, en este sentido, que la edificación ha recogido algunos aspectos contenidos en dichos instrumentos de regulación (y en otros se han adelantado a éstos), conforme los avances tecnológicos y científicos, los ajustes en los criterios de diseño arquitectónico y estructural contribuyeron y posibilitaron la superación de las limitaciones impuestas por el fenómeno sísmico en el país.

Y en segundo lugar, que las obras de arquitectura aquí analizadas, han dado cuenta demostrado que a pesar de las elevadas exigencias que el fenómeno sísmico ha impuesto en el país (no sólo por la alta recurrencia sino que también por la magnitud de muchos de éstos), la arquitectura local ha podido ajustarse a tales condicionantes y desarrollar sus múltiples posibilidades, y ha sido capaz de interpretar conceptos y aproximaciones teóricas disciplinares asimilando su condición particular.

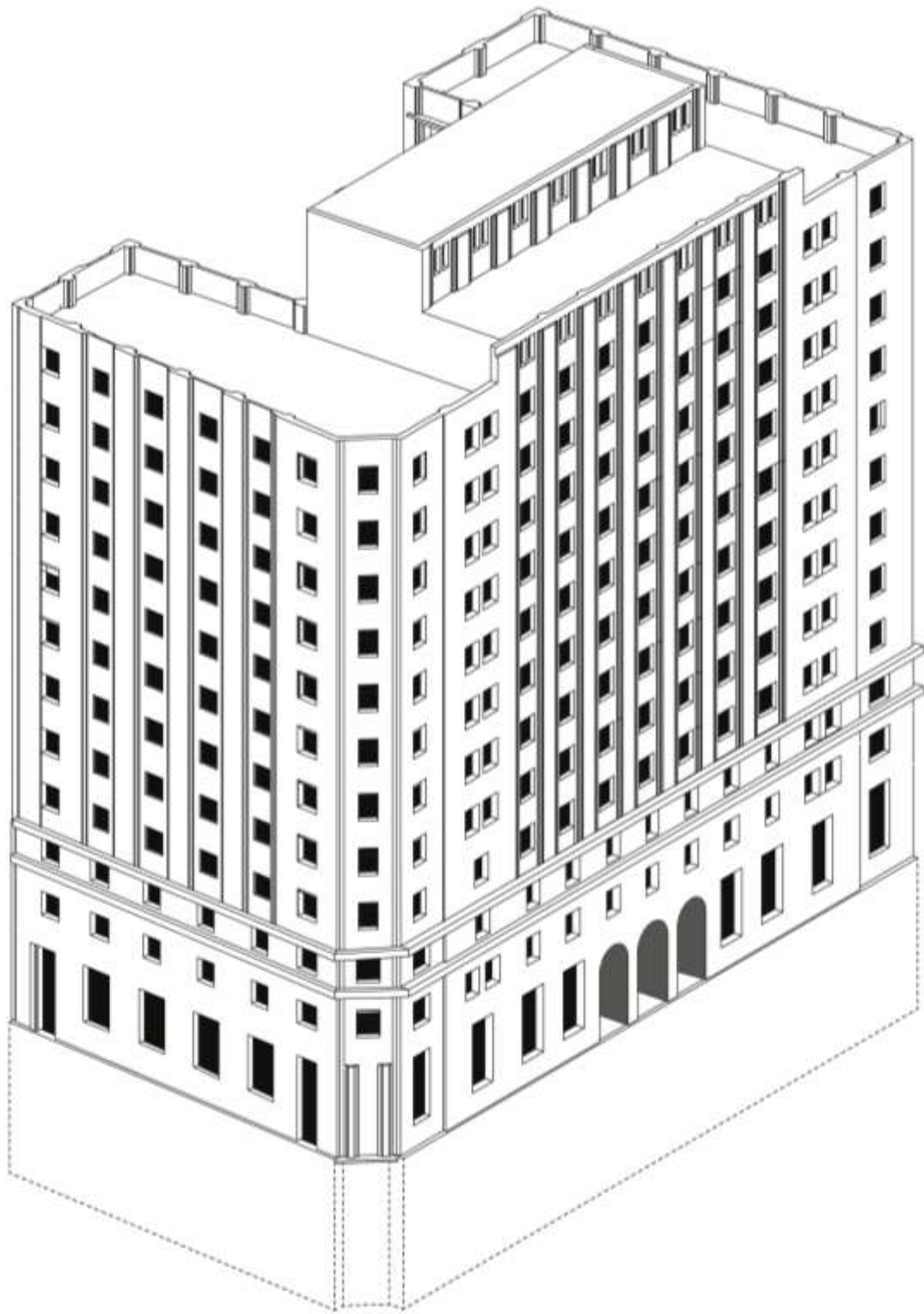


Fig. i. Modelo Edificio Ministerio de Hacienda.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

