



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos

Arquitectura de muro oculto

Fachada sismo resistente en la arquitectura chilena contemporánea

Javier A. García Pérez

Tesis de magister en Arquitectura

Profesores Guía: Umberto Bonomo y Paula Velasco

Santiago de Chile | 2020

Tesis presentada a la Escuela de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al grado de Magister en Arquitectura.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

© 2020, Javier A. García Pérez

Resumen

El problema de los terremotos, la destrucción y la fragilidad que con ellos se revela, han sido una constante en la disciplina arquitectónica. Durante el proceso de regulación y normalización de la edificación sísmo resistente en el transcurso del siglo XX, en Chile prevalece la configuración edilicia resistente de orden murario¹, el cual es puesto a prueba exitosamente en el terremoto de marzo de 1985. Una de las más grandes lecciones tomadas a partir de esta experiencia, fue la capacidad, por parte de edificios estructurados en base a muros, de ser incolapsables².

Sin embargo, dentro de este contexto de maduración sísmica y consolidación del muro como elemento predominante en las construcciones en Chile, se identifican desde 1960 un conjunto de edificios emblemáticos estructurados en base a diagonales perimetrales.

Esta investigación pretende demostrar que, los que han sido considerados como edificios estructurados en base a diagonales, normalmente entendida como un sistema de arriostramiento, son en realidad, edificios pensados en base a muros, los cuales, sin comprometer su solidez y resistencia estructural, han sido perforados a tal punto de generar una condición de transparencia, que pone en crisis la presencia y apariencia del mismo muro.

1 Marco Barrientos M. La arquitectura de los terremotos en Chile (1929-1972). Tesis de Doctorado en Arquitectura y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2016, pp. 315.

2 Carl Luders y Jorge Vasquez. Lecciones del sismo del 3 de marzo de 1985, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1988, pp. 124.

Índice

Introducción

La deriva del muro estructural
Metodología de la investigación

Arquitectura chilena sísmica

Sistemas constructivos y terremotos
Norma chilena de diseño sismo resistente
Diagonales y sistema arriostrado

Muros perforados como arriostramiento

Arriostramiento longitudinal:
Molino Carozzi y Central Clasificadora de Correos
Envolvente diagonalizada en colaboración con zonas rígidas:
Edificio Manantiales, Consistorial de Las Condes y Edificio Facultad de Economía y Negocios
Arriostramiento en madera:
BIP Computers y Edificio Escuela de Arquitectura UC

Visualización del muro oculto

Retículas paralelas
Perímetro descascarado
Marco estructural

Conclusiones

Bibliografía

Figuras e imágenes

Introducción

La deriva del muro estructural

El muro, elemento arquitectónico, sólido y opaco, de espesor y materialidad variable, se encuentra definido por la predominancia del lleno por sobre los vacíos que eventualmente se generan en él, ya sea para atravesarlo física o visualmente.

Según la teoría de Gottfried Semper, sobre el origen textil del muro: *“La cestería, el divisor espacial original, conservó toda la importancia de su significado anterior, real o ideal, cuando más tarde las paredes de estera liviana se transformaron en paredes de arcilla, ladrillo o piedra. La cestería fue la esencia del muro.”*³

Según Semper el muro no siempre fue sólido y espeso. Antes de que fuese construido con materiales pétreos como bloques de tierra, piedra o mármol, tuvo un aspecto similar al de una cortina o alfombra colgante (Fig.01). Tampoco se encargaba de soportar grandes cargas o pesadas estructuras sobre él. Más bien, solo separaba espacios dentro de una pequeña cabaña o bien entre un interior y un exterior. Cómo se explica entonces, que un cerramiento, tejido y liviano, haya derivado en la actualidad, en un muro sólido y resistente ante fuerzas externas.

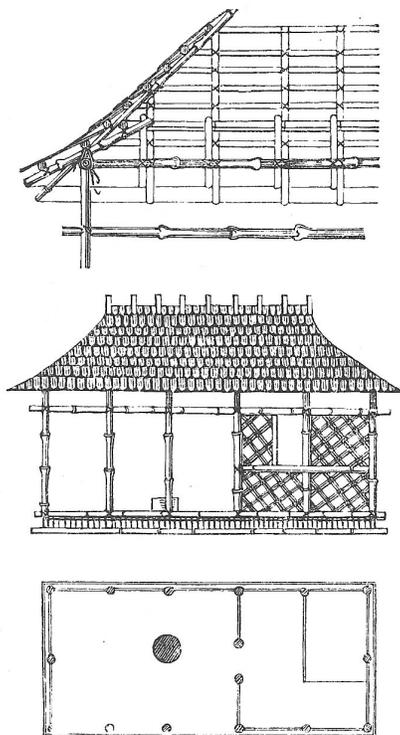


Fig. 01 Cabaña Caribeña, Gottfried Semper, 1879.

³ Gottfried Semper. *The Four Elements of Architecture and Other Writing*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989 pp, 103.

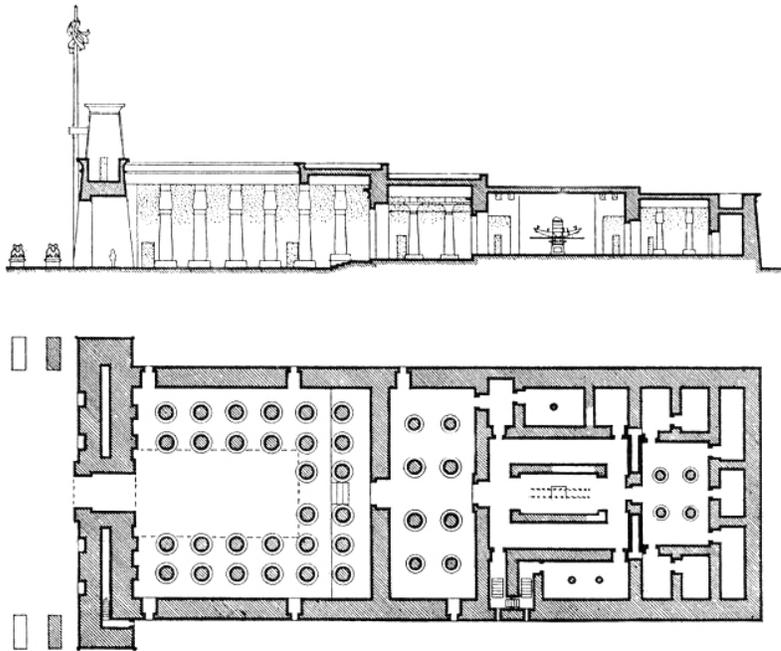


Fig. 02 Templo de Khon, Banister Fletcher, 1905.

El muro en diferentes civilizaciones, naturalmente fue construido con los materiales disponibles, aunque siempre remitiendo a su origen. Así, tanto las culturas asiria, persa, egipcia o griega, desarrollaron técnicas para pintar o representar símbolos en las caras de los muros. Sin embargo, estos ya no colgaban de forma liviana como en la cabaña primitiva caribeña, sino que emergían del suelo y por tanto, no solo se remitían a separar espacios, sino que también a sostenerse por sí mismos y algunas veces incluso a soportar otros elementos sobre ellos.

Los egipcios concibieron una curiosa adaptación del muro. Estos eran de gran espesor y contruidos en granito o ladrillo revestido por granito. Las caras de los muros en templos eran inclinadas con pendiente hacia el exterior, haciendo de su base más ancha que su remate superior (Fig.02). *“Según la teoría de Viollet-le-Duc sobre el origen de esta pendiente, esta no apunta a una influencia del material, y sospecha que esta característica se introdujo en una etapa posterior, promulgada por un decreto real. Infiere que pudo haber sido derivada de las pirámides que se mantuvieron intactas durante los terremotos (...)”*⁴

⁴ Banister Fletcher. A History of Architecture on the Comparative Method, B.T. Batsford, London, 1905, pp. 13.

Lo anterior es importante, ya que desde la antigüedad se reconocerían las propiedades geométricas del muro, como un factor relevante para la resistencia y solidez estructural.

La arquitectura griega manifiesta otra adaptación del muro (Fig.03). A pesar de la jerárquica presencia de la columna en los templos griegos, *la cella*, recinto donde se ubicaba la escultura a la cual el templo rendía culto, se configuraba por cuatro muros. Los muros de *la cella*, se construyeron como dos corridas lineales de pequeños bloques, espalda contra espalda, y amarrados cada cierta distancia con un bloque mayor del espesor completo del muro. De esta forma se lograron dos objetivos, primero: obtener terminaciones lisas al exterior e interior de la cella, utilizando bloques con solo una cara tratada, y segundo: una construcción resistente, ya que dos muros paralelos no amarrados tendrían un comportamiento estructural heterogéneo.⁵

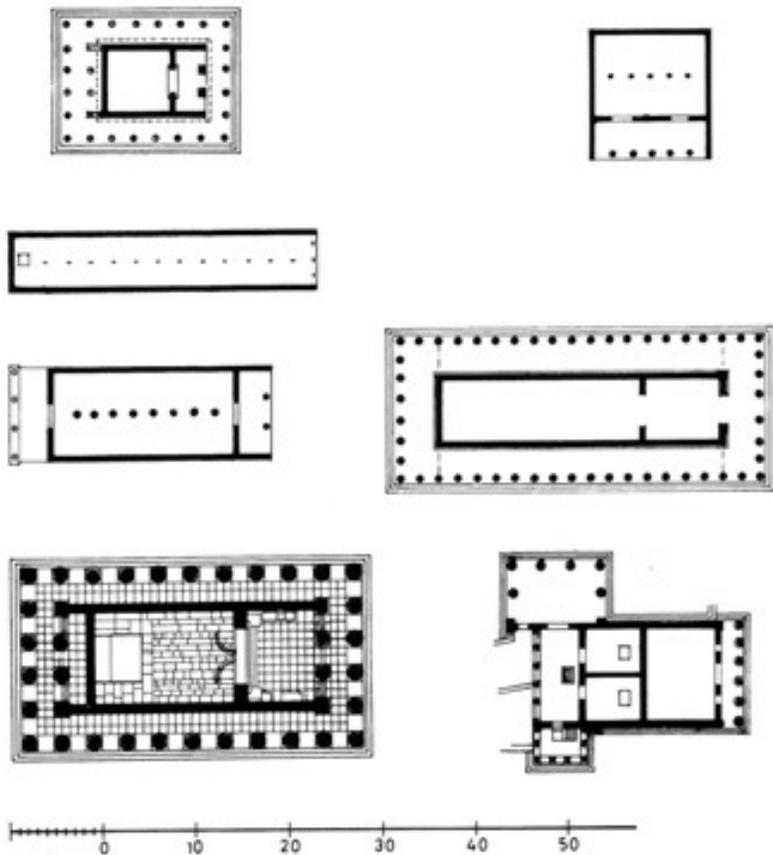


Fig. 03 Plantas de templos jónicos construidos entre el siglo VIII y IV a. de C.

5 Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc. Discourses on Architecture vol. 1, traducido por Henry Van Brunt, Boston, James R. Osgood, 1875, pp. 37.

Posteriormente, sobre *la cella* y el perímetro de columnas del templo, se apoyaría la estructura de cubierta, confiriendo a muros y columnas un carácter estructural portante.

En este sentido lógico de la construcción clásica griega, se refleja el contraste entre tectónica y estereotomía. “(...) *Semper clasificó las técnicas de la edificación según dos procedimientos fundamentales: la tectónica de la estructura, donde los ligeros componentes lineales están ensamblados como si abarcaran una matriz espacial y la estereotomía del basamento, donde masa y volumen se forman conjuntamente mediante el apilamiento repetido de los elementos más pesados.*”⁶

Pero la expresión estructural del muro no siempre es estereotómica, como los muros de la arquitectura egipcia y griega. Esta diferencia queda reflejada en dos palabras de la lengua alemana referidas a pared: *Mauer* y *Wand*. La primera haciendo referencia a una estructura masiva y portante y la segunda a un muro construido por elementos livianos, y relleno por barro.

Para aclarar el sentido estructural de cada uno, tal como Kenneth Frampton comenta “(...) *lo estereotómico se puede entender como trabajando exclusivamente a compresión, como una estructura de fábrica compuesta por una serie de ladrillo o bloques maclados, como un apilamiento masivo. Al contrario el entramado tectónico está alternativamente cargado, tanto a compresión como a tensión, y permanece como una estructura ligera y abierta.*”⁷

Lo anterior aplica si hablamos de cargas verticales producidas por la fuerza de gravedad. Qué ocurre entonces, con las cargas laterales producidas por sismos. Una estructura entramada seguirá trabajando alternamente a compresión y tracción, pero una estructura masiva como un muro de hormigón armado, no solo seguirá trabajando a compresión. Sus nervios de acero permitirán que el muro trabaje a tracción, resistiendo a esfuerzos por sismo.

6 Kenneth Frampton. Estudios sobre cultura tectónica. Poéticas de la construcción en la arquitectura de los siglos XIX y XX, Madrid, Akal, 1999, pp. 16.

7 Kenneth Frampton traducido por Adam Bresnick. El muro, concepto esencial en el proyecto arquitectónico: la materialización de la idea y la idealización de la materia. Tesis doctoral de Jesús María Aparicio Guisado. E.T.S. Arquitectura, Madrid, 1994, pp. 8.

Con respecto al entramado tectónico, a mediados del siglo XIX, Viollet-le-Duc desarrollo en sus “Discourses on Architecture” la idea del racionalismo estructural. Poniendo en práctica sus principios, presenta en el Discurso XVIII, el diseño de un edificio de múltiples pisos (Fig.04), con comercio en el primero y viviendas en los subsiguientes, estructurado mediante un muro tectónico cargado, por gravedad, a compresión y tracción. La estructura se compone por marcos de hierro expuestos en la fachada que, en conjunto con el relleno de ladrillos de arcilla esmaltada en los espacios vacíos, enfatizan las líneas estructurales del muro.⁸



Fig. 04 “House with iron structure with glazed earthenware cladding” Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, 1871.

8 Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc. Lectures on Architecture vol. 2, traducido por Benjamin Bucknall, New York, Dover Publications, 1987, pp. 320-321.

Un principio similar se ve, pero esta vez en hormigón armado, en la obra de departamentos del arquitecto Auguste Perret, construida en la Rue Franklin en Paris (Fig.05)

El revestimiento de la fachada con cerámicos, diferencia a modo de representación el armazón portante y el relleno de muros, con azulejos de cerámica lisos y floreados, respectivamente.

Este carácter del muro, lo explica más claramente Andrea Deplazes: *“Al muro se le da la importancia de una imagen encerrada en un marco de construcción. Actúa como una metáfora del medio suave, intercambiable y perpetuamente cambiante en general. El relleno y su estructura tectónica circundante de elementos constructivos están envueltos en un diálogo”*⁹

En esta breve reflexión, se recalca la condición de perpetuo cambio por medio de las distintas manifestaciones y configuraciones que ha tomado el muro, a lo largo de la historia de la arquitectura occidental. Desde su primera condición ligera y textil, hasta su condición sólida y portante.

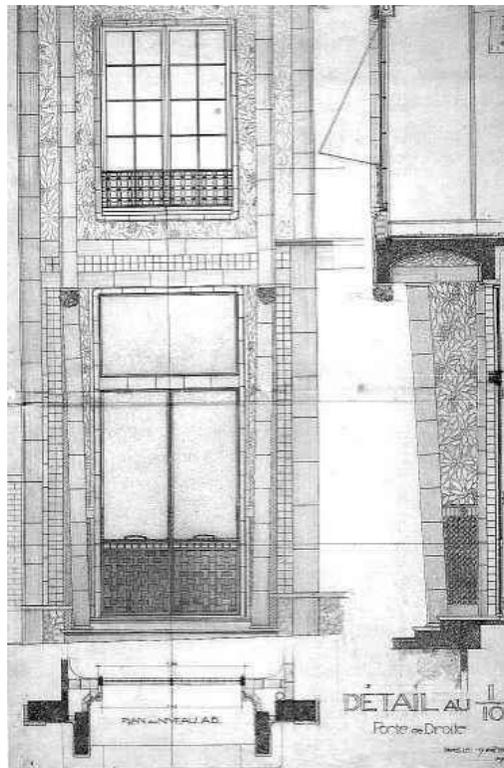


Fig. 05 Detalle de cerámicos, Armazón y muro de relleno, August Perret, 1903.

9 Andrea Deplazes. Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures: A Handbook, Birkhäuser, 2018, pp. 168.

El muro estructural en Chile

Las condiciones generales descritas en torno al muro, sus materiales y lógicas fundamentales con respecto a la obra total, dan cuenta de las múltiples formas en las cuales se ha configurado la arquitectura con este elemento.

En Chile, el muro perimetral, adaptado a materiales locales como el adobe, fue de recurrente uso en la arquitectura colonial, sobretodo en la construcción de viviendas (Fig.06). El problema de la resistencia sísmica asociado a esta tipología, es tempranamente reconocido. Perfecta simetría en la disposición de la planta y alturas de máximo un piso, son algunas de las precauciones tomadas en viviendas coloniales, construidas en este material, a partir del siglo XVII¹⁰. Las dimensiones del ladrillo de adobe, fabricado para la construcción de viviendas coloniales en la ciudad de Santiago, eran de 0.60 x 0.30 x 0.10 m, las cuales, utilizado en aparejo de cabeza, robustecieron al muro y dieron grandes espesores, iguales o superiores al largo del ladrillo de adobe.

El muro de adobe opaco y lleno, debido a su carácter estructural, casualmente era perforado por vanos de ventanas y cerrado con postigos de madera. Con la implementación de la albañilería simple de ladrillo cocido, y vidrio en ventanas a partir del siglo XVIII, el muro perimetral sufre grandes cambios en su fisonomía, con tendencia a la esbeltez y la transparencia.

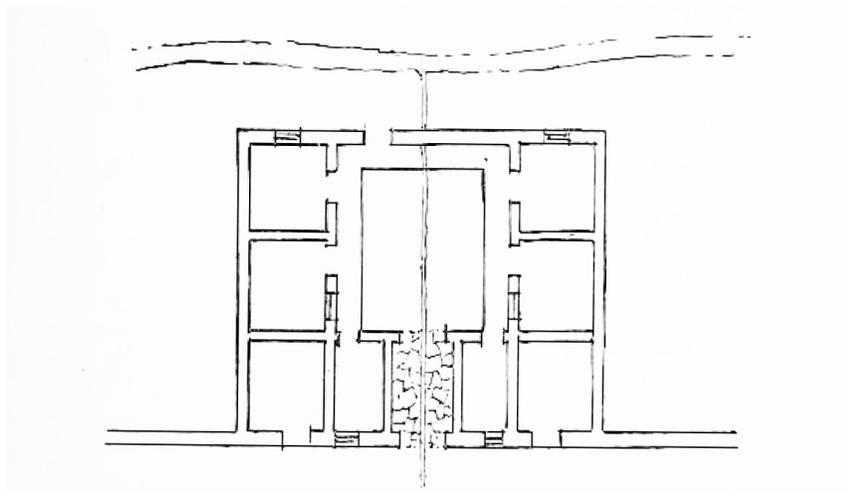


Fig. 06 Planta tipo de vivienda mínima en adobe.

10 Carlos Valenzuela describe en mayor detalle las cualidades de la planta de la vivienda colonial después del terremoto de 1647. Carlos Valenzuela Solís de Ovando. La construcción en Chile, cuatro siglos de historia. Cámara Chilena de la Construcción, Santiago. pp. 24

en su fisonomía y mejoras en su desempeño estructural, son algunas variaciones que el muro ha tomado en el contexto chileno, con el objetivo de contribuir al conjunto edilicio resistente.

Dentro de este marco, se reconoce un conjunto de obras chilenas de arquitectura moderna y contemporánea, que configuran su perímetro estructural mediante una de las variaciones del muro.

El muro en esta investigación es entendido como un elemento arquitectónico que construye los límites y definiciones de los espacios o recintos y a la vez como un elemento clave para la resistencia estructural del edificio ante fenómenos físicos, como lo son la gravedad o los sismos. El muro, por tanto, tiene el deber de ser elemento rigidizante ante dichos esfuerzos para dar firmeza y soporte al edificio.

Como se describe anteriormente, el muro constructivamente puede ser de carácter estereotómico, entendido como uno en donde prevalece la masa y el carácter sólido, opaco y físicamente intraspasable de este, pero también de carácter tectónico entendido como uno donde prevalecen los elementos lineales y livianos que conciben su forma.

En esta investigación, se plantea que lo que tradicionalmente es llamado edificios estructurados en base a sistemas de arriostramiento o simplemente diagonales, son en realidad edificios estructurados en base a muros ocultos detrás de su apariencia perforada.

Para la comprobación del supuesto de esta investigación se escogen siete obras chilenas dentro de los últimos 60 años, las cuales, hasta la fecha, la mayoría se encuentran en buen estado o no han sido destruidas por fenómenos sísmicos.

A pesar de que no todas las obras han vivido un fenómeno de este tipo, todas hacen uso común de elementos diagonales en fachada. Este último es uno de los criterios más relevantes ya que tanto la materialidad como la tipología de los edificios varía. Desde torres de gran escala en hormigón armado a edificios de pequeña escala en madera el denominador común son fachadas de marcada estética y lógica constructiva tectónica, que supone ser estructural (Fig.08).

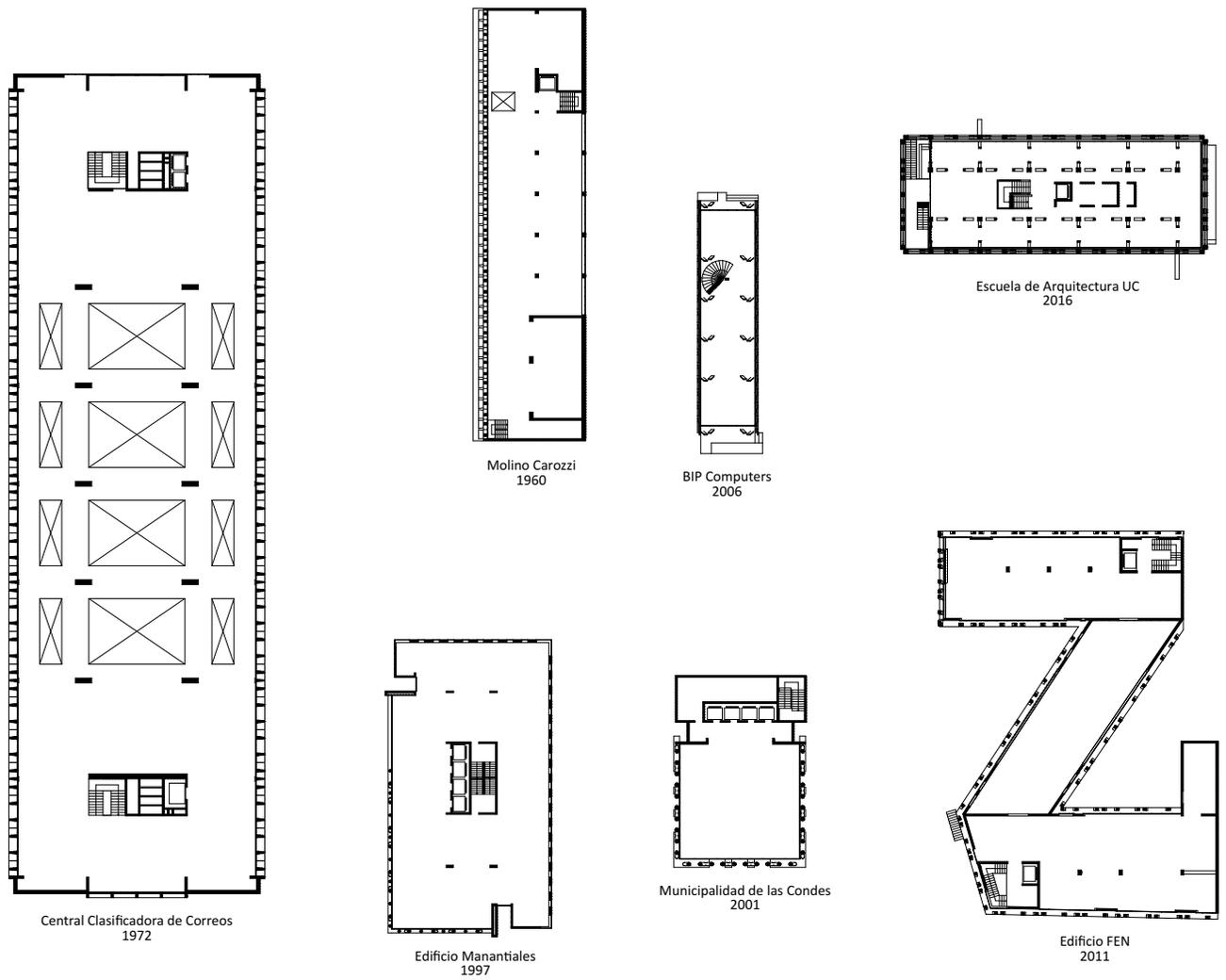


Fig. 08 Plantas representativas de los casos de estudio.

Metodología de la investigación

Problema de investigación

Tradicionalmente el muro, identificado por su continua y opaca expresión, ha sido elemento relevante para la configuración espacial y estructural en la arquitectura chilena. Sin embargo, esta condición no se reconoce como tal en el conjunto de casos escogidos.

En estas obras, el muro perimetral junto con sus condiciones espaciales y estructurales ha sido llevado a un punto límite, en el cual ambas condiciones se ocultan detrás del uso de diagonales estructurales.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las estrategias proyectuales que se plasmaron en estos edificios para que los mismos puedan leerse como edificios estructurados mediante sistemas de arriostramiento y al mismo tiempo como muros perimetrales estructurales? ¿Cómo se conjugan y miden ambas condiciones?

Hipótesis

En los casos de estudio escogidos, los análisis arquitectónicos en complemento con la simulación estructural demuestran que, en una búsqueda por condiciones espaciales específicas, el muro perimetral tradicionalmente continuo y opaco ha sido perforado y se le ha sustraído material hasta tal punto que la integridad estructural del mismo es el límite de la operación, radicalizando la condición continua del perímetro. En términos estructurales la solidez y resistencia sísmica del muro sigue estando presente, pero en términos formales y estéticos el muro está oculto.

Casos de estudio

- Edificio Carrozi, Emilio Duhart H. y Luis Mitrovic B. (1961)
- Central Clasificadora de Correos, Boris Guiñerman W. y Eduardo Bresciani B. (1980)
- Edificio Manantiales, Izquierdo Lehmann Arquitectos (1999)
- Municipalidad de las Condes, Undurraga Deves Arquitectos (2003)
- Bip Computers, Alberto Mozó (2007)
- Edificio de la Facultad de Economía y Negocios, Marsino Arquitectos (2011)
- Edificio de la Escuela de Arquitectura UC, Gonzalo Claro (2015).

Objetivos de investigación

Objetivo General

Comprender el sistema constructivo en base a diagonal en fachada, como una posible variación del muro estructural en la arquitectura chilena moderna y contemporánea.

Objetivos Específicos

Analizar morfológicamente un conjunto de obras chilenas modernas y contemporáneas, en las cuales la condición del muro aparentemente ha sido llevada al límite material través de diagonales estructurales.

Entender la respuesta estructural en tres obras del conjunto seleccionado, modelando la totalidad de la estructura y simulando los esfuerzos axiales de los elementos de fachada.

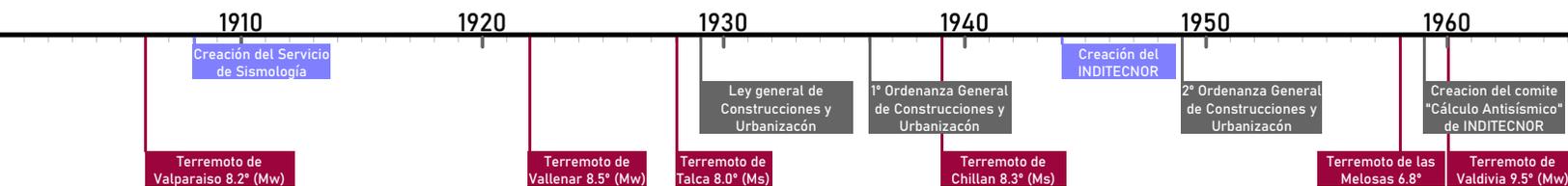
Comprender cómo el uso de la diagonal estructural, es un campo de exploración disciplinar, vinculado al problema de la resistencia sísmica en Chile.

Arquitectura chilena sísmica

El empleo de diagonales o arriostramiento, es recurrente como solución estructural y formal vinculada con la arquitectura sísmicamente resistente. Según la Norma chilena de diseño sísmico de edificios, el arriostramiento es considerado junto con el sistema murario, un sistema estructural válido para la resistencia de la acción gravitacional y sísmica.¹⁴

La recurrente actividad sísmica junto a otros antecedentes, explican que, en la actualidad Chile posea una arquitectura resistente:

“Se trata de un proceso de ajustes correctivos condicionado por el fenómeno sísmico y destrucción de la edificación, el perfeccionamiento de instrumentos de regulación, ajustes de criterios y métodos de diseño sismorresistente”¹⁵



14 NCh433 of.72, Cálculo antisísmico de edificios. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1979, pp. 18.

15 Marco Barrientos M. La arquitectura de los terremotos en Chile (1929-1972). Tesis de Doctorado en Arquitectura y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2016, pp. 7.

Junto al levantamiento sistemático de daños producidos por sismos, en Chile se comienza a regular legalmente la construcción desde 1929.

Si desde principio de siglo, una continuación de eventos sísmicos explica la necesidad por el desarrollo de una arquitectura resistente, el año 1972 es determinante en el aspecto normativo de esta, ya que se logra consolidar como Norma chilena el diseño antisísmico de edificios.

