

# Industrialización de la vivienda y desarrollo computacional de la coordinación modular

Rodrigo García Alvarado <sup>1</sup>  
Carlos Martínez Corbella. <sup>2</sup>

El artículo pretende explicar lo que es la coordinación modular y los principios computacionales que se utilizarían para realizar un programa de coordinación modular de los proyectos de arquitectura, todo ello pensando en la prefabricación abierta aplicada a la construcción masiva de viviendas de interés social. En este sentido, se comienza en los dos primeros capítulos con los conceptos de base empleados y con una breve exposición del déficit habitacional de Chile.

Luego, en el tercero y cuarto capítulo, se explica lo que es la coordinación modular y los principios usados en su puesta en lenguaje computacional, para terminar en un quinto y último capítulo que aborda nuestra realidad arquitectónica de la prefabricación abierta y la importancia nacional de un programa así, ligado estrechamente a los programas «CAD».

The paper aims at explaining what modular coordination is and the computational principles which would be used when making a modular coordination program for architecture projects. This is done keeping in mind open prefabrication for the massive construction of social housing.

Chapters three and four are devoted to the explanation of what modular coordination is and the principles used in the computational language, chapter five presents our architectonic reality as regards open prefabrication, as well as the national importance such a program has, which is closely related to CAD programs.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hemos partido de la base que:

- a) Es necesario en Chile racionalizar y automatizar el diseño arquitectónico y urbanístico, sobre todo en el plano de la vivienda de interés social, de modo de aumentar así la productividad de las labores de diseño y, a través de ello, aumentar la productividad del proceso de la construcción.
- b) Es posible ya, dadas las condiciones del sector en nuestro país, de realizar la ejecución computacional de la coordinación dimensional, la que permite la prefabricación, todo ligado a los programas de diseño C.A.D.
- c) Si tal cosa se realiza, se aplicaría más y más fácilmente la coordinación dimensional modular en los proyectos de arquitectura.
- d) Si esto sucede, se deberían modificar los Reglamentos de los concursos de arquitectura y los de licitaciones de construcción del MINVU, de

---

<sup>1</sup> Arquitecto, profesor y académico del Departamento de Arquitectura de la Universidad del Bío-Bío.

<sup>2</sup> Arquitecto, profesor y académico del Instituto de la Vivienda de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile y de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso.

tal manera que la coordinación modular sea considerada y se promueva, así, la prefabricación, mejorando las performances destinadas a la solución del déficit habitacional de Chile.

- e) Para estos fines, consideramos necesario dar una serie de explicaciones sobre nuestro déficit habitacional, sobre la coordinación modular y sobre los principios computacionales que se utilizarían.

## 2. EL DÉFICIT HABITACIONAL

El Subsecretario del MINVU escribió en el diario La Tercera, en el mes de Diciembre pasado, que «durante 1995 se iniciaron en Chile 125.000 viviendas las que tendrán, en «promedio, una superficie mayor en un 15% respecto del año anterior.../.../...el sector «público asignará este año 100.000 viviendas».<sup>3</sup>

Estas cifras, en relación a las necesidades habitacionales del país, son las mejores de América Latina, en la medida en que se absorbe completamente el crecimiento vegetativo de la población, la reposición 'por degradación y la construcción necesaria para las catástrofes nacionales (sismos, incendios e inundaciones principalmente).

Pero como universitarios dedicados a la vivienda de interés social, tanto en docencia como en investigación, tenemos que aclarar lo mejor posible esta situación que nos compete y nos preocupa: es nuestro deber. Si estamos equivocados -puede ser- que se nos rectifique. Todos ganamos.

Nuestra opinión es la que sigue.

Como arriba lo decíamos, la construcción de viviendas en Chile es una de las mejores de América Latina y

el Caribe, pero los niveles son mucho más bajos que los que hay en Europa Occidental y en Estados Unidos, cuestión muy explicable pero poco justificable. Tal cosa la hemos constatado personalmente.

En el informe de la CEPAL preparatorio para HABITAT II, en la página 58 aparece el gráfico 5, sobre el «gasto social en vivienda per capita, en dólares de 1985, algunos países, 1980-1993», (Venezuela, Argentina, México y Chile). En este gráfico, el gasto social en vivienda per capita de nuestro país es inferior al de Venezuela y Argentina y superior al de México.

El año 90 Venezuela tenía más o menos (no se puede ver con exactitud en el gráfico) US\$ 42, Argentina US\$ 38, Chile US\$ 20 y México US\$ 8.<sup>4</sup>

Según Joan Mac Donald, en un artículo en El Mercurio, afirmaba que, estudiado el censo de 1992, llegó a la conclusión de que faltan 611 mil viviendas y 276 mil a reponer por estar muy deterioradas : total 888 mil unidades de déficit, lo que sería un avance sobre 1988 en que el déficit era de 1 millón 30 mil. Habla también de los 75 mil nuevos matrimonios que anualmente demandan casa y de la reposición por degradación que serían 28 mil más.<sup>5</sup>

En suma, según los datos de Galilea, Mac Donald y CEPAL, el cálculo sería el siguiente para el año en curso:

---

<sup>3</sup> Galilea, Sergio : «Cantidad y calidad de las viviendas». La Tercera, 7 de Diciembre de 1995, Chile.

<sup>4</sup> CEPAL: «Alojar el desarrollo. Una tarea para los asentamientos humanos». NN.UU., Chile, 1995.

<sup>5</sup> Mac Donald, Joan: «Aún faltan 888 mil viviendas en el país». El Mercurio 19 de Junio de 1994, Chile, 1994.

- Crecimiento vegetativo de la población en 1995	80.000 viviendas/año	
- Reposición por degradación (1% del parque)	30.000	«
- Catástrofes (sismos, incendios, inundaciones, etc.)	10.000	«
- Déficit de arrastre, considerando su solución en 10 años (2006)	80.000	«
<b>TOTAL de las necesidades</b>	<b>200.000 viviendas/año</b>	
<b>TOTAL construido</b>	<b>125.000</b>	«
<b>Faltan</b>	<b>75.000 viviendas/año</b>	

Además:

- 1) La población va a ir creciendo.
- 2) Puede haber una o más catástrofes.
- 3) La calidad de las Viviendas no es muy buena y se ha planteado su perfeccionamiento.