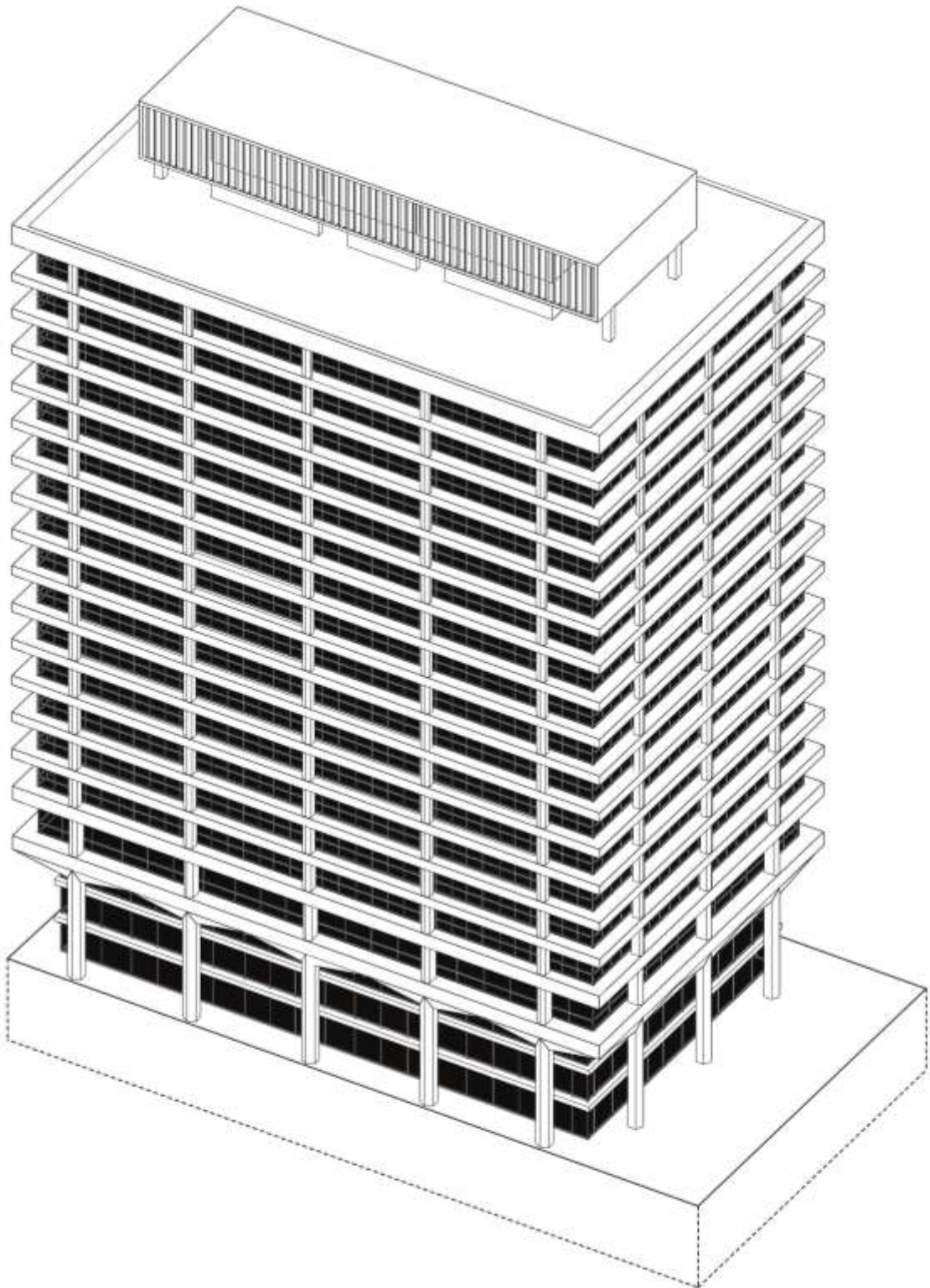


Fig. ii. Modelo Edificio ENDESA.

Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

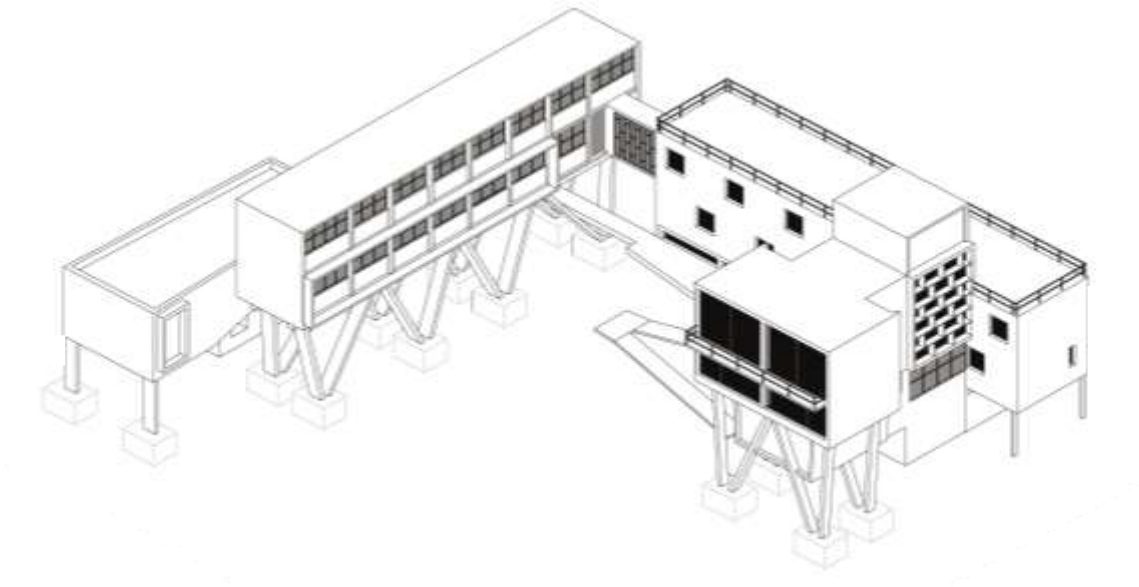


Fig. iii. Modelo Conjunto Estación de Biología Marina Montemar.
Fuente: Elaboración propia. Construcción modelo: Nicole Henríquez.

Crédito de imágenes

Introducción:

Fig. 1 Fuente: www.memoriachilena.cl

Fig. 2 Fuente: www.memoriachilena.cl

Fig. 3. Cuaderno de Condiciones para la Aceptación de Cemento en las Obras Públicas, Imprenta y Encuadernación El Globo, Santiago, 1911.

Fig. 4. Ministerio de Fomento, Departamento de Caminos. Decreto N°997, Santiago, 1928.