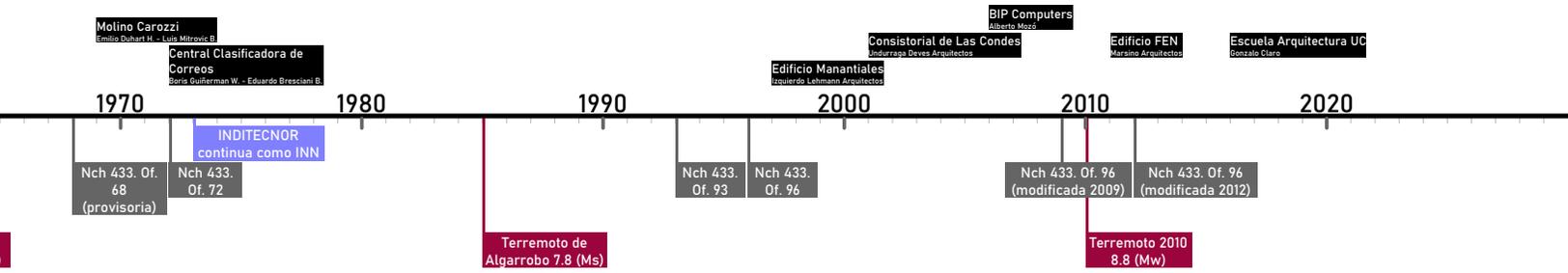


Fig. 09-10 Línea del tiempo: desarrollo de una arquitectura sísmica chilena.

Sistemas constructivos y terremotos

A continuación, un breve repaso por los efectos producidos en edificios afectados por terremotos dentro del siglo XX, describirá las recurrentes razones o deficiencias que afectaron en que los conjuntos edilicios fueran dañados.

El primer evento sísmico importante del siglo XX, fue el terremoto de 1906 de Valparaíso. Con una magnitud de 8.2 (Mw), su nivel destructivo se debe, en parte, a una situación de fundación urbana sobre relleno, que no favorece en términos de resistencia sísmica. Sin embargo, se pudo observar en cuanto a la materialidad de los edificios *“que los más sufridos con el desastre fueron los construidos en albañilería”*¹⁶.

Henríquez, en 1907, comenta sobre los aspectos constructivos de los edificios dañados, principalmente en albañilería simple, que: *“Factores determinantes incluyen la falta de refuerzo perpendicular a la fachada, el uso de mampostería sin ataduras, una falta de diafragmas rígidos, exceso en pesos y en pesos de cornisas de estructura y otros elementos decorativos”*¹⁷.



Fig. 11 Ruinas del Teatro de la Victoria, Valparaíso. 1906.

16 Andrea Sepúlveda J. Plan de reconstrucción de Valparaíso 1906-1910: sus ideas urbanas hacia el centenario de la república, Tesis para optar al Grado de Licenciatura en Historia, Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Escuela de Historia, Santiago, 2009, pp. 63.

17 Hormidas Henríquez citado por Marcela Hurtado, Manuel Salazar y Gonzalo Muñoz. Características constructivas de la arquitectura histórica en la ciudad portuaria de Valparaíso: edificios de albañilería de ladrillo del arquitecto E.O.F. Harrington, Revista de la construcción, vol. 15, n°3, 2016, pp. 68.

Rodríguez y Gajardo, destacan al respecto, lo ocurrido con el valioso teatro de la Victoria ubicado en el costado norte de la plaza de la Victoria (Fig.11). *“Su construcción era tan sólida que mucho se habrían creído dentro de él, bajo sus enormes murallas, perfectamente seguros y aún a salvo de terremotos. Lo más sólido, sin embargo, fue lo primero en destruirse en aquella terrible noche”*¹⁸.

Albañilería en ladrillo y estructuras en madera (*balloon frame* y *platform frame*) eran las tipologías más utilizadas en construcciones de la zona. El terremoto y posterior incendio de 1906, afectó principalmente al plan de la ciudad, donde edificios públicos de albañilería eran más recurrente. Lo anterior, obligó a profesionales de la construcción a repensar los métodos de edificación, mejorando la resistencia en construcciones de albañilería de ladrillo, de manera que la reconstrucción de la ciudad resistiera a próximos terremotos.¹⁹

Posterior a la catástrofe de Valparaíso, la provincia de Atacama fue afectada en 1922, por un terremoto de magnitud 8.5 (Mw), principalmente dañando la ciudad de Vallenar. Gran parte de las construcciones, en adobe y tabiques de madera, fueron afectadas entre otras razones por que *“Las esquinas de los edificios no tenían amarra alguna. Los techos por lo general eran de paja con barro. Los envigados y dinteles se han construido en la forma más inconveniente”*²⁰. Tanto fue el daño en viviendas que, de un catastro de 740 casas, solo siete quedaron relativamente en buen estado.

18 Alfredo Rodríguez R. y Carlos Gajardo C. La catástrofe del 16 de agosto de 1906 en la república de Chile, Santiago, 1906, pp. 67.

19 Marcela Hurtado, Manuel Salazar y Gonzalo Muñoz. Características constructivas de la arquitectura histórica en la ciudad portuaria de Valparaíso: edificios de albañilería de ladrillo del arquitecto E.O.F. Harrington, Revista de la construcción, vol. 15, nº3, 2016, pp. 68

20 Guillermo Agüero. Efectos del terremoto del 10 de noviembre de 1922 sobre la ciudad de Vallenar y consideraciones sobre su reconstrucción. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, nº2, Santiago, 1923, pp. 103-104.



Fig. 12 Casa del señor Haywood. Una de las casas de tabique de madera que resistió el terremoto. 1922.

Destaca Agüero, las cualidades constructivas de una de las casas resistentes (Fig.12) *“Es toda de tabique de adobes parados sostenidos con alambre. El enmaderado de los tabiques lleva a media altura una pieza horizontal, con tacos de madera que le dan mucha solidez. Las otras casas que han resistido el temblor eran también de tabique.”*²¹

Como veremos en este y posteriores casos, las estructuras portantes de madera, recurrentemente se desempeñaron de manera positiva ante terremotos. Recordemos que estructuras tectónicas, constantemente trabajan a compresión y tracción, y ante cargas laterales como sismos, sus esfuerzos internos continúan alternamente a compresión y tracción.

Seis años después, la zona centro fue afectada por un terremoto, en el año 1928. Con una magnitud 8.0 (Ms), los daños se presentaron principalmente en la ciudad de Talca. Las construcciones, principalmente en adobe con cubiertas de madera y teja, correspondían a viviendas de estilo colonial.



Fig. 13 Pesados antetechos en el suelo, 1928.

Luego de la evaluación de daños, muchos problemas de construcción y uso de materiales, se hicieron evidentes: *“Los edificios más afectados con el remezón, fueron aquellos de mayor altura, contruidos en adobe y ladrillo con mezcla de cal, o construcciones mixtas de ambos materiales, ejecutados sin amarras y con pesados*

21 *Ibíd.* pp. 105-106-

*y altos cornisamentos, jarrones, antetechos, otros adornos y cortafuegos, que al estar sueltos sobre el muro se rasgaron y desprendieron cayendo al suelo*²² (Fig.13).

Posteriormente a este conjunto de terremotos, el gobierno contrató a ingenieros franceses y holandeses para que cooperaran en la difusión de métodos de cálculo estructural. Ortega y Hermsilla comentan al respecto que: *“Consecuencia de esto fue promulgada una ordenanza que obligaba el uso de pilares y cadenas de hormigón armado en las construcciones de albañilería de ladrillos.”*²³

En el terremoto de 1939 que afectó la ciudad de Chillán con una magnitud de 8.3 (Ms), cada sistema constructivo fue evaluado y criticado por diferentes comités. Para este entonces, la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización nombrada anteriormente, había tenido repercusiones en la variedad de materiales y sistemas constructivos de las edificaciones. Lo anterior permitió que fuese posible evaluar no solo construcciones en adobe y albañilería, sino también en albañilería reforzada y hormigón armado.

Destaca en este sentido, el comportamiento relativamente bueno, de construcciones en albañilería reforzada, de acuerdo con la disposición de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, a diferencia de las de albañilería simple y adobe que experimentaron considerables perjuicios. En cuanto a las obras construidas en su totalidad en hormigón armado o madera, estas se comportaron satisfactoriamente.

Las construcciones en adobe, se encontraban con frecuencia en viviendas, las cuales, por diferentes razones constructivas, poseían ilusoria resistencia sísmica. Lo concluido por Aguirre en este tipo de construcciones *“conduciría a prohibir en Chile su empleo”*²⁴. Sin embargo, consciente que no existe otro material barato para la construcción de viviendas, comenta: *“parece aconsejable*

22 El Mercurio de Santiago, 9 de diciembre de 1928.

23 Oscar Ortega y Patricio Hermsilla. Introducción a la edificación en altura en Chile, Revista de Arquitectura n°7, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago, 1996, pp. 19.

24 Eduardo Aguirre. Perjuicios del terremoto del 24 de enero último en las construcciones y como pudieron evitarse, Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, n°7, Santiago, 1930, pp. 365.

tolerar aún la casa de adobe, eso sí que sometiéndola a estrictas condiciones. Fuera de las recomendaciones generales (...) estos edificios no deben tener más de 3,50 m de altura, han de poseer muros de 0,60 m y no salvar longitudes mayores de 5 a 6 m, sin contrafuertes o muros intermedios”²⁵.

El terremoto de 1958 ocurrió en la Región Metropolitana y fue un conjunto de tres movimientos de magnitud 6.9, 6.7 y 6.8; con epicentro en el Valle del Maipo.

Los daños afectaron principalmente la localidad de Las Melosas. En ella, la mayoría de construcciones, de uno a dos pisos de altura, se componían por sistemas constructivos y materiales altamente heterogéneos, como lo son: albañilería de roca o escombro cementado con barro sin refuerzos, viviendas de adobe, albañilería de piedra de cantera cementada con mortero. En menor frecuencia, construcciones en marco de madera arriostrado por diagonales y albañilería de piedra reforzada (Fig. 14).



Fig. 14 Edificios construido en albañilería reforzada en El Volcan, Las Melosas, 1958.

Flores concluye: “(...) *el mejor comportamiento de casas, en las cuales el desplazamiento transversal de muros ha sido restringido en la parte superior, es claramente observado*” y “(...) *debemos enfatizar el excelente comportamiento de casas con muros de madera*”²⁶.

Las estructuras de albañilería reforzada muestran nuevamente un buen comportamiento, al igual que las de madera²⁷, similar a lo ocurrido en el terremoto de Chillán del año 1939.

El terremoto ocurrido en Valdivia en el año 1960, es el evento sísmico de mayor magnitud registrado, desde la existencia de instrumentos de medición. El evento se asocia principalmente al terremoto de magnitud 8.5 (Ms)/9.5 (Mw), aunque lo precedieron dos terremotos de magnitud 7.3 (Ms) el primero en Concepción y el segundo en Valdivia horas antes.

25 *Ibíd.*, pp. 365.

26 Rodrigo Flores, Santiago Arias, Victor Jenschke y Luis Rosemberg. Engineering aspects of the earthquake in the Maipo Valley, Chile, in 1958. Proceedings of the 2nd World Conference in Earthquake Engineering, Japan, 1960, pp. 421

27 *Ibíd.* pp. 421.



Fig. 15 Escombros posterior al terremoto de 1960 en Valdivia, de fondo edificio en altura. Fuente: Colección de la Biblioteca Nacional de Chile, 1960.

La catástrofe permitió registrar daños en edificios de altura de hormigón armado (Fig.15), diseñados sísmicamente. En ellos se pudo reconocer fracturas en muros de hasta 25 cm de espesor. Tal como comenta Steinbrugge y Clough con respecto a estos: *“Las fallas en muros de corte fue común, no llegando al colapso”* y *“Las fallas en los muros de corte, a menudo fueron asociadas con juntas de construcción (...)”*²⁸.

Estructuras antiguas, incluso de un piso de altura, colapsaron al igual que estructuras nuevas que consideraron procesos de diseño sísmico. Algunos factores influyentes en lo anterior, destacados por informes al respecto, fueron diseños defectuosos y construcciones defectuosas.²⁹ Cabe destacar que, aunque se reconocieron daños en algunos edificios de hormigón armado, también hubo una gran cantidad de ellos que no exhibieron daños estructurales significativos.

En 1985 ocurre uno de los últimos terremotos importantes del siglo XX. Cercano a la ciudad de Viña del Mar, con una magnitud de 7.8 (Ms), afectó la zona central desde Viña del Mar hasta Lolleo, para ese entonces, la NCh433 of.72 llevaba un periodo de trece años en aplicación, y esto se reflejó en los resultados obtenidos.

28 Karl V. Steinbrugge y Ray W. Clough. Chilean earthquake of May, 1960: A Brief Trip Report, pp. 632-633

29 *Ibíd.*, pp. 633.

El diseño de estructuras sismo resistentes por parte de ingenieros chilenos influenciados por tendencias japonesas, derivó en edificios de altura rígidos por uso de muros estructurales. En este sentido algunos autores han llegado a hablar sobre un modelo de edificio chileno³⁰.

En cuanto al uso de muro estructural una lección importante se pudo concluir, con respecto a la efectividad de este tipo de estructuras, en el terremoto de 1985. Luders y Vasquez concluyen:

“(...) una de las más importantes lecciones que dejó este terremoto es la verificación de la seguridad que poseen los edificios estructurados en base a muros de hormigón armado, dispuestos con la configuración y en la densidad que son características de las construcciones de este país. Se ha llegado a hablar de que son incolapsables.”³¹

El levantamiento de datos cualitativos respectivos para cada terremoto fue factor clave para el desarrollo de una arquitectura resistente, y refleja a lo largo de casi un siglo, el aprendizaje y progreso en la planificación de edificios sismo resistentes. De la misma manera, no hubiese sido posible dicho progreso, sin la regulación normativa y legal del diseño de edificios sismo resistentes.

30 Teresa Guevara señala el que diseño sísmico chileno adoptó, a principios del siglo XX, las tendencias propuestas por los japoneses de edificios rígidos y muros estructurales, en contraste a los demás países hispanoamericanos, que en el sismo de Valparaíso y Viña del Mar de 1985 tuvo un llamativo desempeño y referencia el trabajo de Rodrigo Flores “Ingeniería sísmica en Chile” en su libro Arquitectura moderna en zonas sísmicas. Barcelona, Gustavo Gili, 2009, pp. 73.

31 Carl Luders y Jorge Vasquez. Lecciones del sismo del 3 de marzo de 1985, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1988, pp. 124.

Norma chilena de diseño sismo resistente

Los antecedentes históricos de la norma sísmica, remonta a los años 1929 con la promulgación de la Ley 4.563 que reguló la construcción y que corresponde al primer antecedente legal de las construcciones sísmicas. Este y próximos antecedentes, deben ser entendidos en conjunto como un proceso histórico de alta complejidad que relaciona sismos, regulación, planificación y arquitectura en la práctica de una calibración.

Así, Barrientos comenta al respecto: *“Esto es importante, porque el proceso de regulación y normalización de la edificación con sesgo sismo resistente, estuvo condicionado y sujeto a una dinámica caracterizada por continuos eventos destructivos que propiciaron instancias de perfeccionamiento mediante ajustes correctivos a prueba y error.”*³²

De esta forma, la primera Ordenanza se impulsa luego del terremoto de Talca de 1928. De manera provisional rige desde 1930 durante cinco años, hasta que por ley se adopta oficialmente la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización en 1935.

Diez años después del terremoto de Chillán, se promulga la nueva Ordenanza General de Construcciones y Urbanización de 1949. En ella se incorpora el anterior método de cálculo estático y el nuevo método dinámico, los cuales, posteriormente validados por terremotos, como el de 1960, fueron integrados en la norma de diseño sísmico de edificios.

32 Marco Barrientos M. La arquitectura de los terremotos en Chile (1929-1972). Tesis de Doctorado en Arquitectura y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2016, pp. 313.

Un año antes del terremoto de 1960, el Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normativas (INDITECNOR) entregó al “comité de cálculo antisísmico” la tarea de estudiar y redactar la nueva norma para diseño sísmico de edificios. Luego de trece años, la NCh 433 se vuelve oficial en 1972. Cabe destacar que algunos edificios diseñados de forma resistente, validados por terremotos y con anterioridad a la NCh 433 of.72 nutrieron e influenciaron su contenido³³, demostrando la compleja interacción entre arquitectura, normas y terremotos.

La NCh433 of.72 es un cuerpo legal de carácter normativo, independiente de la Ordenanza, la cual, al entrar en vigencia, reemplaza a un conjunto de artículos estipulados en la versión de 1949 de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización. Los alcances de la norma son los de “establecer valores mínimos para las sollicitaciones sísmicas de edificios”³⁴. Para esto, establece procedimientos y métodos de cálculo, los cuales, utilizados en conjunto con normas específicas para cada material de construcción, permitirán definir dimensiones resistentes ante sismos.

El cálculo de sollicitaciones sísmicas puede ser llevado a cabo mediante dos métodos. Ambos métodos interpretan el fenómeno sísmico de distinta manera, y su empleo queda restringido por condiciones específicas de la obra. El método estático de análisis, limitado para edificios de 45 metros o 15 pisos de altura máxima, interpreta el fenómeno sísmico como fuerzas horizontales aplicadas al nivel de cada piso (Fig.16).

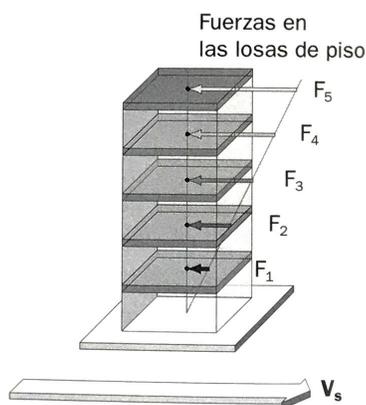


Fig. 16 Interpretación de las fuerzas aplicadas en un edificio, como reacción a un movimiento sísmico según el método estático.

Para este estudio, es relevante el segundo método, el cual interpreta la onda sísmica como una vibración que, transmitida a través del terreno, repercute en el edificio a la altura del nivel basal. En consecuencia, el estado en reposo del edificio tiende a permanecer por inercia, generando un desplazamiento en los primeros niveles y luego transmitiendo dicho movimiento hasta los niveles superiores (Fig.17), produciendo modos de vibración en el edificio.

33 Flores y J. Jimenez. Development of Earthquake Engineering in Chile, presentado en el Workshop “Chilean earthquake of 3 march 1985, Instituto de Ingenieros , Santiago, 1986.

34 NCh433 of.72, Cálculo antisísmico de edificios. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1979.

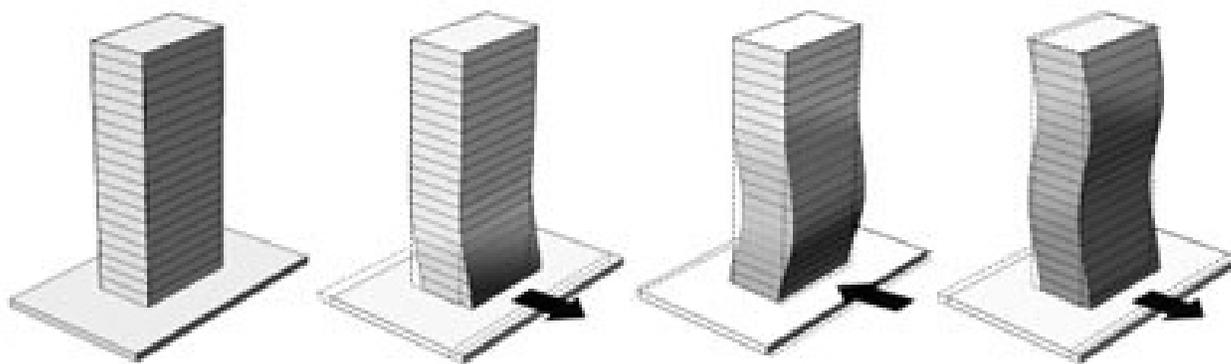
Para el cálculo de solicitaciones sísmicas a través del método dinámico, la norma sísmica integra un espectro de aceleración, el cual *“es un medio de interpretación (matemático) y de expresión (gráfica) que sintetiza un conjunto de factores que caracterizan un determinado objeto; en este caso, los seísmos en tanto vibración en propagación a través de un terreno.”*³⁵

Este espectro, representa las posibles aceleraciones que un terremoto puede introducir al sistema estructural de un edificio, dependiendo del periodo de vibración de este. El espectro ha sido definido y modificado a través del tiempo por la medición de los terremotos que han afectado el territorio. De esta manera, actualizaciones en la NCh433 Of.72 han modificado estos valores luego de experiencias tomadas posterior a terremotos.

La NCh433 Of.72 fue modificada posterior al terremoto de 1985, oficializando la versión de 1993 y posteriormente la de 1996. La NCh433 Of.96 fue modificada en 2009 y posterior al terremoto de 2010 en 2012. La NCh433 Of.96 modificada en 2012 es la norma que actualmente se encuentra vigente.

De esta forma se resume brevemente el desarrollo legal y normativo del diseño sísmico de edificios, principalmente referente a la Norma Chilena 433, y cómo los métodos de cálculo interpretan el fenómeno sísmico para el cálculo de solicitaciones en ellos.

Fig. 17 Interpretación del movimiento en un edificio según el método dinámico.



35 Marco Barrientos M. La arquitectura de los terremotos en Chile (1929-1972). Tesis de Doctorado en Arquitectura y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2016, pp. 61.

Diagonales y sistema arriostrado

Junto con definir solicitudes sísmicas y métodos para el cálculo de estas, la norma de diseño sísmico define tres sistemas estructurales, los cuales se encargarán de transmitir “(...) *las fuerzas desde su punto de aplicación a los elementos resistentes y al suelo de fundación (...)*” y deberá “(...) *hacerse en la forma más directa posible a través de elementos dotados de la resistencia y rigidez adecuadas.*”³⁶

Los tres sistemas estructurales definidos son: Sistema de muros y otros sistemas de arriostres, Sistema de pórticos y por último Sistemas mixtos. Por sistema de muros y sistema de arriostre se entenderá que “*Las acciones gravitacionales y sísmicas son resistidas por muros, o bien, por pórticos arriostrados (Fig.19) que resisten las acciones sísmicas mediante elementos que trabajan principalmente por esfuerzo axial.*”³⁷



Fig. 18 Esquema de arriostramiento diagonal en fachadas de edificio Manantiales.

De esta forma, la norma asimila la acción de arriostrar mediante estructuras trianguladas o diagonales, con la acción rigidizante del muro. En este sentido, Torroja comenta que lo que se busca con la triangulación es la rigidez que “*evite la flexión parcial o total de sus elementos longitudinales y del conjunto de la pieza.*”³⁸

En Chile, según lo anterior, se pueden observar obras que, por su lenguaje y expresión formal, comunican ser conscientes de la condición sísmica. Pérez de Arce comenta: “*Integrados en el lenguaje de diseño, tanto las estructuras pesadas como los arriostramientos laterales tipifican los edificios locales: la horizontalidad enfática del edificio de las Naciones Unidas, la robustez de sus pilares y vigas perimetrales, ilustra los primeros, mientras que la expresividad del arriostramiento diagonal en el esquema de la oficina de Manantiales confirma el último.*”³⁹ (Fig.18)

36 NCh433 of.72, Cálculo antisísmico de edificios. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, 1979, pp. 18.

37 *Ibíd.*, pp. 18.

38 Eduardo Torroja. Razón de ser de los tipos de estructurales, Madrid, CSIC, 2010, pp. 139.

39 Rodrigo Perez de Arce. “Material Circumstances”, en *Chilean Modern Architecture since 1950*, College Station: Texas A&M University Press, 2010, pp. 47.

De esta forma, y complementando lo planteado por Torroja, el arriostramiento que, en términos generales busca evitar la flexión del conjunto, en suelo nacional, además busca responder a sollicitudes sísmicas según lo establecido por normas.

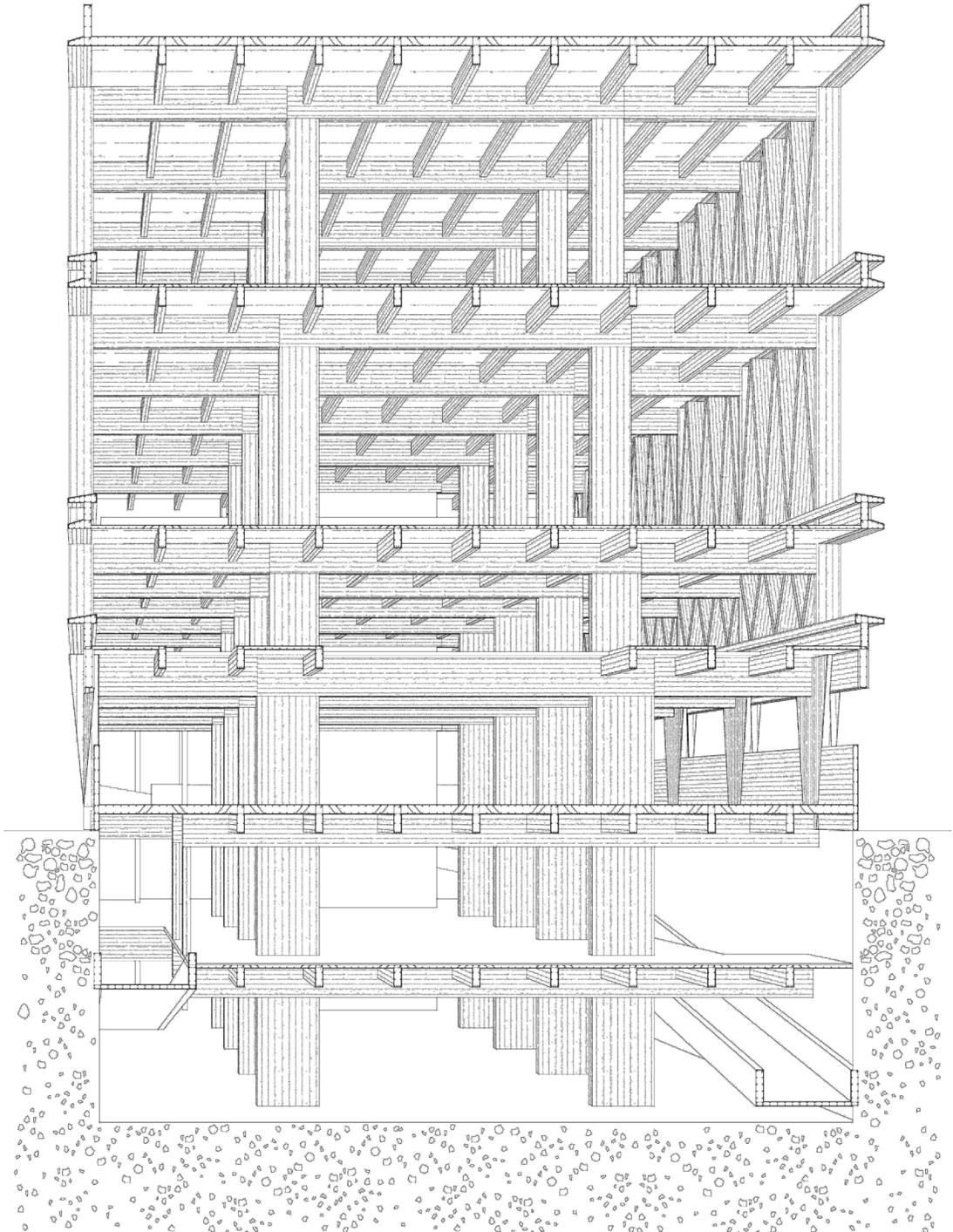


Fig. 19 Corte fugado de Central clasificadora de correos. Pórticos arriostrados mediante diagonales o sistema de arrioste.

Muros perforados como arriostramiento

Un conjunto de casos seleccionados para este análisis, emplean de forma colectiva diagonales o sistemas de arriostramiento en fachada a modo de muros estructurales perforados. Si bien para cada caso, la forma, materialidad, dimensiones y estrategias en el uso de las diagonales es diferente, es común el empleo de estas como estructura perimetral, siendo soporte tanto estático y dinámico. Esto quiere decir que, son fachadas resistentes ante fuerzas gravitacionales, al mismo tiempo que lo son para fuerzas sísmicas.

Los siete casos seleccionados son agrupados en tres secciones. Estas se definen por las similitudes en los principios estructurales utilizados en función de las diagonales o sistemas de arriostramiento (Fig.20).

Sección 1: Arriostramiento longitudinal

La primera sección, se integra por dos obras similares en la utilización longitudinal del sistema de arriostramiento. El edificio molino Carozzi se estructura longitudinalmente a través de diagonales por su fachada poniente al igual que el edificio de la Central clasificadora de correos. Este último genera pórticos transversales, arriostrados por ambas fachadas mediante un sistema de diagonales.

Sección 2: Envoltente diagonalizadas en colaboración con zona rígida

La segunda sección se compone por tres obras en las cuales el uso de envoltentes diagonalizadas, en dos o más direcciones, trabajan colaborativamente con zonas más rígidas compuestas por muros. El edificio Manantiales y Consistorial de las Condes, resuelven de manera ortogonal los planos de fachada y de forma regular la geometría en planta. Utilizando los mismos principios estructurales, el edificio de la Facultad de Economía y Negocios, resuelve de forma irregular la planta y utilizando planos diagonales de fachada.

Sección 3: Arriostramiento en madera

Finalmente, la tercera sección, se compone por dos obras que utilizan madera como estructura tanto dinámica y estática, en planos paralelos. Bip Computers es un edificio de pequeña escala, el cual se estructura completamente por diagonales, no solo su fachada sino también en su interior. La Escuela de Arquitectura UC es un edificio que se estructura por diagonales de madera y, debido a su escala, en conjunto con elementos de hormigón.