Conclusiones:

- 1) Se toca en muy poco el déficit de arrastre, pese a que el «leasing habitacional» podría mejorar la producción anual de viviendas, compensando el crecimiento de la población y posibles catástrofes.
- 2) Si bien seríamos el mejor país de Latinoamérica en la producción de viviendas, tal situación no justifica el silenciar los graves problemas existentes en el campo de la vivienda de interés social, en cuanto cantidad y calidad.
- 3) La racionalidad, y en ella, el uso de la coordinación modular y la prefabricación que ella permite, son factores positivos que ayudarían a producir más y mejor con el mismo dinero (el que debería aumentar).

### 3. LA COORDINACIÓN MODULAR

#### 3.1. Definición

La Coordinación de las Dimensiones forma parte de lo que es la industrialización aplicada a la arquitectura y la construcción, como una más de las técnicas de racionalización de ella: la racionalización de las medidas.

Esta Coordinación de las Dimensiones es indispensable -implícita o explícitamente- para la prefabricación, en cualquiera de las estrategias de ésta.

Hay dos grandes y principales sistemas de coordinación de las medidas:

- La Coordinación Dimensional (usada implícita y explícitamente por la prefabricación cerrada);
- La Coordinación Dimensional Modular, o Coordinación Modular (permite la prefabricación abierta).

Es decir, en el primer sistema, el Módulo es variable, pues lo pone la empresa, o la persona, o la institución que es dueña de la operación, no sirviendo éste para las otras empresas y pudiendo variar de una obra a otra.

Es una Coordinación de las Dimensiones de tipo tecno-industrial en ciclo cerrado a una empresa.

En cambio, en la Coordinación Modular, el Módulo pertenece a una Norma Nacional y su valor, o los valores en el caso de Multimódulos, son los mismos para todo el país, sea cual fuere la empresa, el individuo o la institución.

Es una Coordinación de las Dimensiones indispensable para la prefabricación abierta: coordinación tecno-industrial en ciclo abierto a la nación.

Ahora bien, las nuevas tendencias en los últimos 25 años, tanto en la arquitectura como en la industria, a través de las ideas que más adelante expondremos, han hecho evolucionar los tipos de prefabricación y de coordinación de medidas, a la prefabricación abierta, a los componentes compatibles y, por consecuencia, a la Coordinación Modular.

Pero la velocidad de los cambios científico-técnicos es tan grande -junto a otros factores que no cabe enunciar ni analizar en esta ocasión- que los sistemas abiertos, más desarrollados que los sistemas cerrados, antes de ser extensamente practicados, comienzan ya a evolucionar y comienzan a transformarse, sobre todo por el amplio desarrollo de la automatización y de la influencia que ésta comienza a tener en el sector de la arquitectura y de la construcción.

En la práctica docente que uno de nosotros tuviera en París en las dos últimas décadas, en el curso de «Industrialización de la Arquitectura», se comenzó enseñando el diseño arquitectónico en vivienda prefabricada en ciclo cerrado; después se enseñó los «Sistemas Constructivos» aprobados por el Gobierno francés, sistema éstos de transición y que puso en el mercado el Presidente Giscard; después se enseñó la vivienda prefabricada en el ciclo abierto y, en los últimos años (87 u 88 hasta el 93) se comenzó a incluir la enseñanza de los sistemas computacionales para «concebir y crear en arquitectura y construcción».

### 3.2. La teoría de la coordinación modular

Las teorías sobre la Coordinación Modular no han cambiado en lo substancial, habiéndose hecho ya su demostración en la práctica constructiva en varios de los países europeos. Esta práctica ha demostrado

que la aplicación de la técnica de la Coordinación Modular -y de la prefabricación abierta en general- exige una venta adecuada en los mercados interno y/o externo; una buena información y formación de la mano de obra, de técnicos, de profesionales y de industriales; una investigación científica importante en estas materias; un desarrollo adecuado en lo económico y social; una normalización muy completa; una prefabricación cerrada ya realizándose y, por último, nuevos reglamentos sobre Concursos y Licitaciones de la vivienda de interés social.

En Chile estamos atrasados en varios de estos aspectos y estimamos que en la vivienda de interés social -es nuestro conocimiento producto de la teoría y de la práctica universitaria y arquitectónica- las ventas no son de las mejores, la información y la investigación científica son pésimas, la normalización es incompleta y con graves errores en lo que dice relación a la Coordinación Modular, el desarrollo es malo en lo social y la prefabricación cerrada, si bien existe, no está muy ligada a los grandes problemas nacionales.

Nuestra idea es dar una visión del tema y facilitar su aplicación, la que mejoraría considerablemente los rendimientos, pesando fuertemente, en lo negativo, un desconocimiento que nos parece aberrante.

La Coordinación Modular - racionalización de las medidas a la escala nacional- es una serie de números -dimensiones en nuestro caso- entre los cuales uno de ellos es el número fundamental -o la dimensión fundamental- llamado Módulo, del cual se pueden desprender Multimódulos.

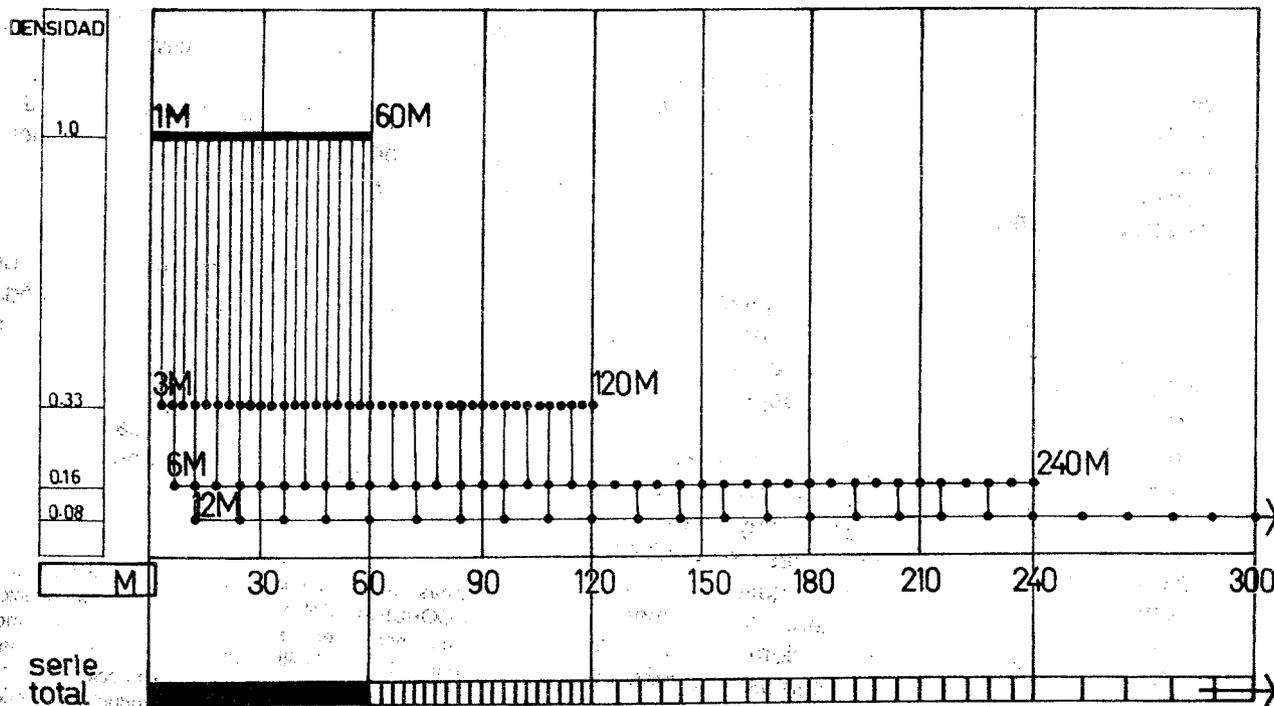
La ISO adoptó internacionalmente el Módulo M de 100 milímetros, acuerdo que todos los países han respetado. La norma chilena también lo respeta y habla de un Módulo fundamental M de 100 milímetros.