Fig. 5. Dirección General de Obras Públicas, Editorial Nascimento, Santiago, 1929.

Fig. 6. Imprenta Nacional, Santiago, 1930.

Fig. 7. The Bureau of Social Affair Home Office, Japón, 1926.

Fig. 8. Julio Ibáñez, Breve historia de la ingeniería antisísmica, Anales de la Universidad de Chile, 5ª. Serie, N°21, 1989.

Fig. 5. III Congreso Panamericano de Arquitectos, Actas y Trabajos, Buenos Aires, 1927.

Figs. 9, 10, 11. Fuente: www.memorichilena.cl

Fig. 12. III Congreso Panamericano de Arquitectos, Actas y Trabajos, Buenos Aires, 1927.

Capítulo 1. Arquitectura en medios sísmicos.

Fig. 1.1. www.mexicocnn.com

Figs. 1.2, 1.3 Jorge Vásquez P. Estructuración sismorresistente. Revista Ciudad y Arquitectura, N°45, diciembre 1985.

Fig. 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 Santiago Arias, 19885. Revista Ciudad y Arquitectura, N°42, diciembre de 1985.

Capítulo 2: Teoría de los Espectros.

Fig. 2.1 Helmut Krawinkler. En: 1997 CUREE.

Fig. 2.2 Fotografía del edificio Alexander. En: Blume, John, Period Determinations and Other Earthquake Studies of a Fifteen-Story Building, 1st. WCEE, California, 1956.

Fig. 2.3 Blume, John, Period Determinations and Other Earthquake Studies of a Fifteen-Story Building, 1st. WCEE, California, 1956.

Fig. 2.4 -2.6 Herausgegeben von Proffesor Dr. E. Trefftz, Dresden, Sonderabdruck, Bd. 14, H.4, 1934.

Fig. 2.7. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 24, No.4, oct. 1934, p.398-403.

Fig. 2.8. Bulletin of the Seismological Society of America, N°2, Vol. 31, April, 1941.

Fig. 2.9. Summary of Our Present Knowledge of Earthquake Engineering and Some Thoughts on Future Research. 1st WCEE, California, 1956.

Fig. 2.10. California Institute of Technology (Caltech), 1949.

Fig. 2.11. Alford, Housner, Martel, Spectrum Analysis of Strong Motion Earthquakes, First Technical Report under Office of Naval Research, California Institute of Technology, Pasadena, California, 1951.

Capítulo 3. El terremoto de Chillán de 1939

Fig. 3.1. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, 1940.

Figs. 3.2, 3.3 Terremotos en Chile, Valparaíso, Chillán, Valdivia, Museo Histórico Nacional, Origo Ediciones (Impreso en China), 2009, p. 74.

Fig. 3.4 – 3.8 Alejandro Cortés, et. al. Bellavista Oveja Tomé. Una Fábrica en el tiempo. p. 22.

Fig. 3.9 Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, Santiago, 1940.

Fig. 3.10 Boletín del Colegio de Arquitectos, Santiago, 1944.

Fig. 3.11 Informes Técnicos publicado en el número 2 (01) de la Revista Urbanismo y Arquitectura, Santiago, mayo de 1939.

Fig. 3.12 Revista Scientia de la Universidad Federico Santa María (5), Valparaíso, 1939.

Fig. 3.13 Decreto N° 2.233, 1942.

Fig. 3.14 Revista Chilena de Racionalización, N°1, 15 de junio de 1945. Instituto Nacional de de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.

Fig. 3.15 Terremoto y Normas Antisísmicas, Álvaro Maldonado, Edgard Pfenning, Tesis Escuela de arquitectura Pontificia Universidad Católica de Chile, 1965.

Fig. 3.16 Diario Oficial, N° 17.386 y N° 18.486, 1941.

Fig. 3.17 y 3.18 Revista Chilena de Normalización N°10, 1949.

Fig. 3.19 – 3.22 Archivo Museo Histórico Nacional.

Capítulo 4: La Norma Chilena 433. Of.72. Cálculo Antisísmico de Edificios (1959-1972).Doctorado ARQ

Fig. 4.1 – 4.8 Norma Chilena Oficial NCh433 Of.72. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago de Chile, 1979.

Fig. 4.9 Revista del Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile, Santiago de Chile, 1964.

Fig. 4.10 Dirección General de Obras Públicas, Imprenta la Ilustración, Santiago de Chile, 1936.

Fig. 4.11 – 4.14 Revista CA (42), 1985.

Capítulo 5. La obra del Ministerio de Hacienda: Resistencia sísmica por masa gravitacional en hormigón armado