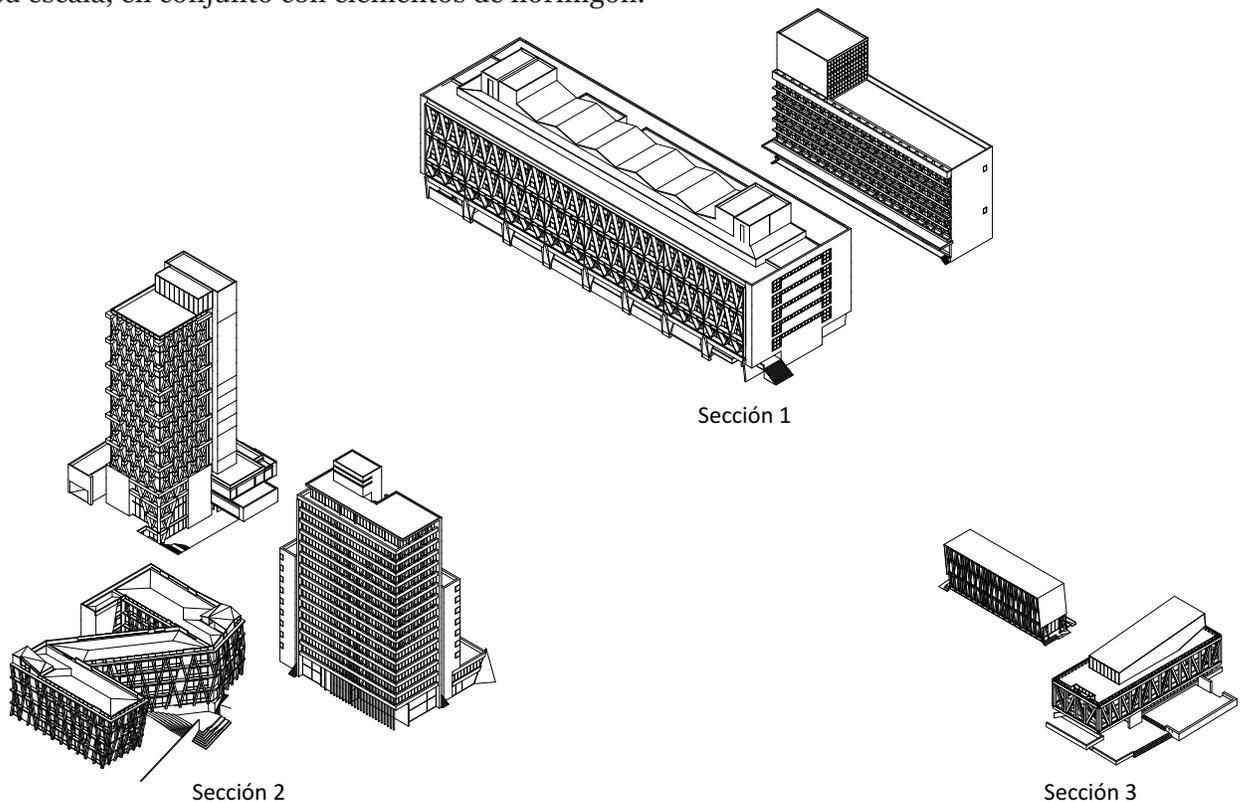


Fig. 20 Agrupación de casos.

Arriostramiento longitudinal

La espacialidad casi ininterrumpida y geometría longitudinal propia de las dos obras siguientes, repercute en el común uso de sistemas de arriostramiento ya sea por una o dos fachadas paralelas, para salvar un problema estructural y a la vez ser configurante espacial perforado, que permite el acceso de luz natural al espacio interior. En ambos casos, se puede reconocer poca densidad de muro en sentido longitudinal, cualidad que viene a ser compensada por dichos sistemas de arriostramiento.

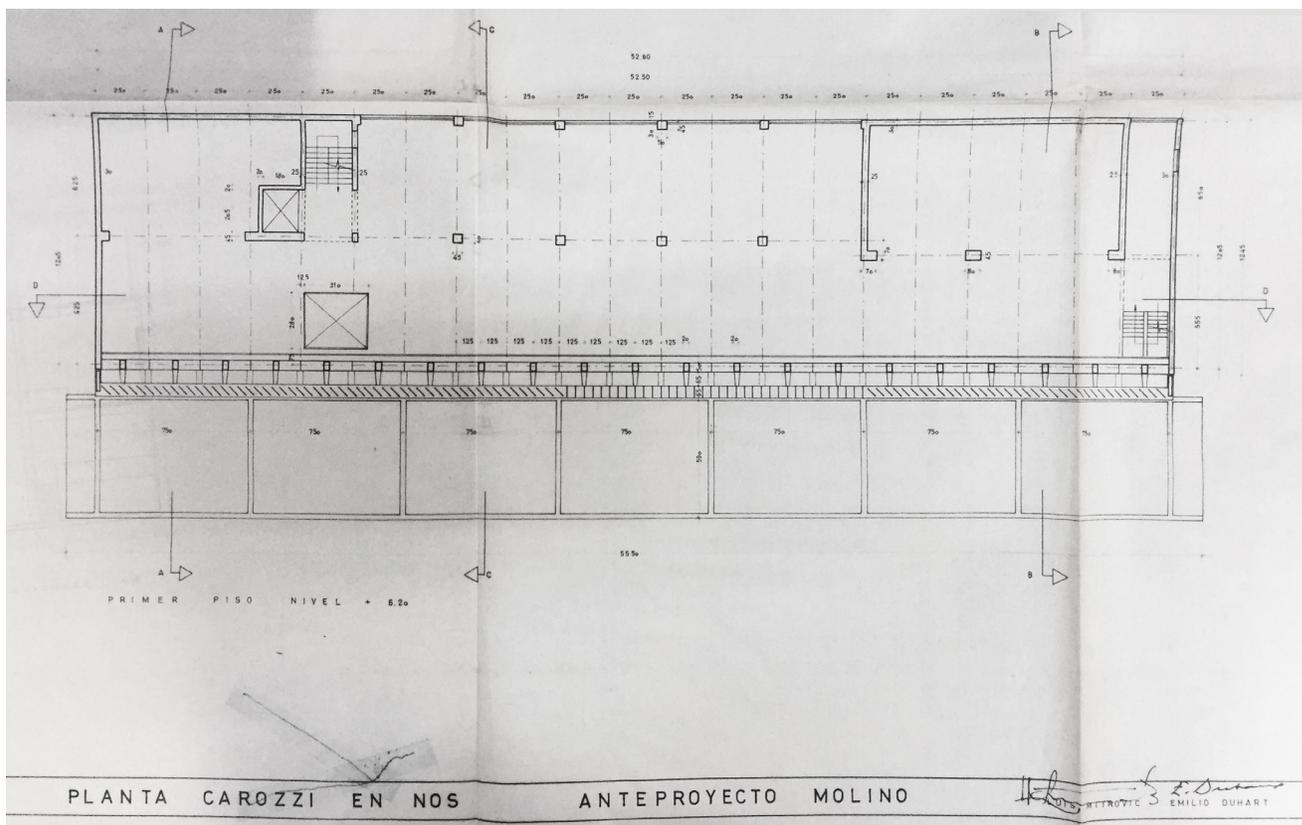
El conjunto Carozzi, construido en 1961, es un complejo industrial ubicado a 20 km al sur de Santiago, compuesta por ocho silos y un molino completamente en hormigón armado con terminaciones a la vista. Para este análisis solo es relevante el edificio sur del conjunto: el edificio molino.

El edificio molino, posee una geometría regular en planta de forma rectangular (Fig.21). La planta, de esbelta crujía en relación al volumen general, mide 12.5 m de ancho por 52.7 m de largo. La altura total del edificio es de 33.5 m y está dividida en 7 niveles más 1 subterráneo. A su vez, los 7 niveles se dividen en dos volúmenes: un prisma rectangular inferior y un cubo superior (Fig.22).

La altura del primer nivel mide 5.0 m y la altura de los siguientes tres niveles miden 5.5 m. Estos cuatro pisos, agrupados en el primer volumen, forman el prisma rectangular inferior. Las alturas de los 3 pisos restantes son variables, pero miden alrededor de 3.5 m cada uno, conformando el volumen cúbico superior. Por otro lado, y como estrategia solar, se adosan al prisma rectangular inferior, un conjunto de aleros horizontales de hormigón armado por la cara poniente (Fig. 22).

El diseño del edificio molino, toma en cuenta el proceso industrial para el tratamiento del producto. Esto exigió una cantidad de obligaciones debido al complejo funcionamiento de la maquinaria como *“el entrelazado horizontal en cada piso y en sentido vertical entre los diferentes niveles”*⁴⁰ (Fig.23).

40 Eduardo Pinto, Edificios para una planta industrial, Revista del IDIEM, vol. 1, nº 2, 1962, pp. 150.



Además, el proyecto debió contemplar una futura y posible ampliación, para duplicar la capacidad productiva. Esto explica en parte decisiones de diseño general, ya que eventualmente un edificio gemelo se adosaría a la fachada oriente para formar una unidad funcional con el molino existente.

Fig. 21 Planta primer piso. Edificio Molino Carozzi, Emilio Duhart H. y Luis Mitrovic B. Centro de documentación Sergio Larraín García-Moreno. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Por otro lado y desde una perspectiva estructural, estas condiciones iniciales requirieron de un *“plano indeformable a los movimientos sísmicos longitudinales”*⁴¹ por la fachada poniente del edificio. La solución de un opaco muro estructural se descarta inmediatamente, ya que los espacios interiores perderían toda cualidad de iluminación natural al construirse la segunda etapa del molino. La fachada poniente, por tanto, adoptaría el sistema estructural de una retícula triangulada (Fig.24), una solución que *“conjugaba la indeformabilidad con la transparencia”*⁴²

41 *Ibíd.*, pp. 150.

42 Eduardo Pinto, Edificios para una planta industrial, Revista del IDIEM, vol. 1, nº 2, 1962, pp. 151.

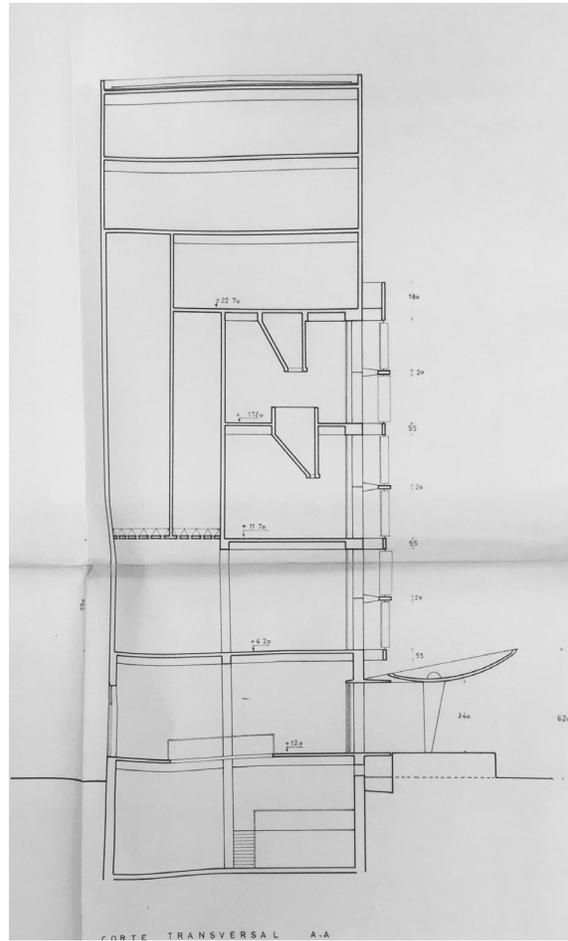
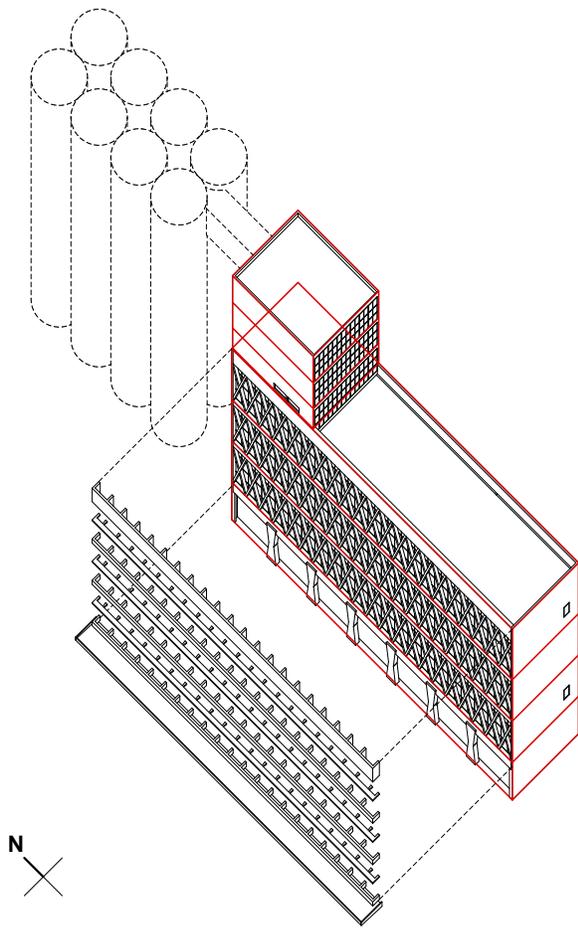


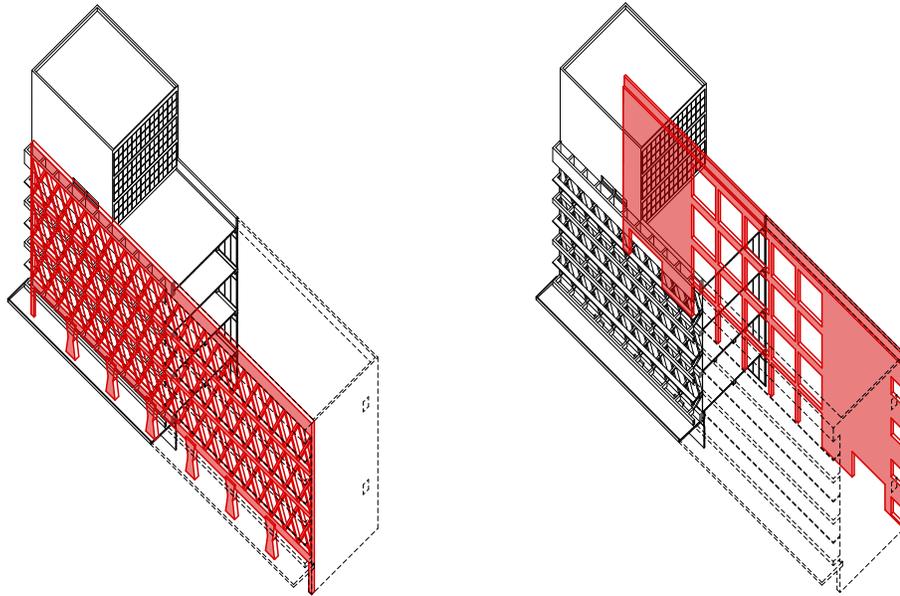
Fig. 22 Izq. Volumetría general de silos, molino con niveles y aleros.

Fig. 23 Der. Corte transversal A-A'. Edificio molino Carozzi, Emilio Duhart H. y Luis Mitrovic B. Centro de documentación Sergio Larraín García-Moreno. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Sujeto a esta condición de crecimiento, el diseño estructural de la fachada oriente es a base de un sistema de pilar, viga y muro en costados norte y sur. Como resultado del diseño estructural de la fachada oriente, se obtiene una superficie heterogénea, con continuidad y a la vez, amplios vanos en su centro (Fig.25).

Ambas fachadas longitudinales resisten cargas estáticas verticales y cargas dinámicas laterales como viento o sismos. En el caso de sismos, ambas fachadas actúan principalmente cuando la fuerza que este produce es en sentido longitudinal, es decir, en el sentido de los ejes de dichas fachadas. Por otro lado, si la fuerza producto de un sismo, fuera en sentido transversal al edificio, serán los muros transversales los que resistan dichas fuerzas (Fig.26).

Todos los componentes verticales nombrados anteriormente, funcionan como un sistema que se vuelve rígido una vez amarrado por las losas y vigas (Fig.27). Estos diafragmas reciben cargas



verticales, que transmiten a través de muros y pilares hacia las fundaciones.

Una de las particularidades del encargo y por lo tanto del diseño, fue la consideración de una eventual duplicación en la capacidad de producción de la industria. Esto condicionó el diseño y construcción de la obra, y derivó en que la mitad de la unidad total trabajara a la vez como una unidad funcional y estructural. Esto quiere decir que la obra actual, entendida como inconclusa, fue proyectada estructuralmente independiente.

La asimetría entre las fachadas de esta obra, suponen un dilema en el sistema estructural propuesto para el edificio y es que, a pesar de solucionar el problema arquitectónico planteado en etapas, la solución a la vez sugiere un problema de rigidez asimétrica.

Evidenciado en la planimetría original del anteproyecto (Fig.28), la duplicación en la capacidad productiva sería resuelto por la operación de reflejar el edificio existente. La segunda construcción, al ser una obra nueva y estructuralmente independiente, hubiese tenido que ser proyectada separada de la anterior, probablemente a través de juntas de dilatación.

Fig. 24 Izq. Fachada poniente diseñada como una retícula triangular. Permite conjugar el ingreso de luz y la indeformabilidad de la fachada.

Fig. 25 Der. Fachada oriente. El centro reticulado de forma ortogonal, permitiría fluidez espacial con un eventual edificio adyacente.

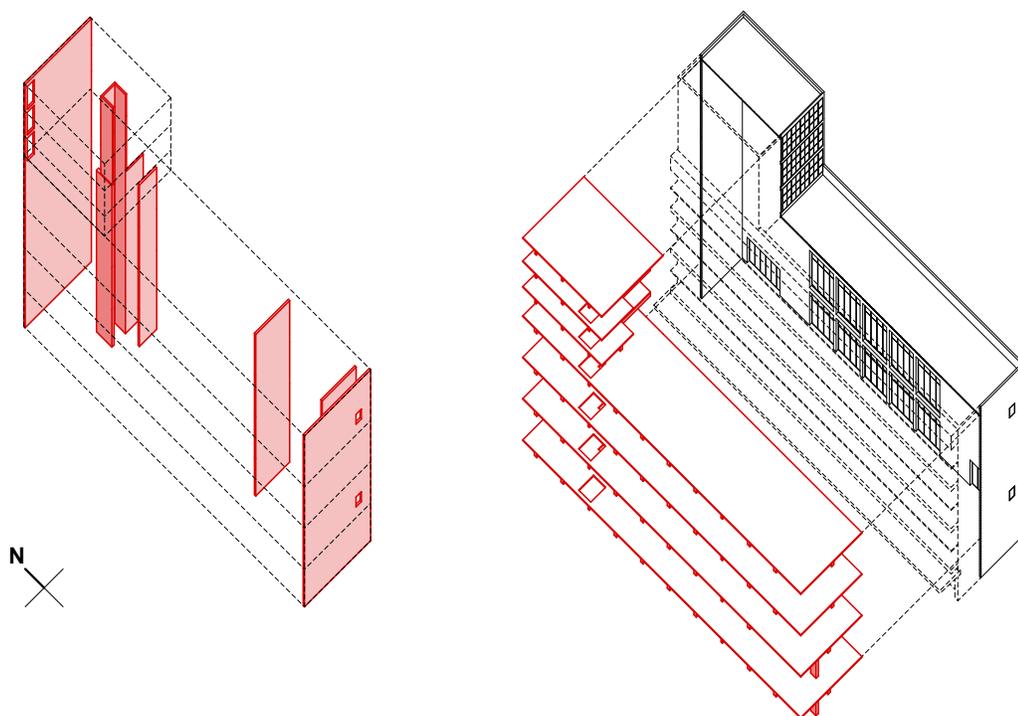


Fig. 26 Izq. Muros interiores transversales y fachadas norte y sur. Actúan resistientemente ante la fuerza de sismos en sentido transversal al edificio.

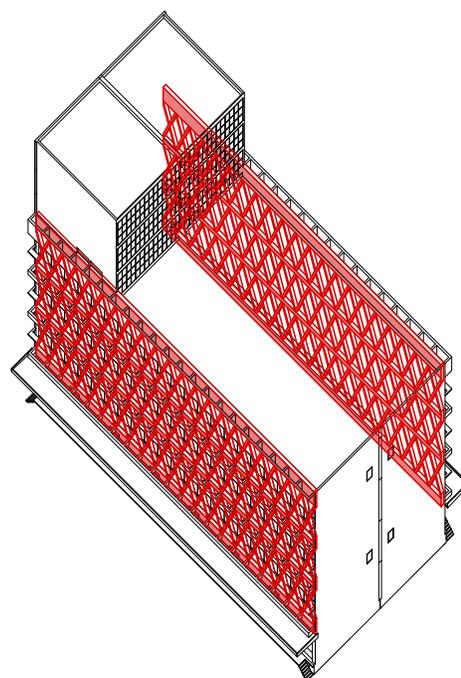
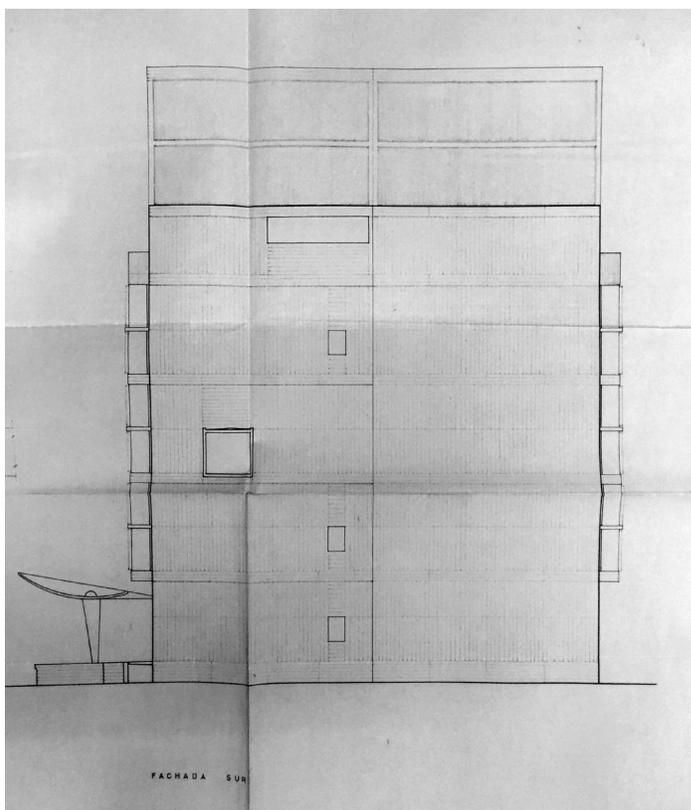
Fig. 27 Der. Diafragmas rígidos en todos los pisos, compuestos por losas de 12 cm y vigas de 55 cm.

A pesar de que el futuro posible conjunto, hubiese estado estructurado en ambas fachadas longitudinales por retículas triangulares (Fig.29), el comportamiento estructural hubiese sido independiente para cada edificio, sin dar solución al problema de rigidez asimétrica.

A diferencia de cómo se estructura el edificio molino Carrozi por un lado reticulado e indeformable, la Central clasificadora de correos lo hace mediante un par de retículas paralelas. Estas en conjunto con el resto de la estructura, permiten una espacialidad cercana a la planta libre y naturalmente iluminada.

La Central clasificadora de correos es un edificio de servicio postal, construido durante la década del '70 producto de un crecimiento del tráfico postal y de la insuficiencia, en tal época, de la productividad en las instalaciones (proceso de clasificación manual) del Correo central de Santiago, ubicado en Plaza de armas⁴³.

43 Bernardo Valenzuela, Terminación y habilitación edificio "Central Clasificadora de Correos", Informe de Práctica realizado en la Universidad de Chile. Facultad de arquitectura y urbanismo. Departamento de tecnología y administración de obras. 1980



La obra original, diseñada por el arquitecto Boris Guñerman durante los años 1970-71 (Fig.30), se configura como un volumen prismático rectangular, de 6 pisos y 2 subterráneos, de 100 m de largo por 30 m de ancho por 24 m de alto y se construye como un sistema monolítico, completamente en hormigón armado, a excepción de sus fachadas norte y sur de albañilería reforzada. Durante la construcción, la obra sufre de una paralización en el año 1973. Posteriormente la obra original sufre modificaciones en 1975 por el arquitecto Eduardo Bresciani B., agregando un séptimo nivel inicialmente para una cafetería. La construcción continúa hasta finalizar la obra, posterior a una nueva licitación, durante los años 1978-80 (Fig.31).

Actualmente, y desde el terremoto de 2010, el edificio se habilitó para ser utilizado como oficinas administrativas, mientras que el proceso de clasificación fue transportado a una nueva planta clasificadora.

Fig. 28 Izq. Fachada sur. Edificio molino Carozzi, Emilio Duhart H. y Luis Mitrovic B. Centro de documentación Sergio Larraín García-Moreno. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fig. 29 Der. Esquema de edificio molino con fachada reticulada duplicada. Eventual obra final.

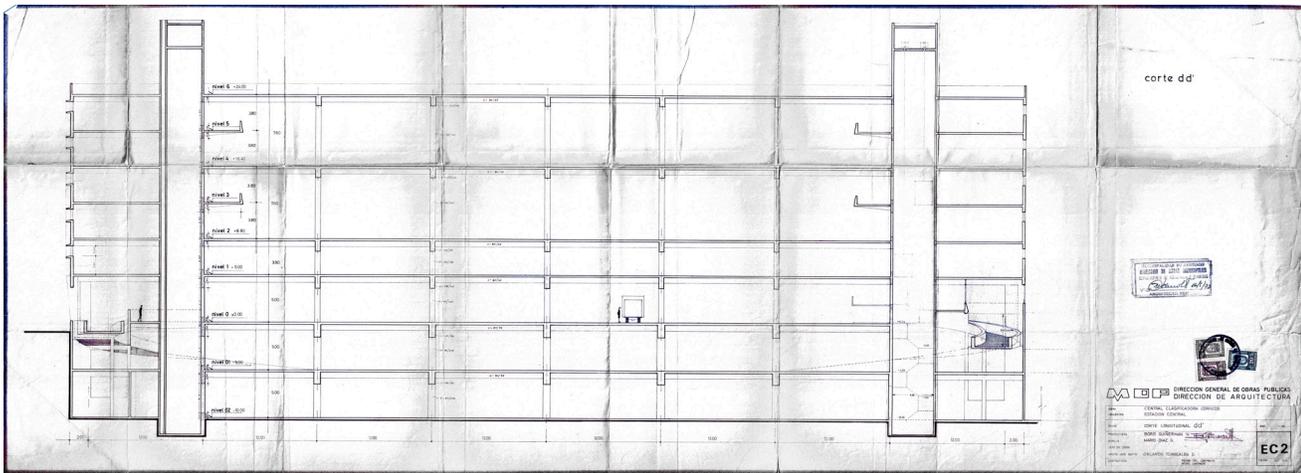
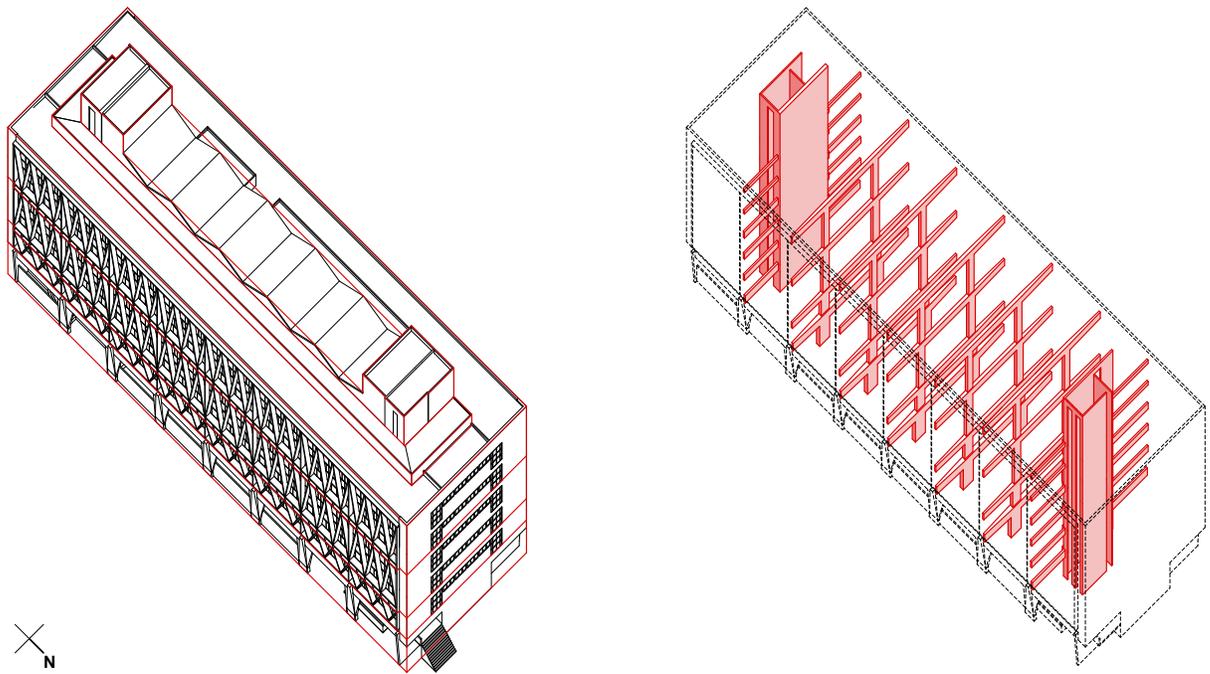


Fig. 30 Corte longitudinal de Central clasificadora de correos, Boris Guiñerman W. y Eduardo Bresciani B. Archivo Departamento de Catastro. Dirección de Obras de Municipalidad de Estación Central, 1970.

