

SISTEMA MODULAR «LT» PARA LA CONSTRUCCION INDUSTRIALIZADA DE VIVIENDAS

Guillermo Thenoux Z.

RESUMEN: El trabajo presenta el desarrollo de un proyecto integrado de mejoramiento para la construcción de viviendas sociales en donde se considera en forma conjunta los requerimientos del constructor, los requerimientos del usuario y los requerimientos de normativos y legales. El estudio concluye con el desarrollo de un sistema industrializado nuevo, que presenta especiales ventajas para la construcción de viviendas sociales de alta calidad. El sistema constructivo se denominó «LT» debido a que el elemento constructivo más importante del diseño industrializado corresponde a los vértices en planta de las viviendas los cuales adoptan las formas de «L» y «T»

INTRODUCCION

Objetivos

El objetivo del presente trabajo nace de la inquietud de una empresa constructora de viviendas sociales, la cual desea innovar en sus sistemas constructivos tradicionales incorporando técnicas diferentes a las tradicionales. De este modo la empresa espera obtener mayores beneficios que, junto con satisfacer requerimientos de los usuarios, estos beneficios se reflejen en un aumento de la productividad y calidad, y en una disminución de costos y plazos de construcción.

Para el desarrollo de este trabajo se debió realizar un estudio de experiencias nacionales e internacionales sobre sistemas industrializados, con el objeto de extraer ideas y técnicas factibles de incorporar a nivel nacional. También se debió realizar un extenso estudio sobre los requerimientos de las normativas de la vivienda así como los requerimientos del usuario. A su vez, se realizó un estudio al interior de la empresa inmobiliaria y constructora en todos sus niveles de gerencia y técnico para establecer los requerimientos generales más importantes de la empresa de acuerdo con los nuevos objetivos que esta se ha impuesto.

Es así como nace el sistema constructivo «LT» en base a elementos prefabricados con las formas «L» y «T», los cuales conforman la estructura completa de la vivienda. Paralelamente se investigaron diferentes materiales para incorporarlo al sistema constructivo. De este modo se tuvo que incorporar en el presente estudio de desarrollo una investigación paralela de hormigones livianos gelizados de arcilla expandida para producir un material que estuviese de acuerdo con los requerimientos de la investigación.

Industrialización de la Construcción

Todos los esfuerzos que tiendan a mejorar el rendimiento de la construcción de viviendas, bajar los costos y mejorar la calidad, caen dentro de las técnicas que brinda la ingeniería industrial. La industrialización de la construcción es deseable si permite mayor rapidez, economía y mejor empleo de la mano de obra, logrando una calidad uniforme y controlable. La esencia de la industrialización es el producir elementos constructivos con la menor cantidad de mano de obra, preferenciando la utilización de equipos y maquinarias manejados por obreros simplemente especializados y no calificados.

La industrialización requiere racionalizar, mecanizar y automatizar los procesos. En donde lo que se entiende por cada uno de estos términos es:

- Racionalización. Programación de actividades según un orden adecuado y un empleo óptimo de materiales reduciendo pérdidas de tiempo y de materiales.
- Mecanización. Introducir maquinaria para optimizar el empleo de la mano de obra con el objeto de acelerar y uniformar el proceso constructivo.
- Automatización. Mecanización de las labores intelectuales.

A su vez, existen otros conceptos empleados en la industrialización y que se estima necesario desarrollar en forma breve en el presente trabajo:

- Lugar de Trabajo. A menudo se dice que la industrialización es sinónimo de trabajo en fábrica y que el trabajo en obra no puede ser industrial, pero no es el lugar donde se fabrica lo que marca la diferencia, sino la tecnología y la organización que se emplee. No obstante la industrialización puede requerir el trabajo bajo cubierta, porque hay equipos y máquinas que no se podrían instalar al aire libre. Es decir, la técnica industrial puede exigir estar a cubierto, pero no es ello lo que crea la industrialización.
- Producción en Serie. La producción de elementos de construcción en serie por sí sola no es industrialización, pero es una condición necesaria para el empleo de una tecnología industrializada, sobre todo si permite la amortización de los equipos y maquinarias. Tan sólo existe industrialización si ha sido inventada una tecnología mecanizada y una demanda continua del producto que se elabore.
- Optimización de la Producción. La optimización se produce

al estudiar y racionalizar los métodos de producción, reduciendo el tiempo de trabajo y mejorando la productividad a través de mejorar la eficiencia y efectividad de los procesos. La racionalización puede aparecer en la construcción tradicional sin embargo, para la construcción industrializada es una condición necesaria.

- Integración de los Participantes: el proyectista, el calculista y el constructor, se integran para optimizar las actividades y productos de un sistema industrializado. Esta integración supone una continua transmisión de la información en todas las direcciones del diagrama de un proceso y sus participantes.
- Gestión de Calidad: La industrialización debe asegurar la calidad a través del control de procesos empleando técnicas para la prevención de fallas y control de pérdidas que se traducen en producir los productos sin retornos en el proceso y sin fallas la primera vez.

Razones para Industrializar.

Las razones que justifican el paso de la construcción tradicional a la construcción industrializada y en particular de la vivienda social, se deben a problemas relacionados con la cantidad, costo y calidad de la vivienda.

A menudo se cree que la industrialización concierne a los países más ricos y avanzados, debido a que en estos países los mercados son más grandes y la mano de obra especializada es un recurso muy caro y muy protegido por las leyes laborales. Sin embargo, los países en vías de desarrollo pueden no presentar las mismas condiciones pero, se presentan condiciones tales que también justifican la industrialización de la vivienda. Por ejemplo, la cantidad de viviendas en déficit y la necesidad de solucionar este problema social en un plazo no muy largo produce un mercado ideal cuya demanda por viviendas es sólo un problema de tiempo. A su vez, si se pretende resolver el problema a través de los sistemas constructivos tradicionales, se requerirá del empleo de una cantidad de mano de obra artesanal que está lejos de existir o de poder ser capacitada.

Otra de las razones que justifica el paso de la construcción tradicional a la construcción industrializada se debe al interés por lograr bajar los costos de producción de las viviendas sin afectar la calidad. Entre las fuentes más importantes de costos de la construcción tradicional está, la mala calidad y trabajo rehecho, bajo rendimiento de la mano de obra, mano de obra principalmente artesanal, pérdida y mala utilización de materiales, sub-utilización de recursos tecnológicos y otros.

Otra razón más y que ya ha sido mencionada es el problema de la calidad. El concepto de la calidad ha ido evolucionando a lo largo del tiempo y está cada día más internalizado en el consumidor y no solo considera la calidad de los materiales de construcción sino que además le preocupan problemas tales como el problema térmico, aislación acústica, condensaciones, conservación y durabilidad de la vivienda, habitabilidad, etc. Es demostrable que la calidad de la vivienda en Chile no satisface los requerimientos del usuario y esto se extiende no solo a la

vivienda social sino que a la vivienda más cara.

Condiciones de la Industrialización

A continuación se mencionan algunas condiciones que son necesarias para que se produzca la industrialización de la construcción, así como los frenos y limitaciones a que se ve expuesta y que interfieren en su correcto desarrollo.

- *Objetivos claros para la innovación tecnológica:*

Las empresas que emplean sistemas artesanales de construcción en general no han evaluado y cuantificado sistemáticamente su buena o mala experiencia y por lo tanto, no se encuentran en condiciones de introducir mejoras tecnológicas pues no les es posible estimar verdaderamente sus beneficios y tampoco poseen una estrategia clara para implementar e incorporar tecnología nueva.

- *La industrialización debe ser económicamente viable:* Para que ocurra la industrialización de la construcción es necesario no sólo que técnicamente se cuente con un sistema industrializable, sino que desde el punto de vista económico, éste sea competitivo. Por esto, el freno más importante a la innovación es la dificultad de desarrollar soluciones nuevas que sean económicamente viables para su implementación en el corto plazo.

- *Reglamentación y Estandarización:* En algunas situaciones las reglamentaciones limitan en parte el desarrollo de nuevos sistemas constructivos, en especial en países sísmicos como el nuestro, en donde las normativas tienden a ser más estrictas respecto del diseño sísmico. Sin embargo, la construcción industrializada puede dar las mismas garantías sísmicas que cualquier otro tipo de construcción.

