



UNIVERSIDAD DE CUENCA

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES

PRIMERA EDICIÓN

“PROPUESTA DE INNOVACIÓN PARA EL USO DEL PRETENSADO EN LA ARQUITECTURA DE EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE CUENCA”

aplicabilidad para soluciones verticales de mediana altura
(de entre 4 y 9 pisos)

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGÍSTER EN CONSTRUCCIONES (MSc)**

AUTOR: ARQ. PEDRO ESPINOSA ABAD

DIRECTOR: ING. JUAN CARRION M., PhD.

Cuenca, julio 2013



RESUMEN

Este proyecto de tesis propone trasladar la tecnología existente en hormigón pretensado para que sea aplicable a la nueva arquitectura de edificios en la ciudad de Cuenca. Se pretende además demostrar que el entendimiento a fondo de un sistema constructivo específico, siempre será un camino válido y una herramienta poderosa que facilite y permita al arquitecto proyectar edificaciones desde un nuevo enfoque. Diseñar desde la técnica, es recuperar la esencia misma de la arquitectura y ha logrado resultados sorprendentes en algunos edificios contemporáneos.

Así mismo, la investigación se orienta a encontrar -desde las fases iniciales de diseño de proyectos- un punto de convergencia obligatorio, que recupere la coordinación inicial hoy casi perdida a nivel local entre arquitectos e ingenieros, entre la tectónica y el planteamiento estructural, una relación indisoluble que alcance un objetivo común: la ejecución seria, conjunta y sistémica de proyectos, desde los bocetos preliminares hasta la complejidad de su concreción.

Se pone en evidencia que en la ciudad de Cuenca, existe un vacío generalizado a nivel profesional acerca de nuevos sistemas constructivos que pueden ser aplicables en sus edificaciones. Prueba de ello es que no se encuentran muchos ejemplos construidos que verdaderamente hayan seguido un camino diferente a los tradicionalmente conocidos. Por este motivo, la investigación pretende cubrir mínimamente este vacío y convertirse en un elemento de partida que nos abra nuevas posibilidades, ya ahora a nuestro alcance.



ABSTRACT

This thesis proposes the use of existing prestressed concrete technology in the construction of new buildings/modern architecture in the centre of Cuenca. It also aims to show that a deep understanding of a specific constructive system is a powerful tool that enables an architect to design buildings from a fresh perspective. By using technique as the impetus, architects recover the essence of architecture and in many cases achieve surprising results in contemporary architecture.

The research attempts to retrieve the close coordination during the initial stages of project design between architects and engineers with their particular architectural and structural approaches, an aspect that has been all but lost in local practice. This thesis shows that this inextricable relationship works for a common goal: the coordinated, serious and systematic implementation of projects, from preliminary sketches to their complex execution.

There is a professional void in Cuenca related to new constructive systems that could potentially be used in buildings today. Proof of this lies in the fact that there are few examples of constructions using any method other than those used traditionally in the city. This thesis aims to help fill this void and serve as a starting point in the use of new available alternatives.



Tabla de contenido:

CAPÍTULO 1.- LINEAMIENTOS	9
1.1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.4. JUSTIFICACIÓN	12
1.5. MARCO DE REFERENCIA	13
1.6. HIPÓTESIS	15
1.7. METODOLOGÍA.....	15
CAPÍTULO 2.- ACERCA DEL HORMIGÓN PRETENSADO	18
2.1. INTRODUCCIÓN.....	19
2.2. CONCEPTOS BÁSICOS DEL PRETENSADO	23
2.3. ARQUITECTURA Y PRETENSADO: EJEMPLOS ICÓNICOS.....	30
CAPÍTULO 3.- EL PROYECTAR DESDE LA TÉCNICA	39
3.1. EL PRETENSADO COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO	40
3.2. LA PREFABRICACION APLICADA: DEL MÓDULO DE DISEÑO A LA ESTRUCTURA INDISPENSABLE	50
CAPÍTULO 4.- CRITERIOS DE APLICACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS VERTICALES DE MEDIANA ALTURA EN LA CIUDAD DE CUENCA	60
4.1. CONDICIONANTES DEL ENTORNO ESPECÍFICO	61
4.1.1. CONSIDERACIONES PARA EL USO DEL SISTEMA PROPUESTO EN FUNCIÓN DE LA NORMATIVA	61
4.1.2. ANÁLISIS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS USADOS PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS EN ALTURA EN LA CIUDAD DE CUENCA	65



4.2. CRITERIOS DE DISEÑO Y APLICACIÓN EN EDIFICIOS	68
4.2.1. DISPONIBILIDAD DE COMPONENTES PRETENSADOS A NIVEL LOCAL	69
4.2.2. TIPOLOGÍAS BÁSICAS APLICADAS AL DISEÑO DE EDIFICIOS: Geometría y coordinación dimensional.....	78
4.2.2. “ESTÉTICA INHERENTE” APLICADA AL DISEÑO DE EDIFICIOS: Posibilidades arquitectónicas y lenguaje expresivo del pretensado.....	94
CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES Y ANEXOS	104
5.1. CONCLUSIONES	104
5.2. DOCUMENTOS ANEXOS.....	107
BIBLIOGRAFIA	109
AGRADECIMIENTOS	111



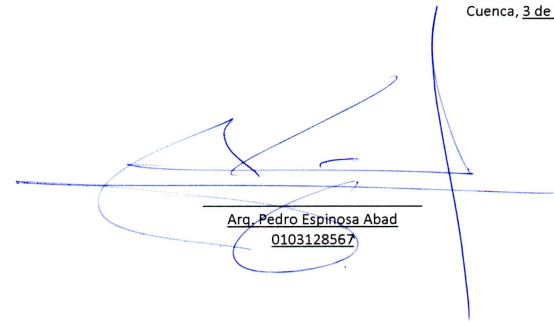
UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Fundada en 1867

Yo, PEDRO ANDRÉS ESPINOSA ABAD, autor de la tesis "PROPUESTA DE INNOVACIÓN PARA EL USO DEL PRETENSADO EN LA ARQUITECTURA DE EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE CUENCA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 3 de julio de 2013