El programa arquitectónico original y esquema de clasificación, estuvo dividido por los diferentes niveles del edificio. El segundo subterráneo alberga los estacionamientos y a través de dos rampas semicirculares, se conecta con el primer piso (nivel 0.00 m). El primer subterráneo funcionó como recepción y clasificación de correspondencia impresa y encomiendas. El segundo piso, destinado a distribución de correspondencia, estuvo originalmente conectado al primer piso a través de perforaciones en las losas con el objetivo de cargar y descargar directamente desde los vehículos. El tercer y quinto piso, de doble altura, funcionó como clasificación propiamente tal a través de cintas transportadoras, y finalmente a modo de control sobre personal y mecanismo el cuarto y sexto piso a modo de altillo.⁴⁴

El sistema estructural utilizado en la obra, corresponde a uno de pórticos en sentido transversal (Fig.32). Cinco ejes de pórticos, continuos desde las fundaciones, compuestos cada uno por dos machones de sección 250x80 cm, disminuyen su dimensión progresivamente hasta llegar al quinto piso midiendo 130x60 cm. A 12 m del último y primer pórtico, se ubican dos núcleos verticales de muros que resuelven las circulaciones verticales y entregan cierta rigidez al sistema.

⁴⁴ Bernardo Valenzuela, Terminación y habilitación edificio “Central Clasificadora de Correos”, Informe de Práctica realizado en la Universidad de Chile. Facultad de arquitectura y urbanismo. Departamento de tecnología y administración de obras. 1980



En el mismo sentido transversal, las fachadas norte y sur son construidas en albañilería confinada en marcos de hormigón armado, con pilares de sección 30x30 cm y vigas semi invertidas de 30 cm de ancho por 110 cm de alto (Fig.33).

Fig. 31 Izq. Volumetría general de obra modificada en 1975. Principalmente las modificaciones de la obra son el séptimo piso completo.

Fig. 32 Der. Pórticos de hormigón armado y muros que albergan ascensores y escaleras.

En el sentido longitudinal, fachadas oriente y poniente se apoyan sobre una base de siete pilares con geometría truncada de triángulo invertido. A su vez, cada pilar recibe las cargas de siete elementos verticales que se encuentran perpendicularmente unidos con los pórticos transversales (Fig.32).

Sobre una viga soportada por los siete pilares, tres órdenes de machones diagonales insinúan los pisos 2, 3 y 5. Estos componentes de fachada actúan estructuralmente como dos retículas paralelas, recibiendo cargas horizontales y verticales (Fig.34). Finalmente, las losas o diafragmas horizontales del edificio, se encargan estructuralmente de rigidizar en sentido horizontal el edificio (Fig.35) y especialmente de otorgar el soporte material para la función y usos requeridos. Sobre las losas, se ejercen todas las fuerzas verticales de sobrecarga de uso, que a través de elementos portantes verticales y diagonales, se transmiten hasta las fundaciones.

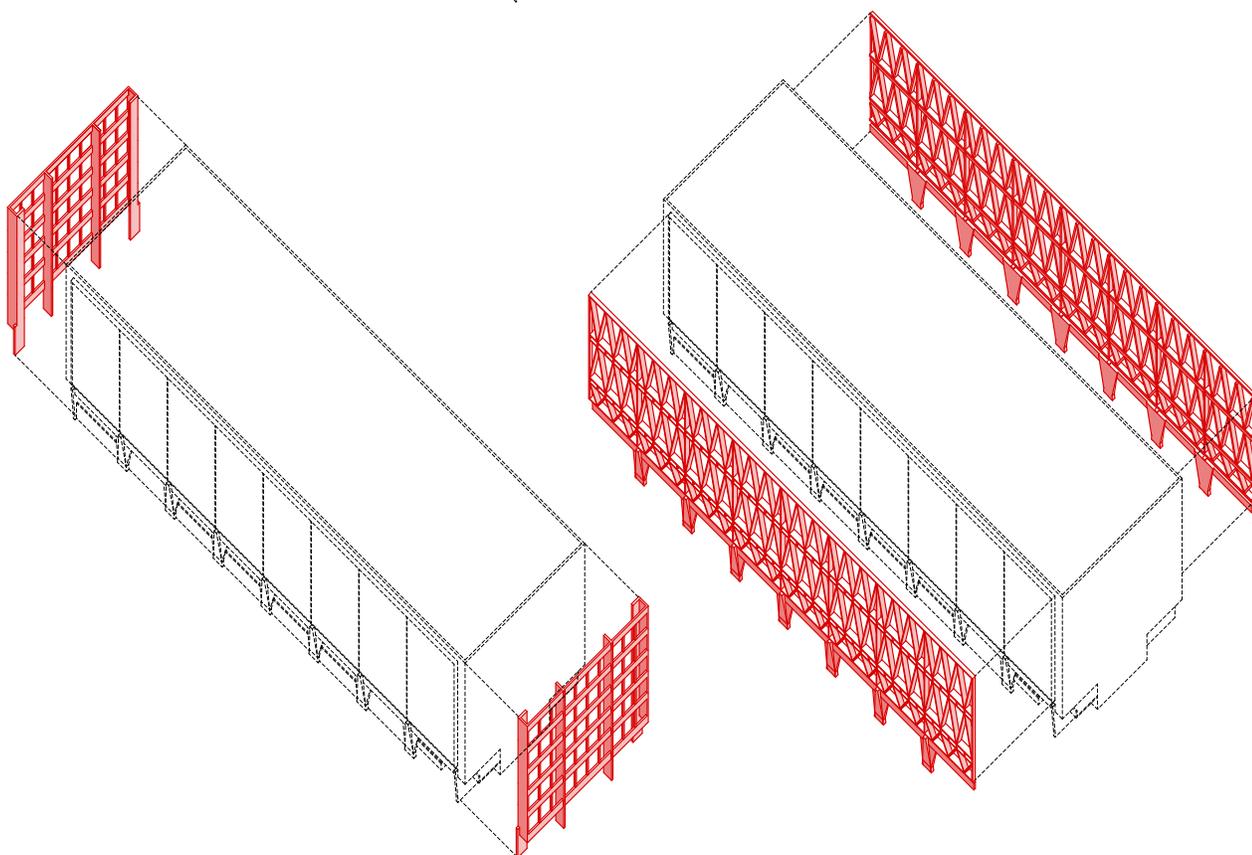


Fig. 33 Izq. Fachadas norte y sur en albañilería confinada.

Fig. 34 Der. Fachadas oriente y poniente.

Cabe destacar que, dentro del equipo de ingenieros encargados del cálculo estructural de la obra (Arze, Benrath y Recine), se encuentra presente Elías Arze L., destacado ingeniero civil de la Universidad de Chile. Elías Arce formó parte del comité de cálculo antisísmico, creado en 1959, encargado del estudio y redacción de la primera norma antisísmica NCh433 Of72 de Chile (Fig. 38). Posteriormente siguió formando parte de los comités que modificarían la norma hasta el 1996.

La obra, claramente sigue bastantes recomendaciones de diseño para edificios en zona sísmica. Algunas de ellas son planta regular sin salientes, diafragma continuo, ejes paralelos y regularidad en ambas elevaciones sin retranqueos excesivos. Del mismo modo, la distribución simétrica en planta de sus componentes estructurales contribuye a la cercanía entre los centros de masa y rigidez de cada piso, disminuyendo la excentricidad en el último diafragma (losa de cubierta) a 1.4 m.⁴⁵

⁴⁵ Cálculo de excentricidad según modelo simulado en Etabs, construido a partir de la planimetría estructural de la obra.

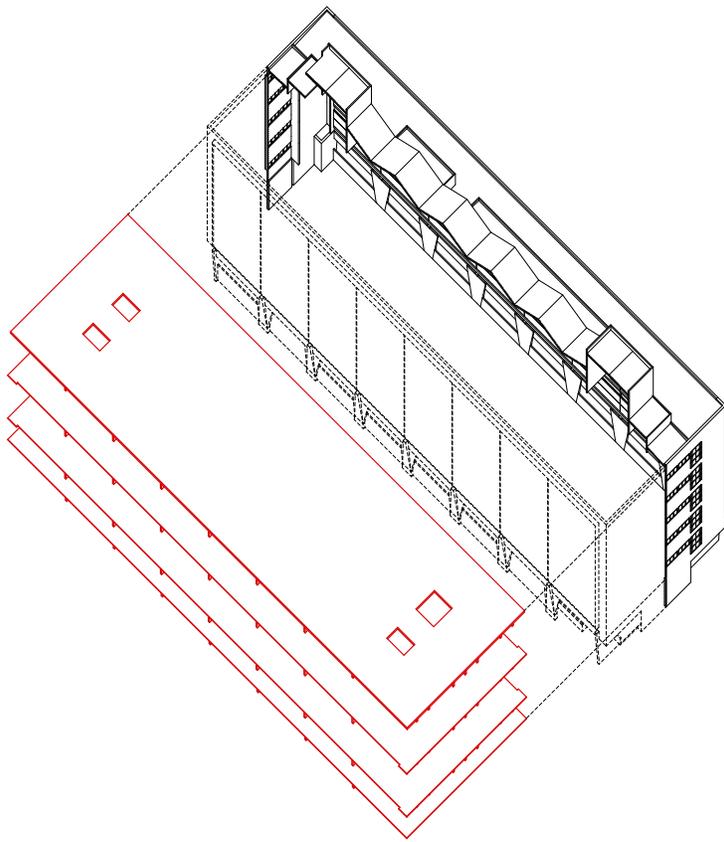


Fig. 35 Diafragmas horizontales compuestos por losas de 15 cm y vigas de 72 cm.

Lo anterior es relevante ya que, considerando los años en que se desarrolló el cálculo y construcción, se logró consolidar una obra de 100 m de longitud en hormigón armado sin juntas de dilatación, es decir como un gran cuerpo monolítico, que en gran parte excluye el muro perimetral tradicionalmente opaco y en su lugar lo reemplaza por un par de retículas triangulares (Fig.36), paralelas entre ellas.

El edificio molino Carozzi, construido en 1961 es uno de los primeros edificios en implementar este tipo de solución estructural en fachada, si bien, de manera mixta junto a muros estructurales en el mismo sentido, logra conjugar solicitudes espaciales de iluminación interior con solicitudes estructurales sísmicas. Cabe destacar que la aplicación novedosa de este sistema de arriostramiento es realizado incluso antes de que la normativa sísmica lo definiera como tal.

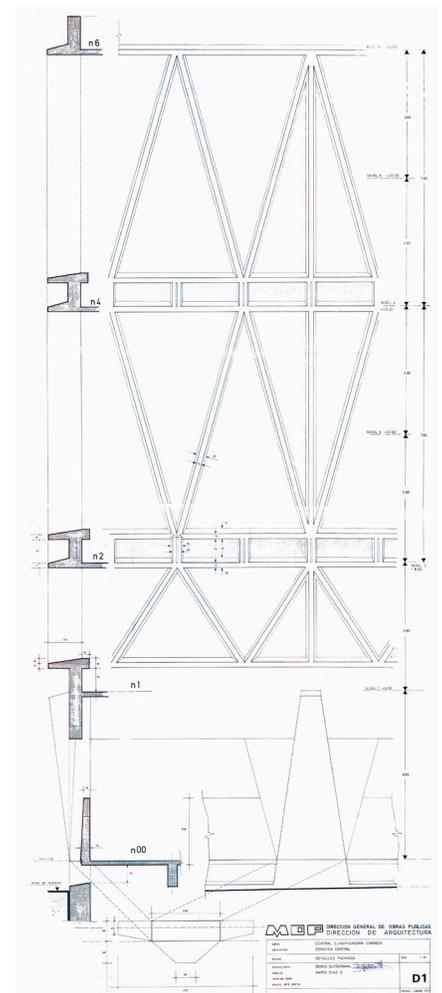


Fig. 36 Escantillón de fachadas longitudinales. Central clasificadora de correos, Boris Guíñerman W. y Eduardo Bresciani B. Archivo Departamento de Catastro. Dirección de Obras de Municipalidad de Estación Central, 1971.

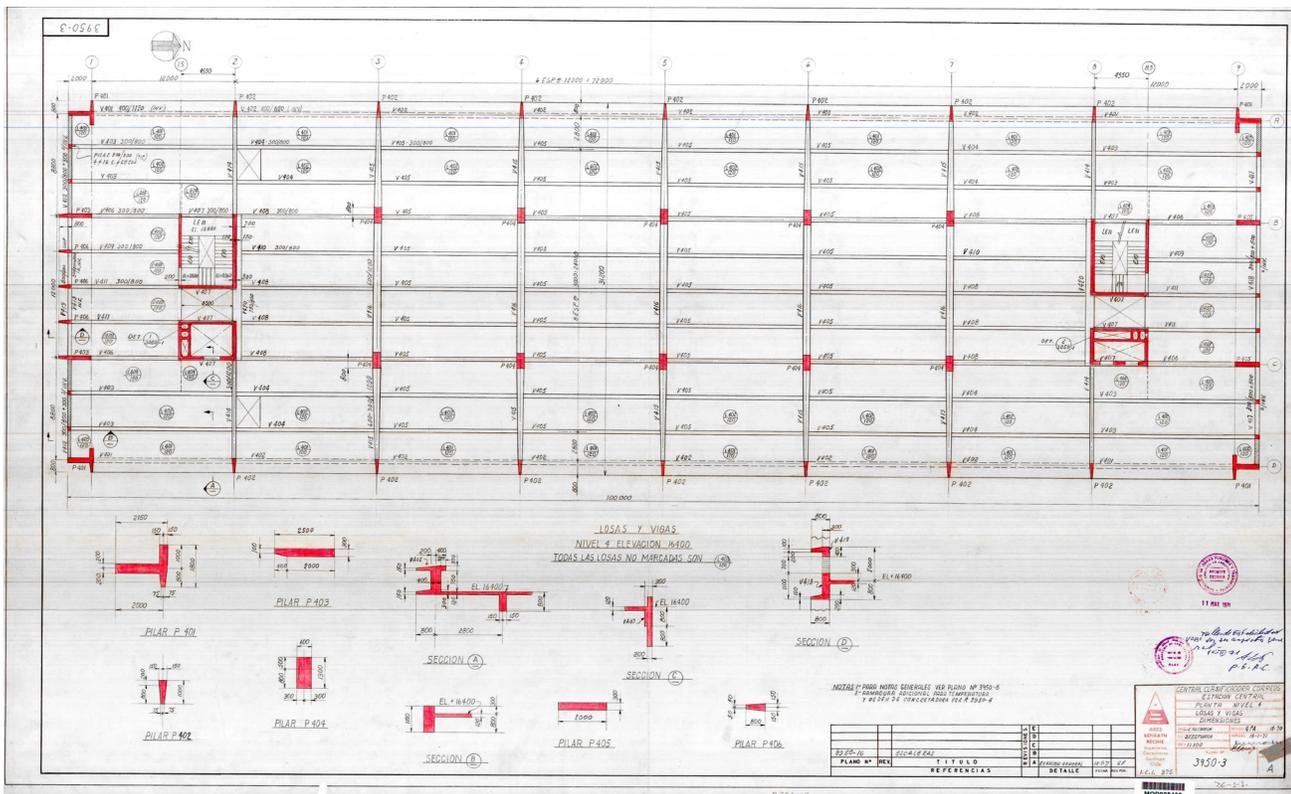
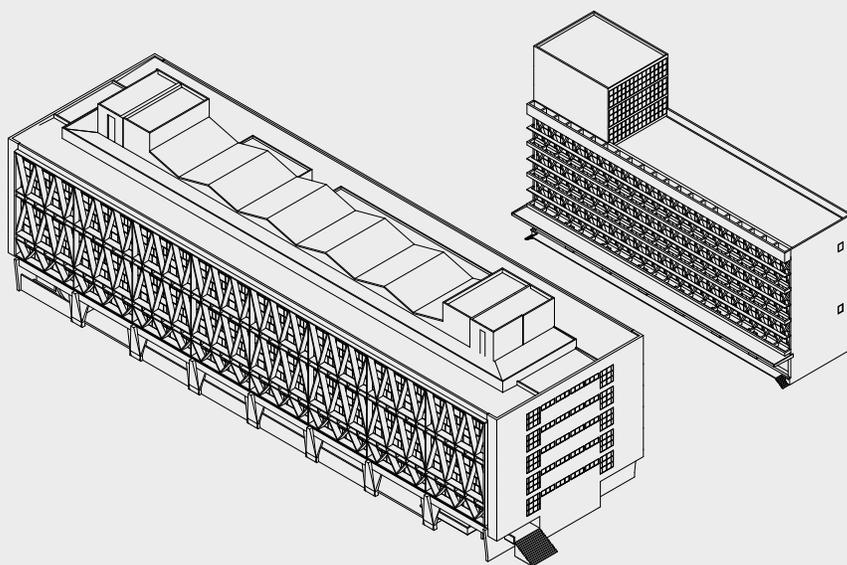


Fig. 37 Planta estructural nivel 4 de Central clasificadora de correos, Boris Guñerman W. y Eduardo Bresciani B. Archivo Departamento de Catastro. Dirección de Obras de Municipalidad de Estación Central, 1970.



Fig. 38 Nch433 Of72, Norma Chilena Oficial de Cálculo antisísmico de edificios. INN.

Por otro lado, la Central clasificadora de correos toma este sistema como referente y lo perfecciona aplicándolo en ambas fachadas de dicha obra. La clara insuficiencia de muros en la planta estructural de edificio (Fig.37), hablan de una indudable y vinculada estrategia espacial y estructural de los sistemas de arriostramiento en fachadas. En la Central clasificadora de correos el uso de un doble núcleo rígido no es suficiente para salvar las solicitudes sísmicas, teniendo que implementar este tipo de solución.



Edificio Molino Carozzi:

Arquitecto/Oficina Emilio Duhart H. – Luis Mitrovic B.

Ubicación Longitudinal Sur, Kilometro 23, San Bernardo, Santiago

Calculo estructural César Barros y Raúl Poblete

Materialidad Hormigón armado 160 kg/m², acero A37-24H

Pisos 7 pisos y 1 subterráneo

Superficie construida 4.322 m²

Año proyecto -

Año construcción 1961

Central Clasificadora de Correos:

Arquitecto/Oficina Boris Guiñerman W. – Eduardo Bresciani B.

Ubicación Exposición 221, Estación Central, Santiago

Calculo estructural Arze, Benrath y Reciné

Materialidad Hormigón Armado

Pisos 6 pisos (2 de altura simple, 2 doble altura y 2 medios pisos) y 2 subterráneos

Superficie construida 18.019,8 m²

Año proyecto 1970-1971

Año construcción 1970-1980

Envolvente diagonalizada en colaboración con zonas rígidas

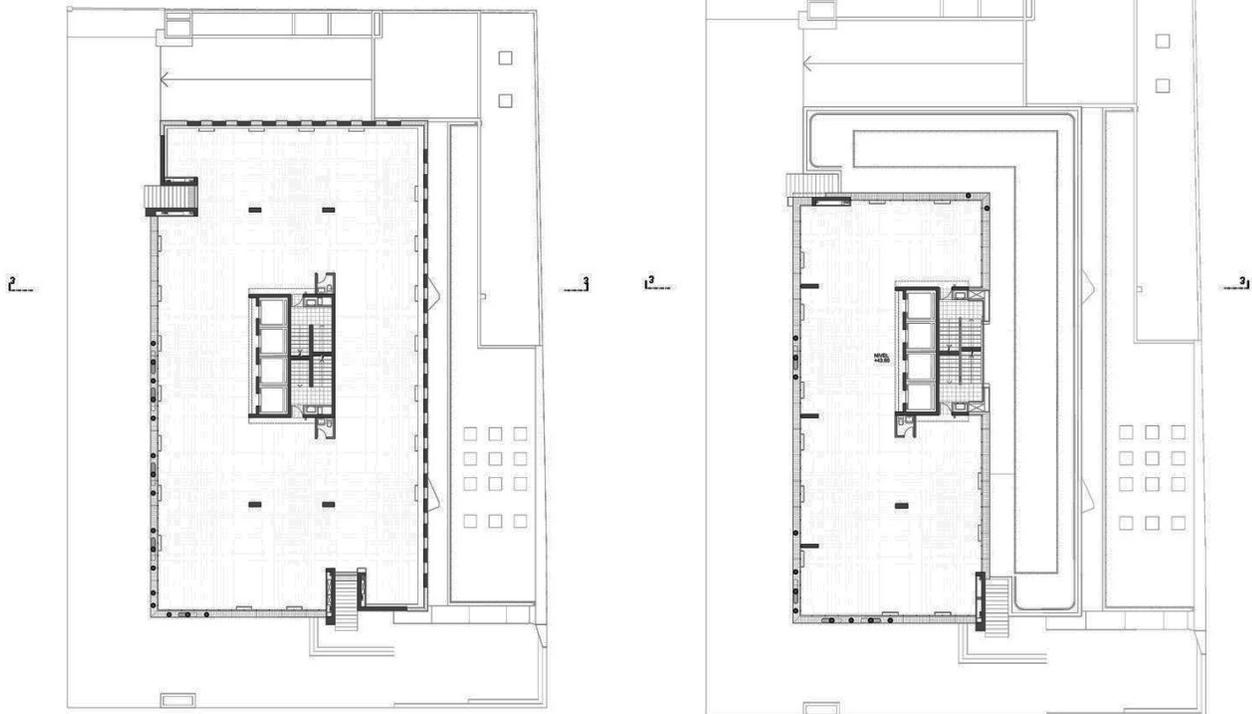
A inicios del siglo XXI la aplicación de sistemas de arriostramiento en edificios comienza a ser más compleja. Esto puede reconocerse en la tipología de edificio en altura, en la geometría irregular de la planta y en la condición colaborativa de zonas rígidas compuestas por muros, en los casos escogidos para esta sección.

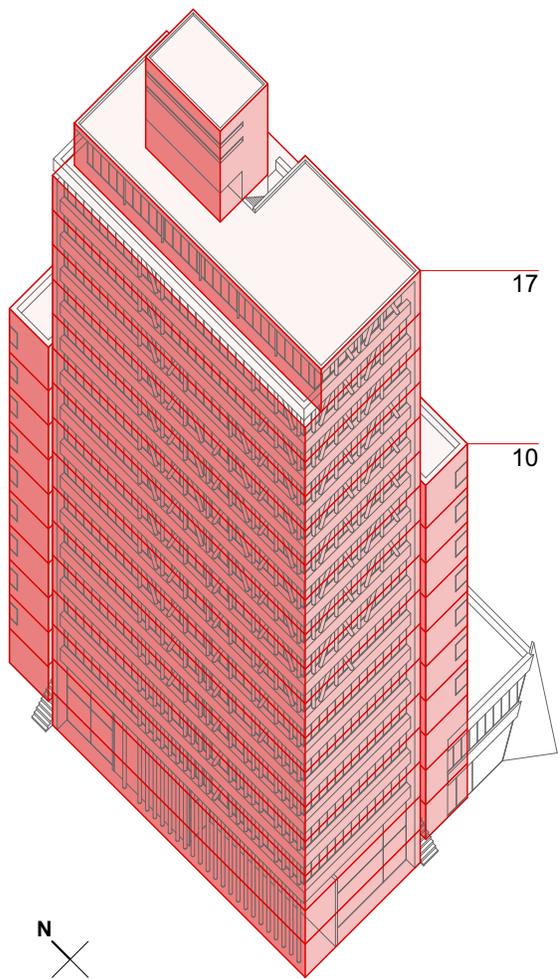
Los tres casos escogidos hacen uso de elementos diagonales en dos o más fachadas contiguas, pero no necesariamente paralelas. Por dicha razón es que la lectura es más clara si hablamos de envolvente diagonalizada. En estos casos se reconocen zonas compuestas por muros que aportan con una clara rigidez al sistema estructural y trabajan colaborativamente con dichas envolventes diagonalizadas.

Los recintos y zonas rígidas configuradas por muros, se ubican estratégicamente para liberar la mayor cantidad de superficie en la planta y así acoger los programas arquitectónicos correspondientes de cada obra. En su mayoría las tres obras disponen de plantas libres para oficinas privadas y públicas.

Fig. 39 Izq. Planta piso 4, Edificio Manantiales, Izquierdo Lehmann.

Fig. 40 Der. Planta piso 16, Edificio Manantiales, Izquierdo Lehmann.





Cronológicamente el primer edificio de este tipo corresponde al edificio manantiales (Fig.39 y 40). Este consiste en una torre de oficinas en planta libre más locales comerciales en primer piso. El proyecto, ubicado en una de las zonas de la ciudad donde el valor del suelo ha llegado a ser el más alto⁴⁶, procura aumentar al máximo la rentabilidad en pos de un mejor negocio inmobiliario: “(...) lo esencial de este tipo edilicio radicaba en el hecho de tener que multiplicar y levantar un suelo, como un loteo aéreo servido por una calle vertical; esfuerzo que, primordialmente, se manifiesta como un desafío estructural”⁴⁷. Según palabras del arquitecto, el diseño se enfrenta como un problema que una vez resuelto por ocurrencia estructural, vendrá a solucionar las necesidades del proyecto.

Fig. 41 Izq. Volumetría general del edificio.

Fig. 42 Der. Planta tercer piso y decimoquinto piso.

46 Luis Izquierdo W., Antonia Lehmann S., José Domingo Peñafiel, Raimundo Lira V., Edificio de oficinas en Isidora Goyenechea, ARQ 45 Ingeniería, Santiago, 2000, pp. 17.

47 Luis Izquierdo W., Máximo requerimientos mínimos medios. Revista D+A, nº 15, 2015, pp. 30.

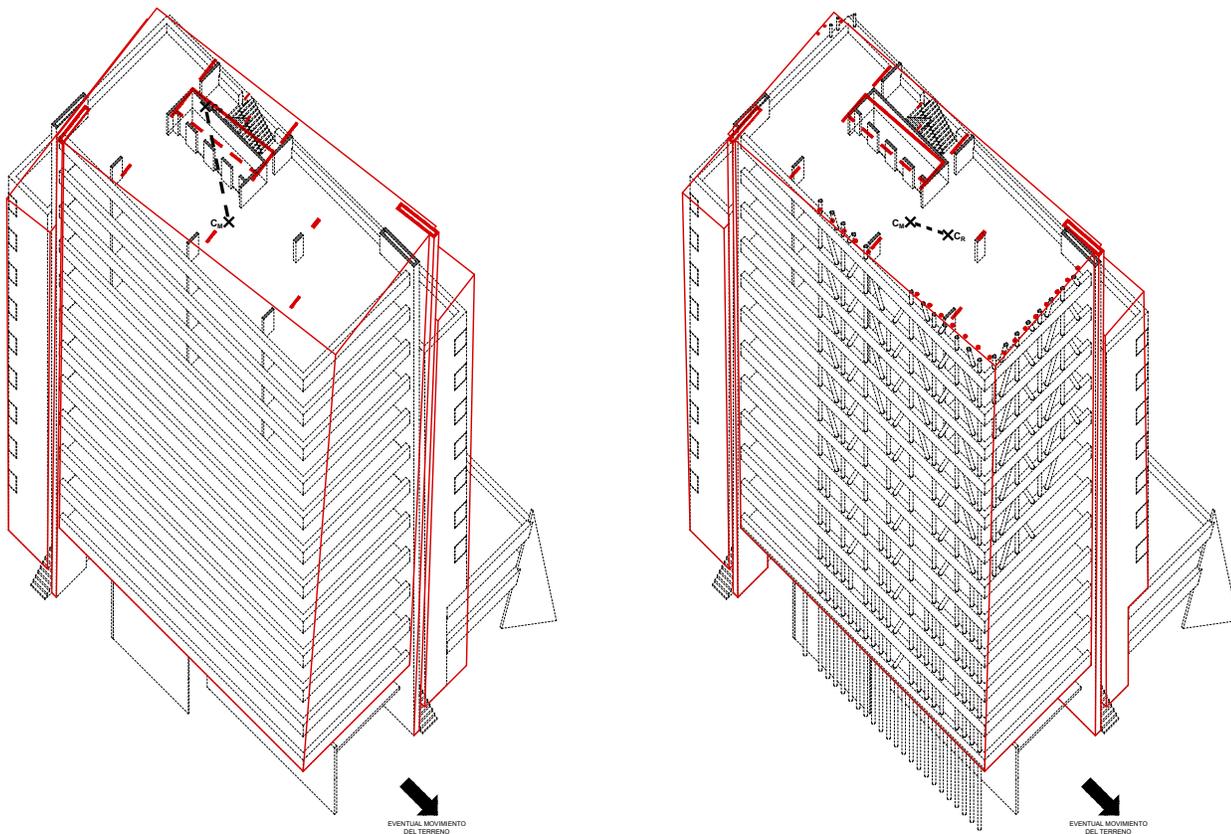


Fig. 43 Izq. Excentricidad y momento de rotación aumentado en caso de fachada sin pilares.

Fig. 44 Der. Excentricidad y momento de rotación disminuido en caso de fachada con pilar.

Volumétricamente, el edificio está compuesto por dos cuerpos principales (Fig.41). En primera instancia, una torre de 17 pisos de altura con una doble cruzía y planta libre de dimensiones 29.7 m por 13.5 m. Luego un segundo volumen, más bajo, “abraza” la torre principal por el lado noreste y con 10 pisos de altura, posee una triple cruzía y una planta libre de 35.8 m por 19.9 m.

Dicha configuración, permite obtener solo dos tipos de planta ortogonales. Una planta mayor, desde el tercer al décimo piso de 678 m² y una menor, desde el decimoprimer al decimoséptimo piso, de 249 m². El núcleo rígido de circulaciones verticales, se ubica en la cruzía central de la planta mayor, compuesto por dos escaleras de emergencia y cuatro ascensores, y coincide con la cruzía oriente de la planta menor (Fig.42).

Estructuralmente, la rigidez de la torre baja de 10 pisos, compuesta en su perímetro mayormente por muros, se contrasta con la elasticidad de la torre alta de 17 pisos⁴⁸, compuesta en su perímetro principalmente por columnas y vigas invertidas (Fig.42).

48 Luis Izquierdo W., Antonia Lehmann S., José Domingo Peñafiel, Raimundo Lira V., Edificio de oficinas en Isidora Goyenechea, ARQ 45 Ingeniería, Santiago, 2000, pp. 20.