- *Estandarización:* La estandarización puede llegar a ser otra limitante en el desarrollo de sistemas constructivos industrializados. Esto, debido a que los sistemas industrializados para la construcción de viviendas deben ser lo más abierto posible es decir, deben incorporar la mayor cantidad de elementos constructivos preexistentes en el mercado pero a su vez deben tener la posibilidad de optar entre diferentes modelos y marcas los cuales, deberían cumplir una cierta estandarización.

Clasificación de los Modos de Construcción.

La Figura 1, presenta una clasificación general de los distintos modos de construcción, distinguiendo dos grupos principales: construcción artesanal y construcción industrializada.

Se observa en la Figura 1, que se pueden introducir elementos prefabricados en la construcción artesanal pero esto, no necesariamente constituye industrialización, debido a que en la construcción artesanal se podría prescindir de estos y no alterar en absoluto el método constructivo.

La construcción industrializada dependiendo de donde se realiza se clasifica en industrialización en obra (in situ) e industrialización en fábrica. Dentro de estos dos

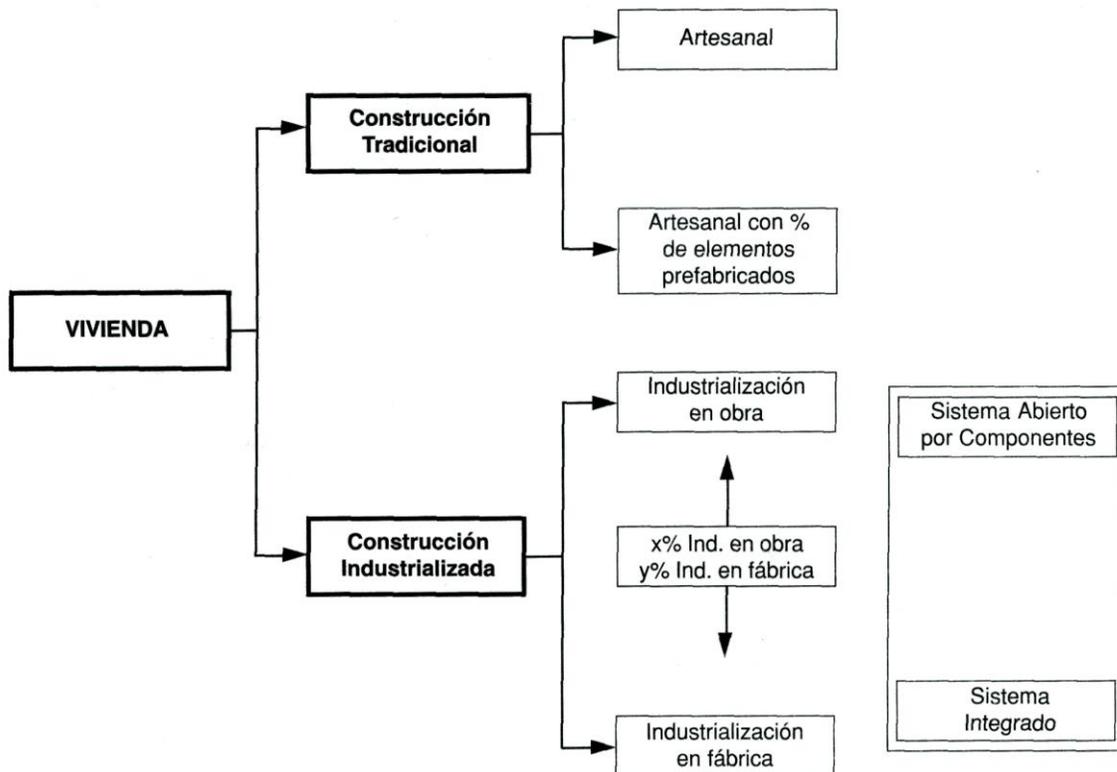


Figura 1. Construcción Tradicional y Construcción Industrializada

extremos existen situaciones intermedias en donde un porcentaje de la obra puede ser industrializada in situ y otro porcentaje en terreno. La variación de estos porcentajes dependen en gran medida del tipo de material que se emplee en la construcción y del grado de tecnificación que se pueda introducir in-situ en comparación a la industria.

La industrialización en fábrica o en obra se puede clasificar como:

a) Industrialización Abierta: La industrialización abierta emplea componentes y partes prefabricadas estandarizadas y que se comercializan abiertamente en el mercado. En este caso la construcción de las viviendas incorporan un porcentaje alto de elementos constructivos que existen en el mercado pero, el esqueleto de la construcción corresponde al sistema constructivo industrializado propiamente tal.

b) Industrialización Integrada: Los sistemas integrados de industrialización se caracterizan por que sus diseños restringen el empleo de partes y elementos existentes en el mercado y más bien resuelven el problema constructivo como un todo, lo que obliga a incorporar en la manufactura la construcción de variados elementos especiales de construcción y terminación que no son habituales en el mercado. Este es el

caso hoy de algunos sistemas constructivos de viviendas de plásticos y fibras.

ESTUDIO DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA VIVIENDA SOCIAL

Se han estudiado los requerimientos de la vivienda social, enfocados tanto desde el punto de vista de la empresa constructora, así como, desde el punto de vista de los usuarios, de manera de lograr una compatibilidad de requerimientos y optimizar simultáneamente una mayor cantidad de variables relacionadas a la calidad, productividad y costo. También se han estudiado los requerimientos relacionados a las normativas nacionales los cuales no se transcriben en el presente texto para no extender más su contenido.

Análisis de los Requerimientos de la Vivienda Social desde el punto de vista de la Empresa Constructora

En esta sección se presentan la estrategia y los requerimientos establecidos por la empresa constructora que auspicia la investigación, para lograr liderar y establecer una

fuerte posición competitiva en el mercado de viviendas socioeconómicas medios-bajos. Los principales objetivos que se desean alcanzar para satisfacer las necesidades delineadas por la empresa son: mejorar la productividad, reducir los plazos, reducir los costos de construcción y mejorar la calidad.

Para alcanzar los objetivos expuestos y proponer soluciones que tiendan a satisfacerlos, se analizaron en una primera etapa una serie de conceptos e ideas relacionados con los objetivos generales de la industria de la construcción. Este análisis se realizó a la luz de un diagnóstico previo realizado a la empresa constructora que propiciaba la investigación. Entre los conceptos analizados se destacan los siguientes:

Productividad.

La productividad y su mejoramiento permanente es uno de los objetivos principales fijados por la administración de la empresa. Esto se propone lograr a través de una mayor eficiencia y eficacia en los procesos. Considerando que los principales recursos empleados en los proyectos de construcción son: los materiales, la mano de obra y las maquinarias, es importante entonces analizar cada uno de estos por separado;

a) Productividad de los Materiales: La construcción de viviendas tradicionales emplea una amplia diversidad de materiales y en relativo poco volumen por unidad de vivienda. Esto, produce un sin número de desventajas en la productividad; se deben emplear muchas especialidades de mano de obra, se requiere de una administración muy eficiente de abastecimiento, almacenamiento y manejo de materiales, se requiere de acabados proyectos de arquitectura e ingeniería para compatibilizar el comportamiento de los diferentes materiales tanto durante la construcción como en operación o servicio. Para esto, se busca entonces un sistema constructivo que emplee un mismo material en todos sus elementos más importantes de estructura y construcción de terminaciones.

b) Productividad de la Mano de Obra: Se desea reducir la dependencia del maestro artesano y también se desea buscar la permanencia y ascenso del obrero dentro de la empresa. Para esto se busca un sistema constructivo que permita emplear un obrero capacitado pero, no necesariamente especializado.

c) Productividad de la Maquinaria: Este factor es importante en la medida en que se utilicen sistemas constructivos que se apoyen considerablemente en este recurso. En el caso de la construcción de viviendas que actualmente realiza la empresa, los equipos no son de gran importancia, debido a lo tradicional de las construcciones. Sin embargo, una vez que se incorpore un cierto nivel de industrialización, este factor tomará mayor importancia y se debe tener en consideración para la correcta amortización y administración de los equipos. Se desea incorporar los conceptos de constructabilidad en los procesos para adoptar en forma óptima equipos y tecnologías modernas.