- Fig. 5.1** Schmidtmeier, Peter: *Travels into Chile over The Andes in the years 1820-1821*, Londres, 1824. Reproducido en Guarda, Gabriel, *El Arquitecto de La Moneda*, Joaquín Toesca, 1752-1799.
- Fig. 5.2 – 5.9** Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile*, (1894-1929), Santiago, 2009.
- Fig. 5.10** Colección Francisco Monge. En: Mario Pérez de Arce, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos, Ediciones Universidad Finis Terrae, Santiago, 2010.
- Fig. 5.11 – 5.15** Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.
- Fig. 5.16** Teresa Guevara, *Arquitectura Moderna en Zonas Sísmicas*, Ed. G. Gili, Barcelona, 2009.
- Fig. 5.17 y 5.18.** Colección Francisco Monge. En: Mario Pérez de Arce, Smith Solar & Smith Miller Arquitectos, Ediciones Universidad Finis Terrae, Santiago, 2010.
- Fig. 5.19 – 5.24** Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.
- Fig. 5.25** Archivo Visual de Santiago.
- Fig. 5.26 y 5.27** Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.
- Fig. 5.28** Fondation Le Corbusier, © FLC-ADAGP
- Fig. 5.30 – 5.32** Polytechnische Journal, *Neuerungen auf dem Gebiete des Bauwesens*, enero 1895, Tomo 298, *Miszelle* (S. 273). En: <http://dingler.culture.huberlin.de/search?q=Hennebique>
- Fig. 5.33 – 5.36** Eliash H., Moreno, M. *Arquitectura y Modernidad en Chile / 1925-1985*, Santiago, 1989.
- Fig. 5.37** Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.
- Fig. 5.38.** Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile*, (1894-1929), Santiago, 2009.
- Fig. 5.39** Pablo Fuentes, *Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile 1894-1929*, Santiago, 2009.
- Fig. 5.40 – 5.44** Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.
- Fig. 5.45 y 5.46** Eduardo Torroja, *Razón y Ser de los Tipos Estructurales*, Madrid, 2010, p. 71.
- Fig. 5.47 – 5.49** Catálogo Fotografía Patrimonial, Museo Histórico Nacional.
- Fig. 5.50 y 5.51** John Summerson, *El Lenguaje clásico en la Arquitectura*, De L. B. Alberti a Le Corbusier, Ed. G. Gili, Barcelona, 1984.
- Fig. 5.52 – 5.56** Archivo Digital Ministerio de Obras públicas.
- Fig. 5.57 y 5.58** © Siber Hegner. En: www.japan-guide.com/a/earthquake
- Fig. 5.59** Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.
- Fig. 5.60** Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.
- Fig. 5.61** *The Great Earthquake of 1923 in Japan*. Compiled By The Bureau of Social Affairs, Home Office, Japan, 1926.
- Fig. 5.62** *The Great Earthquake of 1923 in Japan*. Compiled By The Bureau of Social Affairs, Home Office, Japan, 1926.

Fig. 5.63 Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.

Fig. 5.64 Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.

Fig. 5.65 © Siber Hegner. En: www.japan-guide.com/a/earthquake

Fig. 5.66 Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.

Fig. 5.67 © Siber Hegner. En: www.japan-guide.com/a/earthquake

Fig. 5.68 Frank Lloyd Wright Foundation, 1982.

Fig. 5.69 Der. Hans, Frei Lois Henry Sullivan, Studio Paperback, Germani, 1992.

Fig. 5. 70 Izq. Frei, Hans, Louis Henry Sullivan, Studio Paperback, Germani, 1992.

Fig. 5.71. © Henry Fuermann. En: Hans Frei, Louis Henry Sullivan, Studio Paperback, Germany, 1992.

Figs. 5.72 Hans Frei, Louis Henry Sullivan, Studio Paperback, Germany, 1992.

Figs. 5.73 Ludwig Hilberseimer, La Arquitectura de la Gran Ciudad, Gustavo Gili, Barcelona, 1999. (Primera edición, 1979).

Figs. 5.74-5.76 Elaboración del autor.

Capítulo 6. Masa y levedad en la Estación de Biología Marina de Montemar.

Fig. 6.1, 6.2 www.googleearth.com, 2015.

Fig. 6.3 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 6.4, 6.5 Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Fig. 6.6 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 6.7, 6.9 Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Fig. 6.10 Fotografía gentileza Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso

Fig. 6.11 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 6.12 Archivo Arquitectura Universidad de Chile.

Fig. 6.13 Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Fig. 6.14 Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Fig. 6.15 Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Fig. 6.16 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Figs. 6.17, 6.18 Archivo Arquitectura Universidad de Chile.

Fig. 6.19 Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Fig. 6.20 Archivo Arquitectura Universidad de Chile.

Fig. 6.21, 6.22 Archivo Arquitectura Universidad de Valparaíso.

Fig. 6.23 – 6.27 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Figs. 6.28, 6.29 Court Siegel, Structure and Form in Modern Architecture, New York, 1975.

Figs. 6.30 <http://commons.wikimedia.org>

Figs. 6.31, 6.32, 6.33 Court Siegel, Structure and Form in Modern Architecture, New York, 1975.org.

Figs. 6.34 y 6.35 Court Siegel, Structure and Form in Modern Architecture, New York, 1975.

Figs. 6.36 y 6.37 Court Siegel, Structure and Form in Modern Architecture, New York, 1975.

Figs. 6.38 Hugo Segawa, Arquitecturas no Brasil, 1900-1990, Sao Paulo, 1999.

Figs. 6.39 Court Siegel, Structure and Form in Modern Architecture, New York, 1975.

Fig. 6.40 y 6.42 Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

Figs. 6.43 Fondation Le Corbusier, © FLC-ADAGP.

Figs. 6.44 – 6.49 Affonso Eduardo Reidy, Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, Sao Paulo, 2000.

Fig. 6.50-6.54 Elaboración del autor.

Capítulo 7: Edificio Corporativo ENDESA. Síntesis arquitectónica del nuevo paradigma sismorresistente. Doctorado ARQ

Fig. 7.1 Archivo fotográfico Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Fig. 7.2 Archivo fotográfico Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Fig. 7.3 Revista de la Construcción. Número especial Tercer Aniversario, Año III, Mayo 1965, N°35, Santiago de Chile.

Fig. 7.4 Revista de la Construcción. Número especial Tercer Aniversario, Año III, Mayo 1965, N°35, Santiago de Chile.

Fig. 7.5 – 7.13 Plano contenido en expediente I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras.

Fig. 7.14 - 7.19 Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.

Fig. 7.20 -7.24 Revista Técnica y Creación N°9, Instituto de Edificación

Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1966.

Fig. 7.25 - 7.33 Revista Técnica y Creación N°8, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago, 1965.

Fig. 7.34 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 7.35 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 7.36 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 7.37 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 7.38 Centro de Documentación Sergio Larraín García Moreno, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 7.39 © Luis Mitrovic.