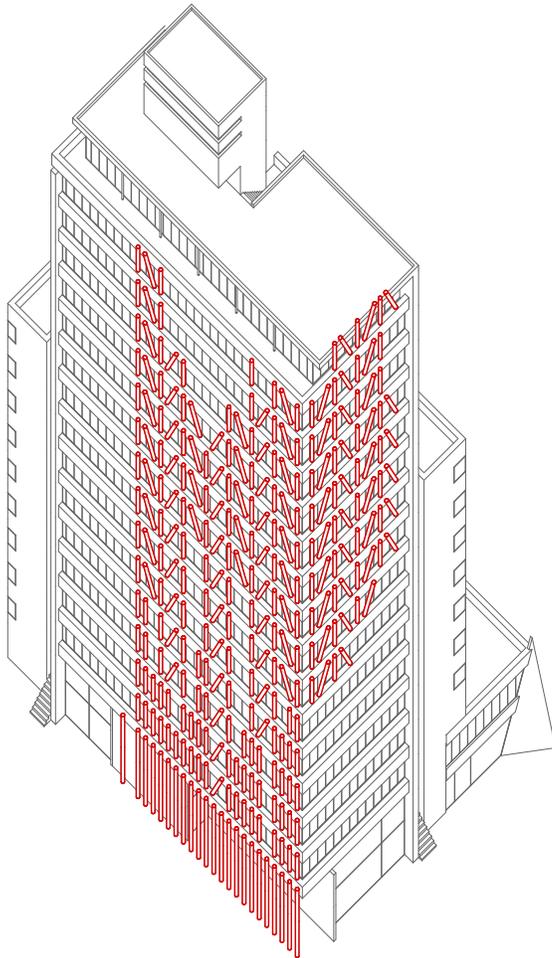


Fig. 45 Izq. Conjunto de pilares verticales y diagonales en fachadas poniente y sur.

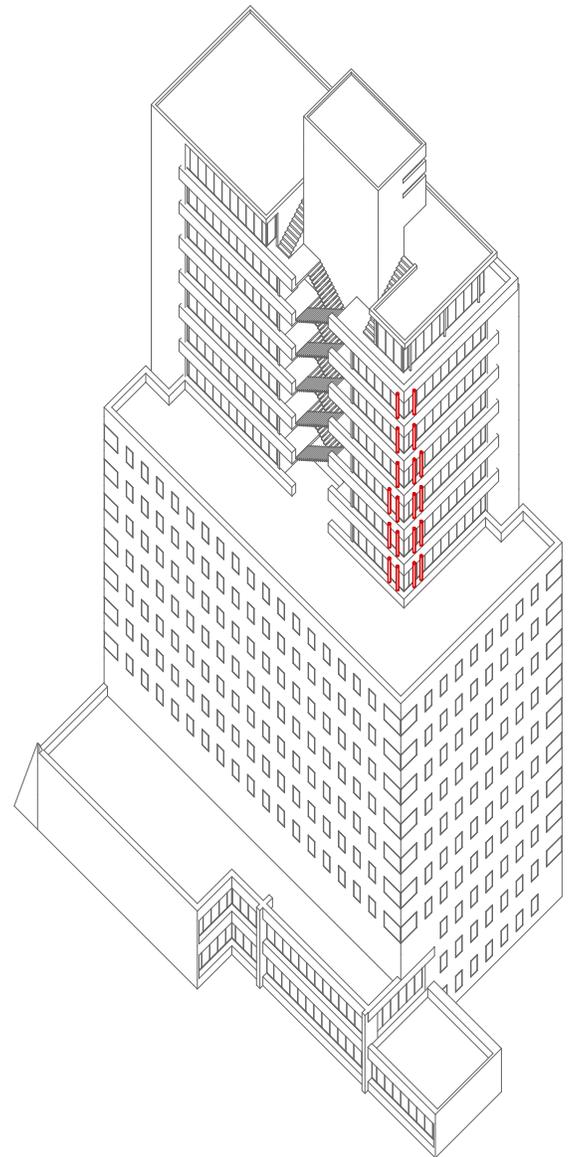


Fig. 46 Der. Conjunto de pilares verticales y diagonales en fachadas oriente y norte.

Esto produce distanciamientos entre los centros de masa y rigidez de las plantas, entendido como un aumento en la excentricidad (Fig.43). Mientras mayor es la excentricidad, mayor es el momento de rotación en la planta producto de un movimiento sísmico.

Esta diferencia en los comportamientos rígidos y elásticos de cada cuerpo, se compensa con el diseño estructural de la fachada. Las columnas verticales y diagonales en las fachadas de la torre alta, colaboran con su estructura, disminuyendo la excentricidad y a su vez el momento de rotación del conjunto, que eventualmente produce una fuerza horizontal de un sismo (Fig.44). De esta forma la cualidad elástica de la torre alta es compensada rígidamente por el sistema de columnas diagonales de la envolvente (Fig.45 y 46).

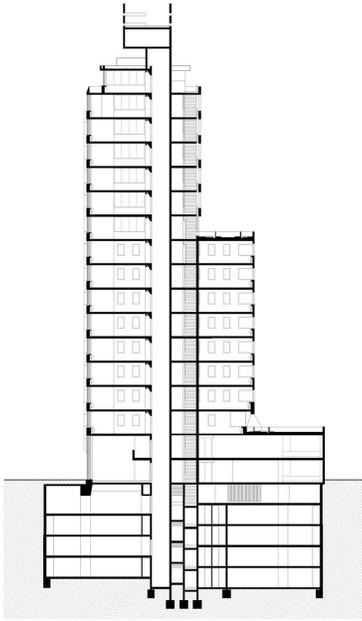


Fig. 48 Corte transversal, Edificio manantiales. Izquierdo Lehmann.

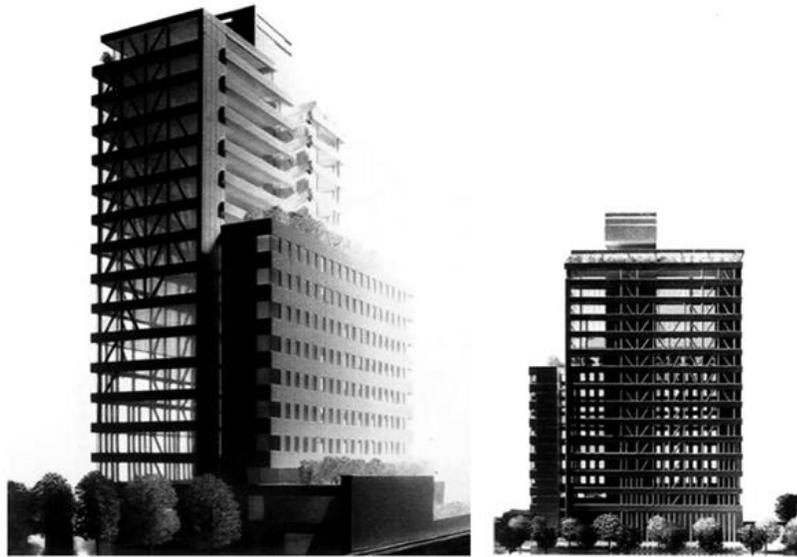


Fig. 47 Maqueta edificio manantiales. ARQ 45 Ingeniería, Edificio de oficinas en Isidora Goyenechea, Santiago. Luis Izquierdo W., Antonia Lehmann S., José Domingo Peñafiel, Raimundo Lira.

Otro aspecto relevante del proyecto, tiene que ver con la utilización de losas postensadas de 19 cm. Estas permiten cubrir amplias luces sin la necesidad de resaltes de viga, es decir, la enfierradura de la viga se encuentra dentro del espesor de la losa, generando cielos lisos de hormigón a la vista (Fig.48). Las losas postensadas son apoyadas perimetralmente en las vigas invertidas y estas, a la vez, apoyadas en las columnas perimetrales, formando un conjunto estructural y material monolítico entre losas, vigas y columnas (Fig.47).

En el caso del edificio manantiales, el núcleo rígido compuesto por muros, se ubica aproximadamente al centro de la planta y la envolvente diagonalizada perimetralmente por dos lados contiguos. En el caso del edificio consistorial de Las Condes, el núcleo rígido está aislado al lado norte de la planta enfrentando una zona estructuralmente más elástica y configurada completamente por una envolvente diagonalizada (Fig.49).

El edificio consistorial de la comuna de Las Condes es una torre de 15 pisos de altura que alberga los departamentos municipales de la comuna. El conjunto se compone por cuatro subterráneos, dos primeros niveles, extendidos sobre el terreno y adosados por 3 deslindes y una torre central de aproximadamente 16 m de ancho por 23m de largo.

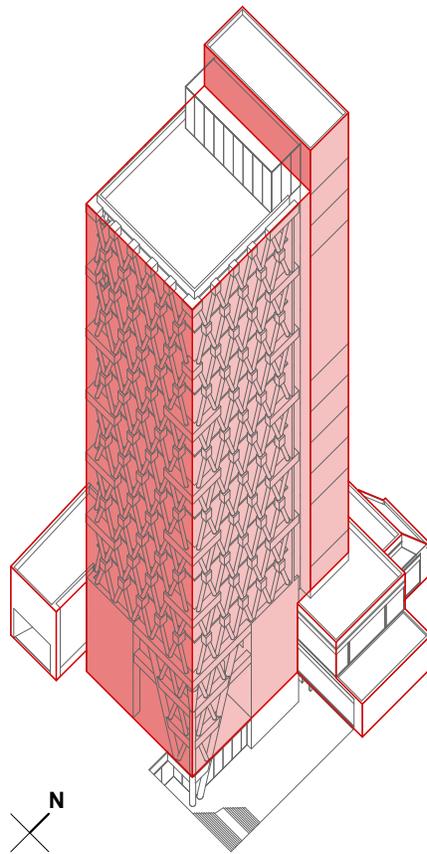


Fig. 49 Conjunto volumétrico. Cuerpo norte, opaco y estructurado a base de muro, y cuerpo sur transparente y estructurado a base de envoltura diagonalizada.

En los primeros pisos de la obra, se ubican los programas que más dependen de atención pública, estos son: tesorería, departamento de patentes comerciales y dirección de obras. En pisos superiores se ubican las unidades de asesoría urbana, administración y finanzas y alcaldía.

La continuidad de la solución estructural implementada en el proyecto, permite que el volumen sur, prescindiera de cualquier elemento portante en la planta. De esta manera, cada piso es organizado con la disposición requerida para su respectivo departamento o servicio (Fig.50 y 51)

La torre del conjunto a su vez, se compone por dos cuerpos. El primero cuerpo ubicado al norte, esbelto y opaco, de 54.2 m de altura, estructuralmente a base de muro perimetral, alberga los ascensores, escalera de servicio y baños de funcionarios. El segundo cuerpo, de mayor transparencia, con una altura de 50.4 m, alberga puestos de trabajo en una planta cuadrada y libre de 15 m por 15 m (Fig.49). Este último se estructura a base de una malla perimetral de columnas diagonales de acero, revestidos

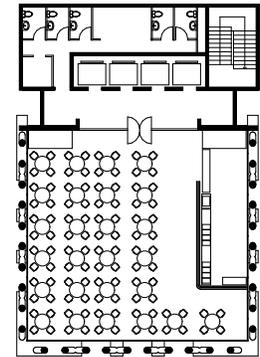


Fig. 50 Planta piso 4, Comedor y casino municipal de uso interno.

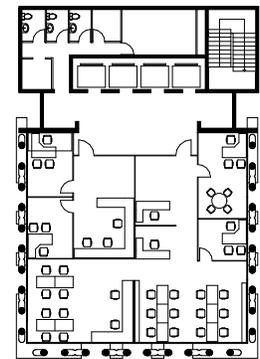


Fig. 51 Planta piso 8, Dirección de administración y finanzas.

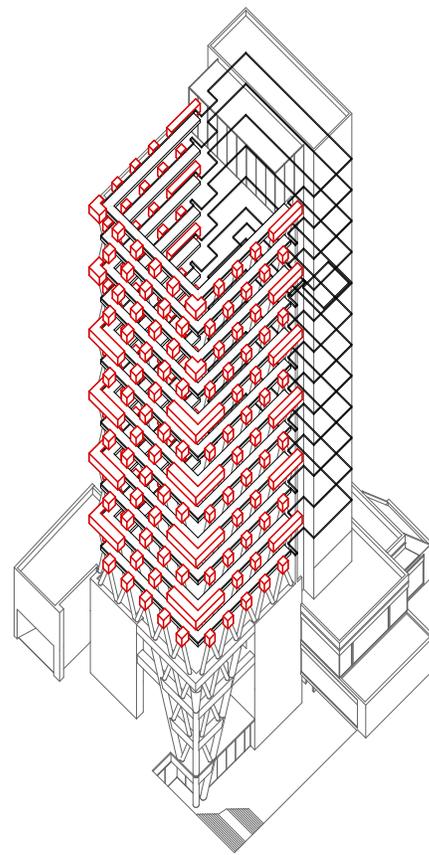
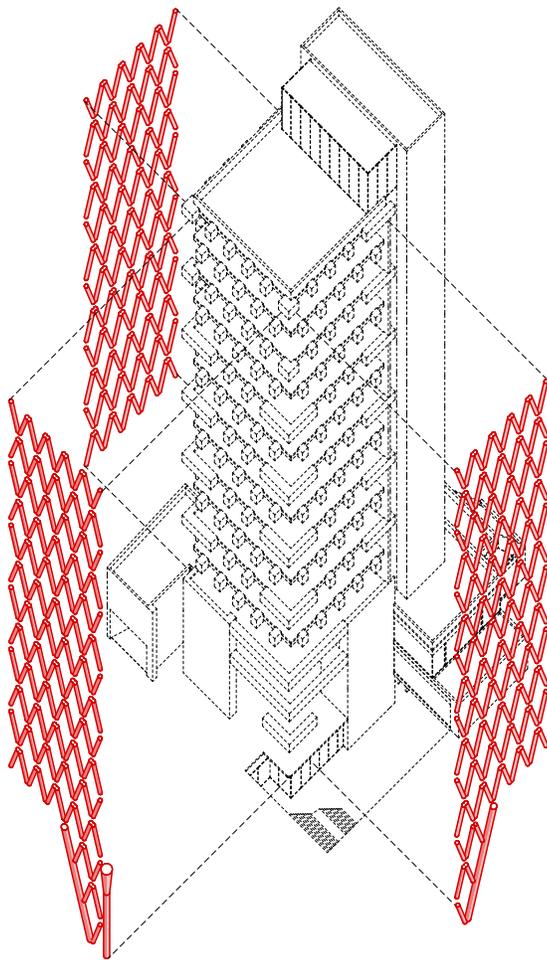


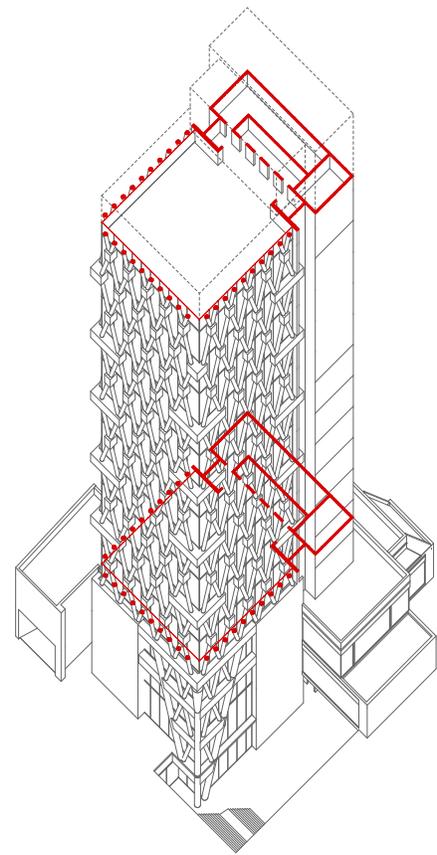
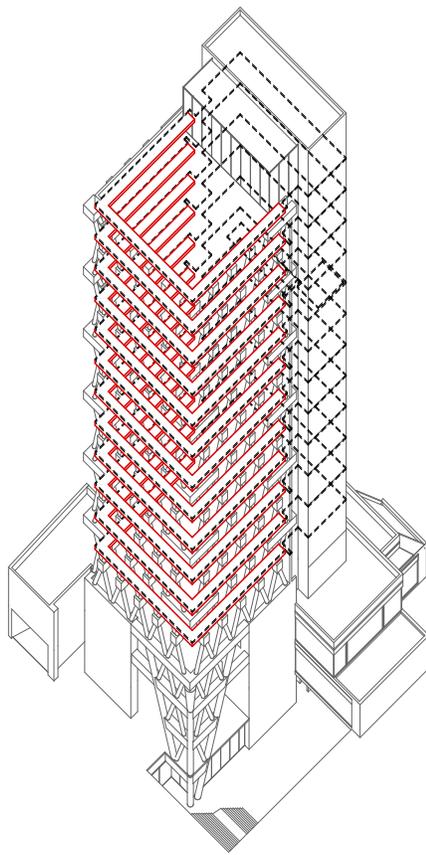
Fig. 52 Izq. Malla perimetral por fachadas sur, este y oeste.

Fig. 53 Der. Cubos perimetrales de hormigón armado.

en hormigón. Producto de una planta cuadrada y simétrica, la malla envuelve la torre por fachadas sur, este y oeste de manera homogénea y equivalente (Fig.52).

El conjunto de columnas diagonales de cada nivel, se encuentra unido entre ellos a través de una serie de dados de hormigón de 82.5 cm por 82.5 cm (Fig.53). Piso por medio, el dado toma forma de "L" y se amplía en las esquinas. A su vez, el conjunto de dados de hormigón se une a vigas perimetrales que contornean la losa de cada piso (Fig.54). La maya estructural, compuesta por pilares diagonales de acero revestidos en hormigón y dados de hormigón armado, contribuye a extender el espacio interior, al estar unida a las vigas por la cara exterior de ellas.

Formalmente la solución estructural implementada en cada piso de la torre es la misma (Fig.55). Esto aporta en el comportamiento estructural del conjunto, ya que verticalmente a través de sus niveles coincidirán los centros de masa y rigidez, otorgando un comportamiento más predecible y controlado al conjunto.



En esta obra, el cuerpo de orden murario de cualidades más rígidas interactúa con el cuerpo transparente envuelto en la malla perimetral. El cuerpo rígido de muros resiste gran parte de los esfuerzos por acción sísmica, en tanto el cuerpo flexible tenderá a deformarse. La malla perimetral toma el control de dicho fenómeno, y permite la necesaria deformación para disipar las fuerzas del sismo.

Fig. 54 Izq. Viga perimetral bajo losas de hormigón armado.

Fig. 55 Der. Planta piso 4 y 15. Mismos elementos estructurales.

Las envolventes diagonalizadas de los dos casos anteriores hacen uso de principios geométricos y estructurales similares al constituir planos ortogonales y contiguos entre ellos. En contraste, la fachada del edificio de la Facultad de Economía y Negocios se configura por un sistema de diagonales y muros que inscritos en planos ortogonales y diagonales trabajan de forma conjunta.

El edificio FEN de la Universidad de Chile, ubicado en Campus Andrés Bello, surge de la necesidad de reubicar al cuerpo docente y administrativo. Para lograr este objetivo se necesitó de un edificio con principalmente, una planta libre para disponer de oficinas (Fig.57). El terreno dispuesto para el proyecto, enfrenta a la calle Avenida Paraguay y está acotado por el Edificio Tecnoaulas al lado poniente y un muro de deslinde adosado al oriente.

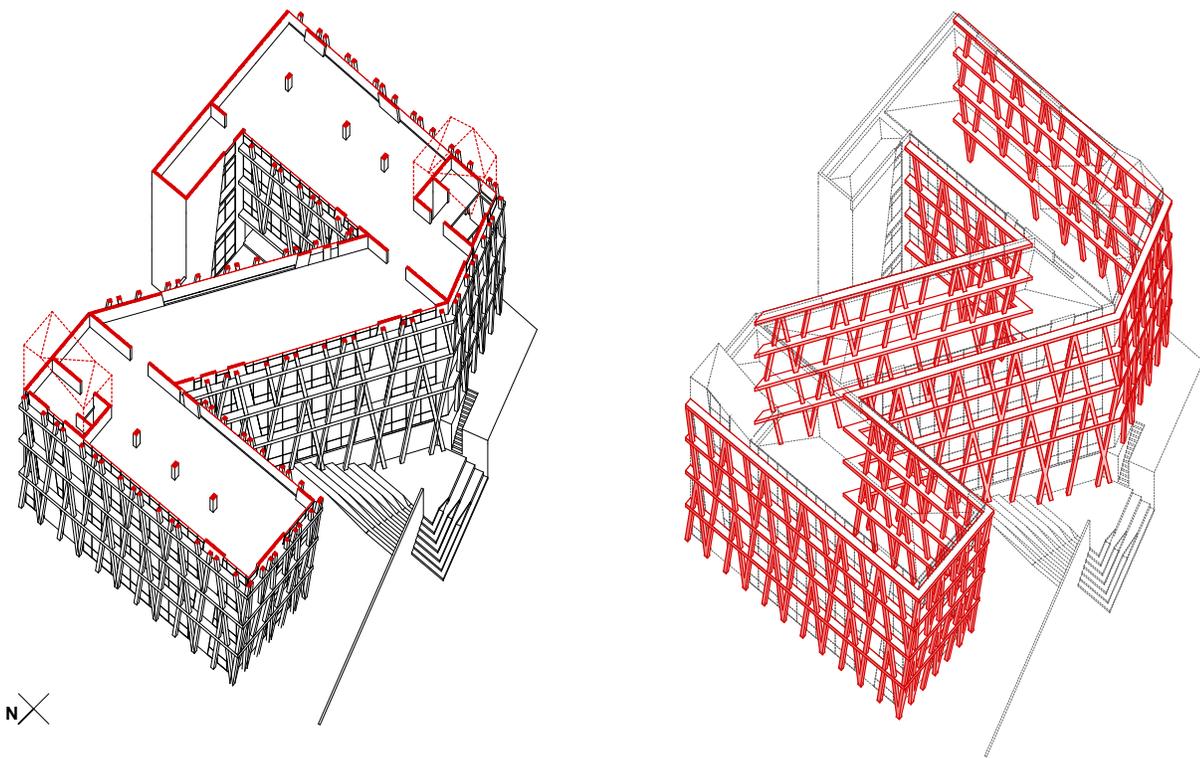


Fig. 56 Izq. Volumetría, crujías de cuerpos y núcleos verticales.

Fig. 57 Der. Cáscara exterior de pilares diagonales.

Fig. 58 Abajo Fotografía espacio interior. Edificio FEN.

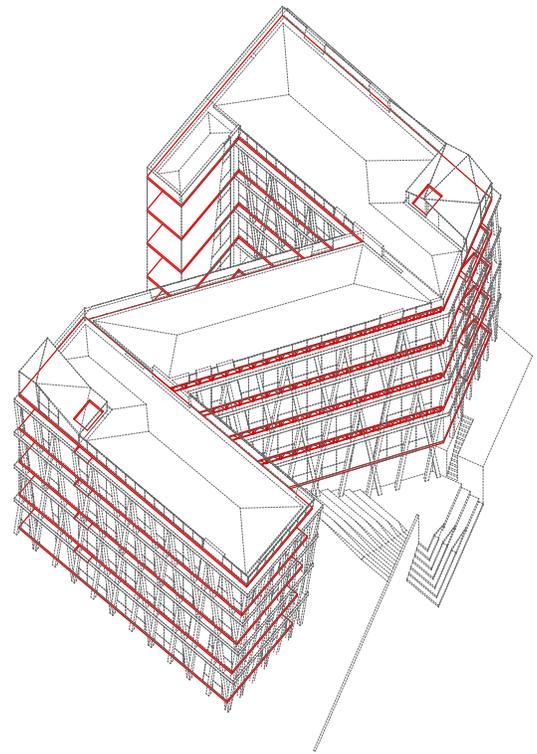
Para obtener la geometría de la obra, se operó maximizando el perímetro del edificio, aumentando de tal manera la exposición a luz natural, y manipulando una crujía doble de aproximadamente 10 m de ancho. El resultado de dicha iteración obtuvo como geometría final una planta en forma de “Z”, con un total de 3720 m² en cuatro pisos.

La geometría con forma de “Z”, se divide en tres volúmenes. Dos de los tres volúmenes son paralelos entre ellos y en ellos se ubican las circulaciones verticales en los extremos próximos al volumen central (Fig.56). El conjunto completo se envuelve en primera instancia, por una cáscara exterior de pilares diagonales cuadrados de sección 35x35 cm de hormigón armado (Fig.57 y 61).

Los cuatro niveles de pilares, de 3 m de altura, unidos entre ellos por una viga plana de 30 cm de espesor que sobresale del perímetro de la losa de piso, coronan a los 13.2 m de altura. Si la primera cáscara de estructura presenta cierta complejidad, una segunda piel en el sistema estructural desfasada 37 cm hacia el interior, se compone de una aún más compleja combinación de muros (Fig. 59).



Con el objetivo de proyectar la menor cantidad de sombra posible al espacio interior, los muros se alejan del centro de las crujías, ubicándose en los extremos de cada una y rigidizando las uniones entre ellas, permitiendo bañar de luz los centros de cada volumen.



Dentro de las recomendaciones para edificios en zona sísmica, es relevante la forma geoméricamente regular de la planta. En este caso y por razones de aprovechamiento de luz natural para los recintos, es que se escoge la planta en forma de “Z”. Esto estructuralmente tiene ciertos desafíos, y es que en los quiebres o uniones de los tres volúmenes se generan zonas sensibles. Una posible solución para este recurrente desafío es la utilización de juntas de dilatación para que cada estructura se comporte individualmente. En el caso del cuerpo central del edificio FEN, se implementa una solución de losa nervada que entrega mayor flexibilidad a este cuerpo central (Fig.60), rechazando el uso de juntas de dilatación.

El sistema de losa nervada se compone en su parte inferior por una loseta de 8 cm de espesor, una trama de vigas de 36 cm de altura en su parte central y una loseta superior de 6 cm de espesor. El espesor total de la losa nervada es de 50 cm (Fig.62).

Siendo el perímetro compuesto por dos cáscaras, la interior de muros y la exterior de diagonales, la primera tiende a ser discontinua, en cambio la segunda envuelve continuamente el perímetro. En este sentido se puede entender, que cuando la primera capa se descascara, la segunda está complementando su

Fig. 59 Izq. Cáscara interior de muros de ejes verticales inclinados.

Fig. 60 Der. Conjunto de losas.

Fig. 61 Abajo Construcción de cáscara exterior de pilares diagonales cuadrados de sección 35x35 cm. Edificio FEN.



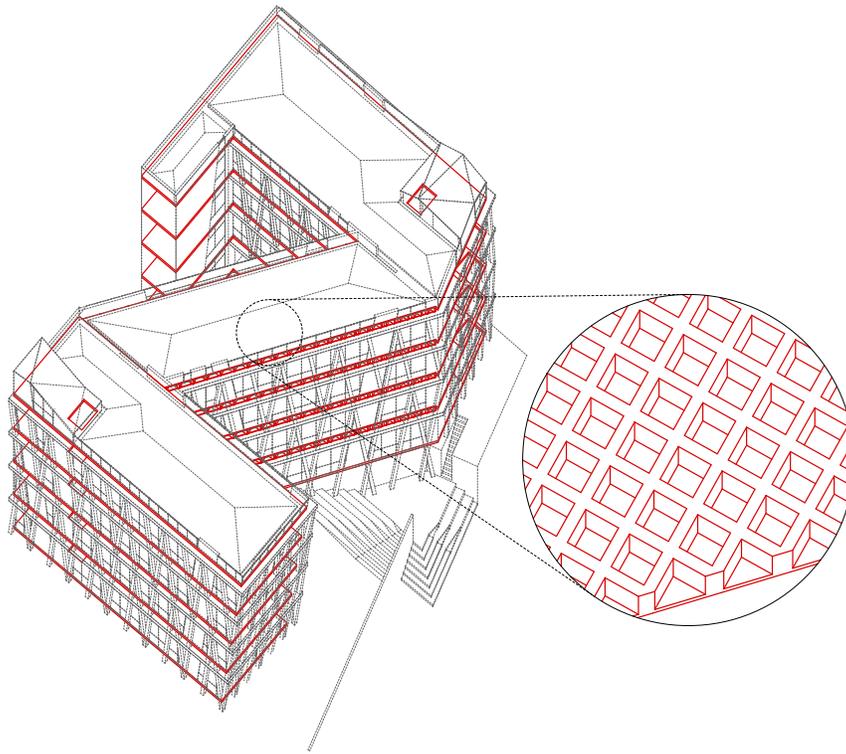


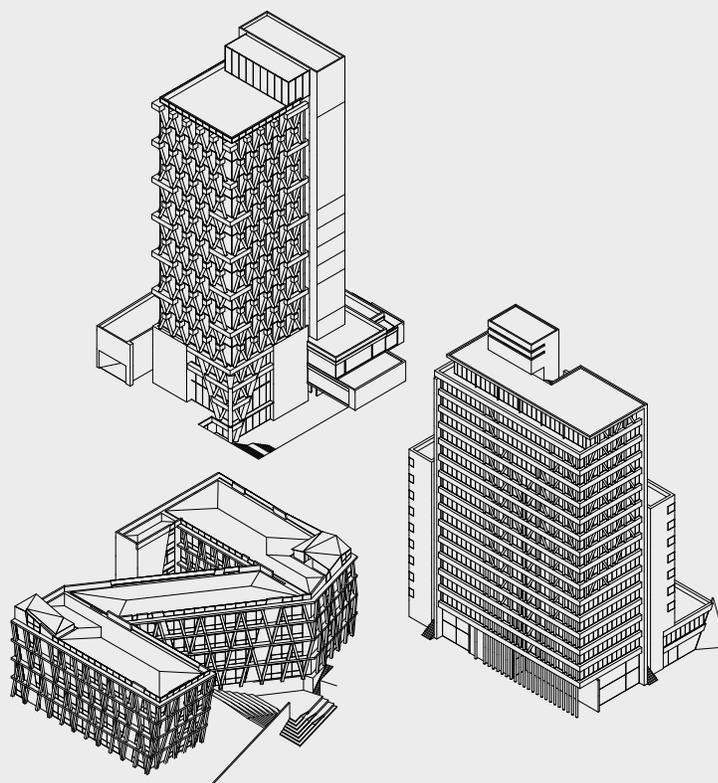
Fig. 62 Losa nervada y entramado de vigas.

ausencia, efectuando un trabajo colaborativo entre diagonales y muros. Siendo la primera cáscara de pilares bastante elástica, principalmente funciona para soportar cargas estáticas, la segunda piel de muros un tanto más rígida, funcionan como muros de corte ante cargas dinámicas.⁴⁹

Esta segunda agrupación de edificios construidos entre 1999 y 2011, demuestran una clara estrategia estructural común, el trabajo en conjunto de una envolvente diagonalizada y zonas rígidas de muro.