Existen muchos otros factores que afectan a la productividad en la construcción, los cuales también han sido considerados en el estudio de modo de aminorar sus efectos. A saber:

- Diseños muy complejos
- Errores y omisiones en planos y especificaciones
- Muchas modificaciones durante la ejecución del proyecto
- Sobre-tiempo programado
- Exceso de tiempo en la toma de decisiones
- Mucha rotación del personal.
- Mucho ausentismo de trabajadores
- Alta tasa de accidentes en el trabajo
- Administración ineficiente en obra y oficina central
- Relación con los proveedores
- Temperatura o clima adverso
- Otros

Planificación de Operaciones de Construcción.

Se desea incorporar mayor planificación de corto y mediano plazo. Se desean incorporar herramientas de planificación de proyecto y planificación, seguimiento y control de operaciones.

El Factor Humano en la Construcción.

Se considera el factor humano, como el elemento más importante de una obra o proyecto. Se desea incorporar al personal, en el desarrollo de proyectos de mejoramiento continuo.

Entre las principales medidas a considerar al momento de diseñar e implementar el programa de mejoramiento se tiene:

- Considerar las habilidades individuales de cada trabajador.
- Cuantificar e informar al trabajador sobre su desempeño para entregarle incentivos justos y que sean bien valorados por el trabajador.
- Otorgar más responsabilidad en una porción significativa de su trabajo.
- Capacitación y educación permanente.
- Proveer un ambiente de trabajo ordenado y seguro.

Mejoramiento Continuo de la Calidad.

La calidad se logra principalmente a través de un firme compromiso de la gerencia, el cual debe ser de tal intensidad, que permita cambiar aquellos aspectos que dificultan el logro de los objetivos de calidad, sin tener que competir con objetivos de corto plazo.

La calidad en la construcción se ve influenciada por las características de segregación que existe entre el proyecto, construcción y operación de una obra. La calidad luego se ve afectada por una serie de factores individuales que actuando en conjunto se potencian unos con otros. La empresa establecerá una política y programa de calidad para no hacer

fracasar la iniciativa y compromiso de mejoramiento permanente de la calidad.

Análisis de los Requerimientos de la Vivienda Social desde el Punto de Vista del Usuario.

En esta parte del capítulo corresponde hacer un análisis de la vivienda social enfocado hacia los objetivos que son importantes para los usuarios, es decir, las necesidades y exigencias de los usuarios relacionados a obtener una vivienda que les otorgue las condiciones necesarias para satisfacer sus expectativas habitacionales. Este enfoque permitirá entregar las características que debe tener la vivienda social de modo de poder contrastar los requerimientos del usuario, con las acciones que debe tomar la empresa constructora para cumplir con estos requerimientos dentro de su marco de restricciones.

Toda vivienda de interés social debe ser económica, única forma de que pueda resultar accesible desde los estratos sociales de medianos o bajos ingresos. Esta economía debe ser producto de un «diseño depurado» y de una «técnica de construcción avanzada». Cuando una de dichas condiciones no se cumple, tiende a buscarse la economía en desmedro de la calidad, lo cual es inaceptable. Dicho en otra forma, vivienda económica no puede ser sinónimo de vivienda de mala calidad, ya que el efecto de la baja calidad es la corta duración de la vivienda.

De acuerdo al «Documento Ponencias II Jornada de Vivienda Social» (Pfenninger 1991), las investigaciones realizadas por el «Servicio Nacional del Consumidor» (Sernac) y la supervisión del arquitecto José Pedro Campos, los requerimientos básicos para los usuarios de la vivienda social dicen relación principalmente con el cumplimiento de los siguientes puntos:

a) Seguridad: El tema de la seguridad se refiere principalmente a la estabilidad de la estructura frente a sismos. Además se considera la seguridad contra incendios y contra el uso sin riesgos, de instalaciones de gas, eléctricas, sanitarias y otras.

b) Habitabilidad: La habitabilidad de una vivienda es una de las necesidades más importantes para los usuarios, que requieren de una vivienda que les proporcione un espacio vital de funciones múltiples. Los factores que determinan una buena o mala habitabilidad son los siguientes: aislación térmica, aislación acústica, impermeabilidad, humedad, condensación, etc. Estos factores tienen una relación directa con el tipo de materiales empleados en la construcción de las viviendas y con el diseño arquitectónico que involucra aspectos tales como dimensiones de los recintos, iluminación y ventilación.

c) Durabilidad: La durabilidad de la vivienda se puede definir entonces como, «el tiempo en que la vivienda puede permanecer sin manifestar deterioro apreciable». Para obtener la durabilidad necesaria de una vivienda se debe considerar el objetivo por el cual fue creada, así, la durabilidad de una

vivienda de emergencia es distinta a la durabilidad de una vivienda definitiva. La estimación de la vida útil probable de viviendas construidas con diferentes materiales y métodos constructivos está aún muy poco documentada pero, se sabe que está estrechamente relacionada con los materiales que se empleen y la calidad del mantenimiento que le preste el usuario. Es importante señalar que el usuario nacional destina muy pocos recursos a la conservación de su vivienda en comparación a otros países más desarrollados (6 a 7 veces menos).

d) Belleza: Dentro de este concepto se incluye no solo la belleza estética de la vivienda si no que la armonía del conjunto de viviendas y la presencia propiamente tal de la casa en el conjunto. Es decir, la vivienda debe constituir un marco espacial donde el morador se sienta protegido, individualizado e integrado armónicamente a su medio o vecindario. Junto al diseño externo se debe procurar un nivel de terminaciones que le proporcione el mayor grado de habitabilidad.

En el diseño se debe considerar también, la capacidad y/o limitaciones que pueda tener el usuario para preservar la armonía del conjunto una vez que éste haga uso de su vivienda y le introduzca algunas modificaciones en ella. Es importante señalar que el usuario en el primer análisis en la selección de una vivienda social, no se preocupa mayormente de que la vivienda presente buenas propiedades internas, sino más bien, se preocupa que la vivienda aparente ser «sólida» y que presente una buena calidad exterior, es decir, que la vivienda al ser observada visualmente le proporcione una sensación de solidez y agrado de vivir en ella.

e) Progresividad: El concepto progresividad es muy importante para los usuarios en general y particularmente al usuario de la vivienda social, que con el transcurso de tiempo ven aumentar sus familias y requieren de mayores espacios para vivir en mejores condiciones. El criterio de la vivienda definitiva pero progresiva, se basa en el hecho que el usuario, no puede asumir los costos totales de una vivienda mayor en un principio y/o que la vivienda será ocupada por una familia en proceso de crecimiento. En ambos casos se asume que el usuario por uno u otro motivo requerirá ampliar su vivienda en la medida que sus recursos lo permitan o de acuerdo a las necesidades futuras de espacio. Para lograr incorporar este concepto se recomienda que el diseño de la vivienda otorgue al usuario las facilidades para futuras remodelaciones, de manera que se cumplan requerimientos tales como:

- Usar diseños de ampliaciones que sean obvias y rápidas de ejecutar.
- No alterar o poner en peligro la estructura de la vivienda.
- Prediseñar las instalaciones para minimizar futuras modificaciones.
- Crecer en forma armónica y estética, en relación a la distribución de los diferentes espacios de la vivienda.
- No alterar significativamente la fachada arquitectónica original.

- Poder ampliar con materiales compatibles a los existentes.

Nota: Junto con lo anterior se debiera dar una pauta a los moradores de las viviendas en donde quede claro todas las características de las futuras ampliaciones.

Compatibilización de Objetivos y Determinación de las Características Deseadas para el Nuevo Sistema.

Se realizó un análisis destinado a compatibilizar los objetivos requeridos por la empresa constructora, los objetivos requeridos por los usuarios y los requerimientos establecidos por las normativas.

La empresa constructora pretende por medio de la implementación, del nuevo sistema constructivo industrializado por componentes, aumentar su productividad y calidad, disminuir los plazos de construcción y disminuir sus costos de construcción de viviendas sociales. Los usuarios o futuros moradores de las viviendas, las variables relevantes y sobre las que debiera actuar la empresa constructora, para satisfacer sus objetivos y requerimientos son las siguientes: habitabilidad, seguridad, durabilidad, belleza, progresividad.