Arq. Pedro Espinosa Abad
0103128567

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

CAPITULO 1 - LINEAMIENTOS

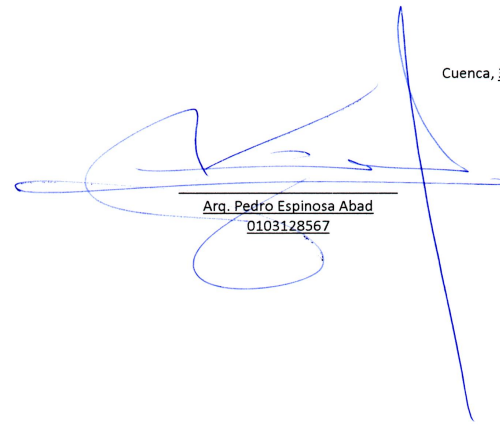


UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, PEDRO ANDRÉS ESPINOSA ABAD, autor de la tesis "PROPUESTA DE INNOVACIÓN PARA EL USO DEL PRETENSADO EN LA ARQUITECTURA DE EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE CUENCA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGÍSTER EN CONSTRUCCIONES. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 3 de julio de 2013



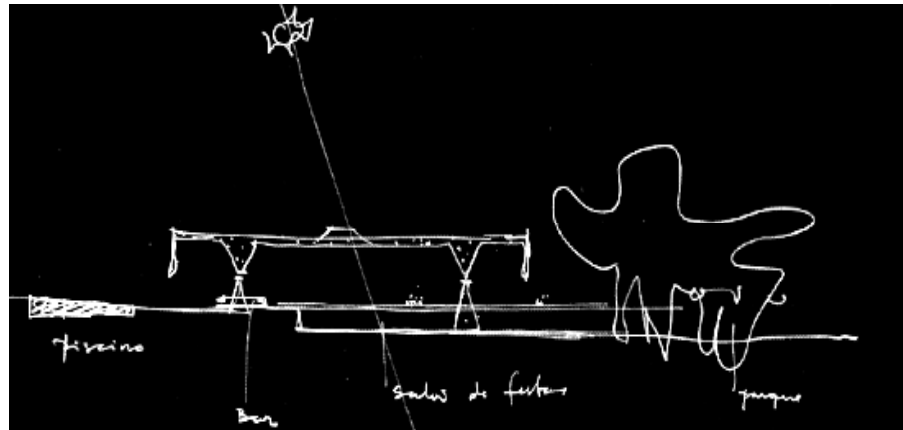
Arq. Pedro Espinosa Abad
0103128567

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador

“PROPUESTA DE INNOVACIÓN PARA EL USO DEL PRETENSADO EN LA ARQUITECTURA DE EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE CUENCA”

aplicabilidad para soluciones verticales de mediana altura
(de entre 4 y 9 pisos)



“En términos históricos los arquitectos todavía no han comprendido lo que significa el concepto del pretensado en la construcción. Las estructuras metálicas, en sus más diversas tipologías y conceptos, así como el cemento Portland y el hormigón armado son innovaciones técnicas que tardaron cien años en producir obras maestras de la arquitectura. Los arquitectos manejan más a su gusto las técnicas y materiales conocidos y experimentados; con ellos producen las obras más bellas. Freyssinet (el inventor del hormigón pretensado) nació un siglo después de la construcción del primer puente de hierro. Pienso que faltan al menos dos generaciones de arquitectos para que salgan a la luz las primeras creaciones que incorporen esencialmente el concepto del pretensado”¹

José Antonio Fernández Ordoñez

Madrid, 1986

¹ Fernández Ordoñez, Jose Antonio. “Freyssinet, 24 años después de su muerte” Madrid, 1986

Dibujo de portada: Boceto de Paulo Mendes da Rocha

“PROPUESTA DE INNOVACIÓN PARA EL USO DEL PRETENSADO EN LA ARQUITECTURA DE EDIFICIOS DE LA CIUDAD DE CUENCA”

aplicabilidad para soluciones verticales de mediana altura
(de entre 4 y 9 pisos)



Carmen Pinós, Edificio Torre Cube. Guadalajara-México. Detalle del edificio en construcción, solucionado con pretensados de gran tamaño

Fotografía: Luis Bozzo

CAPÍTULO 1.- LINEAMIENTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

A primera vista se podría pensar que si hablamos de una técnica constructiva tan específica como el hormigón pretensado, nos referimos exclusivamente a un tema de ingeniería. Pero basta con indagar un poco en los últimos 50 años de producción edilicia iberoamericana para –re- descubrir que el pretensado ha sido una de las herramientas más poderosas dentro del proceso de diseño arquitectónico, y su entendimiento constructivo (más que su modelo de cálculo) ha permitido lograr verdaderas obras de arte a raíz de abordar el proyecto desde nuevos parámetros, conceptos y posibilidades que sólo ésta técnica nos brinda. Ejemplos extraordinarios se han plasmado desde hace mucho tiempo en Europa y EEUU, pero vale la pena detenerse en el Brasil, en donde ocurrió un fenómeno único e interesante de este particular, ya que Escuela Paulista de Arquitectos (de la mano de Joao Batista Vilanova Artigas y Paulo Mendes da Rocha) elevaron esta técnica a niveles poéticos, y el material – por naturaleza propia- logra una importancia de tal magnitud, que podemos asegurar que sin el uso del pretensado sus mejores obras no podían haber sido ni siquiera imaginadas y simplemente perderían su encanto. Mejor aún, desde la óptica que verdaderamente nos interesa, se demuestra en esta investigación que su propuesta arquitectónica nace, se condiciona y se desarrolla en función de la lógica del material y sus posibilidades constructivas, entendidas siempre desde los primeros trazos.