De igual manera, demuestran un contraste claro en complejidad y extensión de la envolvente diagonalizada con respecto al conjunto anterior, favorecido por la tipología de edificio en altura en el caso del edificio manantiales y consistorial Las Condes, y en el caso del edificio FEN los requerimientos espaciales y restricciones del lugar establecen como oportunidad la aplicación de una doble envolvente compuesta por muros inclinados y pilares diagonales.

49 Alfredo Saavedra L. Facultad de economía y negocios de la Universidad de Chile. Revista BIT, nº 85, 2012, pp. 93.



Edificio Manantiales:

Arquitecto/Oficina Izquierdo Lehmann Arquitectos
Ubicación Isidora Goyenechea 3120, Las Condes, Santiago
Calculo estructural Luis Sovler P. y Asociados
Materialidad Hormigón armado H-35 y acero A63 42H
Pisos 17 pisos y 4 subterráneos
Superficie construida 16.542,8 m² (9.535,8 m² + 7.007 m² subterráneos)
Año proyecto 1997-1998
Año construcción 1998-1999

Edificio Consistorial de Las Condes:

Arquitecto/Oficina Undurraga Devés Arquitectos
Ubicación Avenida Apoquindo 3400, Las Condes, Santiago
Calculo estructural José Jimenez y Rafael Gatica
Materialidad Estructura metálica A 42-27 ES
Pisos 15 pisos y 4 subterráneos
Superficie construida 10.838 m²
Año proyecto 2001
Año construcción 2002-2003

Edificio Facultad de Economía y Negocios:

Arquitecto/Oficina Marsino Arquitectos
Ubicación Campus Andrés Bello, Av.Paraguay 79, Santiago Centro, Santiago
Calculo estructural Enzo Valladares P. – VPA
Materialidad Hormigón armado H-25 y acero A63 43H
Pisos 4 pisos y 3 subterráneos
Superficie construida 8.011,6 m²
Año proyecto 2007-2008
Año construcción 2009-2011

Arriostramiento en madera

La tercera y última agrupación, acoge dos edificios similares no solo en su materialidad, sino que también en la disposición ortogonal de sistemas de arriostramiento tanto en fachada como al interior del edificio y con un evidente carácter estructural. Si bien, en el edificio BIP Computers puede reconocerse que elementos diagonales descargan directamente hasta el suelo, la condición de discontinuidad de elementos diagonales en el edificio de la Escuela de Arquitectura UC, no necesariamente imposibilita esta comparación.

En Bip Computers, el carácter estructural de las diagonales es evidente al no reconocer otros elementos que puedan sustituir solicitudes estructurales. Por otro lado, en la Escuela de Arquitectura UC la utilización de un sistema mixto de hormigón armado y madera, y la condición de voladizo complejizan la lectura. A continuación, se explican las estrategias estructurales utilizadas en cada obra.

La obra del arquitecto Alberto Mozó, es un edificio de oficinas de pequeña escala para la empresa BIP Computers (Fig.63 y 64). Esta obra, construida en madera laminada de pino radiata, intenta conjugar variables económicas, ambientales y urbanas⁵⁰. Construido en un terreno de 1600 m², altamente rentable para un negocio inmobiliario, el edificio es acompañado por dos viviendas del año 1939. Por esta razón, el edificio es pensado en un material que permita desmontar y reconstruir en otro sitio, en caso de una eventual compra del terreno, aumentando la vida útil del edificio. A lo anterior se suma, la cualidad de la madera de ser un material renovable para la construcción y, en caso de no reconstruir la obra, reutilizable.

La obra se configura lateralmente por dos cerchas romboides (Fig.65) de madera laminada de sección 342x90 mm. Estas dos cerchas prefabricadas, de 25.7 m de largo, se distancian entre ellas 6.2 m y se unen en tres alturas, por 6 ejes de vigas de madera levemente inclinadas (aproximadamente 7 grados del plomo vertical). En conjunto con las vigas y a modo de arriostramiento transversal, 6 pares de crucetas compuestas por dos pilares

⁵⁰ Alberto Mozó, Portafolio ARQ, BIP Computers, ARQ 71, Los Andes, Santiago, 2009, pp. 12.

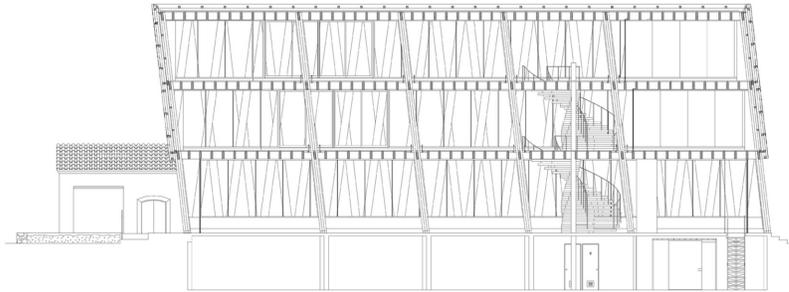


Fig. 63 Corte Longitudinal, Edificio BIP Computers, Alberto Mozó, 2006.

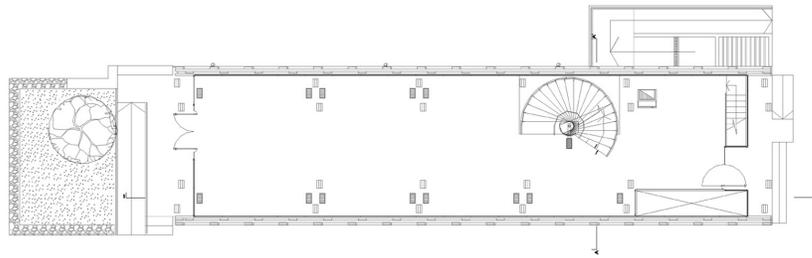


Fig. 64 Planta primer piso, Edificio BIP Computers, Alberto Mozó, 2006.

inclinados, se unen y forman pórticos rígidos (Fig.66). Estos dos entramados engloban la mayor parte de la estructura de la obra.

Tanto cerchas laterales como crucetas transversales, ambos elementos portantes, soportan cargas verticales y horizontales. La sección de los elementos de madera laminada (342x90 mm) es en ambos casos, utilizada en sentido paralela a la fuerza horizontal que resiste (Fig.67).

Las cargas verticales de peso propio y sobre carga son, en el caso de los pisos recibidas en las losetas prefabricadas de hormigón y transmitidas a través de envigado de piso hasta los elementos portantes, al igual que la carga de peso propio de la cubierta (Fig.68).

En esta obra, tanto fachada como elementos portantes interiores, se configuran a partir de una única cruceta en forma de X, compuesta por dos elementos de madera laminada de sección 342x90 mm, unidos entre ellos en un ángulo de 7 grados, formando un ángulo de 14 grados entre ellos.

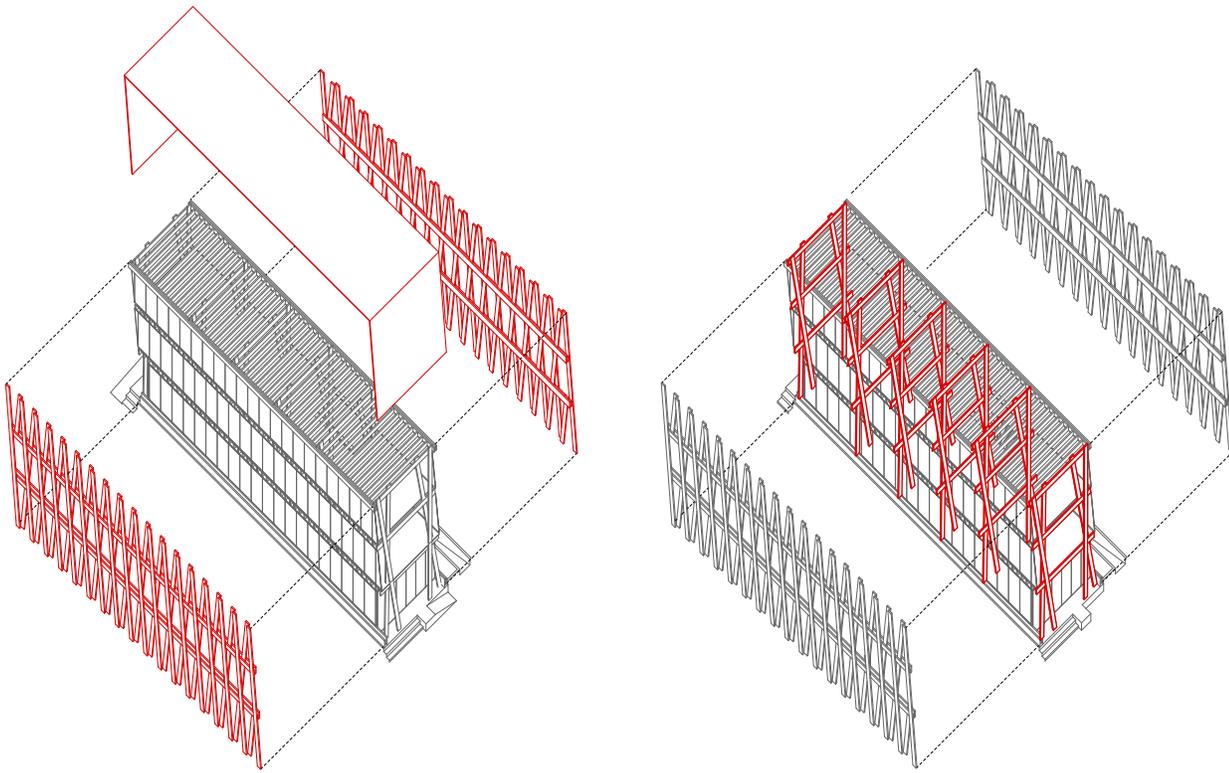


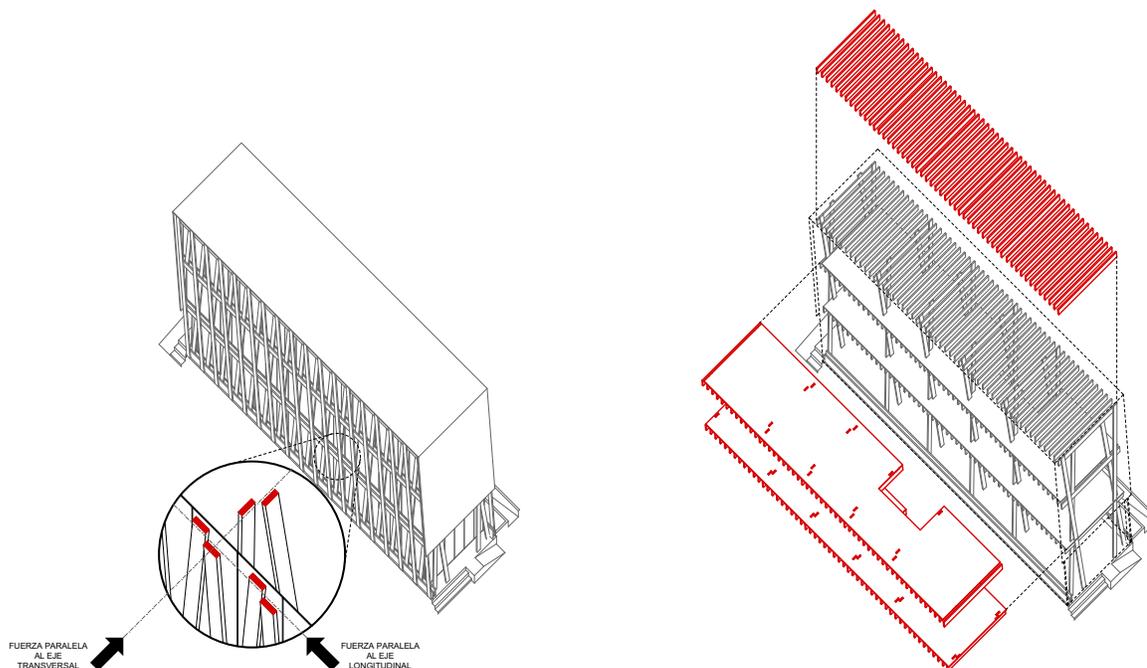
Fig.65 Izq. Piel exterior, cerchas de madera laminada y cubierta.

Fig. 66 Der. Crucetas inclinadas transversales.

Siendo las fachadas laterales iguales entre ellas, se componen por 18 crucetas cada una (la primera y la última son modificadas). En el interior, 6 pares de crucetas soportan las losas y cubierta. En total 50 crucetas se encargan de ser tanto soporte estático de pesos verticales, como soporte dinámico de cargas laterales, conjugando así, una solución constructiva y formal con una solución estructural y espacial.

A una escala ciertamente mayor que la del edificio BIP Computer, las solicitudes arquitectónicas, espaciales y programáticas de la Escuela de Arquitectura UC, requirieron de la utilización de una materialidad mixta para dar respuesta estructural a dicha solicitud.

El edificio para la escuela de arquitectura, es una obra de cuatro pisos diseñada para concentrar al cuerpo docente y administrativo de esta. Consiste en un volumen transparente de madera laminada, de 37.2 m de largo por 14.4 m de ancho por 7.1 m de alto, suspendido sobre cuatro gruesos muros de hormigón armado (Fig.69). El primer piso junto a los dos siguientes pisos, contenidos dentro del volumen de madera, acogen espacios para oficinas administrativas,



docentes y salas de reunión. El cuarto piso, proyectado como un polígono inclinado y opaco sobre el volumen de madera, incorpora un café con terraza y un auditorio para cien personas, programas de carácter más público, al igual que la plaza de acceso techada y hall del primer piso.

Fig. 67 Izq. Sección de cercha laterales y crucetas transversales.

Fig. 68 Der. Losas, envigados de piso y cubierta.

Con respecto al diseño del edificio el arquitecto Gonzalo Claro, comenta la importancia de este de: “(...) *representar las ideas que se debaten en su interior, abrir posibilidades y servir de ejemplo.*”⁵¹ Es decir, ser al mismo tiempo edificio e instrumento pedagógico, de las posibilidades constructivas de la madera y de la resistencia a cargas externas.

Como un volumen rectangular, compuesto por cuatro marcos rectangulares de madera, se apoya sobre cuatro muros de hormigón armado de 50 cm de espesor y cubre entre apoyos una luz máxima de 20.5 m, y 9.4 m en voladizo. Una retícula interior (Fig.70) de doble pilar y viga, de 5 módulos cuadrados, se levanta para entregar

51 Gonzalo Claro, Edificio Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile. ARQ 96, 2017, pp. 62.

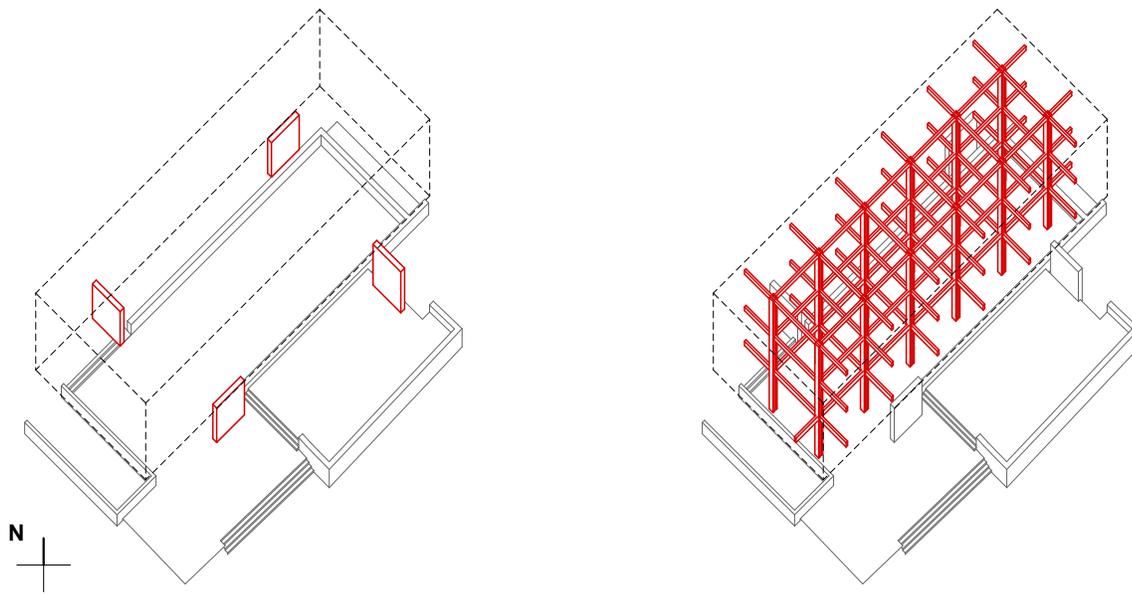


Fig. 69 Izq. Muros de hormigón armado. Dos de ellos en sentido longitudinal y dos en sentido transversal soportan un volumen rotado en 45 grados con respecto al norte.

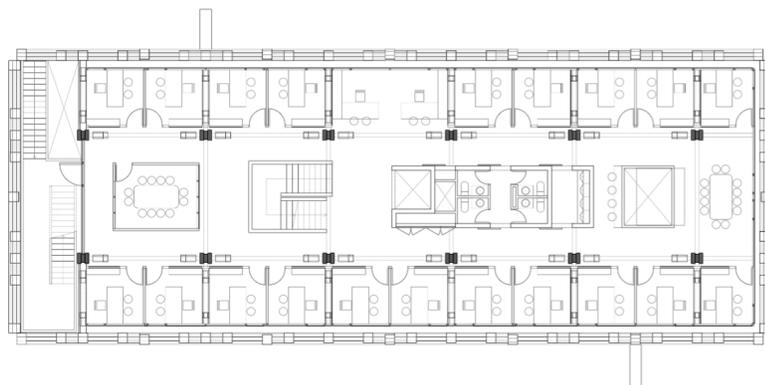
Fig. 70 Der. Retícula de tres pisos de pilares doble y viga. El módulo cuadrado definido por los pilares mide 6x6 m. Hacia el exterior del módulo, las vigas vuelan 3.4 m por fachada noroeste y sureste y 2.8 m por fachadas noreste y suroeste.

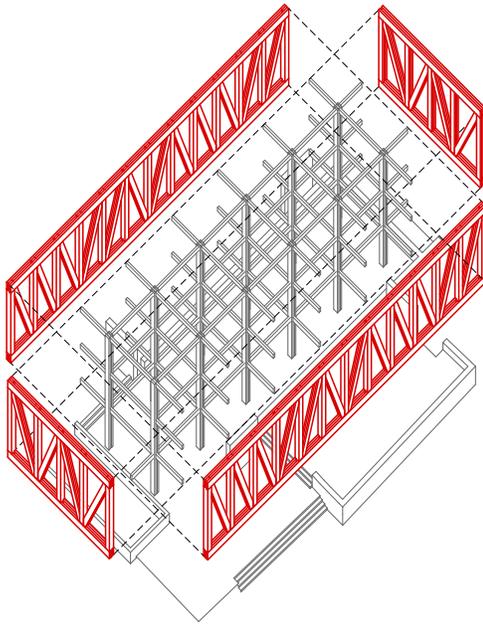
Fig. 71 Abajo. Planta segundo piso. Escuela Arquitectura UC, Gonzalo Claro.

el soporte principal de las losas de segundo, tercer y cuarto piso. Cuatro pilares, de dimensiones 500x550 mm, componen un módulo. Un total de 12 pilares configuran 5 módulos.

Las cuatro cerchas de madera laminada encolada que configuran el volumen superior (Fig.72), se unen entre ellas y a la vez, con las vigas en voladizo de la retícula interior. Particularmente el voladizo del suroeste configura una plaza techada de acceso al campus.

Un elemento puntual, pero relevante para la estructura, es el núcleo rígido, ubicado en el centro del volumen de madera (Fig.73), que atraviesa la altura completa de la obra. Este núcleo de hormigón armado, de 3 m de ancho por 9.9 m de largo, trabaja en conjunto con la estructura reticulada de madera uniéndose a uno de los módulos cuadrados de ella.





Posteriormente, la estructura diagonal de arriostramiento interior (Fig.74), compuesta por una serie de elementos inclinados en “V” invertida, ubicados en dos de los ejes longitudinales y seis de los ejes transversales, rigidizan el volumen de madera en el plano vertical de dichos ejes. Estos elementos, al tiempo que rigidizan, permiten que el espacio continúe siendo transitable, ya que su ubicación y ángulos coincide con dimensiones de puertas y tabiques de oficinas.

Finalmente, un entramado de vigas menores, entrega el soporte para estructurar las losas de pisos (Fig.75). Dichas losas se componen por doble placas de contrachapado de 15 mm arriostrando a través de placas en el plano horizontal. Estas tres losas funcionan como diafragmas rígidos que reciben las cargas verticales.

El perímetro estructural de la obra, compuesto por dos estratos, en primera instancia los cuatro muros de hormigón armado y posteriormente las cuatro cerchas de madera, operan en conjunto soportando esfuerzos dinámicos de sismo. A pesar de la discontinuidad de los elementos diagonales de fachada, los muros de hormigón armado permiten entregar continuidad a ambas fachadas longitudinales, configurando un soporte estático y dinámico similar a las fachadas longitudinales de BIP Computers.

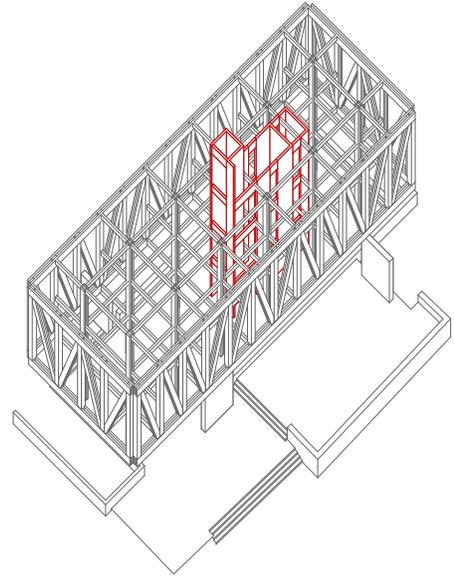


Fig. 72 Izq. Cuatro cerchas rectangulares perimetrales, de madera laminada encolada. Dos longitudinales de 7.15 m de alto por 36.5 m de largo y dos transversales de 7.15 m de alto por 13.4 m de largo.

Fig. 73 Izq. Núcleo rígido de hormigón armado. Dentro de él se ubica un ascensor que recorre desde el primer al cuarto piso y servicios higiénicos para el personal desde el primer al tercer piso. En el cuarto piso, el núcleo se retrae a solo el ascensor.

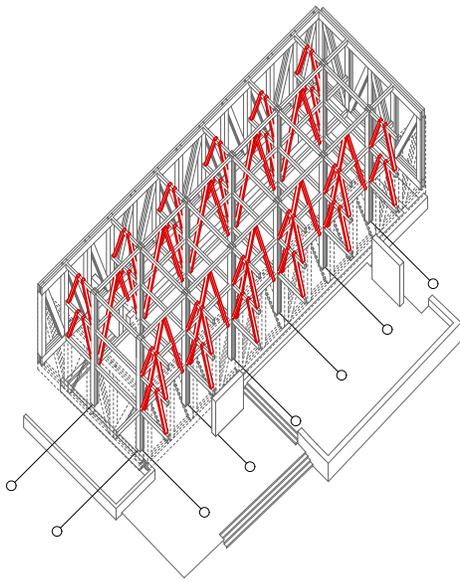
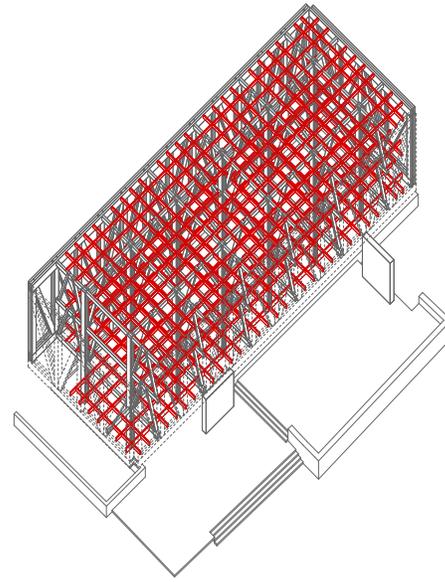


Fig. 74 Izq. Arriostramientos interiores. Desde el nivel +3.30 m, una serie de pilares diagonales en sentido transversal y longitudinal, rigidizan la retícula y definen la espacialidad interior.

Fig. 75 Der. Entramado horizontal de losas. El volumen de madera, configurado por las cerchas, se rigidiza horizontalmente en tres alturas correspondientes a cada uno de los entramados.

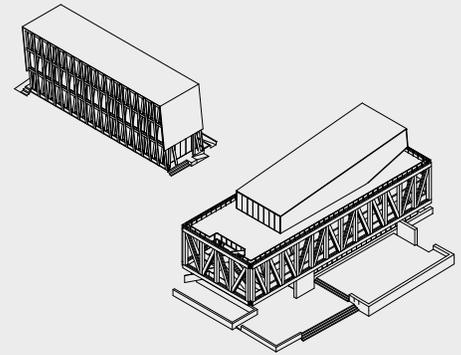


A diferencia de los pilares inclinados al interior de Bip Computers, los pilares dobles de la Escuela de Arquitectura UC, son completamente verticales, pero ambos son soporte estructural estático y dinámico.

En esta labor las fachadas longitudinales colaboran descargando directamente a través de los muros de hormigón al igual que las fachadas longitudinales de BIP Computers. En cuanto a fachadas transversales, solo la Escuela de Arquitectura UC posee elementos diagonales, pero estos se limitan a trabajar resistiendo esfuerzos dinámicos ya que en su condición de voladizo no permite descarga directa a las fundaciones.

El uso de sistemas de arriostramiento en madera en los dos casos escogidos tienen ciertas similitudes con el arriostramiento longitudinal de la primera agrupación, aunque conservando la escala que el material admite. Por otro lado, las fachadas transversales de ambas obras carecen de elementos de descarga directa.

En el siguiente capítulo, se argumentará en conjunto con figuras gráficas como la utilización de diagonales estructurales o sistemas de arriostramiento perimetral entregar soporte resistente a la obra.



Edificio BIP Computers: Forma y rigidez

Arquitecto/Oficina Alberto Mozó

Ubicación Avenida Fransico Bilbao 2296, Providencia, Santiago

Calculo estructural Juan López Ingenieros

Materialidad Madera laminada en pino radiata

Pisos 3 pisos y 1 subterráneos

Superficie construida 623 m²

Año proyecto 2006

Año construcción 2007

Edificio Escuela Arquitectura UC: Marco estructural

Arquitecto/Oficina Gonzalo Claro R.

Ubicación El Comendador 1936, Providencia, Santiago

Calculo estructural Juan Acevedo K. - Enlaces Ingenieros Consultores Ltda.

Materialidad Madera laminada encolada de pino radiata

Pisos 4 pisos y 3 subterráneos

Superficie construida 1.500 m²

Año proyecto 2014

Año construcción 2015

Visualización del muro oculto

En el capítulo anterior se analizaron morfológicamente tres categorías para demostrar cómo a través de distintos principios estructurales, un conjunto de edificios pensados en base a diagonales, normalmente entendidas como sistemas de arriostramiento, son en realidad edificios pensados en base a muros los cuales han sido perforados a tal punto de generar una condición de transparencia.

En este capítulo se demostrará en conjunto con herramientas de cálculo estructural, cómo en los comportamientos de estos perímetros donde pondera la diagonalización, se ocultan los principios resistentes de un muro.

Con la utilización de softwares de cálculo ingenieril (Etabs), ha sido posible simular estructuralmente tres de los siete casos escogidos. Para la simulación estructural se ha escogido por agrupación el caso estructuralmente más desfavorable en cuando al uso de diagonales estructurales en fachada con respecto a la globalidad de la obra. Se busca que las conclusiones tomadas a partir de cada caso sean extrapolables a la sección en conjunto debido a la similitud en sus principios estructurales.

Para cada caso se ha modelado la estructura, según la planimetría estructural correspondiente del proyecto. Posteriormente, a través de un análisis modal, se ha simulado los esfuerzos axiales de cada uno de los elementos estructurales, utilizando el espectro de aceleración definido por la NCh433 correspondiente, según los

años de proyecto de la obra⁵².

Cada edificio ha sido simulado y graficado en tres escenarios. El primer análisis grafica los esfuerzos axiales por acción de sismo en coordenada X, el segundo análisis grafica los esfuerzos axiales por acción de sismo en coordenada Y, y el tercer análisis grafica los esfuerzos axiales según el peso propio y sobre carga.

Los primeros dos análisis corresponden a los esfuerzos que eventualmente trabajan en caso de sismo, es decir, por acción dinámicas. El tercer análisis corresponde a esfuerzos trabajando por acción estática, es decir, que siempre están siendo aplicados por acción de la fuerza de gravedad.

Cada edificio está representado en una vista axonométrica, diagramando con una escala de colores, los esfuerzos axiales de los elementos estructurales de fachada, según los tres escenarios simulados.