Cuando se propuso la norma, en 1968, en cuya elaboración participó uno de los que escribe el presente artículo, se agregaron tres Multimódulos de 300, 600 y 1.200 milímetros que serían, con 100 milímetros, los Módulos de Proyecto, a libre elección del arquitecto o de quienes redactasen los reglamentos, fueren hoy en día del MOP o del MINVU o de cualquier otra institución.

Desgraciadamente, pese a las buenas intenciones, hay ciertos errores de imprenta y ciertas afirmaciones, en la parte de «Módulos de Proyecto», que están en contradicción con otras partes de la norma y que propone cosas impracticables para arquitectos y

constructores. Es de esperar que estos estudios puedan servir para hacer de las normas de Coordinación Modular un conjunto más simple y más practicable. Estimamos que es un error (una contradicción además) proponer 2 M como Módulo de Proyecto y, francamente no arquitectónico (o difícil de entender), proponer además «combinaciones de ambos (2M y 3M)». (Ver normas de Coordinación Modular).

En cuanto a lo que pretende, debemos mencionar en primerísimo lugar a una mayor Libertad de Concepción y de Producción Industrial que en la prefabricación cerrada en sus diversos sistemas.



**Ilustración 1:** Serie propuesta por Gutiérrez, Martínez y Pellegrini en 1970, aprobada sin modificaciones por los organismos de normalización de Chile (INDITECNOR y después INN) y como recomendación panamericana (COPANT). En ella está el módulo 1M (10 centímetros) y los multimódulos 3 M, 6M y 12M (30, 60 y 120 centímetros).

Todo esto gracias a un lenguaje y a una gramática arquitectónica comunes al país, lo que se consigue con un sistema de dimensiones coordinado y nacional -y nosotros agregaríamos internacional- gracias a una norma apropiada de Coordinación Modular. Por supuesto, son también necesarias normas de compatibilidad cualitativa o Coordinación Cualitativa que lo permitan.

Aunque ya lo dijimos insistimos por su importancia: la Coordinación Modular permite la realización de la Prefabricación Abierta y de los Componentes Compatibles, y con ello, bien concebidos y bien usados, un aumento de la Productividad.

Por supuesto, partimos de la base de que este sistema no es una panacea universal para los problemas de la arquitectura y de la construcción como se creyó hace algunos años atrás. Pero pensemos que racionalizar el diseño arquitectónico es verdaderamente importante cuando éste da origen a una producción masiva.

Si la industria de la construcción logra producir estos componentes compatibles, normalizados naturalmente, y mucho más económicos que el mismo producto realizado a pedido, no se depende más de un módulo de empresa pública o privada; no se descompone más el proyecto para así definir las partes prefabricadas (componentes incompatibles), sino que existe una combinación muy rica de las partes prefabricadas (componentes compatibles), combinatoria que hace el mismo arquitecto que, por supuesto, define el proyecto (menos tareas, menos precio y más libertad de concepción); en fin, en el caso de los modelos y de los sistemas constructivos (mecanos), no se hacen más proyectos o sistemas constructivos tipos (proyectos tipificados), sino que se tipifican los componentes compatibles prefabricados que el arquitecto elige libremente en

un proyecto original, siendo normalizados los componentes de ese proyecto original. Así, obviamente, aumenta la libertad de expresión arquitectónica y la productividad arquitectónica e industrial.

En cuanto a las propiedades fundamentales que le permiten cumplir con los objetivos señalados anteriormente, ellas son:

- la aditividad,
- la modularidad normal, y
- la simplificación.

Hablamos de aditividad, porque el acto de construir un proyecto de arquitectura puede ser considerado, principalmente, como un acto aditivo.

La ADITIVIDAD persigue un fin: que la suma de las dimensiones de coordinación de dos productos,<sup>6</sup> coinciden en el largo, y en el alto a veces, sin concertación previa.

La MODULARIDAD NORMAL estipula que debe existir, debidamente normalizado, uno o más Módulos nacionales, los que ojalá estén coordinados a lo menos con los demás Módulos de América Latina.

La SIMPLIFICACIÓN, por su parte, llamada también «elección del o de los Módulos», define según esta

---

<sup>6</sup> En la concepción arquitectónica industrializada hay muchas medidas, de las cuales las más importantes son: dimensiones de COORDINACIÓN, que son las que usa el arquitecto y que son las dimensiones modulares que están en la serie modular, dimensiones de FABRICACIÓN, que son las destinadas al proceso de prefabricación o de construcción; dimensiones REALES, que son las que tiene el producto prefabricado o contruido; dimensiones TECNICAS, que son aquellas no modulares que resultan por el cálculo o por consideraciones económicas.