Figs. 7.40, 7.41 © Luis Mitrovic..

Fig. 7.42 © Luis Mitrovic.

Fig. 7.43 - 7.48 IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre, Brasil, 25 al 27 de marzo de 2013.

Fig. 7.49 - 7.53 Montealegre, Alberto, Emilio Duhart Arquitecto, Ed. ARQ, Santiago, 1994.

Figs. 7.54 - 7. 56 Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

Figs. 7.57 - 7. 58 Elaboración del autor.

Figs. 7.59 - 7. 70 Expediente Dirección de Obras I. Municipalidad de Santiago. Proyecto 1964. Fuente: I. Municipalidad de Santiago, Dirección de Obras, Departamento de Edificación, Archivo.

Figs. 7.71 - 7. 73 Elaboración del autor.

Conclusiones: De la unidad arquitectónica compacta a la unidad arquitectónica porosa.

Figs. i-iii Elaboración del autor.

Fuentes y Bibliografía:

Fuentes secundarias:

- Aguirre, M. (2012). La arquitectura moderna en Chile (1907-1942) Revistas de Arquitectura y estrategia gremial. Santiago: Editorial Universitaria.
- Aguirre, P. (2001). Central Clasificadora de Correos de Chile.
- Almandoz, A. (2013). Modernización Urbana en América Latina. De las grandes aldeas a las metrópolis masificadas. Santiago: Colección Estudios Urbanos UC.
- Alquist, A. (2009). Seismic Safety Commission. The Filed Act and its Relative Effectiveness in Reducing Earthquake Damage in California Public Schools. USA: State of California.
- Arriagada, A. (2011). Análisis del Factor de Transformación de Resistencias de Probetas cilíndricas de $\phi 10$ y $\phi 15$ a probetas cúbicas de 20 x 20 cm para hormigones de grado H20 y H30. Tesis para Optar al Título de Ingeniero de la Construcción. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Atria, M. (2008). La Permanencia del Paisaje como Fundamento en la Estación de Biología Marina Montemar. Tesis para Optar al Grado de Magister en Arquitectura. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Bonduki, N. (2000). *Affonso Eduardo Reidy*. Sao Paulo: Editorial Blau, Instituto Lina Bo e P. M. Bardi.
- Booth, R. (2009). *Automóviles y carreteras. Movilidad, modernización y transformación territorial en Chile, 1913-1931*. Tesis para optar al grado de Doctor en Arquitectura y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Castro, R. (1980). "Contribución a la Norma Chilena NCH433 Of.72 Diseño Antisísmico de Edificios". Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Obras Cíviles.
- Cortés, A.; Luppi, R y López, L. (2012). Bellavista Oveja Tomé, una fábrica en el tiempo. Concepción: Ediciones Universidad San Sebastián.
- Cereceda, p; Errázuriz, A; Lagos M. (2011). *Terremotos y Tsunamis en Chile: para conocer y prevenir*. Santiago de Chile: Origo Ediciones.
- Arnold, Ch. y Reitherman, R. (1982). *Buildings Configuration and Seismic Design*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Carvajal H., David (2011) *Institucionalidad y la catástrofe de Chillán. La reconstrucción de Chillán y la Corporación de Reconstrucción y Auxilio (1939)*. Tesis para optar al grado de Magíster en Desarrollo Urbano. Santiago: PUC, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos.
- Comité Ejecutivo del Congreso (1925). Reseña del II Congreso Panamericano de Arquitectos (documentos, actas, comunicaciones y discursos). Santiago: Editorial Universo.

- Carrasco, G. (2011). *Hechos para durar*. Santiago: manuscrito. [Material inédito].
- Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering. (1997). *Historic Developments in the Evolution of Earthquake Engineering*. California: CUREE.
- Echenique, A. (1990) Concepción, Historia de la Compañía de Acero del Pacífico S. A., Huachipato: Consolidación del Proceso Siderúrgico Chileno, 1905-1950. Santiago: Compañía de Acero del Pacífico.
- Eliash, H. y Moreno, M. (1989). *Arquitectura y Modernidad en Chile, 1925-1965*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Empresa Nacional de Electricidad S.A. (2015). Santiago: Editorial Lord Cochrane, Chile, 1993. Recuperada de: <http://memoriachilena.cl>
- Elsner, B.; Ewerbeck, J y Lira, G. (1929). Normas de cálculo y construcción que deben contemplarse en los proyectos de las obras públicas, considerando los perjuicios que pueden producir los temblores. Dirección General de Obras Públicas. Santiago: Nascimento.
- Flores, R. (1985) Ingeniería Sísmica. El caso del sismo del 3 de marzo de 1985. Santiago: Instituto de Ingenieros de Chile.
- Fuentes, P. (2009). Antecedentes de la Arquitectura Moderna en Chile (1894-1929). Chile: Ediciones Universidad del Bío-Bío.
- Guarda, G. (1997). *El Arquitecto de La Moneda. Joaquín Toesca, 1752-1799. Una imagen del imperio Español en América*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Guevara, T. (2009) *Arquitectura moderna en zonas sísmicas*. Barcelona: editorial Gustavo Gili.
- Guevara, T. (2012). *Configuraciones Urbanas Contemporáneas en Zonas Sísmicas*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad Central de Venezuela. Caracas: Fondo editorial Sidetur, Impresos Venegraf.
- Gurovich, A. (2003). “La solitaria Estrella: en torno a la realización del Barrio Cívico de Santiago de Chile, 1846-1946”. *Revista de Urbanismo* N°7, Universidad de Chile, enero.
- oHandler, B. (1970). *Systems Approach to Architecture*. New York: American Elsevier Publishing Company, Inc.
- Hans F. y Henry Sullivan, L. (1992) *Studio Paperback*, Germany.
- Hilberseimmer, L. (1999). *La arquitectura de la gran ciudad*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Hitchcock, H. (1944). “Built in USA, 1932-1944”. New York: The Museum of Modern Art.
- _____ (1973). “In the nature of materials, 1887-1941, The Buildings of Frank Lloyd Wright”. *Da Capo Press*, New York.
- Jünemann G., Alfredo, J. y Aguirre, S. (1996). *Un Arquitecto del Movimiento Moderno en Chile*. Santiago: Ediciones ARQ, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Maldonado, Á. y Pfenning, E. (1965). *Terremotos y normas antisísmicas*. Tesis para obtener el título de arquitecto. Santiago: Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ministerio de del Interior (1928). Especificaciones técnicas generales para la construcción de edificios fiscales: (aprobadas por decreto de la Dirección General de Arquitectura, N.o. 23 de 17 de abril de 1928, y que regirán en todo lo que no difieran de las "especificaciones técnicas especiales" que se formulen para cada obra). Santiago: [s.n.].