En resumen, se tiene un sistema simplificado de cuatro variables relevantes para la empresa constructora y de cinco variables relevantes para el usuario. Se deberá actuar sobre estas variables de manera de optimizar el producto final, es decir, la vivienda terminada. Se deberá tener cuidado en actuar sobre cada variable en particular tratando de optimizarla, ya que en general, al optimizar una variable se produce un impacto en otras variables que puede ser negativo. Debido a esto, se deberá optimizar el conjunto de las nueve variables, de modo de minimizar el impacto relativo que tiene una sobre las otras, determinando si este impacto es positivo o negativo.

Características Deseadas para el Nuevo Sistema.

A continuación, se resumen las características que se definieron para el nuevo sistema constructivo, con el objeto de satisfacer de la mejor forma tanto las necesidades de la empresa constructora como las necesidades de los usuarios. Estas características son:

- Industrialización de la obra gruesa. El nuevo sistema debe ser tal de permitir industrializar la obra gruesa por medio de la estandarización y la prefabricación en planta de los elementos componentes de la estructura resistente de la vivienda.
- Sistema industrializado abierto por componentes, es decir, la industrialización se basa fundamentalmente en el empleo de piezas prefabricadas existentes en el mercado.
- Simplicidad en el diseño, es decir, la utilización de pocos elementos prefabricados diferentes.
- Rapidez en el montaje.
- Concepto de vivienda progresiva. Las ampliaciones deben ser obvias, de fácil ejecución y que no pongan en peligro la

estructura o la armonía de la vivienda.

- Materiales con buenas propiedades mecánicas, como ser: resistencia mecánica y resistencia al fuego, buena aislación térmica y acústica.
- Utilizar la menor cantidad de materiales diferentes.
- Apariencia de «solidez», lo que se logra con un material que proporcione esta característica y con espesores de los elementos sobre los 8 cm. de hormigón de arcilla expandida gelizado.

DESARROLLO DEL SISTEMA «LT».

Descripción, Fundamentos de Diseño y Ventajas del Sistema «LT».

Descripción.

El desarrollo del concepto constructivo «LT» se llevó a cabo en el transcurso de la presente investigación. Los ejecutivos de la empresa constructora estimaron que, más conveniente que adaptar algunos de los sistemas constructivos revisados en el estudio anterior, resultaba mejor desarrollar uno propio, rescatando los principales conceptos y técnicas que a criterio de éstos, podrían resultar exitosas en esta experiencia.

El sistema constructivo «LT» está compuesto por elementos «L», que conforman las formas «L» y «T» en todos los encuentros de muros de la vivienda. De este modo, el elemento constitutivo principal del sistema constructivo es el elemento «L», el cual en el caso particular de la presente investigación, se proyectó con el uso de hormigón liviano gelizado en base a arcilla expandida y/o combinación de arcilla expandida con arena de río o ceniza volante.

El hormigón empleado en el modelo que posteriormente se construyera, fue desarrollado durante la misma investigación. Debido a que comercialmente no existía el material óptimo deseado para la construcción de los componentes del sistema «LT», se realizó una investigación paralela que llevo al desarrollo de un material que presenta excelentes propiedades de resistencia mecánica, aislación térmica, impermeabilidad, apariencia y resistencia al fuego según se presenta en la sección «Estudio de Materiales». Este material corresponde a un hormigón de arcilla expandida combinado con arena de río o cenizas volantes el cual es preparado con aditivos gelizante que le otorgan propiedades excelentes para el propósito de la investigación y desarrollo del presente sistema industrializado.

En la Figura 2 muestra una planta típica de una vivienda chilena. A esta planta típica se le asimila, a modo de ejemplo, el concepto «LT» para demostrar la facilidad con que pueden ser incorporadas las formas «L» y «T» en la configuración de diversos tipos de plantas arquitectónicas utilizadas en Chile. Sin embargo, cabe hacer notar que la idea detrás de este sistema es configurar la planta arquitectónica de la vivienda considerando desde el inicio del proyecto, la utilización de elementos «L» y «T», y no asimilar los elementos prefabricados a una configuración arquitectónica que no ha tenido en consideración el uso del

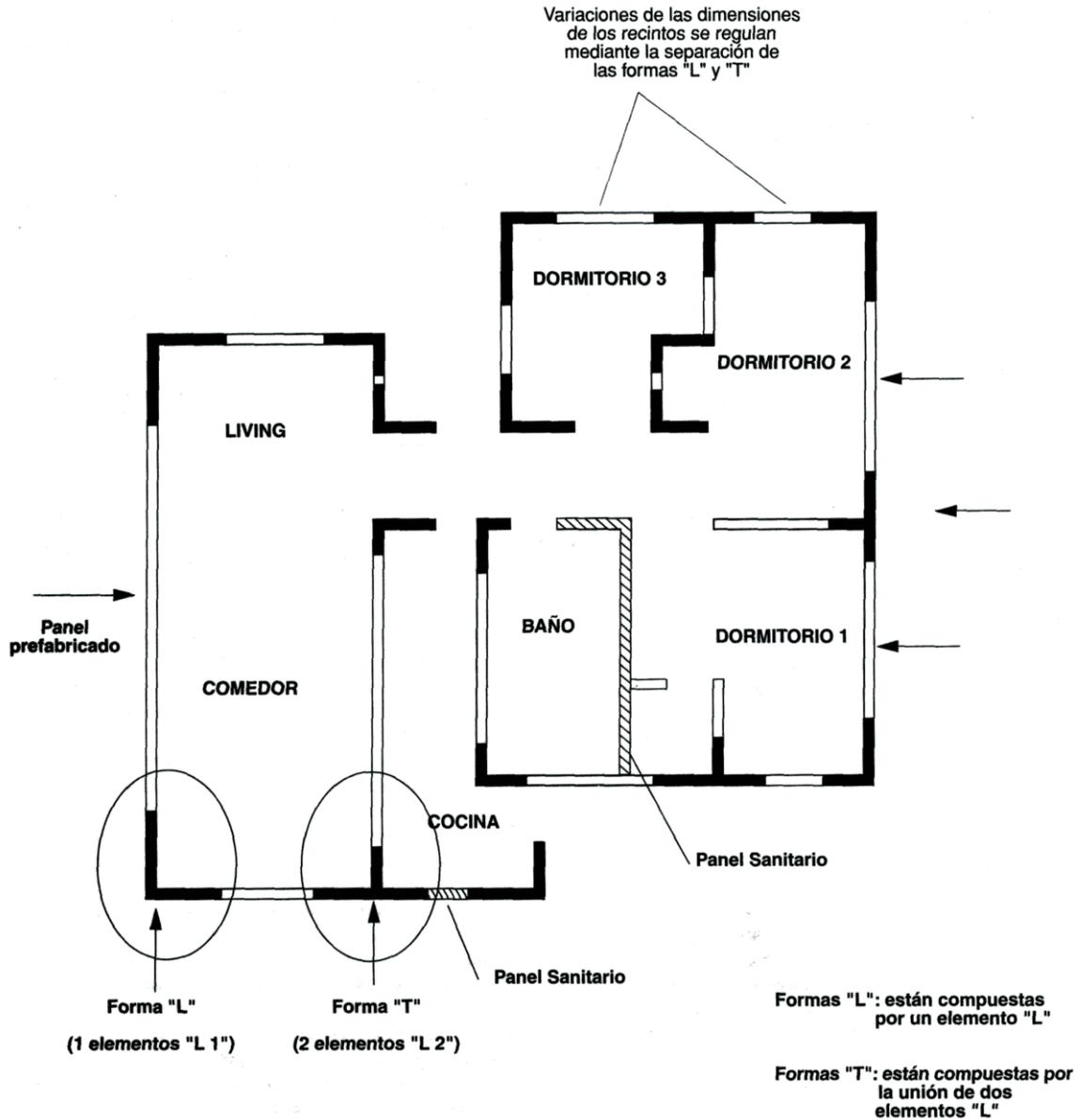


Figura 2. Aplicación Sistema "LT" en una Planta Típica de una Vivienda Chilena

sistema «LT» en su concepción inicial.