última decisión, una regla o metro del Sistema Métrico Decimal, que no está dividido en mil milímetros, sino que está dividido en tantas partes como veces está el Módulo en la regla o metro. En el caso de la ISO, que eligió en el Módulo «M» a 100 milímetros, tal cosa quiere decir que el instrumento metro está dividido en 10 partes de 100 milímetros cada una y así sucesivamente. Esto se entiende, en el proyecto de arquitectura, como que una pieza (un dormitorio supongamos) de 3,5 metros x 3,18 metros, debe dimensionarse de 3,10 x 3,10 o bien de 3,10 x 3,20, o bien de 3,20 x 3,20 según lo estime el proyectista en sus dimensiones interiores. Si las dimensiones del espesor de alguno de los muros no son modulares, hay procedimientos para abordar dicho asunto.

En suma, la simplificación elimina «la variedad inútil», la que es inútil desde el punto de vista funcional y constructivo.

De las últimas consideraciones puede desprenderse la conclusión, también, que la Coordinación Modular es una técnica de racionalización de las dimensiones, industrializada, que emplea para ello al Sistema Métrico Decimal simplificado, con ciertas disposiciones prácticas que es imprescindible conocer.

He aquí, en forma muy somera, como una primera aproximación, la que es la teoría de la Coordinación Modular.

### 3.3. Algunos de los hechos sobresalientes en la historia de la coordinación modular.

Para facilitar la comprensión de la evolución de la coordinación de las dimensiones podríamos observar históricamente este fenómeno, en algunos de sus más conocidos avatares, lo que nos va a ayudar

enormemente a definir una hipótesis de desarrollo para un futuro no lejano y para definir un actuar nuestro y de nuestros colegas en lo inmediato.

**Primero:** Desde Vitruvio en adelante (desde el siglo I antes de Jesucristo), hemos podido leer que el «Modulus» de que habla Vitruvio aparecía y desaparecía, pero tal medida fundamental, el «Modulus», tenía solo una finalidad estética, limitada en el moderno uso de la palabra en arquitectura y construcción, en que la palabra es estética, pero simultáneamente coordinando y aumentando la productividad lo que, desgraciadamente, ha sido lo más importante. Le Corbusier trató, sin éxito, en su excelente investigación de «El Modulor», de conciliar todos estos aspectos formales, humanos y productivos. De todas maneras, de allí surgió un interesante sistema de proporciones que es de mucha utilidad al proyectista.<sup>7</sup>

**Segundo:** Veinte siglos después, Fred Heath en 1925 y Albert F. Bemis en 1936 (contemporáneo de Le Corbusier), el primero ingeniero y el segundo industrial, en EE.UU., todo lo cual es muy decidor de la época, lanzan la idea de coordinación de las dimensiones, con 4 pulgadas (era en EE.UU.), en dos dimensiones el primero y espacialmente, en tres dimensiones el segundo. Ambos argumentaban sobre la complejidad que tiene la ejecución de los proyectos de arquitectura y de construcción, el derroche de tiempos y de materiales, de la descoordinación de la construcción y, por consecuencia de todo ello, de la baja productividad.<sup>8</sup>

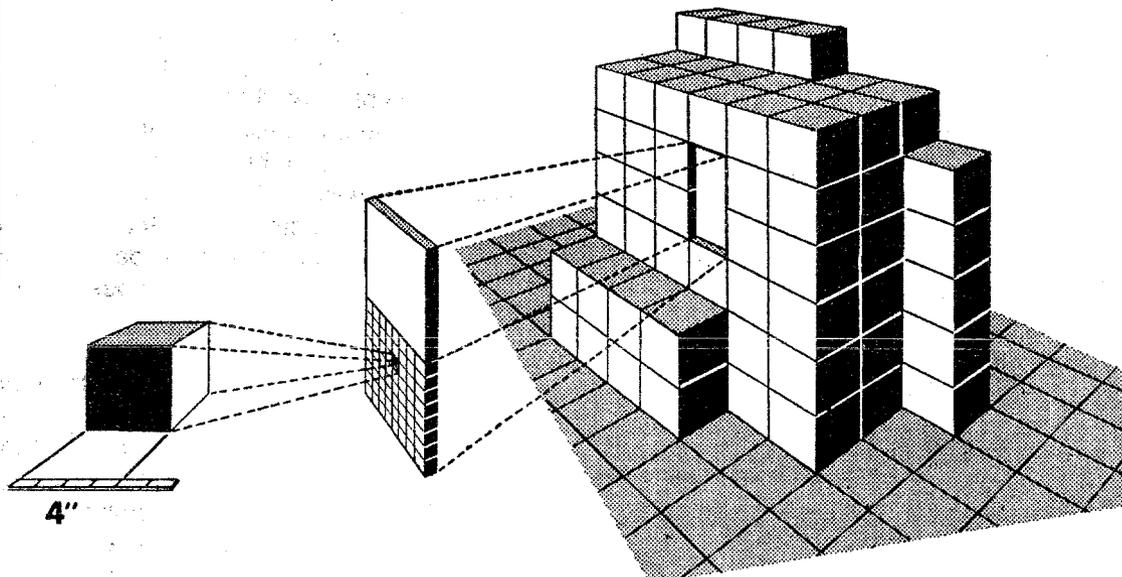
---

<sup>7</sup> Vitruvio: «Los diez libros de la arquitectura» Traducción integral de Claude Perrault, 1673, revisada, corregida y presentada por André Dalmas. Eds. Belland, París. 1979.

<sup>8</sup> Housing and Home Finance Agency: «Basic Principles of Modular Coordination». Revista Washington D.C., 1953.

# **A MODULAR VOLUME**

## **THE BEMIS CUBICAL MODULAR CONCEPT**



**Ilustración 2:** El concepto de coordinación de las dimensiones del Albert F. Bemis, en 1936 en los E.E.U.U., con un módulo de 4 pulgadas. Junto al ingeniero Fred Heath, son considerados los precursores de la moderna concepción de un sistema creado en ese momento para aumentar la productividad en la construcción.

Ambos son considerados los precursores de la idea contemporánea de la Coordinación Modular.

La evolución que ésta ha tenido, busca resolver en mejor forma lo humano y lo formal que, obviamente, no depende fundamentalmente de la Coordinación Modular.

**Tercero:** Se crean, luego, numerosas organizaciones. El IMG (Grupo Modular Internacional) dependiente del CIB (Comisión Internacional del Hormigón) del cual formó parte uno de nosotros, de normalización, numerosas organizaciones nacionales e internacionales de normalización, etc. De estas organizaciones de normalización tenemos a la ISO

(Organización Internacional de Normalización), la AFNOR (Asociación Francesa de Normalización), en Chile el INDITECNOR (Instituto de Investigaciones Técnicas y de Normalización), que es el precursor del INN (Instituto Nacional de Normalización), etc., etc.