_____ (1930). Especificaciones técnicas generales para la construcción de edificios fiscales: aprobadas por resolución de la Dirección de Obras Públicas. Santiago: Imprenta Lagunas & Quevedo.

Montealegre K. (1994). *Alberto, Emilio Duhart Arquitecto*. Santiago: Ediciones ARQ, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Nute, K. (2000). Frank Lloyd Wright and Japan: The role of traditional Japanese art and architecture in the work of Frank Lloyd Wright.

Pavez, M. (2012). *Arquitecto Luis Muñoz Maluschka, Planificador Territorial en Chile*. Santiago: Ediciones Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile

Pérez de Arce, M. (2011). *Smith Solar & Smith Miller Arquitectos*, Santiago: Ediciones Universidad Finis Terrae, Ograma. Londres: Routledge.

Pérez de Arce, M. (1993). *Josué Smith Solar. Un arquitecto chileno del 900*, Santiago: Ediciones ARQ, Pontificia Universidad Católica de Chile.

The Great Earthquake of 1923 in Japan (1926). Japón: Compiled by the Bureau of Social Affairs, Home Office.

The Bureau of Social Affairs, Home Office (1926). The Earthquake of 1923 in Japan. Japan: s/e.

Torrent, H. (2001). "Esperanzas Proyectuales. El Legado de la Arquitectura de la Arquitectura Moderna". Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Arquitectura, Seminario de Investigación primer semestre.

_____ (2013). "Arquitectura Moderna y Ciudad, Anales de Investigación en Arquitectura" Vol. 3, Cátedra de Historia y Teoría de la Arquitectura. Montevideo: Facultad de Arquitectura, Universidad ORT.

_____ (25 al 27 de marzo de 2013). "Ciudades de Barro, experiencia urbana y cultura material en la arquitectura chilena del siglo XX". Brasil: IV Seminario de Docomomo Sul, Porto Alegre.

Twombly, R. (1987). *Louis Sullivan*. The public papers. Chicago: The University Press.

Torroja, E. (2010). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Ediciones Doce Calles.

Urrutia de Hazbún, R. y Lanza Lazcano, C. (1993) *Catástrofes en Chile 1541-1992*. Santiago: Editorial La Noria.

United States Geological Survey (s.f). Earthquake Hazard Program.

Recuperado de: www.usgv.gov

- Rowe, C. (1999). *Manierismo y arquitectura moderna y otros ensayos*. Barcelona: Editorial G. Gili.
- Reitherman, R. (1980). *Frank Lloyd Whight's Imperial Hotel: A seismic Re-evaluation*. Estambul: Seventh World Conference on Earthquake Engineering, IAEE.
- Siegel, G. (1975). *Structure and Form in Modern Architecture*. New York: Huntington, Robert E. Krieger.
- Segawa, H. (1999). *Arquitecturas no Brasil, 1900-1990*, Sao Paulo: Edusp- Editora Universidade de Sao Paulo.
- Sullivan, L. (1956). *Autobiografía de una idea*. Nueva York: Dover Publications, Inc.
- Summerson, J. (1984). *El Lenguaje clásico en la Arquitectura*, De L. B. Alberti a Le Corbusier. Barcelona: Editorial G. Gili.
- Walter, F. (2013), "Catástrofes y orden urbano. Siglos XVII al XX". Santiago: Conferencia dictada en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

Prensa

El Mercurio de Santiago. *Carta de Carvajal*. Domingo 02 diciembre 1928.

Revistas

- Aguirre, Eduardo (1939). "Perjuicio del terremoto del 24 de Enero último en las construcciones y como pudieron evitarse". *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, No. 7, 1939, año XXXIX, julio-agosto.
- Alford, J; Housner, G y Martel, R. (1951). "Spectrum analyses of strong-motion earthquakes". *California Institute of Technology*. Recuperado de: http://authors.library.caltech.edu/26476/1/Alford_jl_1951.pdf
- Arnold, M y Osorio F. (1998). "Introducción a los sistemas básicos de la Teoría General de Sistemas". *Revista Cinta de Moebio*, N°3, Abril, Santiago: Universidad de Chile.
- Arce, E. (1985). *Revista Ciudad y Arquitectura CA*, N°42, Santiago.
- Arias, A. y Husid, R. (1962). "Proyecto de Norma de Cálculo Antisísmico de Edificios". *Revista IDIEM*, Vol.1, N°2, junio 1962, pp. 121-146.
- Gómez, E. (1964). "Hormigones Controlados." *Revista IDIEM*, Vol.3, N°3, 1964, pp. 223-230.
- Aedo, F. (1965). "Avances en la construcción y perspectivas de hormigón pre-formado en Chile. *Revista Técnica y Creación* N°8, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago de Chile, pp. 3-6.
- Bastiancig, A. (1939). "El terremoto del 24 de enero de 1939 en Chile. Observaciones y consideraciones relacionadas con la edificación". *Revista Scientia*, Vol. 5, Universidad Federico Santa María.