Al indagar las diversas posibilidades que denota el uso del hormigón pretensado en la arquitectura, podremos incorporar además ciertas ideas clave: economía, tiempos cortos de construcción, ligereza, plantas amplias liberadas de columnas, la honestidad estructural del sistema, entre otras cosas, que suponen, que esta técnica constructiva bien lograda y entendida desde lo proyectual, se la asocia inmediatamente como sinónimo de llevar al límite la optimización de un material, solucionando siempre lo necesario, lo verdaderamente eficaz. Vale la pena entonces, aventurarse a proyectar desde la técnica. Nada más sano para la nueva producción arquitectónica de nuestra ciudad que liberarla de los artificios, de lo innecesario, de la complejidad sin razón. Luego de un análisis general, esta propuesta persigue aterrizar en un punto de convergencia que pueda ser aplicable a nuestra realidad local. El estancamiento en sistemas tradicionales de construcción, ya sea por desconocimiento o por propia voluntad, nos desconecta no sólo de los acelerados avances tecnológicos de la época actual, sino de ofrecer a la ciudad de Cuenca nuevas visiones constructivas que sirvan verdaderamente para mejorar los estándares de calidad de nuestras edificaciones y sus procesos. El pretensado y sus ilimitadas cualidades arquitectónicas, nos ofrecen ahora dicha oportunidad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como principal antecedente histórico-constructivo en nuestra problemática local, podemos asegurar que el uso de los llamados “nuevos materiales”, específicamente la introducción del hormigón armado, se desarrolla como “técnica alternativa de construcción para la arquitectura de edificios” recién desde la década de los cincuentas. y por supuesto, resultaba lógicamente un tema exclusivo de la ingeniería. Por este motivo, Cuenca tuvo un singular episodio histórico de sus construcciones muy bien denominado como “la arquitectura de los ingenieros”², los mismos que empiezan a diseñar -por su cuenta- y construir pequeños edificios y casas unifamiliares en hormigón armado ante la enorme escasez del profesional arquitecto en la ciudad. Conscientes de este vacío, se crea la Escuela de Arquitectura como tal en el año 1958 –que sería Facultad recién tres años más tarde- concebida inicialmente como un anexo de la Escuela de Ingeniería, ambas pertenecientes a la Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad de Cuenca.

² Moyano, Gabriela.-Rivera, Mónica. “ Arquitectura de las líneas rectas: Influencia del movimiento moderno en Cuenca 1950-1965” Tesis de grado, año 2002 Fac. de Arquitectura. U.de Cuenca.

Se vuelve necesario analizar el complejo telón que antecede a los últimos años de producción arquitectónica en la ciudad, puesto que la raíz del problema encuentra siempre origen y antecedentes en la matriz formativa del profesional de la construcción por lo que debemos remontarnos obligatoriamente a estos importantes hechos. De aquí, podríamos atrevernos a intuir que todo proceso de cambio supuso a su vez cierto proceso de aprendizaje, dada la natural dificultad de subdividir –en esos años- un mismo cuerpo docente y académico hacia dos especialidades aparentemente disímiles. Pero, como resulta lógico, esta gran dosis de entusiasmo tuvo –en sus tantos caminos de experimentación- grandes aciertos y graves errores.

Por un lado, las primeras generaciones de arquitectos en la ciudad forjaron (casi de forma autodidacta) una extraordinaria escuela que aportó con ideas innovadoras que siempre se basaron en el respeto profesado a reinterpretar la arquitectura vernacular, su entorno y el uso de materiales locales. Pero por otro lado, esta mal entendida insistencia de que la arquitectura y la ingeniería debían ser manejadas como carreras universitarias completamente separadas, desencadenaron penosamente un rompimiento radical e inevitable que obligó desde el punto de vista formativo a que los arquitectos locales se vuelvan mucho más artistas que técnicos, y así la construcción entendida como el requisito básico para poder proyectar y entender la arquitectura, pasa a un segundo plano, llegando inclusive al peligroso imaginario local de creer que el arquitecto debe simplemente “diseñar formas” para que el ingeniero “las pueda resolver técnicamente en la construcción” .

Esta penosa realidad -que aunque en menor grado, se arrastra hasta nuestros días- provocó un visible estancamiento de la incorporación de tecnologías constructivas diferentes, que permitan, en esencia, recuperar la visión técnica casi perdida al momento de proyectar nuestra arquitectura; mejorando los procesos, los prolongados tiempos de ejecución de los edificios, reduciendo la mano de obra, entre otros condicionantes, que nos ofrezcan alternativas ciertas para abordar bajo una óptica de eficiencia, la construcción de nuevos proyectos en la ciudad. Se plantea puntualmente realizar un análisis de las soluciones verticales de mediana altura (de entre 4 y 9 pisos), tan insistentemente propuestas en los últimos años y que seguirán reproduciéndose masivamente, dadas las especiales condicionantes de nuestra normativa municipal, el entorno urbano específico, la carencia y carestía del suelo, entre otros factores que vaticinan claramente este futuro edificado para Cuenca.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general: Adaptar la tecnología existente en hormigón pretensado para que sea aplicable a la nueva arquitectura de edificios en la ciudad de Cuenca

Objetivos específicos:

- a.- Entender la lógica del sistema; sus posibilidades, sus límites y sus criterios de aplicación de acuerdo a nuestra realidad constructiva
- b.- Lograr que los planteamientos de diseño en la propuesta, sean conceptualmente sencillos pero altamente especializados
- c.- Diseñar desde la técnica: el pretensado entendido como una verdadera herramienta de apoyo a la arquitectura, especialmente desde la concepción inicial de los proyectos.
- d.- Establecer una metodología clara para el diseño de edificios -basados en este sistema constructivo- que permita una integración coordinada y sistémica entre el arquitecto diseñador y el ingeniero estructural, en todas y cada una de las etapas de planificación y construcción.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El proceso evolutivo de la arquitectura de Cuenca -en todas sus etapas- ha estado siempre marcado por el valioso legado constructivo de sus artesanos. Por su naturaleza de ciudad pequeña, y por una serie de factores socio-culturales arraigados en la tradición, su entorno edificado se ha seguido materializando mediante sistemas y técnicas puramente artesanales, y en ciertos casos, empíricas. Por este motivo, es lamentable reconocer que nuestras construcciones -en especial las más recientes- dejan en clara evidencia un sinnúmero de carencias y graves limitaciones técnicas que, hoy por hoy, se encuentran muy lejos de lograr estándares mínimos de calidad en la construcción.