Estas numerosas organizaciones, se preocuparon de hacer avanzar el sistema y de dictar normas de industrialización de la arquitectura y de la construcción, entre ellas las normas de Coordinación Modular.

**Cuarto:** Pero cuando verdaderamente se produce la fabricación masiva -prefabricación masiva- por la primera vez en la historia, es en la llamada RECONSTRUCCIÓN, poco después de la Segunda Guerra Mundial, en la década de los 50 y de los 60, en que las ciudades y pueblitos arrasados por la guerra en Europa, Asia y África, comienzan la gran tarea de dar de nuevo los locales a aquellos damnificados por los pasados horrores bélicos.

Todo lo industrializado, que no fue poco, con un escaso desarrollo de la automatización y una escasa preocupación por los problemas cualitativos, ya que lo grave en ese momento era el asunto cuantitativo, emplea sólo sistemas de prefabricación cerrada, componentes incompatibles y Coordinación Dimensional de empresa. Son soluciones muy inteligentes en el mundo desarrollado, pero muy débiles en cuanto a su calidad material y arquitectónica. Sólo se buscaba una mayor productividad que ayudara a resolver el problema de los déficits y la máxima utilidad, lo que es comprensible pero absolutamente limitado.

**Quinto:** La búsqueda de una mayor calidad material y arquitectónica, de una mayor diversidad y libertad formal, la no tipificación de los proyectos a través de

los «modelos» y de los «mecanos», una mayor preocupación por el ser humano y un mejoramiento evidente de lo social, etc., hacen surgir en las décadas del 70 y del 80 las ideas -ya existentes, pero casi exclusivamente en el plano de las teorías- de la prefabricación abierta, de los componentes compatibles y de la Coordinación Modular. Además estas ideas eran muy convenientes para las industrias, las que podrían, así, realizar -prefabricar digamos- grandes series de componentes compatibles.

La Coordinación Dimensional evolucionaba hacia la Coordinación Modular.

Sin embargo, pese a un uso ya importante en el mundo desarrollado de la Coordinación Modular, los factores de freno de ella -y de la industrialización en general- han conspirado en forma importante en esos Primeros Mundos y ha atrasado casi totalmente su empleo en el Tercer Mundo.

En Chile muchas de las normas de la industrialización, sobre todo de la prefabricación y de la Coordinación Modular, existen y fueron aprobadas por INDITECNOR entre 1966 y 1973.<sup>9</sup>

## 4. DISEÑO COMPUTACIONAL.

### 4.1. Sistema de referencia

La Coordinación Modular de los proyectos y componentes puede ser implementado en los programas de diseño computacional (CAD), a partir del hecho que éstos trabajan sobre un sistema de

---

<sup>9</sup> Inditecnor: Todas las normas de prefabricación, Chile, 1973. INN: op; cit.

coordenadas cartesianas X-Y-Z. El sistema puede alcanzar una alta precisión ( hasta de dieciséis decimales), pero habitualmente se restringe a una **medida mínima** o grilla magnética (snap), que es determinada por el proyectista como la menor dimensión constructiva de acuerdo a la escala, por ejemplo 1 mt. si se está realizando un esquema general de recintos o 20 cm. si es una planta de muros de albañilería. De este modo se trabaja necesariamente con una modulación mínima (que puede ser variada durante el proyecto). en algunos programas puede ser distinta entre un eje y otro (por ejemplo, 10 cm. en horizontal y 20 cm. en vertical), o poseer sistemas adicionales girados para ciertas partes del edificio.

Adicionalmente se dispone de una **trama** o grilla visible (grid), que no restringe el diseño, sino que sirve de orientación visual (como un papel milimetrado de fondo). Esta trama suele estar relacionada con la medida mínima (por ejemplo 10:1) y puede actuar de modulación mayor.

Sin embargo, los programas CAD no trabajan directamente con modulaciones variables, mallas tartán, tolerancia o tramas especiales (trianguladas, hexagonales, etc). Una modulación específica puede ser dibujada como **malla** e incorporada en las distintas capas (layers) en que normalmente el dibujo computacional se organiza (como papeles transparentes superpuestos). Esta malla se puede utilizar de referencia geométrica, a través de las propias restricciones de dibujo (osnap) que los programas establecen (perpendicular, paralelo, centrado, etc.). Aprovechando la edición computacional, una malla puede ser reutilizada en diversos proyectos o modifica en casos particulares.

De este modo es posible normalizar un sistema de referencia para los diseños computacionales que

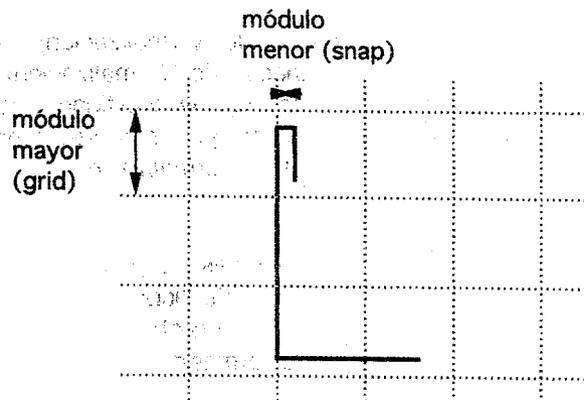


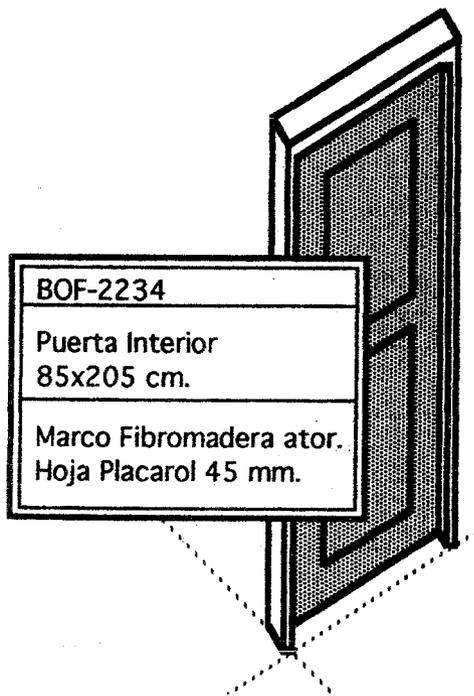
Ilustración 3: Aplicación de la trama de modulación en el CAD.

permita una coordinación dimensional entre proyectos y componentes industrializados. Basado en que los programas CAD utilizan regularmente modulaciones mínimas de restricción, modulaciones mayores de referencia y organización de capas. Estas normalizaciones pueden ser preparadas en archivos estándares y distribuidos a los profesionales, para que los utilicen de base en el diseño computacional de los proyectos sin esfuerzos especiales.