La Figura 3, muestra en perspectiva un elemento «L» típico, este elemento puede ser hormigonado verticalmente en dimensiones estándar y también en dimensiones especiales, sin mayores modificaciones de los moldajes utilizados en su etapa de fabricación. Los elementos prefabricados pueden ser variados en su altura espesor y dimensiones transversales fácilmente en su etapa de fabricación. La Figura 3b, muestra

las diferentes secciones de los elementos «L» que se puede concebir para el desarrollo del sistema «LT», lo que demuestra la flexibilidad del sistema.

Características del Sistema «LT».

El sistema tiene su origen en un estudio realizado por el autor en 1991. Este estudio consistió en investigar la

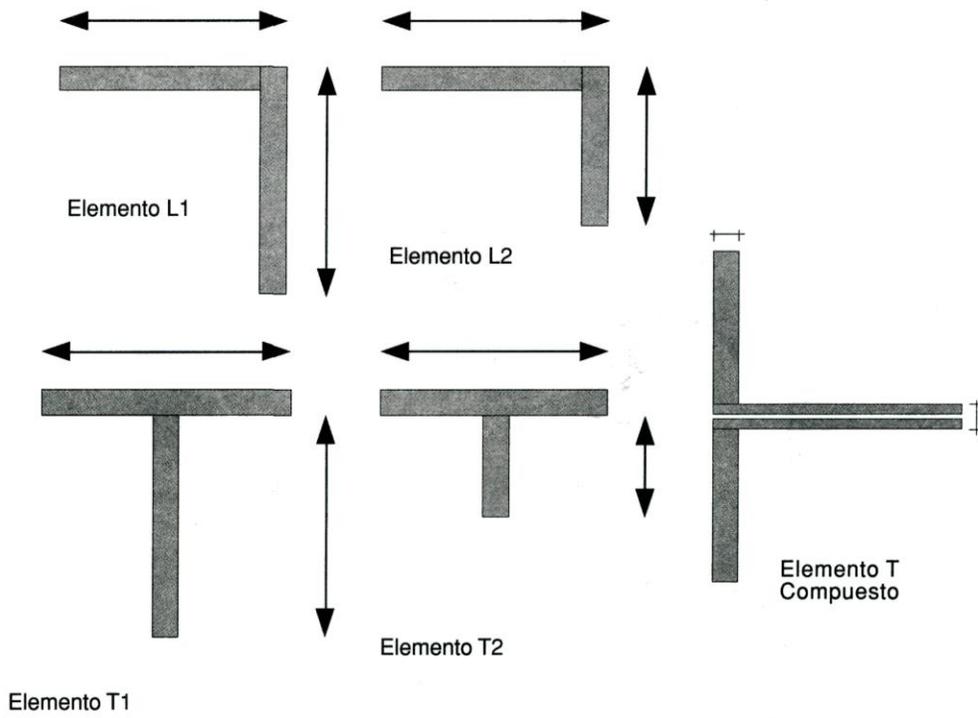
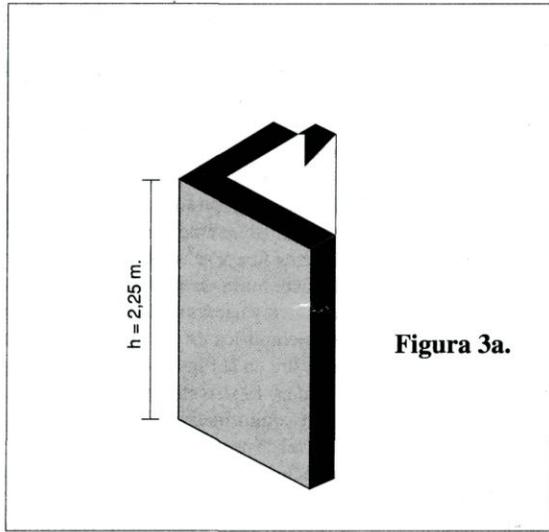


Figura 3b.

Figura 3. Elementos Constructivos del Sistema "LT"

estructura básica de las viviendas medias y económicas típicas que se construyen en Chile, de manera de distinguir las formas arquitectónicas y estructurales que más se repiten y que a su vez, cumplen una serie de requisitos preestablecidos con anterioridad y que dicen relación a lo presentado en el Capítulo « Estudio de los Requerimientos del Constructor y del Usuario».

A continuación se presentan las principales características del sistema constructivo «LT» y que resume en buena forma las características del nuevo sistema-constructivo y los aspectos que se enfatizan en el desarrollo de su estudio:

- **Uso de elementos repetitivos:** El sistema «LT» distingue las formas «L» y «T» en todos los encuentros de muros. Las formas «L» están compuestas por un elemento «L» y las formas «T» se pueden lograr mediante la unión de dos elementos «L», como lo muestra la Figura 3, o con un elemento «T» propiamente tal. El sistema constructivo crea la forma de la planta arquitectónica y estructural en base a las formas repetitivas «L» y «T», que pueden correspondertanto a paramentos de obra gruesa como a paramentos de terminaciones.
- **Sistema industrializado abierto por componentes:** El sistema «LT» otorga la posibilidad de incorporar en sus diseños

una amplia gama de materiales y elementos prefabricados existentes en el mercado. Es decir, no requiere necesariamente que sus elementos constructivos complementarios se ajusten a dimensiones específicas.

- **Apariencia de «solidez»:** Se requiere dar a la vivienda la apariencia de «solidez», pero a su vez permitir la posibilidad de incorporar elementos constructivos de madera u otros materiales livianos. El sistema «LT» considera la posibilidad de emplear paneles de madera entre los espacios intermedios dejados por las formas «L» y «T», manteniendo la fisonomía de una vivienda sólida debido a que sus esquinas y bordes serán siempre de un material sólido. Esto se ejemplifica en un modelo a escala realizado y que se muestra en la Figura 4.
- **Calidad:** El sistema prescinde de mano de obra artesanal y tiene como objetivo resolver todos los problemas de calidad a nivel de proyecto, en la industrialización de los elementos principales de obra gruesa y en el tipo de material que se emplea.
- **Progresividad:** La progresividad propone ampliaciones que sean obvias, rápidas de ejecutar y que no pongan en peligro la estructura de la vivienda. El sistema «LT» incorpora este concepto debido a que rigidiza los encuentros de muros y no los planos que es por donde se debe ampliar una vivienda.

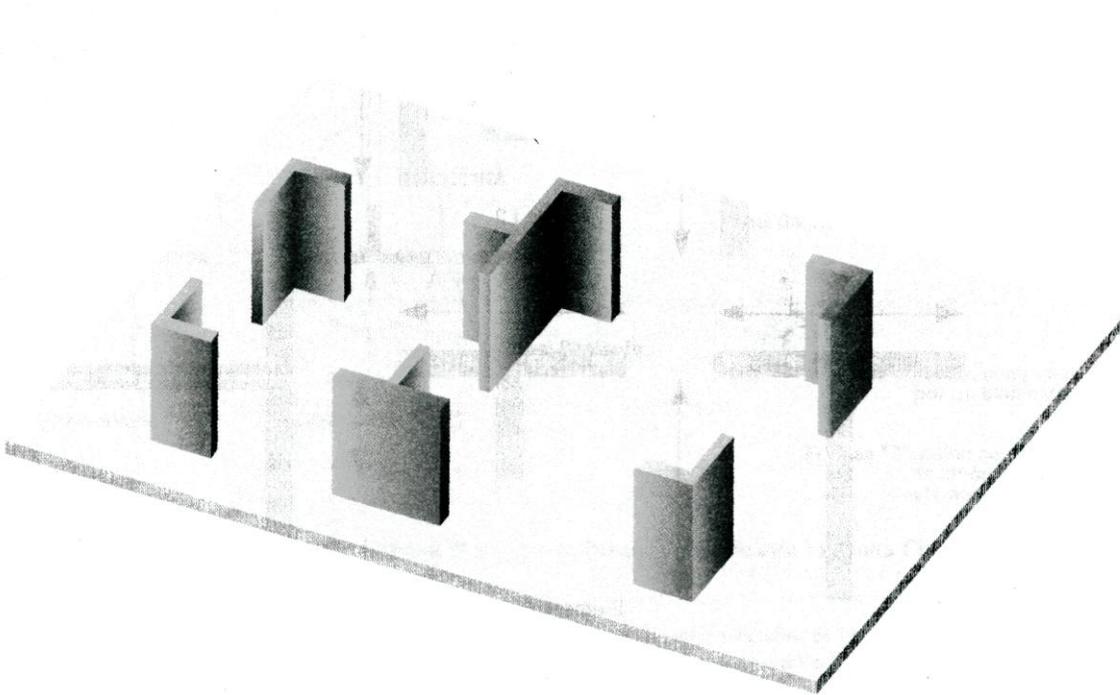


Figura 4. Modelo Escala «LT»

- **Variabilidad:** A pesar de ser un sistema que utiliza paramentos de dimensiones medianas, este hecho no rigidiza la flexibilidad arquitectónica de las viviendas en general. Particularmente, se ajusta muy bien a un variado número de diseños arquitectónicos de viviendas económicas y medias.
- **Constructabilidad:** El sistema es de fácil construcción y montaje. Los elementos prefabricados son más fáciles de autosostenerse, nivelarse y alinearse durante el proceso constructivo, debido a que se apoya en tres puntos y posee dos superficies planas perfectamente perpendiculares. Esto, se transforma en una de las principales ventajas del sistema

ya que no se requiere de infraestructura adicional para apoyo y sustentación. La obra se hace por lo tanto más limpia y segura.