Ya sea por simple desconocimiento, falta de condiciones técnicas o falta de emprendimiento, se ha relegado completamente el uso de nuevas prácticas constructivas, que permitan, principalmente, mejorar los prolongados tiempos de ejecución de los edificios, reducir radicalmente la mano de obra, sistematizar o industrializar procesos, entre otros condicionantes, que nos

ofrezcan nuevas posibilidades para abordar bajo un nuevo enfoque de eficiencia, el desarrollo de proyectos arquitectónicos en la ciudad de Cuenca.

A raíz de esta impostergable necesidad, se busca desarrollar una propuesta que nazca justamente de la aplicación y adopción directa de una nueva tecnología de construcción, pero que al mismo tiempo resulte factible y aplicable a nuestra realidad local. Se propone el uso del hormigón prefabricado pretensado, como una valiosa herramienta que oriente y facilite el planteamiento estructural de estas nuevas edificaciones. Esto no sólo resulta viable sino necesario, ya que la prefabricación va ganando cada vez más terreno en el mercado de la construcción a nivel mundial, gracias al sinnúmero de ventajas técnico-constructivas que el sistema nos ofrece, ahora orientado en esta investigación a explotar además sus posibilidades arquitectónicas y proyectuales.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

La referencia teórica más cercana y más valiosa, en cuanto al enfoque del tema de investigación que se pretende desarrollar, es una tesis doctoral desarrollada recientemente en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. El trabajo de 400 páginas, publicado en el año 2007, se titula **“De las posibilidades arquitectónicas del pretensado: técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha”** Su autor, el Arq. José María García del Monte³, es docente de la cátedra de Proyectos Arquitectónicos y de Construcciones, lo que ha permitido que la investigación propuesta encuentre asidero y sintonía total con el análisis presentado en esta tesis, básicamente por el enfoque arquitectónico-constructivo que el autor da a su trabajo.

Si bien este estudio nace de entender la técnica del pretensado en función de explorar la obra de un arquitecto específico, se propone -a partir de éste análisis- visualizar la construcción de una nueva teoría o método de aplicación, que recoja las expectativas e inquietudes planteadas en el protocolo. Esta es, sin lugar a dudas, la base teórica más importante de ésta investigación y deberá ser interpretada correctamente con el fin de encaminar el proceso a cumplir con los objetivos planteados .

³ José María García del Monte, Dr. Arq. Docente de la Universidad Politécnica de Madrid

En cuanto a lo local, la **Universidad de Cuenca** publicó recientemente un libro específico del **pretensado**, elaborado por el Ing. Fabián Carrasco Castro.⁴ El, a más de ser un destacado catedrático y actual Rector de la Universidad, es quién ha llevado verdaderamente a la práctica la construcción de sistemas pretensados en los últimos años en Cuenca. Si bien los ejemplos edificados no son tan numerosos, su empresa constructora dio la pauta definitiva para que se empiece a cambiar la mentalidad de arquitectos e ingenieros en la ciudad para abrirse a estas nuevas posibilidades de abordar la ejecución de proyectos en la ciudad.

Pese a que el enfoque de su libro se orienta más a la ingeniería y cálculo de elementos, (tema que no resulta pertinente ser desarrollado en ésta tesis) se convierte en el referente local más directo para esta propuesta de investigación, puesto que nos habla de una manera sencilla y concisa acerca de los conceptos básicos del pretensado, y sobre todo, nos ha demostrado la posibilidad real de aplicar el sistema en nuestra ciudad, ya visible en algunos edificios construidos. Desde el año 2001, su empresa ha empezado a desarrollar exclusivamente sistemas de estructuras en pretensado para ser adaptado en Cuenca, por lo cual, se contaría con un escenario de arranque inmejorable si se aúnan esfuerzos para que la investigación planteada tenga un impacto tangible y directo en el mejoramiento de la calidad de procesos constructivos de edificios en la ciudad.

Finalmente, se ha tratado de lograr como requisito fundamental, una coordinación integral entre arquitectura e ingeniería desde los inicios de la planificación de proyectos hasta su ejecución final. En este caso, se cuenta con un valioso referente que puede orientar objetivamente esta deseada conexión. “Enfoque analítico y sistemático hacia la coordinación técnica total en la arquitectura” realizado por Julio César Gómez Acuña nació como una Tesis de Maestría en Construcción realizada en el 2007 por la Universidad Nacional de Colombia, y fue publicada por su valor teórico y por la claridad en la cual el autor aborda un tema tan complejo como es el de la coordinación interdisciplinaria en la construcción de un proyecto de arquitectura. Por esta razón, se ha creído conveniente incorporarla a la visión que persigue la elaboración de esta propuesta de investigación.

⁴ Carrasco Castro, Fabián. “Hormigón pretensado: diseño de elementos isostáticos” Libro publicado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, año 2010. ISBN: 978-9978-14-192-2

1.6 HIPÓTESIS

- El analizar a fondo un sistema constructivo específico, permitirá canalizar este conocimiento a la etapa inicial de un proyecto arquitectónico, transformándolo en una herramienta de diseño.
- Si se plantea una coordinación interdisciplinaria entre arquitecto e ingeniero, desde el inicio de la fase de diseño, resultará más fácil la integración y adaptación posterior de los requerimientos exigenciales del resto de ingenierías complementarias al proyecto de arquitectura.
- Desde el entendimiento de la técnica y del material, se puede llegar a proponer sistemas de pre-dimensionamiento y distribución lógica de elementos constructivos en la planificación de un proyecto, sin llegar a realizar modelos de cálculo complejos.
- La optimización y modulación de elementos prefabricados puede reducir significativamente los costos de construcción y los plazos de ejecución de las obras.

1.7 METODOLOGÍA

DELIMITACIÓN DE LA METODOLOGÍA:

- Se profundizó la investigación hasta comprender la lógica constructiva del hormigón pretensado limitándose a establecer su aporte directo al diseño arquitectónico de edificios.
- Por la temática de la propuesta, no resultó pertinente desarrollar modelos de cálculo, pero si poder contar con los referentes conceptuales necesarios para su aplicación específica dentro del proyecto de arquitectura.
- Los límites espaciales de la propuesta se delimitaron para ser aplicables en la ciudad de Cuenca-Ecuador y se ubicarán para la realidad de su contexto.