#### 4.2. Archivos de componentes

Aunque los elementos de una industrialización abierta pueden alcanzar una gran variedad dimensional, disponer de un conjunto de componentes definidos contribuye a la productividad industrial y constructiva (como la puerta de 60, 70 ó 80 cm.). Más aún si se integran especificaciones y detalles técnicos normalizados que aseguren calidad a un precio masivo.

Para asegurar la difusión de estos componentes en las obras pueden ser incorporados en los proyectos



**Ilustración 4:** Componente de librería CAD (representación tridimensional y ficha de material) para ingresarlo en un diseño específico.

de arquitectura a través de la capacidad de los programas de diseño computacional de utilizar **bibliotecas de elementos** (libraries). Se pueden elaborar archivos computacionales de componentes (ventanas, paneles, pisos, etc.), partiendo de las modulaciones dimensionales y avanzando progresivamente en el detalle y la especificación técnica, de acuerdo al desarrollo de la producción industrial.

Los programas CAD permiten compartir ampliamente estos archivos de elementos y le facilitan al proyectista el desarrollo del proyecto. Puede seleccionarlos de una lista o un menú gráfico, insertar directamente los

componentes y manejarlos libremente en el diseño (trasladarlos, rotarlos, etc.). Los elementos en el computador pueden traer vistas relacionadas (plantas y elevaciones) o ser tridimensionales, incorporar diversos grados de detalles (perfiles, uniones, herrajería, etc.) e incluso especificaciones escritas por medio de «atributos» que se asocian a los elementos.

Además, los programas más sofisticados pueden incorporar ciertas operaciones «**paramétricas**» en los componentes. Esto quiere decir que al insertarlos se pueden modificar algunas medidas internas, o que estén en función de ciertas proporciones o atributos (que una escalera tenga tantos peldaños de acuerdo a su altura, etc.).

La composición del diseño con componentes almacenados (especialmente en tres dimensiones), alcanza una importante relación con el **proceso constructivo** de la ejecución de la obra. Esto permite resolver mejor los aspectos técnicos del proyecto (pero es necesario considerar que los elementos no poseen características «físicas» y se pueden interpenetrar, quedar separados en el aire).

La normalización de componentes constructivos, y su distribución a industrias y profesionales en archivos computarizados fáciles de incorporar en el desarrollo de los proyectos, puede contribuir a la productividad y cualificación de la construcción. Además de apoyar la participación de nuevos mercados internacionales, ofreciendo componentes con calidad y producción industrial.

#### 4.3. Participación de los usuarios

La incorporación de los futuros ocupantes en las decisiones del proyecto es importante para la

adecuada satisfacción de sus necesidades y expectativas. En la construcción prefabricada los usuarios pueden elegir tipos de edificios, de recintos, elementos o participar en la formulación de nuevas soluciones con componentes normalizados. Estimulando la promoción y adaptabilidad de los sistemas industrializados.

En el computador es posible **presentar los diseños** tridimensionalmente, con isométricas o perspectivas coloreadas, que le permiten al público en general comprender mejor las alternativas del proyecto. Incluso animaciones, sistemas multimedia y dispositivos de «inmersión» en los modelos computacionales (realidad Virtual), ayudaría a percibir con mayor claridad las posibilidades constructivas. Facilitando el diálogo del cliente con el profesional y disminuyendo las incomprendiones o modificaciones en obras.

Además se puede **programar un ambiente específico** (customization) para la presentación de alternativas o para desarrollar diseños con elementos determinados. Siendo posible plantear en proyectos masivos, sistemas computarizados autónomos (cajeros automáticos), en que el usuario interactúe solo con el desarrollo del diseño, probando libremente algunas soluciones dentro de la estructura y condiciones técnicas estrictamente definidas por los profesionales

La obtención de **listados** de componentes o **presupuestos** estimativos, son procedimientos de cálculo que pueden ser asociados a los archivos de componentes (por medio de los atributos y base de datos relacionadas). De este modo el usuario, proyectista o industrial puede evaluar directamente las soluciones y tener la documentación completa de cada alternativa.

Las nuevas tecnologías establecen nuevas posibilidades de relación con los destinatarios de las edificaciones. Lo que permite incrementar su participación, especialmente considerando el desarrollo social y la necesaria cualificación de la construcción, como también dirigido a una adecuada proyección comercial que sustente la producción industrial.

#### 4.4. Ejecución automatizada

El otro aspecto de las nuevas tecnologías para la industrialización arquitectónica es la ejecución o montaje automatizado de componentes (robótica). Aunque aún es incipiente, posee la potencialidad de aumentar significativamente la productividad y calidad constructiva. Además de relacionarse directamente con el diseño (CAD/CAM), para mejorar la capacidad de respuesta frente a los pedidos o diversificar la producción (con componentes variacionales).

El diseño computacional de un componente o de varios elementos específicos puede ser convertido en un lenguaje de **control numérico (NC)**. El cual puede recibir directamente diversas máquinas-herramientas (como martillos neumáticos, fresadoras, desbastadoras, cortadoras, routers, etc.). Naturalmente esto debe estar planificado por etapas dentro del proceso industrial de los componentes (corte, armado, pintado, despacho, etc.), probablemente combinando fases automatizadas y manuales. Posee la ventaja de ser administrado automáticamente, controlando las variables específicas (producción, dimensiones, acabados, etc.) que pueden flexibilizar la producción de elementos en serie. Estas tecnologías ya son frecuentes en industrias automovilísticas o electrónicas, y en el país se están incorporando en la producción de muebles o en algunos elementos

masivos para la construcción (cerchas y puertas). Requieren sin embargo una mayor integración con el diseño de proyectos para asegurar su difusión y coordinación dimensional.