Ventajas del Sistema Constructivo.

Aunque el sistema constructivo ha sido diseñado hasta un nivel conceptual y solo se ha construido un modelo prototipo (Figuras 5a y 5b), se visualizan importantes ventajas respecto de la construcción tradicional y también respecto de otros métodos constructivos industrializados. Las principales

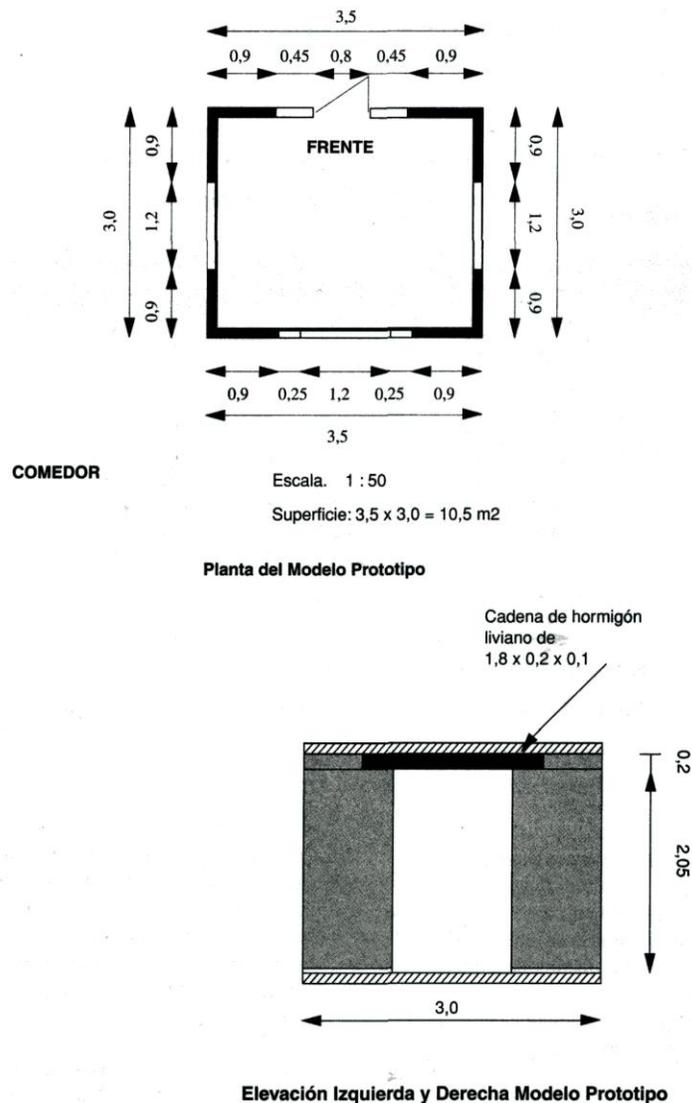
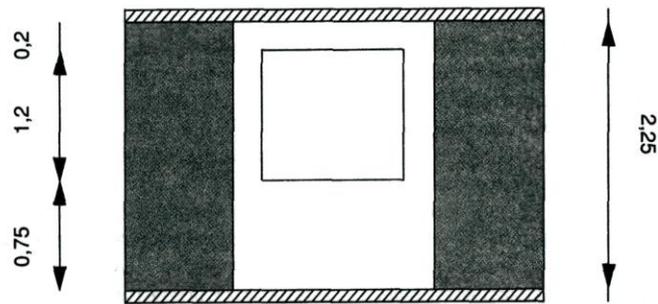


Figura 5a. Planta y Vista Lateral de Modelo Prototipo



Elevación Posterior Modelo Prototipo

Elevación Frontal Modelo Prototipo

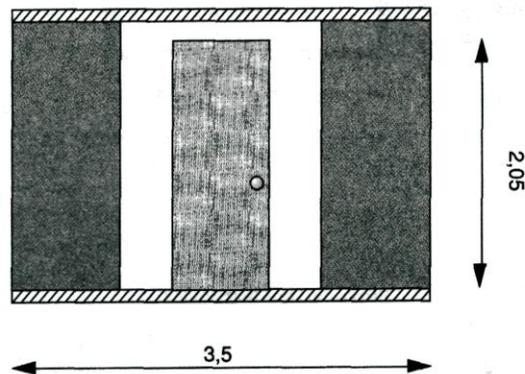


Figura 5b. Vista Frontal y Posterior de Modelo Prototipo

ventajas que se preveen del sistema constructivo son:

- Se produce un ahorro importante en cuanto al tiempo de construcción y al empleo de mano de obra debido a la utilización de elementos prefabricados de dimensiones estándares.
- Se producen obras limpias y ordenadas debido a la eliminación de materiales de desecho en obra. El sistema constructivo ha sido concebido utilizando piso y losa de cielo con el mismo material por lo cual, resulta una obra más homogénea respecto de la variedad de materiales que se incorporan en la construcción tradicional.

- Al utilizar elementos prefabricados en las esquinas de la vivienda, se resuelve un número importante de detalles de encuentros, precisamente en un lugar donde la mayoría de los sistemas constructivos que emplean elementos prefabricados encuentran problemas de resistencia de uniones y problemas terminaciones. Además se aprovecha esta situación para otorgar a la vivienda una apariencia de solidez.
- Las variaciones de los espacios se realizan a través de las distancias entre los elementos y no con la variación de la dimensión de los elementos prefabricados, por lo cual se hace más fácil estandarizar las dimensiones de los elementos

- industrializados.
- Mejora la calidad de la construcción, no sólo a través del sistema constructivo industrializado propiamente tal, sino que a través del material de construcción que se incorpora. Este material fue desarrollado especialmente para este sistema constructivo, el cual se emplea en la totalidad de la obra gruesa de la vivienda.
- La planta industrial que se requiere para la producción de los elementos es sencilla y requiere de una baja inversión.
- El aprendizaje es rápido y es posible mejorar el sistema.

Modulación del Sistema «LT».

La modulación de los elementos «L» se hizo con la supervisión del arquitecto Rodrigo Tapia, en donde se recomienda como la modulación más apropiada para el sistema «LT», la variación de 30 cm. Sin embargo, en el caso particular del sistema constructivo «LT», la modulación de la sección transversal del elemento «L» no es una condición estrictamente necesaria, debido a la flexibilidad misma del sistema constructivo, como ya se vio en el capítulo anterior.

a) Dimensiones Verticales: La información que provee la mayoría de los proyectos de arquitectura señala que una altura adecuada para el elemento «L» es de 2,25 metros. Esta dimensión permite una altura interior libre de la vivienda con espacios amplios y además permite incorporar los elementos propios de una vivienda, tales como puertas, ventanas y otros.

b) Dimensiones Horizontales: Para definir la dimensión horizontal y el espesor del elemento «L» se debe considerar el factor relacionado con el peso del elemento versus su resistencia estructural. Uno de los objetivos que persigue este diseño es que el elemento sea de fácil transporte de manera de simplificar su montaje en obra. Para el transporte de los elementos se considerará una grúa móvil pequeña con capacidad de levante y transporte de 1000 kg. aproximadamente, para lo cual los elementos «L» a diseñar deberán ser de menor peso. Debido a que el material considerado para la construcción de los elementos prefabricados está compuesto por hormigón liviano, con densidades que varían entre 1.1 a 1.4 (t/m³), se estima que no habrá una restricción muy importante en relación a los tamaños máximos que se puedan utilizar para los elementos «L». No obstante, se considera que una dimensión típica para los elementos «L» es la de 90 cm. en cada una de sus alas, cuyo peso aproximado está entre los 350 y 450 kg.

c) Espesor: Se ha determinado que el espesor del elemento «L» será de 10 cm. para los elementos exteriores y de 5 cm. para los elementos con un ala de la «L» hacia el interior de la vivienda. Estos espesores permiten la incorporación de la armadura y dejan una huelga considerable para un recubrimiento adecuado. Esta dimensiones se pueden lograr también, debido a las excelentes propiedades de resistencia mecánica, aislación térmica e impermeabilidad de los hormigones livianos que utiliza el sistema constructivo,

Estudio de Materiales.