ESTRATEGIA DE METODOLOGÍA:

a.- Se realizó una exhaustiva investigación documental teórica acerca de los sistemas constructivos en hormigón pretensado estableciendo por un lado, los conceptos básicos preliminares y por otro, sus posibilidades constructivas dentro del diseño de edificios. Para reforzar este punto, se analizaron ejemplos construidos de arquitectura en diversas partes del mundo, pero especialmente en Latinoamérica, con el fin de que sean ejemplos cercanos a nuestra realidad constructiva y que puedan proporcionar posteriormente parámetros de comparación con sistemas de construcción local.

b.- Se trató transcribir a un lenguaje arquitectónico simple, todos los requisitos que un edificio construido con esta tecnología debe cumplir estrictamente desde la ingeniería; es decir, su comportamiento estructural, criterios de sismo-resistencia, exigencias de prefabricación, tipos de uniones entre elementos prefabricados, condiciones de montaje, durabilidad, etc.

c.- Con todos estos datos preliminares, se realizaron entrevistas especializadas a profesionales que conocen la materia: ingenieros estructurales y arquitectos que hayan trabajado con sistemas pretensados en sus edificios, así como también referenciar a compañías fabricantes de sistemas pretensados en el país, con la finalidad de tener diferentes visiones sobre el mismo problema, encadenar datos y tratar de realizar un diagnóstico objetivo del escenario de estudio.

d. - Luego de procesar esta información, se trabajó directamente en una investigación de campo con la Compañía Pretensa RFV, único fabricante local (y empresa que colabora directamente con este proyecto), con la finalidad de establecer las posibilidades, limitaciones, y otras variables que tienen los sistemas pretensados en nuestra ciudad. Este se convierte en el paso más importante de la metodología, pues aquí se establecerá todos los condicionantes con los que se cuenta, como por ejemplo, tamaño de elementos, sistemas de transporte y montaje, limitaciones físicas, tipos de grúas, luces óptimas, voladizos posibles, número máximo de pisos, criterios de modulación, diseño de elementos no estructurales, entre otros.

e.- Cuando se clarificaron y establecieron todas estas variables de tipo técnico constructivo, se buscó un vínculo directo de aplicación a la arquitectura, en cuanto al enlace desde el diseño preliminar de edificios, de estos condicionantes. Es el tema fundamental de la propuesta de tesis, para lo cual realizaron algunas reuniones de trabajo con el Arq. MsC. José Miguel Mantilla en la ciudad de Quito, asesor quién ha realizado investigaciones en cuanto al diseño de edificios desde la parte geométrica y morfológica de las estructuras, por lo que se volvió una pieza clave para enlazar el diseño arquitectónico a la técnica constructiva, motivación principal de esta investigación.

f.- Desarrolladas las dos partes fundamentales del proyecto (tectónica y sistema constructivo) se estructura la propuesta en sí, que apunta a experimentar con variables específicas del trabajo con elementos pretensados y sobre todo a establecer un procedimiento básico general de aplicación de esta propuesta, con la finalidad de establecer un método de coordinación entre el arquitecto diseñador y el calculista para las diversas etapas del proyecto de arquitectura, desde conceptos preliminares hasta el proyecto ejecutivo final. Dicho método deberá ser adaptable a incluir así mismo al constructor del proyecto y a especialistas de otras disciplinas, especialmente de instalaciones.



CAPÍTULO 2:

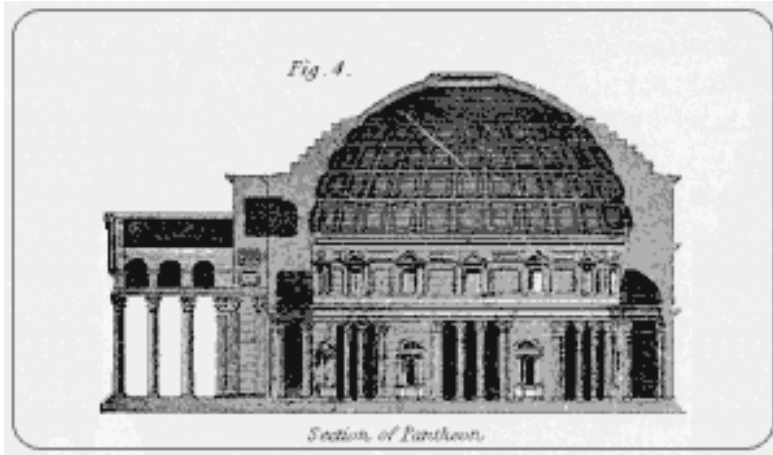
ACERCA DEL HORMIGÓN PRETENSADO



"Cada material tiene una personalidad específica distinta, y cada forma impone un diferente fenómeno tensional. La solución natural de un problema –arte sin artificio–, óptima frente a un conjunto de impuestos previos que la originaron, impresiona con su mensaje, satisfaciendo, al mismo tiempo, las exigencias del técnico y del artista...Entre los materiales de construcción, el hormigón pretensado es, a la vez, el más fino invento de nuestros días. Con él, la construcción se separa ya netamente de ese carácter más bien burdo que la distinguía de otras técnicas."⁵

⁵ Torroja Miret, Eduardo. "Razón y Ser de los tipos estructurales". Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Undécima reimpresión. ISBN:84-00-07980-9 Madrid, 2004.

2.1.- INTRODUCCIÓN



Detalles en corte y en perspectiva de la majestuosidad constructiva del Panteón

Fuente: Marcelino Urresti López

Con la invención del hormigón armado, la historia de la técnica vio nacer a un material revolucionario de inigualables propiedades, capaz de resolver de golpe un sinnúmero de problemas constructivos presentes en las edificaciones durante muchos siglos.

Pensar que un material amorfo y fluido, pueda endurecerse en pocas horas de tal forma que lograra propiedades mecánicas comparables a una roca pura, se convirtió en el punto de inflexión que catapultó el desarrollo de proezas arquitectónicas a lo largo de la historia. Si bien se tienen vagos registros de su uso en culturas milenarias como la egipcia y la griega, su estampa queda magistralmente grabada desde el período romano. Los romanos, constructores inigualables, resumieron todos sus conocimientos técnicos en una sola obra: el Panteón de Agripa construido hacia el año 27 a.C. Esta obra maestra de la arquitectura, una cúpula colosal de 43 m. de luz libre, nos sigue maravillando por su audacia constructiva. Pero la proeza contó su arma secreta: un hormigón en masa logrado con materiales puzolánicos,⁶ que se va paulatinamente aligerando con el empleo de casetones y piedra pómez triturada usada como árido.