La **automatización en obra** es un desafío más dificultoso. A pesar que la robótica en la construcción ha sido un tema recurrente de investigación en los países desarrollados, ha enfrentado problemas por la complejidad de las tareas y la variabilidad del entorno (siempre cambiante en la construcción). Se han producido diversos prototipos de robots estucadores, pintores o de montaje de estructuras, pero sin mayor impacto productivo. Recientemente las grandes constructoras japonesas que lideran estas investigaciones, han optado por una estrategia global (denominada «ABC: advanced building construction»). La cual está fundamentada en un piso entero robotizado, que va levantando el edificio a través de montar elementos prefabricados. Además de robots independientes para tareas subterráneas y de terminaciones. Alcanzando una automatización del 80 a 90% de la obra, con una fuerte gestión computacional y coordinación de diseño.

En general, la construcción automatizada constituye una significativa perspectiva para el sector, implicando una significativa evolución de la producción y de la gestión técnica.

#### 4.5. Integración

La automatización de las distintas fases del proceso constructivo; diseño, promoción, administración, ejecución, etc., y de los diversos participantes, sienta las bases para una integración entre ellos, aprovechando principalmente las tecnologías de telecomunicaciones.

La **información constructiva** por medios computacionales (Diskettes, discos compactos o consulta a bancos de datos) ya está disponible en el país, especialmente en precios de productos (como ONDAC), como también en temas más generales (Constructa, EDIMA). lo que ya está ampliamente consolidado en países desarrollados como Estados Unidos, por ejemplo con los discos compactos del CCB (Construction Criteria Base) o el Catálogo Sweet. Estas iniciativas requieren normalización de la información y constituyen una importante vía de difusión de componentes industrializados.

Las comunicaciones electrónicas permiten también una **integración del trabajo local o remoto**, a través de redes computacionales o conexión telefónica con modem.

Permitiendo compartir información dentro de la empresa, con las obras en terreno o entre los profesionales participantes. En sistemas industrializados, facilita la distribución de archivos, como la rápida cotización de componentes, conectándose ampliamente entre proyectistas, contratistas y proveedores.

En un sentido similar, está dirigida la autorización de **transacciones electrónicas** (EDI: electronic-document-interchange, el despacho de órdenes de compra y facturas por conexiones electrónicas). Esta posibilidad, que ya estudia el Servicio de Impuestos Internos para algunos sectores, facilitaría una completa y ágil gestión automatizada, optimizando las propuestas industrializadas con significativas ventajas tecnológicas.

Los industriales franceses de prefabricados de hormigón (G-Cinq) ya están abocados en integrar desde el diseño computarizado hasta la producción automatizada, con una fuerte intercomunicación

electrónica, basados en una estricta pero diversificada modulación de proyectos y componentes. Aunque constituye una tarea amplia, sus beneficios en participación de mercado y cualificación de la producción, son altamente relevantes.

La integración automatizada del proceso constructivo es una proyección interesante que exige un avance en la coordinación general, pero permite alcanzar nuevos niveles de productividad, calidad y proyección internacional.

## 5. UNA NUEVA REALIDAD EN LA PRODUCCIÓN EN NUESTRO SECTOR

En la prefabricación, en general, en cualquier estrategia de ella, debe continuar la coordinación de las dimensiones, en forma explícita o implícita, de acuerdo al principio de que no existe la prefabricación sin coordinación de las dimensiones. Más aún -ya lo dijimos- la Coordinación Modular es indispensable para que haya prefabricación abierta.

En Chile hay varias empresas que producen componentes incompatibles, o casas, con diversos grados de prefabricación, en el sistema de prefabricación cerrada.

Varias instituciones (algunas universidades, el MINVU, la Cámara Chilena de la Construcción, el INVI y otras) están estudiando la posibilidad de pasar de la prefabricación cerrada a la abierta, con la prefabricación de componentes compatibles, aprovechando que existen ya varias normas de Coordinación Modular, un organismo de normalización (el I.N.N.), varios institutos universitarios y estatales de la construcción, un

conjunto de buenas industrias y empresas constructoras, y un buen conjunto de industrias de prefabricación cerrada. Por supuesto, a casi todas las instituciones les preocupa esencialmente el problema masivo de la industrialización de la vivienda de interés social.

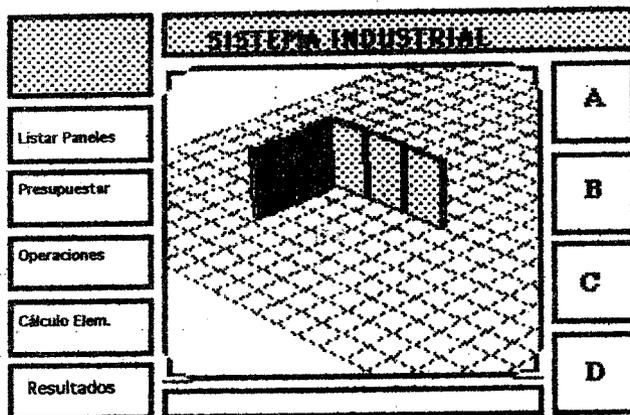
Que quede bien en claro: estamos hablando de coordinación modular y, luego, de prefabricación abierta, lo que es diferente y no contradictorio con la racionalización de las faenas tradicionales (el tradicional evolucionado) y con la mecanización automática y no automática de las empresas constructoras, lo que es otra forma de industrialización de la construcción.

Ahora bien, simultáneamente, estamos viviendo un hecho muy relacionado con estas inquietudes: es el rapidísimo avance científico-tecnológico que caracteriza nuestra época de la Revolución Científico-Técnica, la que está llegando aceleradamente a nuestros países subdesarrollados.

Está llegando, del avance científico-tecnológico, parte del «progreso» y de la «modernidad» que plantea grandes problemas sociales y una gran discusión sobre las actitudes a adoptar, cuestión que no se tratará aquí.

Lo que es un hecho, y una tendencia objetiva que estamos viviendo, es que esta Revolución Científico-Técnica plantea un ingreso, cada vez mayor, de la automatización y su uso, también cada vez mayor, en las diversas ramas de la producción nacional. La arquitectura y la construcción nacionales no están ajenas a esta tendencia internacional.

Este avance de la automatización de la acción -o informatización generalizada- cambia en forma



**Ilustración 5:** Prototipo de portada de sistema computacional de diseño industrializado (al centro, visualización 3D, a la izquierda, entradas a los aspectos de proyecto, a la derecha, tipologías arquitectónicas).

drástica ciertos principios de la prefabricación abierta<sup>10</sup>, lo que debemos tener presente, ya que es una realidad que debemos respetar y, en lo posible, dominar.