52 Años de proyecto indicados en las fichas de cada obra.

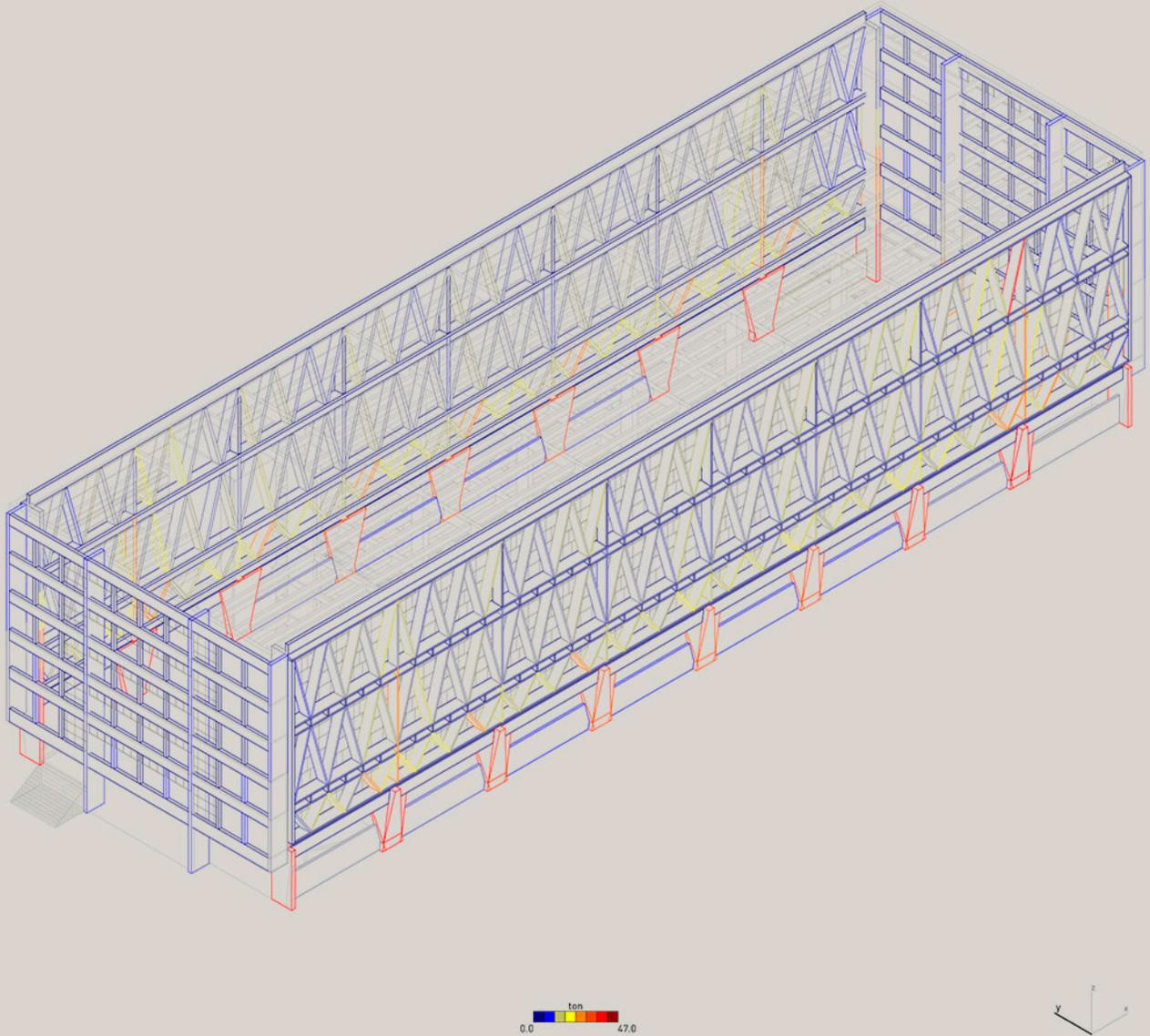


Fig. 76 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas de la Central Clasificadora de Correos, producidos por la acción de sismo en la coordenada "Y", según el espectro definido por la NCh433 Of.72.

Retículas paralelas

El primer caso a analizar corresponde a la Central clasificadora de correos.

En la figura 76 se puede observar la activación de ambas retículas (fachada longitudinal oriente y poniente) de forma muy similar una con otra. Principalmente esto se debe a la simetría del edificio, pero también a que la sección más resistente de dichos elementos está alineada a la coordenada “Y” (indicada en la figura), haciendo que trabajen resistentemente. Esto quiere decir que los elementos diagonales de fachada, se encuentra orientados en el sentido más frágil y corto del edificio (30m de ancho en contraste con los 100m de largo), oponiendo resistencia ante cargas de esta naturaleza.

El esfuerzo axial que oponen los elementos diagonales de las dos retículas, a la acción sísmica en coordenada “Y”, es más bien heterogéneo y de baja magnitud (3-14 ton). Se observa heterogeneidad ya que se visualizan diagonales casi inactivas y otras activas sin un patrón claro. Los 7 apoyos en forma de triángulo truncado, son los que se activan de forma homogénea y resisten grandes magnitudes de cargas (46-29 ton).

A diferencia de los apoyos triangulares, los muros adyacentes son levemente activados por esfuerzos de esta naturaleza, en parte porque su continuidad vertical se ve interrumpida.

Se puede observar que vigas no actúan de forma activa al igual que los pilares de las fachadas transversales, ya que la mayoría de elementos verticales son esbeltos de sección cuadrada o son muros dispuestos en sentido transversal a la coordenada “Y”, es decir, principalmente reciben esfuerzos en sentido de la coordenada “X”.

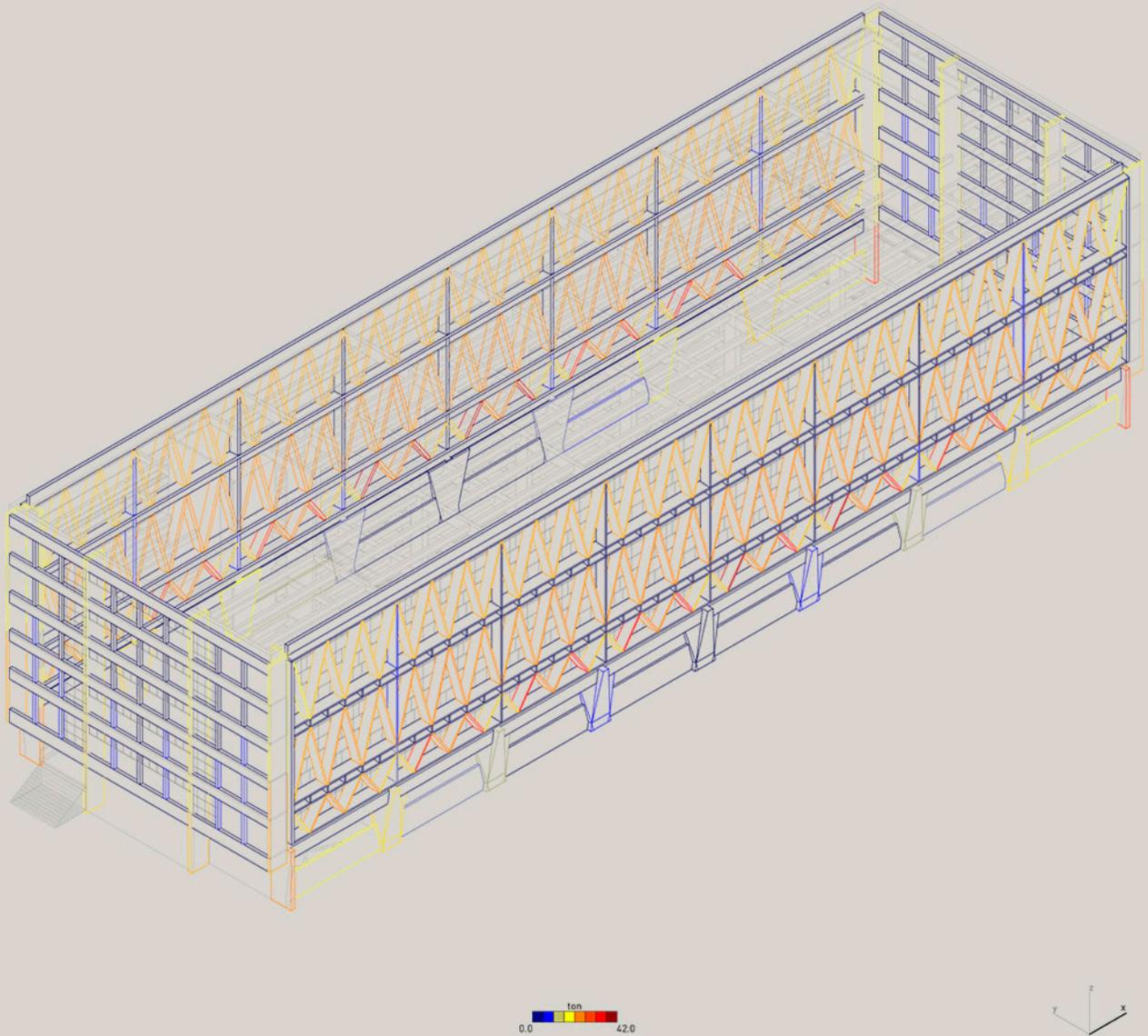


Fig. 77 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas de la Central Clasificadora de Correos, producidos por la acción de sismo en la coordenada "X", según el espectro definido por la NCh433 Of.72.

En el siguiente análisis graficado en la figura 77, se puede observar una activación completamente diferente, en comparación al análisis anterior. En ella los elementos de fachada más activos son las diagonales, ya que su inclinación dentro del plano longitudinal aporta a resistir cargas generadas por acción del sismo en coordenada “X” (indicada en la figura).

A diferencia del análisis anterior de sismo en “Y”, los 7 apoyos triangulares truncados, están heterogéneamente activos, ya que los ubicados en los extremos trabajan a magnitudes mayores de compresión y tracción. Los ubicados en la zona central se aproximan al mínimo de exigencia.

La acción del sismo aplicada en la coordenada “X”, coincide con la geometría longitudinal del edificio. En ese sentido, las fachadas longitudinales funcionan como dos grandes muros recibiendo cargas sísmicas. Del mismo modo, la mayoría de muros que se encuentran en fachadas transversales norte y sur, están orientados en sentido longitudinal, siendo aporte resistente para cargas de esta naturaleza.

Finalmente se puede observar que los elementos viga y pilares de ambas fachadas transversales, trabajan cercanas a la magnitud más baja.

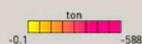
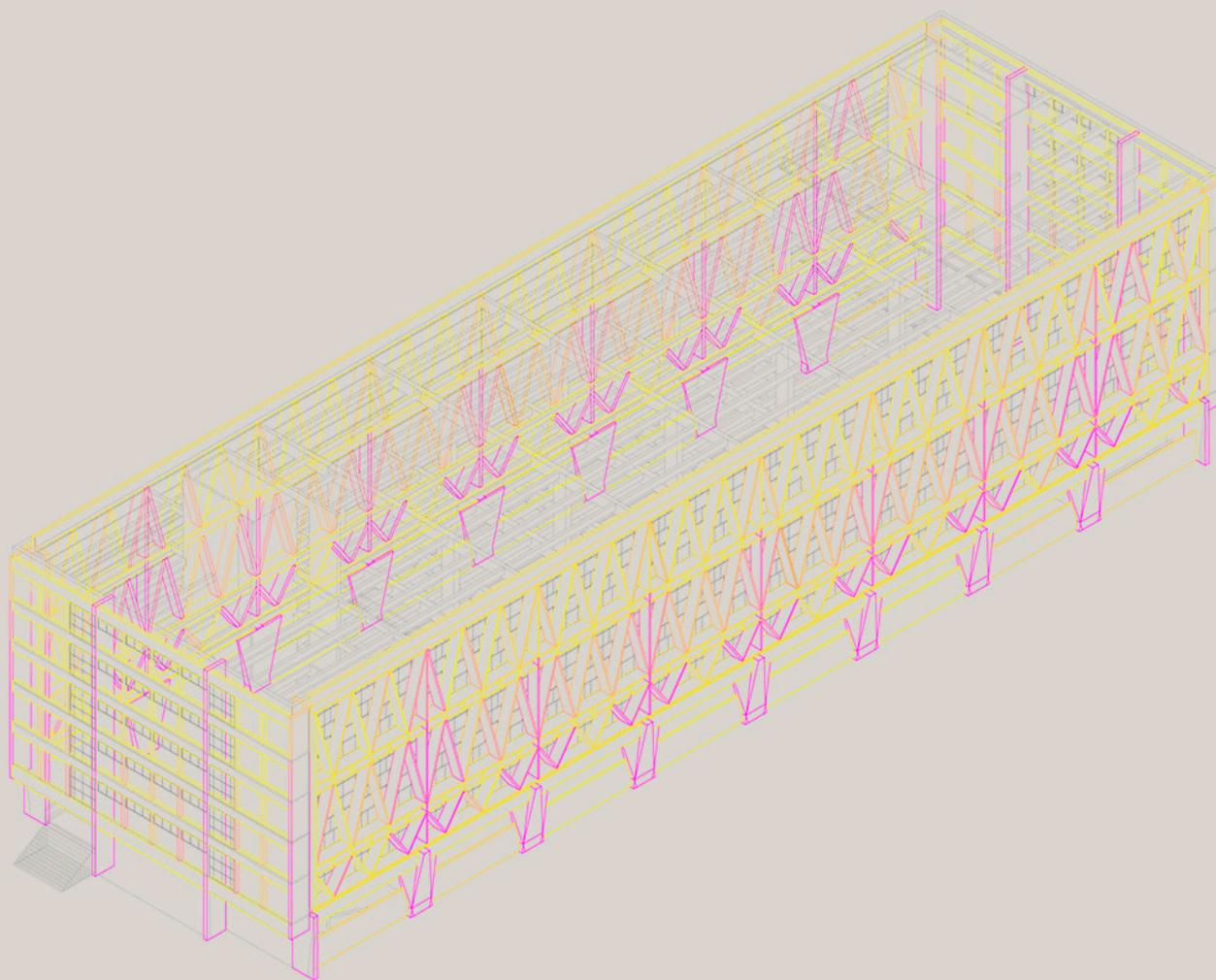


Fig. 78 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas de la Central Clasificadora de Correos, producidos por la acción del peso propio y la sobre carga de uso, según la NCh433 Of.72.

En el análisis final graficado en la figura 78, la activación de ambas retículas (fachada longitudinal oriente y poniente) continúa siendo simétrica una con otra, pero esta vez se lee un patrón o ritmo vinculado a los 7 apoyos triangulares truncados.

Esto ocurre porque los 7 apoyos son las descargas directas desde pisos superiores hacia las fundaciones. Las losas de piso, que son los soportes físicos del programa arquitectónico, se vinculan a los elementos diagonales de fachada a través de vigas en todos los niveles (a excepción de los medios pisos). De este modo, las losas transmiten las sobrecargas de uso hacia los elementos de fachada. De igual manera, los muros en fachadas transversales, norte y sur, trabajan a compresión descargando directamente el peso propio y sobrecargas de uso distribuidos por las losas.

Según lo indicado en las figuras 76, 77 y 78, las retículas paralelas que componen las fachadas longitudinales del edificio, tienen un aporte estructural tanto estático como dinámico. Estático en el sentido que descargan directamente, a través de los apoyos, los pesos producidos por acción de la gravedad y dinámico porque aportan a resistir esfuerzos sísmicos tanto en coordenada “Y” (sentido transversal) como en coordenada “X” (sentido longitudinal).

Tanto la sección de los elementos diagonales como la inclinación de estos, es clave para comprender de qué manera logran ser un aporte estructural ante la acción de sismos. De igual manera, la conexión y unión directa entre las diagonales y los apoyos triangulares, es esencial para lograr un aporte estructural ante la acción de la gravedad.

Lo anterior demuestra cómo el comportamiento estructural de las retículas paralelas de la Central clasificadora de correos se asemejan al comportamiento resistente de un muro perimetral

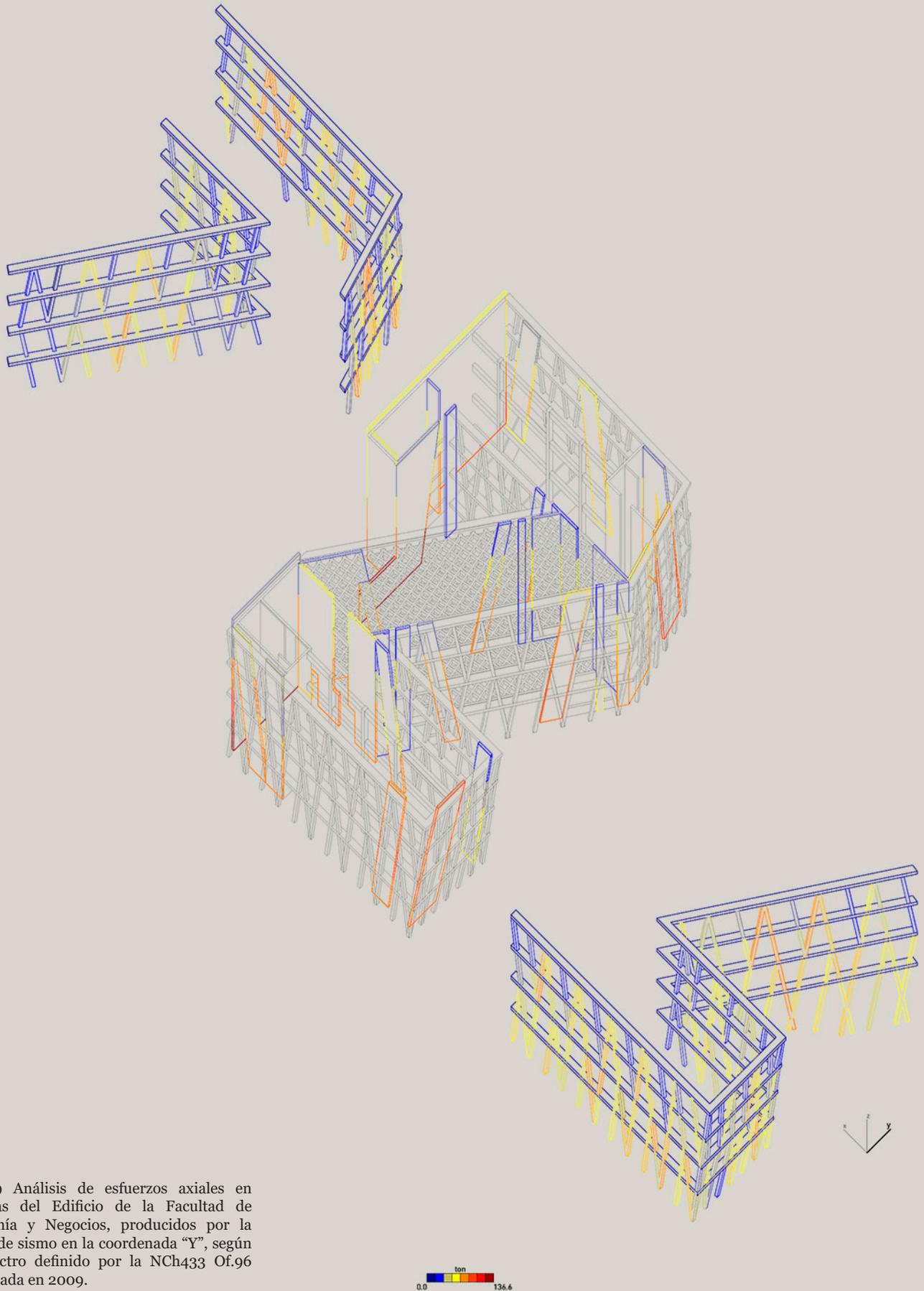


Fig. 79 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas del Edificio de la Facultad de Economía y Negocios, producidos por la acción de sismo en la coordenada “Y”, según el espectro definido por la NCh433 Of.96 modificada en 2009.

Perímetro descascarado

La complejidad del perímetro estructural del Edificio FEN, requiere ser analizada por separado. La cáscara interior de muros y la cáscara exterior de pilares diagonales.

La volumetría general del edificio, puede ser dividida en tres cuerpos principales. Dos cuerpos extremos, paralelos entre ellos, y un cuerpo central diagonal.

La figura 79 grafica los esfuerzos que la acción de un sismo en coordenada “Y” produciría. Según como indica la figura, la coordenada “Y” se orienta perpendicularmente al par de cuerpos paralelos de la volumetría general del edificio. Normalmente, un sismo en una coordenada específica sería resistido por muros alineados con dicha coordenada. La figura muestra que, en este caso, tanto muros paralelos, transversales y diagonales a la coordenada “Y” son activados para resistir dicha acción.

Lo anterior ocurre en este caso, un edificio de planta irregular pero unitaria, porque el movimiento que produce el sismo “Y” genera no solo que el edificio oscile de un lado a otro, sino que también algunas partes de él roten. Esta rotación produce solicitudes estructurales en la mayoría de la cáscara interior de muros.

De igual manera, se activa la mayoría de la cascara exterior de pilares diagonales, pero principalmente en la zona central de cada lado de la cáscara. Esta solicitud heterogénea se produce debido a la carencia de elemento muro en las zonas centrales de cada cuerpo, generando una colaboración entre ambas cáscaras del perímetro estructural.

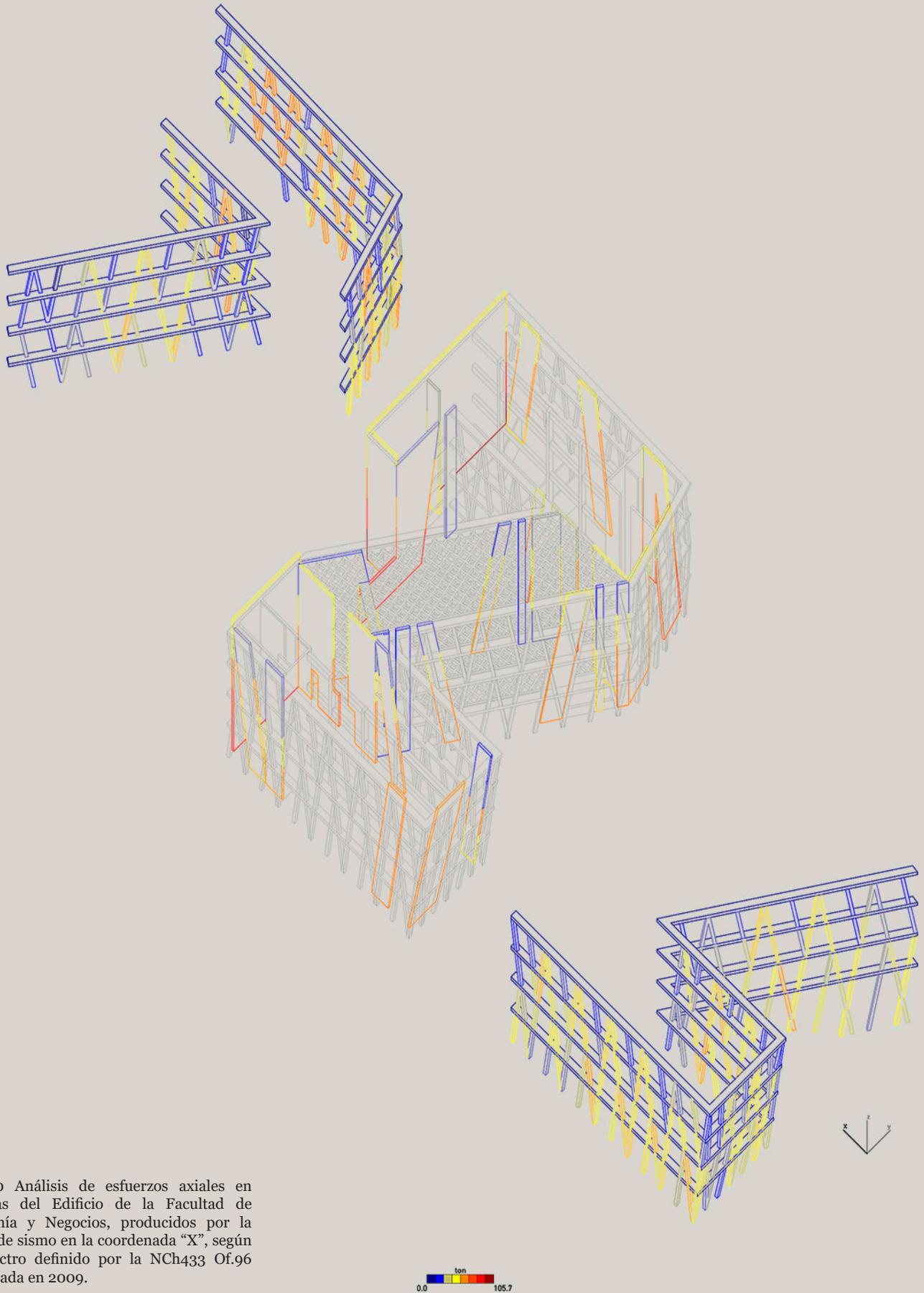


Fig. 80 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas del Edificio de la Facultad de Economía y Negocios, producidos por la acción de sismo en la coordenada "X", según el espectro definido por la NCh433 Of.96 modificada en 2009.

En términos generales el análisis estructural según sismo en “X” graficado en la figura 80, se diferencia levemente del anterior. La fuerza que ejerce el sismo en coordenada “X” solicita con mayor exigencia los muros alineados con esta coordenada. Se puede ver este contraste en muros alineados con la coordenada “X”, entre esta figura y la figura anterior.

En cuando a la cáscara exterior de pilares diagonales, se puede ver mayor exigencia en las fachadas alineadas con la coordenada “X”. En cambio, se puede reconocer menor esfuerzo axial en elementos de fachadas diagonales.

Continuando en la cáscara exterior compuesta por pilares diagonales, al igual que el análisis anterior de sismo en “Y”, se puede reconocer zonas en que la solicitud sísmica es mayor, cuando la presencia de muros es menor, dando cuenta del trabajo colaborativo entre ambas cáscaras del perímetro estructural.

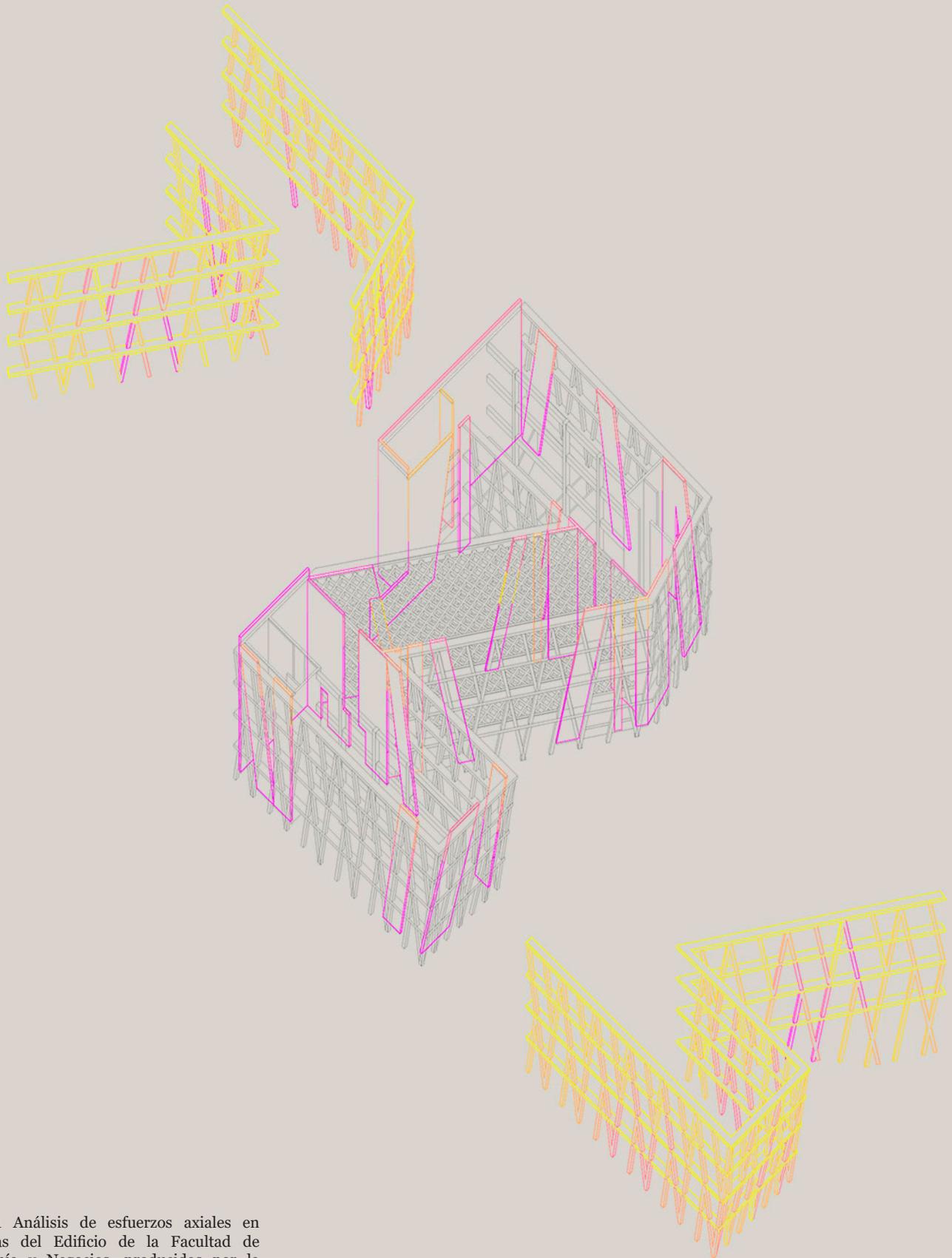
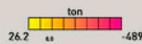


Fig. 81 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas del Edificio de la Facultad de Economía y Negocios, producidos por la acción del peso propio y la sobre carga de uso, según por la NCh433 Of.96 modificada en 2009.



El análisis estructural graficado en la figura 81 muestra claramente el contraste entre los aportes estructurales de una cáscara en comparación con la otra. La cáscara interior de muros es capaz de soportar mayores esfuerzos de carga, debido a la cantidad de material que trabaja a compresión. Al contrario, la cáscara exterior de diagonales soporta cargas estáticas, más bien puntuales.