Durante épocas posteriores, como la Edad Media y el Renacimiento, el desarrollo del hormigón fue paradójicamente muy escaso, principalmente por desconocimiento de los procesos de cocción de la cal y carencia de tobas volcánicas. Los aportes se limitaban casi exclusivamente a probar morteros de diferente tipo para aglutinar rocas y ladrillos para mampuestos.

Sólo hasta el siglo XVIII, la construcción de un faro en un acantilado en el puerto de Cornwall, Inglaterra, se convertiría en el hito oficial de la historia del hormigón como tal, ya que su mentor, el ingeniero inglés John Smeaton, realizaría en 1759 un sinnúmero de ensayos e investigaciones serias para producir un material que garantice el continuo y agresivo azote del mar,

⁶ Puzolánico::(Según la Real Academia de la Lengua Española Derivado del it. *pozzolana*).

1. f. Roca volcánica muy desmenuzada, de la misma composición que el basalto, la cual se encuentra en Puzol, población próxima a Nápoles, y en sus cercanías, y sirve para hacer, mezclada con cal, mortero hidráulico.



Imagen del faro de Cornwall, U.K. obra en donde el Ing. John Smeaton logró conseguir un material hidráulico al cual se le consideró como uno de los inicios técnicos del hormigón

Fuente: m.forocoches.com

logrando su objetivo consiguiendo un material hidráulico súper resistente producido con cal calcinada mezclada con rocas. Este fue el inicio de los múltiples adelantos en el conocimiento de los cementos que posteriormente permitirían el surgimiento del hormigón en la construcción.

Por ese mismo hecho, no es de asombrarse que sesenta años más tarde, un ingeniero nacido en el mismo pueblo de su predecesor Smeaton (Leeds, U.K.), llamado Joseph Aspdin, produciría ya la primera patente del cemento Pórtland que sería usado luego de pocos años en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres.

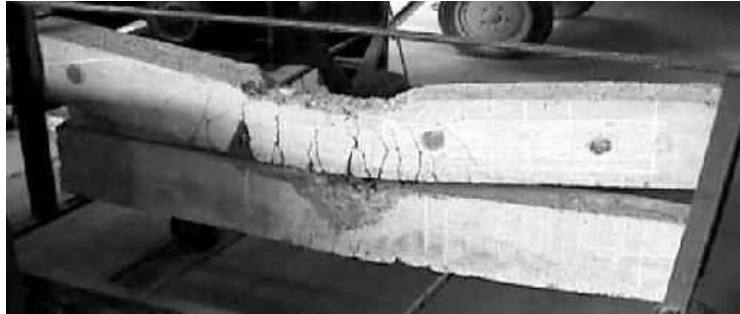
Pero es en el sur de Francia, entre 1850 y 1861 que se comienzan a fabricar objetos que incorporan el hierro para mejorar las propiedades del hormigón, conformando un nuevo material capaz de soportar “fuerzas adicionales” a las que pudieran tener los dos materiales por separado. Curiosamente un afamado artista, de apellido Monier, diseña grandes jardineras superpuestas construidas en cemento reforzado con alambres de hierro, dando paso al nacimiento del primer hormigón armado. “ Aunque años después se estudia, por primera vez, el papel que corresponde al hormigón y al acero como partes integrantes del nuevo material, sabiendo de esta manera, el buen funcionamiento de la interacción de estos dos materiales tan diferentes.... Pero no fue hasta 1875 cuando Joseph Monier se dio cuenta de la enorme importancia industrial del hormigón armado siendo así el primero en patentarlo. Con esta técnica, en el mismo año, construye el primer puente de hormigón armado del mundo, cerca de Chazallet en Francia, con una luz de 16,5m.”⁷

Con estos antecedentes, tal vez aseveremos que “el hormigón armado no fue, inicialmente, ningún producto de la Ciencia ni de la Técnica. Es difícil que hubiera podido idearse y confiarse en su eficacia si la realidad no hubiera venido a probársela a sus propios inventores, inconscientes del valor y posibilidades de lo que inventaban; porque es, todavía hoy, difícil de justificar el comportamiento conjunto del hormigón y el acero en esta extraña coyunda.”⁸

El hormigón armado supone entonces, el aprovechar conjuntamente las cualidades intrínsecas de sus materiales componentes: resiste extraordinariamente bien la compresión (por las cualidades monolíticas del

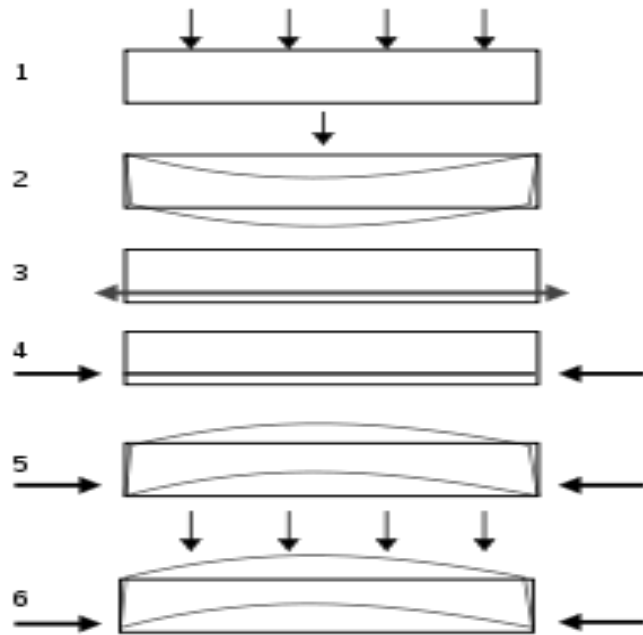
⁷ Martínez Ponce, David. “Historia del hormigón” (es.scribd.com/doc/91367937/5)

⁸ Torroja Miret, Eduardo. “Razón y Ser de los tipos estructurales”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Undécima reimpresión. ISBN:84-00-07980-9 Madrid, 2004.