A medida que el diseño arquitectónico, las industrias de la construcción y las empresas constructoras vayan automatizándose, a nuestro entender la prefabricación abierta va a ir lentamente cambiando sus características hacia una nueva estrategia que hemos llamado, provisoriamente, la prefabricación automatizada.

Las grandes transformaciones que la automatización va a producir en la prefabricación abierta son las siguientes:

- Las industrias de la construcción que realicen componentes prefabricados compatibles no necesitarían realizar grandes series de

producción. Basándose, obviamente, en las normas, las que definirían el Módulo y sus técnicas, las calidades, las tolerancias y los diferentes sistemas de unión (Coordinación Modular y Coordinación Cualitativa), podrían prefabricar, sin ningún problema, pequeñas series de componentes e, incluso, componentes únicos (de acuerdo a las normas como ya lo dijimos).

Esto, junto con significar una mayor libertad y productividad industrial, significa, también, una mayor libertad y una mayor productividad de proyecto. En el caso del diseño, el arquitecto podría (una vez más, respetando las normas), gracias a esta nueva situación industrial, realizar su proyecto de arquitectura CON MUCHOS MÁS COMPONENTES QUE EN LA PREFABRICACIÓN ABIERTA, EN QUE EN ESTE CASO EL IDEAL ES QUE USE POCOS COMPONENTES DIFERENTES.

Cambiando la prefabricación abierta a la prefabricación automatizada, aunque ambas precisan de una coordinación de las dimensiones que, en ambos casos se expresa en un Módulo nacional que genera una Coordinación Modular, pensamos que el Módulo, y por consecuencia la Coordinación Modular, pueden transformarse, en estos casos, en cuanto a la serie de dimensiones que puede variar.

- En todo caso, dos cosas son absolutamente indispensables: el control de calidad en la industria y en la obra, y los detalles técnicos unificados (DTU) que son indispensables al proyectista, a la industria y a la obra.
- Y por supuesto, como lo decíamos al principio, siendo importante para la prefabricación abierta,

<sup>10</sup> Ver Martínez, Carlos, los capítulos «Estrategias abiertas: los componentes compatibles» y «Una mirada al futuro próximo: Las estrategias automatizadas» del libro «La concepción arquitectónica y la industrialización: Teoría General», Chile, 1992.

son mucho más importantes para la prefabricación automatizada la formación a todos los niveles (mano de obra, técnicos, profesionales e industriales), la investigación científica, un buen desarrollo económico y social, nuevos reglamentos y leyes y, finalmente, un sistema de seguros que le dé garantía a los nuevos propietarios.

En la medida en que todas estas iniciativas, y otras, vayan cumpliéndose, la prefabricación irá transformándose poco a poco de cerrada en abierta y de abierta en automatizada, pasando, sin duda, por toda una serie de transiciones propias a un proceso como el descrito.

No nos cabe duda de que la transición que se aproxima en la prefabricación nacional, tomará un poco de todas las etapas: cerrada, abierta y automatizada, lo que ya hemos visto en los países desarrollados de Europa.

Estimamos que incluir en algunos de los Reglamentos del MINVU y del MOP el uso de la prefabricación y de la coordinación modular (sobre las cuales existen normas, que deben reactualizarse), es una iniciativa que, acompañada de otras, mejoraría notablemente la productividad de la construcción.

En ese caso, seguramente, un programa computacional de coordinación modular de los proyectos prefabricados, integrados a los programas del CAD, va a facilitar grandemente las operaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

ASOCIATION CONSTRUCTION ET COMPOSANTS: «La pratique de la Coordination Dimensionnelle. Les conventions...

- pourquoi?... comment?...» Ed. Moniteur, Francia, 1980.
- BLACHERE, GÉRARD: «Exposé de principes de la coordination modulaire», Cahiers du CSTB 90, cahier 778, Francia, 1980.
- BRAVO, LUIS Y MARTÍNEZ, CARLOS: «Chile: 50 años de vivienda social, 1943-1993.» Universidad de Valparaíso, Chile, 1993.
- CERIB ACTUALITÉS, COMPOSANTS: «G. Cinq, opérations expérimentales: Premier bilan». Cerib, Mayo del 90, N° 9, Francia.
- ÉCOLE D'ARCHITECTURE DE PARIS LA VILLETTE: «Catálogo de Cursos», Francia, 1992.
- EL MERCURIO. PROPIEDADES: artículo de Joan Mac Donald» Aún faltan 888 mil viviendas en el país». El Mercurio, 19 de Junio de 1994, Chile.
- GARCÍA, RODRIGO: «¿Computadores para diseñar viviendas?». Revista «Vivienda», Vol. 4 N° 1 Ed. Inst. de Fomento Nacional de la Vivienda. México, 1993.
- G CINQ: «Un logiciel pour créer et concevoir avec des composants». G Cinq, Paris, 1989.
- GUTIÉRREZ, MARTÍNEZ Y PELLEGRIN: «Coordinación Modular. Propiedades de las series de dimensiones. Proposición de norma para Chile», Chile, 1969.
- HOUSING AND HOME FINANCE AGENCY: «Basic principles of modular coordination». Revista, Washington DC, 1953.
- INDITECNOR: Todas las normas de prefabricación de Chile. Chile, 1973.
- INN: «Norma Chilena Oficial 685 of 78» y «Norma Chilena Oficial 743 of. 78», INN, 1978. (De Coordinación Modular).
- ISO: «Coordination Modulaire. Vocabulaire, Module de base, Principes et regles». Normas de 1971 a 1974.
- KENNEDY P.: «CAD, dibujo diseño y gestión de datos.» Ed. Gustavo Gili, 1988.
- MAC DONALD, JOAN: «Diagnóstico Habitacional». Ed. CPU, Chile, 1986.
- MARTÍNEZ, CARLOS: «La concepción arquitectónica y la industrialización: teoría general». Ed. Universidad de Chile - Universidad de Valparaíso, Chile, 1992.
- SPRINT PROGRAMME: Stuttgart «Open industrialization a solution for building modernization». Conference proceedings, Stuttgart, 1990.
- TAVOLATO P.: «User Participation Through Computer Aided Design». Revista «Open House International». Vol. 11 N° 2, 1986.
- VITRUVIO: «Los diez libros de la arquitectura». Traducción integral de Claude Perraul, 1673, revisada, corregida y presentada por André Dalmas. Eds. Balland, Paris, 1979.