- Biot, M. A. (1933). "Theory of Elastic Systems Vibrating under Transient Impulse, with an Application to Earthquake-Proof Buildings". *Proceedings of National Academy of Science*, N°19, p. 262-268.
- Benioff, H. (1934). "The Physycal Evaluation of Seismic Destructiveness". *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.24, N°4, p.398-403.
- _____ (1934). "Theory of Vibration of Buildings during Earthquakes". *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik Ingenieurwissenschaftliche forschungsarbeiten*, Herausgegeben von Proffesor Dr. E. Trefftz, Dresden, Sonderabdruck, Bd. 14, H.4, p. 215.
- _____ (1934), "Theory of Vibration of Buildings during Earthquakes, *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik Ingenieurwissenschaftliche forschungsarbeiten*, Herausgegeben von Proffesor Dr. E. Trefftz, Dresden, Sonderabdruck", *Buildind Durning*, N° 14, H.4, pp.213-233.
- Blume, J. (1956), "Period determinations and other earthquake studies of a fifteen-story building". *Proceeding of a World Conference on Earthquake Engineering*, Berkeley, California, p. 11-72.
- AA. VV. (1966). *Revista Técnica y Creación*. N°9, Instituto de Edificación Experimental Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Crispiani, A. (2009). "Edificio Oberpur". *Publicación de la Asociación de Oficinas de Arquitectos*, N°12, p. 31-34.
- Colegio de Arquitectos (1944). "Informe de la Comisión Gubernativa sobre los efectos producidos por el terremoto de Chillán en enero de 1939". *Boletín del Colegio de Arquitectos*, 1 (3): 086-109, julio 1944 Pág. 106.
- Del Canto, H.; Godoy, P.; Aguirre, E.; Muñoz, J; Ibáñez, J. (1940). "Informe de la Comisión Gubernativa sobre los efectos producidos por el Terremoto de Enero de 1939. *Anales Instituto de Ingenieros de Chile*, N° 12, Año XL, p. 434-446.
- Dirección General de Obras Públicas (1936). *Especificaciones Técnicas Generales para el Empleo de Barras Lisas de Acero en Obras Fiscales de Hormigón Armado*. Santiago: Imprenta La Ilustración.
- Espiñeira J.M. y Acevedo, P. (1986). *El Sismo del 3 de marzo*. Chile: Acero Comercial.
- Housner, G. W., & McCann, G. D. (1949). "The analysis of strong-motion earthquake records with the Electric Analog Computor". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 39(1), p. 47-56.
- Housner, G. (1960). "Design of Nuclear Power Reactors Against Earthquakes". *Proc. Second World Conf. on Earthquake Engineering*, Vol. 1, p.133.
- _____ (1963). "An Engineering Report on the Chilean Earthquake of May 1960". *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol.52, N° 2, p.219-223.
- Ibáñez, J. (1985). Historia y Enseñanza de los Terremotos. *Revista Ciudad y Arquitectura CA*, N°42, p. 26-29.

- Ibañez, J. (1989). "Breve historia de la ingeniería antisísmica". *Anales de la Universidad de Chile*, N°21 (Vol.5), p. 95-99.
- Jacobsen, L. (1956). "Summary of our Present Knowledge of Earthquake Engineering and Some Thoughts on Future Research". *USA: I World Conference on Earthquake, Berkeley*.
- Kanai, K. (1957). Semi-empirical formula for the seismic characteristics of the ground. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Vol. 35, p. 309-325.
- _____ (1961). An Empirical Formula for the Spectrum of Strong Earthquake Motions. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Vol.39, pp. 85-95.
- Larraín, S.; Tagle, I.; Valdivieso, M. (1939) "Cuatro informes técnicos". *Urbanismo y Arquitectura* 2 (01): 5-13, p. 5-13.
- Larraguible L. (1969). *Revista AUCA* N°15, junio, julio, p.55.
- Márquez, J. (1985). *Revista Ciudad y Arquitectura CA*, N°42, Santiago de Chile.
- Ortega, O., Dávila, R. (1991). "Hacia una arquitectura propia". *Revista De Arquitectura*, N°2, Universidad de Chile.
- Pérez, F (1991). "Estación de Biología Caleta Montemar. Un edificio y 20 años de arquitectura moderna". *Revista ARQ* N°18, septiembre, Facultad de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Masuro (2003). "Plaza Cívica. Plaza de la Constitución, Santiago." *Revista ARQ* N°53, marzo, Facultad de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Portland Cement Association (1961). The behavior of reinforced concrete buildings in the Chile an earthquekes of May 1960. Portland Cement Association. *Advanced Engineering Bulleting* 6.
- Revista Arquitectura, Urbanismo, Construcción, Arte* (1969) N°15, junio-julio, Santiago.
- Revista Chilena de Racionalización* (1945). N°1, junio, Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.
- Revista Chilena de Racionalización* (1951). N°11, septiembre, Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.
- Revista Chilena de Racionalización* (1962), N°32, junio, Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.
- Revista Chilena de Normalización*. (1960). N°30 (2), diciembre, Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.
- Revista Chilena de Normalización* (1962). N°34, diciembre, Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización.
- Revista de la Construcción* (1963). N° 10, Año II.
- Revista de la Construcción* (1963). N°13 Año II.
- Revista de la Construcción* (1965). N°36, Año III, mayo.
- Revista de Historia Social y de las Mentalidades* (1985). "Usos, memorias y circulaciones de un territorio. Chile, estudio de casos". Departamento de Historia, Universidad de Santiago de Chile, Vol. 15, N°2, Diciembre.