Prueba de falla del hormigón a la flexión. Se observa la patología de rotura

Fuente: elconstructorcivil.com



Esquema de deformaciones: [1-2] se observa la vulnerabilidad del hormigón ante fenómenos de flexión. [3-4] el principio básico del pretensado; introducir una precompresión que anule dicha vulnerabilidad. [5] la precompresión "arquea" temporalmente al elemento estructural el cual [6] va a "descansar" finalmente cuando se encuentre en su posición final de apoyo.

Fuente: "Hormigón pretensado" es.wikipedia.org

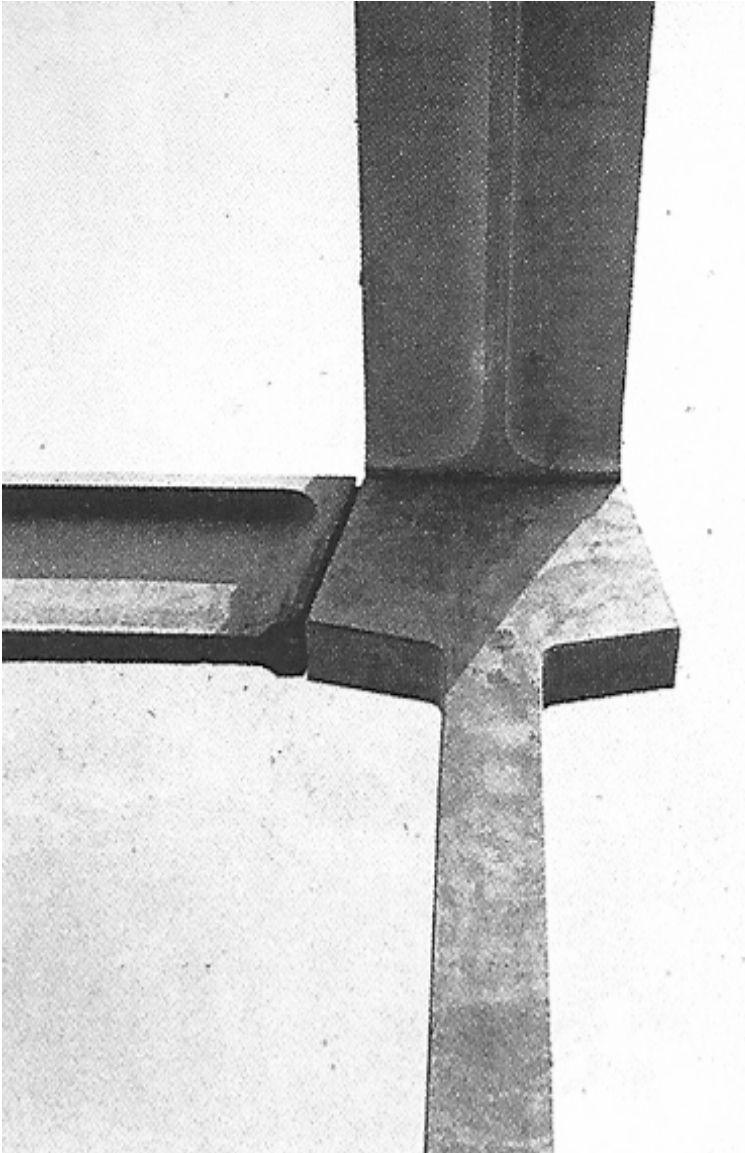
hormigón) y absorbe bastante bien los esfuerzos de tracción (en su componente interno de acero). Por este motivo, se dice acertadamente que en el hormigón armado, "el acero da fibra a la piedra, mientras que el hormigón da masa al acero."⁹ El concepto de **durabilidad** siempre asociado a los materiales pétreos y compactos, ahora es magníficamente mejorado al incluirle una cualidad casi impensable a su naturaleza sólida: la "**traccionabilidad**". La unión y la extraordinaria complementación del hormigón con el acero sólo fue posible gracias a una de las coincidencias más felices de la técnica: el coeficiente de dilatación térmica de los dos materiales es prácticamente el mismo¹⁰; sin esta condición su comportamiento como material unitario no sería posible. Pero este nuevo material compuesto, al ser solicitado a tracción, no es que trabaja exclusivamente con la armadura de acero, pues el hormigón (como principal componente) también se tracciona, y por este mismo hecho (aunque a veces no sea claramente visible) siempre se microfisura, disminuyendo ostensiblemente sus propiedades de material durable.

La pregunta sería entonces, ¿cómo poder evitar este fisuramiento propio del trabajo a tracción del hormigón en condiciones de servicio? La respuesta podría ser sencilla, y respondida desde las más elementales reglas de la física... "Siempre que un objeto ejerce una fuerza sobre un segundo objeto, el segundo objeto ejerce una fuerza de igual magnitud y dirección opuesta sobre el primero. Con frecuencia se enuncia como "A cada acción siempre se opone una reacción igual". En cualquier interacción hay un par de fuerzas de acción y reacción, cuya magnitud es igual y sus direcciones son opuestas."¹¹ Dicho de otra manera; si se quiere evitar una fuerza, se la debe anular con otra fuerza equivalente en sentido contrario. Y ocurrió que en 1920, pues un ingeniero francés, Eugéne Freyssinet -del quién hablaremos más adelante- se planteó estas interrogantes y las supo llevar a la práctica, introduciendo esfuerzos previos de compresión en las armaduras de acero para compensar la debilidad natural del hormigón frente a los esfuerzos de tracción. Citando sus mismas palabras: "*Un día tuve la idea de que si bien no se podía obligar al hormigón a seguir sin rotura la deformación del acero, se podía al contrario imponer al acero la deformación del hormigón. Para ello bastaría someter al conjunto de las armaduras a una tensión total más elevada que toda la tracción ulterior de*

⁹ Torroja Miret, Eduardo. "Razón y Ser de los tipos estructurales". Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Undécima reimpresión. ISBN:84-00-07980-9 Madrid, 2004.

¹⁰ Instituto Mexicano de Construcción y Tecnología (www.imcyc.com)

¹¹ Tercera Ley de Newton: en (sites.google.com/site/timesolar/fuerza/terceraleydenewton)



Detalle de un edificio industrial en la ciudad de Milán con pretensados. 1964
Obra de Angelo Mangiarotti.