Para llevar a cabo el desarrollo del sistema constructivo en estudio se incorporó otra área de investigación paralela relacionada a los materiales de construcción que se deben utilizar. Luego de un estudio preliminar, se concluyó que lo más conveniente era producir viviendas de hormigón pero, debido a que se trabajaría con elementos prefabricados se enfatiza el uso de algún tipo de hormigón liviano pues es el tipo de material que responde mejor a los requerimientos del proyecto. Con esto, se descartó de plano el empleo de otros materiales como: ladrillos, acero, madera, plásticos y otros. El estudio de hormigones livianos se centró en los siguientes tipos:

- Hormigones Livianos con Material Espumante.
- Hormigones Livianos con Agregado Liviano.
 - Arcilla Expandida tipo «Leca».
 - Arcilla Expandida tipo «Aglite».
 - Perlita Expandida.
 - Vermiculita Exfoliada.
 - Partículas de Madera.

Es así como luego de un pre-estudio de factibilidad técnica y económica realizado por la empresa, se decidió investigar más a fondo en el tipo de hormigones livianos compuestos por arcilla expandida. Entre los tipos de hormigones livianos de arcilla expandida los más conocidos corresponden a aquellos hormigones que utilizan arcillas expandidas tipo «Leca» y tipo «Aglite». Para este proyecto en particular se decidió por importar inicialmente arcilla expandida tipo «Leca» desde una planta ubicada en Buenos Aires, Argentina.

La arcilla expandida tipo «Leca», corresponde a un tipo especial de arcilla adecuada para expandirse, la cual es molida y mezclada con un aditivo expansor antes de pasar a través de un horno rotatorio a 1000° C. El material formado por este proceso consiste en partículas redondas y duras con una superficie densa y una alta porosidad interior. Los hormigones preparados con este tipo de agregado liviano contienen en su interior gran cantidad de poros, lo que le confiere al hormigón excelentes propiedades mecánicas, físicas y estabilidad química, A continuación se describen las principales propiedades de este hormigón:

a) Aislación: La aislación térmica es de, 0,39 watt/mK° aproximadamente, comparada con el hormigón normal, que es de 1,34 watt/mK°.

b) Estabilidad química: Los agregados livianos son sometidos a altas temperaturas durante su elaboración produciendo partículas inertes y resistentes a altas temperaturas. Estas características de las partículas, le otorgan al hormigón liviano buen comportamiento frente a elevadas temperaturas, una excelente resistencia al fuego y estabilidad química.

c) Impermeabilidad: Debido a los aditivos químicos utilizados

en su fabricación el hormigón es altamente impermeable y cumple sobradamente con las normas NCh 188 y ASTM 5149. En realidad se puede considerar el hormigón desarrollado casi perfectamente impermeable. Esto también ha sido probado a través de la observación de tres modelos prototipos de techos planos construidos con este hormigón. Estos modelos están localizados en Concepción y en el transcurso de dos inviernos han mostrado filtración nula.

d) *Peso*: La mayor ventaja de un hormigón liviano radica en su bajo peso, lo que facilita su prefabricación, transporte y montaje. Además reduce la cantidad de materiales en las fundaciones en comparación con el hormigón tradicional de mayor peso. Las densidades de los hormigones, con los cuales se ha trabajado fluctúan entre 1,1 a 1,4 (t/m³).

e) *Resistencia*: Las propiedades resistentes de los hormigones de arcilla expandida varían según la densidad y la formulación desde 140 kgf/cm² hasta 260 kgf/cm² a los 28 días.

Elementos Complementarios al Sistema «LT».

El sistema propuesto pone énfasis en utilizar un mismo tipo de material para la construcción de toda la obra gruesa e incluso parte de las terminaciones, es por esto que se considera el uso de hormigones livianos en la fabricación de todos los elementos complementarios de la construcción. Los elementos complementarios principales del sistema constructivo son:

a) *Paneles y relleno de vanos*: De los diferentes paneles analizados se obtiene que el más conveniente para la empresa constructora como para los usuarios corresponde al panel de hormigón liviano, ya que proporciona excelentes propiedades de aislación térmica, resistencia al fuego, además de facilitar el transporte y el montaje en obra debido a su bajo peso. Además, el costo por metro cuadrado del panel en base a hormigón liviano resulta ser más barato que otro tipo de paneles que existen en la actualidad en el mercado Chileno.

Otras importantes propiedades de los paneles de hormigón liviano son el grado de terminación de su superficie, la cual se presenta igual al hormigón tradicional y no ofrece la misma apariencia de los hormigones livianos de perlita, poliestireno expandido, virutas de madera y otros. Así mismo, el hormigón resiste clavos, tarugos y otros elementos de sujeción.

Alternativamente se estudiaron la posible incorporación de los siguientes tipos de paneles:

- Panel Covintec
- Placas Prefatec
- Paneles de entramado de madera

Es necesario destacar que tan importante como el estudio del material que compone los elementos de relleno de vanos, está el estudio del proyecto, el que utilizando las

formas «L» y «T», procure que la mayor parte de los vanos corresponden a puertas, ventanas, closets, etc. A este respecto pasa a ser muy importante dentro del sistema industrializado «LT» la modulación de ventanas. Para esto se propone incorporar en el proyecto ventanas modulares tipo Alucasa. Este tipo de ventana proporciona buenas características en cuanto a la calidad, facilidad de transporte y de montaje, todos ellos atributos que compensan con creces el leve mayor costo que presentan en comparación con las ventanas tradicionales de acero,

b) *Vigas/Cadenas*: Eventualmente el diseño puede requerir el empleo de vigas/cadenas para amarrar los elementos. Estas, también han sido consideradas de hormigón liviano, sólo que en este caso se prioriza la resistencia (min. 250 k/cm²) más que la densidad, la cual, por tratarse de elementos prefabricados relativamente pequeños no requieren ser muy aliviados (densidades utilizadas de 1,4 (kg/m³)).

c) *Piso*: Se usa la losa de piso prefabricada de hormigón liviano compuesto por arcilla expandida, ya que éste proporciona excelentes propiedades de resistencia al impacto. La losa será de 10 cm. de espesor y de dimensiones tales de poder ser transportada en camión hacia la obra. Alternativamente el sistema puede utilizar radieres tradicionales pero, este tipo de solución de piso tiende a aumentar los plazos de construcción.

Por otra parte, empleando losas de piso en lugar de radieres, se reduce el volumen de fundaciones y mejora el nivel de habitabilidad de la vivienda, porque permite aislar completamente a la vivienda del suelo. A su vez, empleando losa de hormigón liviano en reemplazo de fundaciones y piso, se controla mejor el posicionamiento de placas para recibir los elementos prefabricados.

d) *Cielo y Techumbre*: Se considera la utilización de losa de hormigón liviano en reemplazo simultáneo de la estructura de madera en cielo y techumbre. La losa de techo proporciona además, una mayor rapidez de construcción en comparación a la techumbre tradicional en base a cielo raso, cerchas y cubierta, e inclusive la losa de techo es levemente más económica que la techumbre tradicional, como lo demostraron los análisis económicos.

Tipos de Uniones entre Elementos.