Riesco, H. (1991). “Estación de Biología Caleta Montemar”. *Revista ARQ* N°18, septiembre, Facultad de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Rojo, S (1985). “Arquitectura y Sismos.” *Revista chilena de investigaciones estéticas. Aisthesis*. N°4, La Arquitectura y sus problemas, Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Smith, K. (1985). “Frank Lloyd Whight and the Imperial Hotel”. *A prostcrip. Art Bulletin* 67 (2), junio.

Steinbrugge, K. y Clough, R. (1960), “Chilean Earthquake of May: 1960. A Brief Trip Report”. *II World Conference on Earthquake, Vol. 1, Session 5*.

White, M. “Friction in Buildings: Its Magnitude and Its Importance in Limiting Earthquake Stresses”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, N°2, Vol. 31, april.

Leyes y Ordenanzas:

Dirección General de Obras Públicas (1930). Ley N°4566, Ordenanza General de Construcciones y Urbanización. Santiago de Chile: Imprenta Lagunas y Quevedo.

Dirección General de Construcciones y Urbanización (1930). Ordenanza General de Construcciones y Urbanización. Santiago de Chile: Imp. Lagunas & Quevedo Ltda.

Ley y Ordenanza de Construcciones y Urbanización (1930). Dirección General de Construcciones y Urbanización. Santiago de Chile: Imp. Nacional.

Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (1938). Publicada en el Diario Oficial, Número 17.386 el 6 de febrero de 1936. Santiago de Chile: Imprenta Cultura.

Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización y Ordenanza Local de Santiago (1941). Publicados en el Diario Oficial, N° 17.386 y N° 18.486. Santiago de Chile: Talleres gráficos La Nación.

Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (1950). Ley y Ordenanza General sobre Construcciones y Urbanización. Santiago de Chile: Imprenta y Litografía Universo.

Ministerio de Hacienda (1939). Ley N°6.334, Crea las Corporaciones de Reconstrucción, Auxilio y Fomento a la Producción. Publicado en el Diario Oficial el 10 de enero de 1941. Santiago de Chile: Pedro Aguirre Cerda y Pedro Enrique Alfonso.

Ministerio del Interior (1929). Ley N° 4.563 sobre Ordenanzas Generales. Publicado en el Diario Oficial el 14 de febrero de 1929. Santiago de Chile: Carlos Ibañez del Campo, Guillermo Edwards y Luis Schmidt.

Ministerio de Fomento (1942). Ley N° 7.211, Crea el Colegio de Arquitectos; Determina Composición del Consejo General, y le Fija Funciones y

Atribuciones. Publicado en el Diario Oficial N° 19,325, de 4 de agosto de 1942. Santiago de Chile: Juan Antonio Ríos.

Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación (1947). Ley N° 8.763, Modifica la Ley General de Construcciones y Urbanización. Promulgada el 14 de marzo de 1947 y publicada el 27 de marzo de 1947. Santiago de Chile.

Real Decreto Ley Italia (1937) Ley de 22 de noviembre de 1937- XVI, N°2105. Italia.

Decretos:

Ministerio del Interior (5 de septiembre de 1940). Modifica la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (Decreto N°3388). Santiago de Chile: Pedro Aguirre Cerda – Humberto Álvarez Suarez.

Ministerio del Interior (8 de mayo de 1942). Aprueba, en carácter transitorio, las modificaciones que indica, introducidas en la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (Decreto N°2233). Santiago de Chile: J. A. Ríos – M. Raúl Morales.

Ministerio del Interior (9 de septiembre de 1942). Nueva estructuración de los servicios de administración Pública. (DFL 6 y 6-4817). Santiago de Chile: J. A. Ríos- Raúl Morales - Benjamín Matte L.- Ernesto Barros J.- J. Ortúzar Rojas.- Oscar Schnake.- O. Bustos.- Fernando Moller.- Pedro Poblete.- Leonidas Leyton.- Pedro Alvarez.- M. Etchebarne.- A. Duhalde.

Ministerio de Obras Públicas (5 de junio de 1945). Designa comisión encargada de estudiar y proponer al gobierno las modificaciones que deban introducirse a la ordenanza general de construcciones y urbanización (Decreto N°942). Santiago de Chile: J. A. Ríos- E. Frei.

Ministerio de Obras Públicas y vías de Comunicación (13 de junio de 1949). Reemplaza Ordenanza General de Construcciones (Decreto N° 884). Santiago de Chile: Gabriel González Videla – Ernesto Merino Segura.

Ministerio de Fomento (16 de octubre de 1925). Pliego de Normas Chilenas para el Cálculo y Construcción de Obras de Hormigón Armado (Decreto N° 977). Santiago de Chile: Departamento de Caminos.

Normas de Construcción:

Norma Chilena Oficial (1952). NCh 170 Hormigón Armado. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización.

_____ (1957). NCh 429. EOf.57., Hormigón Armado: Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización.

_____ (1979). NCh433 Of.72, diseño Antisísmico de Edificios. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización.

_____ (2012) NCh211, Acero – Enfierradura para uso en Hormigón Armado, requisitos. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización.

Recursos electrónicos:

<http://www.wikipedia.org>
<http://www.fau.uchile.cl>
<http://www.quake06.stanford.edu>
<http://www.ingegneriasismicaitaliana.com>
<http://www.sismologia.cl>
<http://www.galcit.caltech.edu/about/history>
<http://www.enginneris.illinois.edu>
<http://www.montealegre-beade-arquitectos.cl>
<http://www.bibliotecafundamentos.cl>
<http://www.dituc.cl>
<http://www.diem.cl>
<http://www.iimch.cl/>

A mis hijos Maximiliano y Eloísa.
A la memoria de mi padre.
A mi madre, hermana y sobrinos.