Nuevamente en este tipo de análisis se visualiza un patrón. En el caso puntual de la cáscara exterior de diagonales, se produce mayor exigencia en las zonas centrales de cada fachada ya que, como vimos anteriormente, existen zonas céntricas donde el muro no existe para dar acceso a luz al interior del edificio.

De esta forma, según lo analizado y descrito por las figuras 79, 80 y 81 se puede concluir que tanto muros y diagonales trabajan en conjunto, configurando un perímetro estructural descascarado. Cuando la cáscara interior se presenta en condición descascarada, la cáscara exterior de pilares la complementa.

Este perímetro estructural es tanto soporte estático como dinámico, ya que resiste cargas producidas por la acción del sismo y cargas por la acción de la gravedad. En este sentido, funcionan en complemento como un muro perimetral sólido y continuo.

También es relevante destacar que la sección cuadrada de las diagonales, es explícita en indicar que ambas coordenadas son igual de resistentes, haciendo que solo por su inclinación estas puedan tomar solicitudes sísmicas en cualquier dirección. En todo caso, la inclinación misma del pilar será más influyente en dicha solicitud que la sección de este.

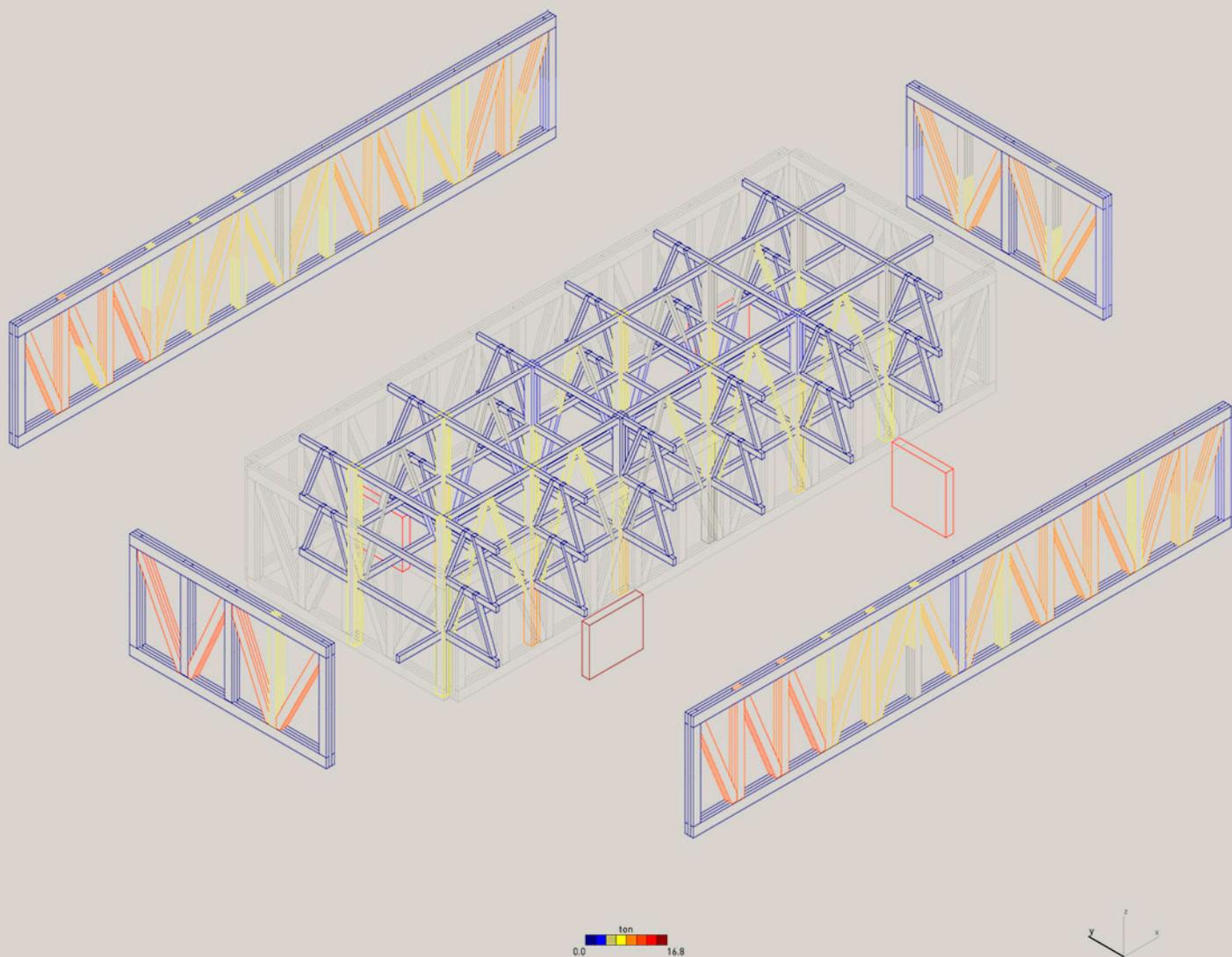


Fig. 82 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas del Edificio de la Escuela de Arquitectura UC, producidos por la acción de sismo en la coordenada "Y", según el espectro definido por la NCh433 Of.96 modificada en 2012.

Marco estructural

Para el caso de la Escuela de Arquitectura de la UC, se ha graficado esfuerzos axiales no solo en los cuatro marcos estructurales de fachada, sino también de pilares y diagonales interiores, al igual que los cuatro muros de apoyo perimetrales. Esto principalmente para poder plasmar el aporte estructural de los elementos diagonales al interior en contraste con las diagonales de fachada. Además, en este caso particular, nos entregará información útil para comparar elementos de similar dimensión, pero diferente disposición, como lo son pilares y diagonales.

En la figura 82 se grafica los esfuerzos producidos por acción del sismo en coordenada “Y” es decir, en la sección transversal y más corta del edificio. En ella los cuatro marcos estructurales de fachada se ven activados, resistiendo a esfuerzos por sismo.

La estructura al interior del edificio, principalmente pilares y diagonales longitudinales, también trabaja para resistir esfuerzos de sismo en “Y”. De forma homogénea los pilares son activados más o menos en la misma magnitud.

Si contrastamos los pilares de la estructura interior con las diagonales de los marcos de fachada, existen elementos diagonales de fachada que cargan con más esfuerzos sísmicos que los pilares, por ejemplo, las diagonales de los marcos cortos.

Finalmente, los muros de apoyo son los elementos más solicitados en análisis de sismo en “Y”. El par de muros alineados con la coordenada “Y” son cargados con 16.1 y 11.5 toneladas y el par de muros alineados con la coordenada “X” son cargados con 16.8 y 11.6. Lo anterior indica que, a pesar de la orientación de los muros estos trabajan de forma similar para el sismo en “Y”.

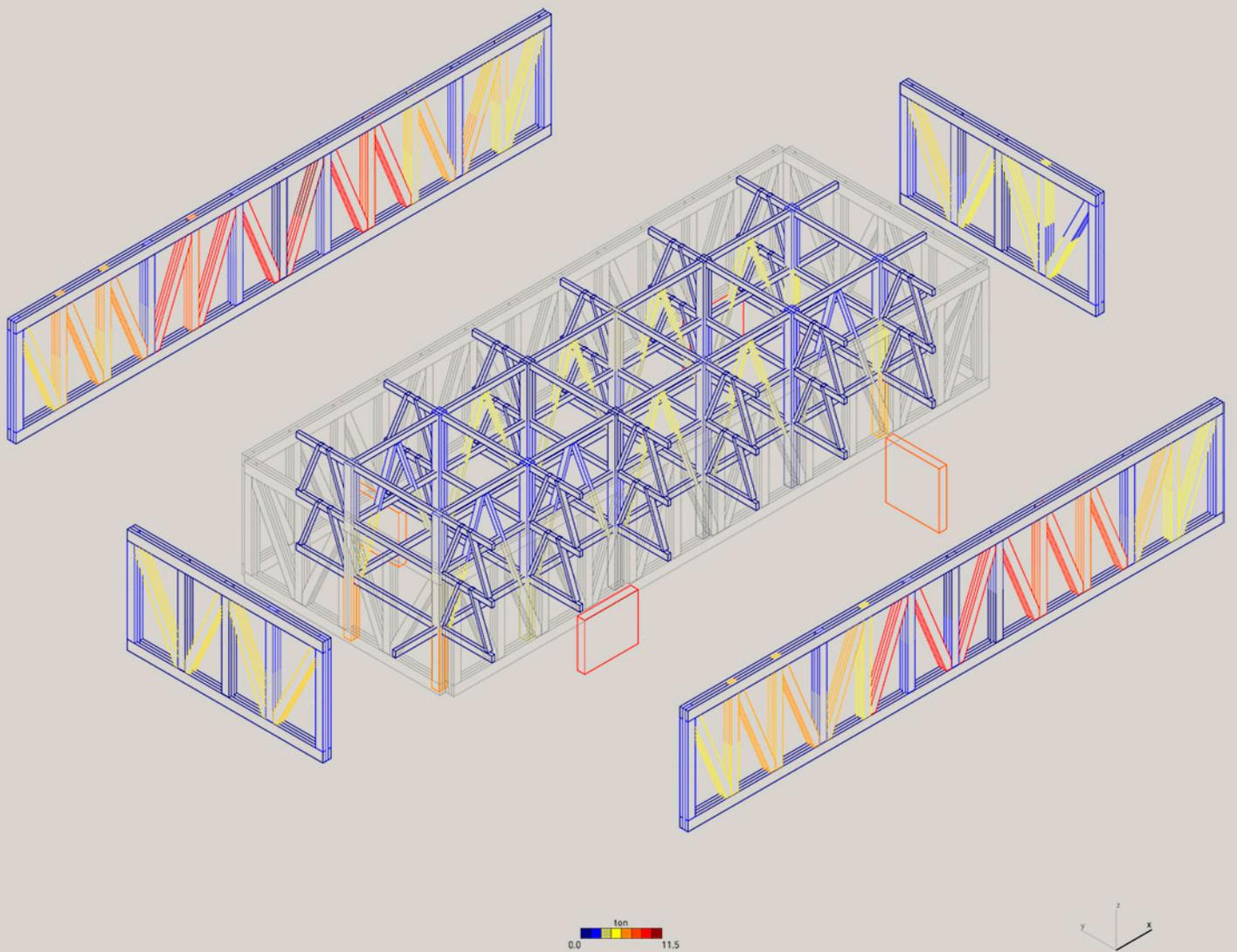


Fig. 83 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas del Edificio de la Escuela de Arquitectura UC, producidos por la acción de sismo en la coordenada "X", según el espectro definido por la NCh433 Of.96 modificada en 2012.

La figura 83 muestra claramente que los marcos estructurales de fachadas longitudinales son las que mayor carga resisten cuando el sismo se aplica en la coordenada "X" es decir, según lo indica la figura, en el sentido longitudinal del edificio. En menor magnitud son solicitadas los marcos cortos de fachadas transversales del edificio.

En cuando a la estructura interior, los pilares son cargados por acción de sismo en "X", aunque de forma heterogénea, exigiendo en mayor magnitud los pilares de los extremos y en menor magnitud los pilares del centro.

De forma indirectamente proporcional, las diagonales longitudinales de la estructura interior son exigidas cuando estas se ubican cercanas al centro y no exigidas cuando se alejan del centro. En este sentido, pilares y diagonales interiores trabajan en colaboración.

Al contrastar las cargas de las diagonales de los marcos estructurales con las cargas de los pilares interiores, existe una mayor solicitud sísmica para diagonales de fachada, resistiendo hasta 12 toneladas en comparación con los pilares, que se encuentran cargados hasta con 5 toneladas.

Finalmente, de los dos pares de muros perimetrales, el par que se dispone en sentido longitudinal o alineado con la coordenada "X" de este análisis sísmico, es levemente más cargado (9.4-9.2 ton) que el par contrario (7.5-7 ton).

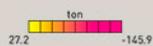
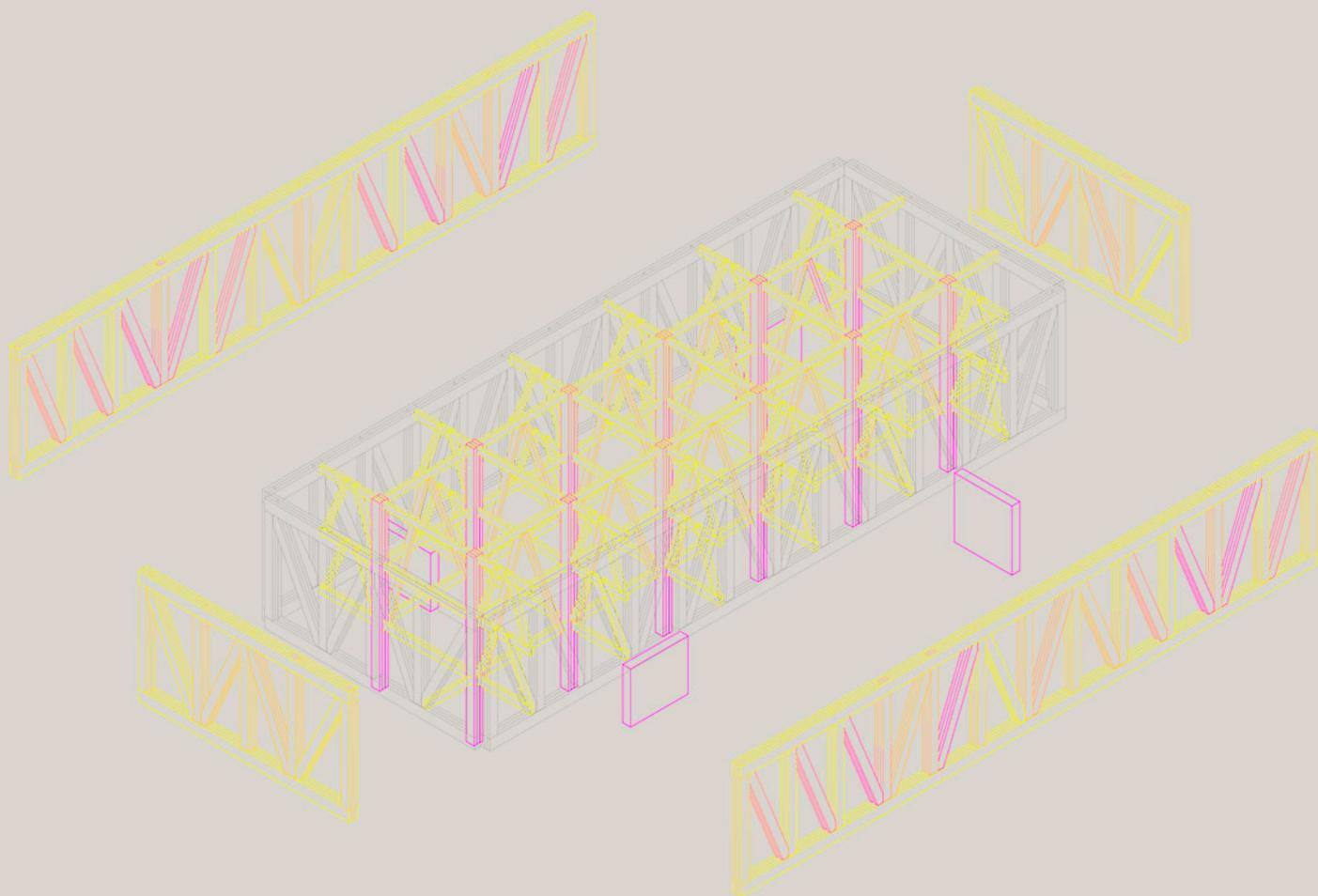


Fig. 84 Análisis de esfuerzos axiales en fachadas del Edificio de la Escuela de Arquitectura UC, producidos por la acción del peso propio y la sobre carga de uso, según por la NCh433 Of.96 modificada en 2012.

En la figura 84 se puede distinguir como algunos de los elementos diagonales de los marcos longitudinales están exigidos, descargando a través de la viga de madera hacia los muros de apoyo. De igual manera lo hace los pilares interiores, de forma homogénea.

En cuanto a los marcos estructurales cortos, estos no están solicitados estructuralmente por acción de cargas estáticas, ya que no se encuentran directamente apoyados a través de elementos verticales que descarguen hacia las fundaciones como lo hacen los cuatro muros de apoyo.

Según lo desarrollado en paralelo y a través de las figuras 82, 83 y 84, las fachadas del edificio de la Escuela de Arquitectura UC, compuestas por cuatro marcos de madera, son soporte estructural ante la acción estática y dinámica.

Haciendo la salvedad de que los marcos estructurales cortos, no trabajan de forma notoria ante la acción de la carga estática, si lo hacen para cargas producidas por la acción sísmica en coordenadas "X" e "Y".

De esta forma, el conjunto de vigas y diagonales integradas en cada una de las cuatro fachada del edificio, se unifican y consolidan en su comportamiento como un gran marco estructural, cuando ante él se presentan solicitudes sísmicas, actuando de manera colaborativa como un muro perimetral.

Conclusiones

A través de esta investigación se ha destacado cómo la arquitectura chilena del siglo XX se ha desarrollado principalmente mediante el uso del muro opaco como opción segura y probada frente a la realidad altamente sísmica del país.

A lo largo del trabajo se han indagado opciones formales alternativas del muro estructural opaco convencional. El muro oculto detrás de una serie de diagonales estructurales ha generado opciones espaciales nuevas en los interiores, generando una relación de transparencia importante entre interior y exterior.

Las obras han sido agrupadas en conjuntos interpretativos específicos para agilizar su entendimiento y generar cruces sobre los aprendizajes entre un caso y el otro. Si bien, en dichas agrupaciones se reconocen principios estructurales en común, cada obra utiliza estrategias de diseño propias ligadas al problema arquitectónico en cuestión.

Ejemplos de lo anterior son el perímetro diagonalizado en el edificio BIP Computers que cumple con las necesidades propias del proyecto, al ser estructuras de armado y desarmado rápida. En el edificio Manantiales el perímetro diagonalizado suple la brecha entre la rigidez de la torre baja y la elasticidad de la torre alta, respondiendo así con las necesidades propias del problema arquitectónico. Finalmente, en la Central Clasificadora de Correos se estructura una planta libre de 100 m. de extensión sin excesos de muros para contribuir al programa arquitectónico de clasificación.

De lo anterior, la hipótesis planteada toma forma y validez al comparar de manera equivalente el muro portante y los sistemas de arriostramiento en fachada, entendiendo que estructuralmente ambos son soporte necesario para la resistencia y solidez de la pieza arquitectónica.

La acción resistente que brindan los elementos diagonales dispuestos en fachada, ha podido ser cuantificada y comprobada cuando en una simulación se han opuesto tanto a fuerzas sísmicas como a fuerzas de gravedad. En tres obras, la condición de muro resistente ha sido reconocida implícitamente en las fachadas arriostradas y ha sido estudiada por medio de un análisis modal, conjugando de esta manera el perímetro arriostrado con el perímetro resistente. El primero, entregando mejoras a las cualidades lumínicas del espacio y el segundo, cuidando la integridad estructural de la obra.

Bibliografía

AGÜERO, GUILLERMO. Efectos del terremoto del 10 de noviembre de 1922 sobre la ciudad de Vallenar y consideraciones sobre su reconstrucción. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, n°2, Santiago, 1923.

AGUIRRE, EDUARDO. Perjuicios del terremoto del 24 de enero último en las construcciones y como pudieron evitarse, Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, n°7, Santiago, 1930.

APARICIO GUIZADO, JESÚS MARÍA. El muro, concepto esencial en el proyecto arquitectónico: la materialización de la idea y la idealización de la materia. Tesis doctoral, E.T.S. Arquitectura, Madrid, 1994.

BARRIENTOS M., MARCO. La arquitectura de los terremotos en Chile (1929-1972). Tesis de Doctorado en Arquitectura y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 2016.

CLARO, GONZALO. Edificio Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile. ARQ 96, 2017.

DEPLAZES, ANDREA. Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures: A Handbook, Birkhäuser, 2018.

FLETCHER, BANISTER. A History of Architecture on the Comparative Method, B.T. Batsford, London, 1905.

FLORES, RODRIGO; ARIAS, SANTIAGO; JENSCHKE, VICTOR y ROSEMBERG, LUIS. Engineering aspects of the earthquake in the Maipo Valley, Chile, in 1958. Proceedings of the 2nd World Conference in Earthquake Engineering, Japan, 1960.

FRAMPTON, KENNETH. Estudios sobre cultura tectónica. Poéticas de la construcción en la arquitectura de los siglos XIX y XX, Madrid, Akal, 1999.

GUEVARA, TERESA. Arquitectura moderna en zonas sísmicas, Barcelona, Gustavo Gili, 2009.

HURTADO, MARCELA; SALAZAR, MANUEL y MUÑOZ, GONZALO. Características constructivas de la arquitectura histórica en la ciudad portuaria de Valparaíso: edificios de albañilería de ladrillo del arquitecto E.O.F. Harrington, Revista de la construcción, vol. 15, n°3, 2016.

IZQUIERDO, LUIS; LEHMANN, ANTONIA; DOMINGO, JOSE y LIRA, RAIMUNDO. Edificio de oficinas en Isidora Goyenechea, ARQ 45 - Ingeniería, 2000.

IZQUIERDO, LUIS. Opinión: La arquitectura para el negocio, ARQ 79 - Ciudad y Negocios, 2011.

IZQUIERDO, LUIS. Máximo requerimientos mínimos medios. Revista D+A, n° 15, 2015.

LUDER, CARL y VASQUEZ, JORGE. Lecciones del sismo del 3 de marzo de 1985, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1988.

MOZÓ, ALBERTO. Portafolio ARQ, BIP Computers, ARQ 71 - Los Andes, Santiago, 2009.

ORTEGA, OSCAR y HERMOSILLA, PATRICIO. Introducción a la edificación en altura en Chile, Revista de Arquitectura n°7, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago, 1996.

PÉREZ OYARZUN, FERNANDO; PÉREZ DE ARCE, RODRIGO y TORRENT, HORACIO. Chilean Modern Architecture since 1950, College Station: Texas A&M University Press, 2010.

PINTO, EDUARDO. Edificios para una planta industrial, Revista del IDIEM, vol. 1, n° 2, 1962.

RODRIGUEZ R., ALFREDO y GAJARDO C., CARLOS. La catástrofe del 16 de agosto de 1906 en la república de Chile, Santiago, 1906.

SAAVEDRA L., ALFREDO. Facultad de economía y negocios de la Universidad de Chile. Revista BIT, n° 85, 2012.

SEMPER, GOTTFRIED. The Four Elements of Architecture and Other Writing, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

SEPULVEDA J., ANDREA. Plan de reconstrucción de Valparaíso 1906-1910: sus ideas urbanas hacia el centenario de la república, Tesis para optar al Grado de Licenciatura en Historia, Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Escuela de Historia, Santiago, 2009.

STEINBRUGGE, KARL y CLOUGH, RAY. Chilean earthquake of May, 1960: A Brief Trip Report. II World Conference on Earthquake, Vol. 1, Session 5, 1960.

TORROJA, EDUARDO. Razón de ser de los tipos de estructurales, Madrid, CSIC, 2010.

VALENZUELA, BERNARDO. Terminación y habilitación edificio “Central Clasificadora de Correos”, Informe de Práctica realizado en la Universidad de Chile. Facultad de arquitectura y urbanismo. Departamento de tecnología y administración de obras. 1980

VALENZUELA SOLIS DE OVANDO, CARLOS. La construcción en Chile, cuatro siglos de historia. Cámara Chilena de la Construcción, Santiago.

VIOLLET-LE-DUC, EUGÈNE EMMANUEL. Discourses on Architecture vol. 1, traducido por Henry Van Brunt, Boston, James R. Osgood, 1875.

VIOLLET-LE-DUC, EUGÈNE EMMANUEL. Lectures on Architecture vol. 2, traducido por Benjamin Bucknall, New York, Dover Publications, 1987.

NORMA CHILENA OFICIAL. NCH433 Of.72, Cálculo Antisísmico de Edificios, Instituto Nacional de la Normalización, Santiago, 1979.

Figuras e imágenes

Fig. 01 Imagen extraída de: Gottfried Semper, *Style in the Technical and Tectonic Arts; Or, Practical Aesthetics*, Los Angeles, Getty Research Institute, 2004.

Fig. 02 Imagen extraída de: Banister Fletcher, *A History of Architecture on the Comparative Method*, London, Batsford, 1905.

Fig. 03 Imagen extraída de: Revista *El Croquis*: Valerio Olgiati 1996-2011, n°156, Madrid, El Croquis Editorial, 2011, pp. 8.

Fig. 04 “House with iron structure with glazed earthenware cladding” Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, 1871. Fuente: Musée d’Orsay, dist, RMN - Grand Palais / Patrice Schmit.

Fig. 05 Imagen extraída de: Estudios sobre cultura tectónica. Poéticas de la construcción en la arquitectura de los siglos XIX y XX, Kenneth Frampton, Madrid, Akal, 1999, pp. 127.

Fig. 06 Imagen extraída de: *La Casa Chilena hasta el siglo XIX*, Eduardo Secchi, Santiago, Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, 1952.

Fig. 07 Imagen extraída de tesis doctoral: *La arquitectura de los terremotos en Chile (1929-1972)* de Marco Barrientos. Redibujo a partir del plano original. Fuente: Archivo Digital Ministerio de Obras Públicas.

Fig. 08 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 09 Línea de tiempo, primera parte. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 10 Línea de tiempo, segunda parte. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 11 Imagen extraída de: Alfredo Rodríguez R. y Carlos Gajardo C., *La Catástrofe del 16 de agosto de 1906 en la República de Chile*, Santiago. 1906, pp. 71-72.

Fig. 12 Imagen extraída de: Guillermo Agüero D., Efectos del terremoto del 10 de noviembre de 1922 sobre la ciudad de Vallenar y consideraciones sobre su reconstrucción. Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, n°2, Santiago, 1923, pp. 104.

Fig. 13 Imagen extraída de: Revista arquitectura y arte decorativa, n°1, Santiago, 1929, pp. 26.

Fig. 14 Imagen extraída de: Sergio Sepúlveda, Maximiliano Astroza, Edgar Kausel, Jaime Campos, Eduardo Casas, Sofia Rebolledo y Ramon Verdugo, New Findings on the 1958 Las Melosas Earthquake Sequence, Central Chile: Implications for Seismic Hazard Related to Shallow Crustal Earthquakes in Subduction Zones, Journal of Earthquake Engineering, 12:3, pp, 440.

Fig. 15 Álbum de fotografías del terremoto de 1960 de Valdivia tomadas por Emilio Held Winkler. Colección de la Biblioteca Nacional de Chile. 1960.

Fig. 16 Imagen extraída de: Teresa Guevara P., Arquitectura moderna en zonas sísmicas. Barcelona, Gustavo Gili, 2009, pp 118.

Fig. 17 Imagen extraída de: Teresa Guevara P., Arquitectura moderna en zonas sísmicas. Barcelona, Gustavo Gili, 2009, pp. 105.

Fig. 18 Imagen extraída de: Fernando Pérez Oyarzun, Rodrigo Pérez de Arce y Horacio Torrent. Chilean Modern Architecture since 1950, College Station: Texas A&M University Press, 2010, pp. 86.

Fig. 19 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 20 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 21 Centro de documentación Sergio Larraín García-Moreno. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile

Fig. 22 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 23 Centro de documentación Sergio Larraín García-Moreno. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile

Fig. 24 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 25 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 26 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 27 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 28 Centro de documentación Sergio Larraín García-Moreno. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile

Fig. 29 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 30 Archivo Departamento de Catastro. Dirección de Obras de Municipalidad de Estación Central.

Fig. 31 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 32 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 33 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 34 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 35 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 36 Archivo Departamento de Catastro. Dirección de Obras de Municipalidad de Estación Central.

Fig. 37 Archivo Departamento de Catastro. Dirección de Obras de Municipalidad de Estación Central.

Fig. 38 Norma Chilena 433 Of. 72, Cálculo Antisísmico de Edificios. Instituto Nacional de Normalización.

Fig. 39 Planimetría de Edificio Manantiales. Recuperada de: <https://www.archdaily.com/342695/flashback-manantiales-building-izquierdo-lehmann-arquitectos>

Fig. 40 Planimetría de Edificio Manantiales. Recuperada de: <https://www.archdaily.com/342695/flashback-manantiales-building-izquierdo-lehmann-arquitectos>

Fig. 41 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 42 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 43 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 44 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 45 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 46 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 47 Imagen extraída de: Edificio de oficinas en Isidora Goyenechea, ARQ 45 Ingeniería, Ediciones ARQ, Santiago 2000.

Fig. 48 Planimetría de Edificio Manantiales. Recuperada de: <https://www.archdaily.com/342695/flashback-manantiales-building-izquierdo-lehmann-arquitectos>

Fig. 49 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 50 Planimetría redibujada a partir de modelo 3d. Fuente: Elaboración Propia.

Fig. 51 Planimetría redibujada a partir de modelo 3d. Fuente: Elaboración Propia.

Fig. 52 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 53 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 54 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 55 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 56 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 57 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 58 Fotografía del Edificio FEN de autor no indicado. Recuperada de: <http://marsino.cl/noticias>

Fig. 59 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 60 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 61 Fotografía construcción de Edificio FEN tomada por Marsino Arquitectos Asociados. Imagen extraída de: Revista BIT, nº 85, 2012, pp. 94.

Fig. 62 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 63 Planimetría del Edificio BIP Computers. Recuperada de: <https://www.archdaily.com/1230/bip-computers-alberto-mozo>

Fig. 64 Planimetría del Edificio BIP Computers. Recuperada de: <https://www.archdaily.com/1230/bip-computers-alberto-mozo>

Fig. 65 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 66 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 67 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 68 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 69 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 70 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 71 Imagen extraída de: Edificio Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, ARQ 96 Instrumentos, Ediciones ARQ, Santiago 2017.

Fig. 72 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 73 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 74 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 75 Fuente: Elaboración propia.

Fig. 76 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 77 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 78 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 79 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 80 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 81 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 82 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 83 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

Fig. 84 Fuente: Elaboración propia según modelo Etabs.