En esta etapa del estudio no se ha considerado la investigación en detalle de los sistemas de uniones, se presenta a continuación una breve explicación de como se ha ideado resolver dicho problema. Algunos tipos de uniones entre los elementos de sistema y los elementos complementarios al sistema estudiados son los siguientes:

a) *Tipo en base a placas metálicas*: Este tipo corresponde a la utilización de placas metálicas en el perímetro de un elemento para luego ser soldadas a las placas del elemento adyacente. De esta manera, se logra unir los elementos

soldando por ambos lados de éstos.

El ancho de las placas metálicas debe ser levemente inferior al espesor de los elementos, de este modo la soldadura no sobresale de la superficie de los elementos. Este sistema es simple y ventajoso en la etapa constructiva de los elementos, ya que la fabricación y colocación de las placas es muy fácil de realizar, sin embargo, en la etapa de fijación de los elementos se producen problemas debido a lo demoroso del soldado de las uniones.

b) *Sistema de Uniones Dentadas:* Este sistema consiste en diseñar una unión tal que permita que los elementos adyacentes sean ensamblados o encajados perfectamente. Este tipo de uniones requiere de la preparación de un moldaje adecuado que permita realizarlas, a su vez permiten un más fácil montaje y fijación de los elementos, en comparación al tipo anterior de unión.

El estudio de uniones del sistema «LT» está planteado en una investigación suplementaria, en donde se busca conseguir uniones que satisfagan los siguientes requisitos:

- Estructuralmente resistentes.
- Rápidas de ensamblar.
- No deteriorar el hormigón adyacente.
- Obtener juntas estancas.
- Que no requiera de mayor trabajo de terminación.
- Fácil de instalar en los elementos prefabricados.

CONCLUSIONES.

Conclusiones.

A continuación se presentan las conclusiones más relevantes poniendo énfasis en dos aspectos:

a) El trabajo bibliográfico

b) Las ventajas y desventajas del sistema constructivo «LT» en comparación con sistemas constructivos tradicionales. Respecto del estudio bibliográfico, las siguientes son las principales conclusiones.

- En relación a los sistemas constructivos prefabricados e industrializados, existen numerosas experiencias reportadas tanto en la literatura nacional pero, especialmente en la literatura internacional.
- Los diferentes sistemas constructivos estudiados varían mucho según sea el grado de desarrollo industrial de los países. Lo que si se busca en general es la prefabricación de elementos no muy grandes para que de este modo puedan ser transportados por vías terrestres o vías marítimas.
- Los materiales empleados en sistemas constructivos industrializados son mayoritariamente madera. El hormigón liviano es poco utilizado en relación a otros materiales.
- De muchos sistemas industrializados estudiados no se tienen antecedentes de que estos hayan tenido éxito permanente, excepto algunos sistemas de prefabricación en madera y el sistema KPD en Rusia. En otras palabras nunca un sistema ha sido tan bueno para que desplace a otros, y en general, los

sistemas nuevos se suman a los muchos otros existentes y no solo compiten con los sistemas tradicionales sino que con otros sistemas existentes en el mercado.

Nota: El sistema KPD no se incorporó en el presente estudio por tratarse principalmente de un sistema de construcción en altura pero si fue discutido y comentado.

- Existe mucha resistencia respecto de estudiar o utilizar sistemas industrializados de construcción que no estén muy probados. De esta forma casi siempre se depende de importar un sistema extranjero, que muchas veces por singularidades propias del sistema importado, no se obtiene el mismo éxito que este haya tenido en otros lugares del mundo.

En relación al sistema constructivo desarrollado se resumen las siguientes conclusiones.

- En el diseño del sistema constructivo «LT», se dio especial énfasis a los requerimientos del usuario promedio de la VIII Región. Entre estos requerimientos están la progresividad, apariencia sólida y aislación.
- El sistema constructivo «LT» reproduce en forma industrial los elementos y formas que más se repiten en la construcción de una vivienda social mediante la prefabricación de las estructuras «L» dispuestas en los encuentros de muros, los paneles interiores y exteriores y la estructura de techumbre dándole a la vivienda un aspecto de solidez.
- Las variaciones de volúmenes de los recintos se realiza a través de las distancias entre los elementos «L» y no con la variación de las dimensiones de éstos elementos. Además los elementos son muy fáciles de nivelarse y de autosustentarse, previo a una fijación definitiva.
- Se producen obras limpias y muy ordenadas, eliminándose los materiales de desecho en obra, debido a la utilización de elementos prefabricados que sólo son montados en obra.
- La utilización del sistema constructivo «LT» a cualquier vivienda es de muy fácil aplicación, ya que sólo se deben realizar algunas pequeñas modificaciones en los diseños de la vivienda que permitan hacer coincidir las puertas y ventanas en los espacios dejados entre los elementos «L».
- El sistema constructivo «LT» permite una reducción del tiempo de construcción de la vivienda con respecto a la vivienda tradicional, a su vez este ahorro en tiempo origina ahorro en gastos generales y ahorro por efecto de recibir el dinero antes, lo que produce que el costo directo de la vivienda construida con el sistema «LT» sea menor al costo directo de la vivienda tradicional.
- El sistema constructivo «LT» permite satisfacer los requerimientos de los usuarios de habitabilidad, seguridad, durabilidad y progresividad, requisitos fundamentales para satisfacer sus expectativas habitacionales.
- El sistema constructivo «LT» permite satisfacer los requerimientos propios de la empresa constructora, que son los de productividad, costos y calidad.
- El sistema constructivo «LT» no requiere del empleo de mano de obra especializada, ya que con una breve capacitación y adiestramiento el obrero queda en condiciones de realizar cualquier labor relacionada con la construcción

de la vivienda. Además se requiere de menos cantidad de mano de obra que para el sistema tradicional de construcción de viviendas.

- La elementos constitutivos de la vivienda construida con el sistema «LT», por ser de menor espesor que los muros de la vivienda tradicional de albañilería en la zona de Concepción, originan viviendas con mayor superficie útil, aproximadamente 4,7% más que la vivienda tradicional.
- El sistema «LT» proporciona una mejor habitabilidad que el sistema tradicional, es decir, por la razón de emplear elementos prefabricados de hormigón liviano, proporciona excelentes propiedades de aislación térmica y acústica e impermeabilidad.
- El sistema constructivo «LT» además de tener excelentes características, es adaptable a cualquier sector socio-económico a que esté dirigida la demanda por viviendas, es decir a los sectores socio-económicos medio-bajo, medio y medio-alto.

Recomendaciones.

A continuación se presentan algunas recomendaciones al estudio realizado en este trabajo tendientes a hacer más eficiente el sistema constructivo «LT».

- Se recomienda hacer un estudio más acabado de cada una de las partidas, de manera de introducir en la mayoría de ellas los conceptos de prefabricación y estandarización de elementos, para lograr aumentar los rendimientos de las partidas y así conseguir que el montaje de la vivienda se realice en un menor tiempo y por lo tanto originar un ahorro en el costo de la vivienda por este concepto.
- Se recomienda, una vez puesto en marcha la implementación del nuevo sistema, hacer un estudio más acabado de los rendimientos reales de la mano de obra en cada una de las partidas, de manera de verificar si hay variaciones con respecto a lo programado.
- Se recomienda posteriormente hacer un estudio más acabado de las propiedades de los elementos constitutivos del sistema a escala real.
- Se recomienda dejar tolerancias milimétricas en las dimensiones de los elementos, de manera de no tener problemas durante el montaje de éstos en obra.
- Se recomienda hormigonar los elementos «L» y «T» verticalmente, de manera de evitar problemas en las faenas de izaje y montaje de los elementos.
- Se recomienda continuar con el desarrollo del presente estudio y ampliar el estudio a construcciones de dos niveles.

Agradecimientos: Se expresan sinceros agradecimientos a la Empresa Constructora Valmar.

Guillermo Thenoux Z., obtuvo el grado de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Posteriormente obtuvo el grado de M.Sc. en la Universidad de Birmingham, Inglaterra, y el Ph.D. en la Universidad de Oregon State, USA. Actualmente es Profesor e Investigador del área de caminos del Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Ha publicado un importante número de trabajos en el área vial. Es Asesor y consultor en diversos proyectos de ingeniería de construcción e ingeniería vial.