Fuente: Monografías Tectónica, Vol 5 ATC Ediciones, Madrid 2003

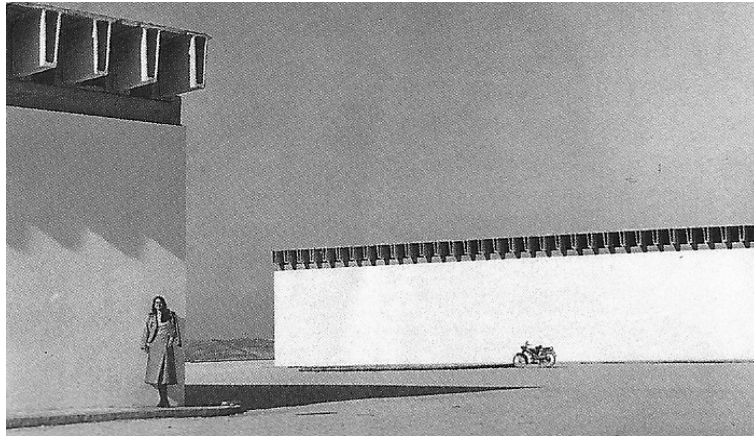
*manera que el hormigón se encontrara permanentemente comprimido.”¹²
...“Esta decisión, que trae mucha pelea consiguió validar en construcciones reales, supone en sí una novedad que va mucho más allá de la mejora de un material previamente conocido. Para empezar, supone un cambio fundamental en el modo de entender una estructura: no se trata ahora de colocar algo pasivo y aprovechar sus cualidades mecánicas para resistir unos esfuerzos sobrevenidos, sino de tomar la delantera y hacer entrar en escena el uso de la tensión inducida a un material como parte activa de su reacción a un estado de cargas para el que ha sido diseñado. Se trata, en resumen, de dirigir los estados tensionales a donde se quiere y de emplear, por primera vez en la historia de la construcción de modo consciente y calculado precisamente, una fuerza inducida como parte conformante del material y de la solución del problema.”¹³*

En otras palabras, el hormigón “armado” se transforma en “pretensado” al introducir calculada e intencionadamente esfuerzos de compresión previos a su puesta en obra para anular esos esfuerzos de tracción nocivos para el hormigón en condiciones de servicio. Dichos esfuerzos se logran mediante cables de acero de alta resistencia que son tensados en sus extremos; sobre los cuales se procederá a verter el hormigón, el mismo que una vez que haya fraguado, deberá tener las resistencias suficientes para poder soportar la presión interna del cable al destensarlo. En este caso, el cable representa la pre-tensión propia que buscamos en el elemento construido final, y de esta manera se puede eliminar la tracción no deseada en el hormigón, y con ello la micro-fisuración. Por lo tanto, se trata de un material completamente diferente al hormigón armado, pese que cuenta con los mismos componentes (hormigón y acero), su física es otra y su entendimiento desde la naturaleza misma del material obliga al proyectista a pensar y resolver sus edificios desde un enfoque distinto a los tradicionalmente conocidos.

¹² Citado en: Fernández Ordóñez , José Antonio, “Eugene Freyssinet”, nota 132, p.247.

¹³ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

2.2.- CONCEPTOS BÁSICOS DEL PRETENSADO



Bodegas Gavery, Jerez de la Frontera. Obra de Miguel Fisac, 1967

Fuente: Monografías Tectónica, Vol 5 ATC Ediciones, Madrid 2003



La sección de un elemento prefabricado puede solucionar al mismo tiempo diferentes temas proyectuales: estructura, estética y evacuación de aguas

En palabras de Miguel Fisac, “es precisamente con el hormigón pretensado cuando se obtiene ¡al fin! el primer material durable-traccionable, aunque sea a costa del artificio de comprimir previamente, con más tensión, el material que, posteriormente, al ponerlo en trabajo va a necesitar de estiramiento.”¹⁴ Ese nuevo material difiere, como ya se mencionó anteriormente, con el hormigón armado convencional.

Sus verdaderas diferencias comienzan desde ubicar al pretensado como un producto realizado íntegramente en la industria, y por esta condición, el material se acoge estrictamente a todos sus procesos; desde la producción en serie hasta un estricto control de calidad del elemento acabado. Es, básicamente un material prefabricado que se produce por moldeo y bajo condiciones climáticas controladas, lo que aportará considerablemente en la calidad final del hormigón y su resistencia, puesto que el mismo proceso de industrialización obliga a seleccionar cuidadosamente la materia prima (cemento, áridos, agua, aditivos, adiciones) usada siempre en dosificaciones exactas, así como a contar con un método establecido de vibrado y curado. “La consecuencia de su forma de producción es elevar considerablemente las magnitudes de todas sus características físicas (resistencia mecánica, acabado de la superficie, adherencia, resistencia a la corrosión, etc) y acabar con el “nivel de incertidumbre” asociado al hormigón armado, al introducir el control y la precisión propios de la fabricación industrial.”¹⁵ Se trata entonces de un material que tiene indiscutiblemente grandes ventajas sobre el hormigón reforzado tradicional, que logra mejores resultados comparativos en diversos frentes; algunos inciertos (clima, entorno inmediato), otros muy poco controlados (calidad del material entregado en sitio, dosificaciones, mezclado, vibrado, etc) y otros casi omitidos a nivel local, como el curado y la selección meticulosa de mano de obra especializada.

El proceso de fabricación industrial del hormigón pretensado, debe cumplir, por supuesto, una serie de requerimientos técnicos muy rigurosos y altamente especializados, para poder lograr un material de buena calidad y

¹⁴ Fisac, Miguel. 1997 Ensayo citado en: Monografías Tectónica, Hormigón (II) ATC Ediciones, Madrid,2003

¹⁵ Araujo Armero, Ramón. “Hormigón prefabricado y construcción en altura”. Artículo citado en: Monografías Tectónica, Hormigón Prefabricado. ATC Ediciones, Madrid,2003



Planta de pretensados RFV. Cuenca-Ecuador. Vista general de nave principal



Planta de pretensados RFV. Cuenca-Ecuador. Detalle de encofrado tipo "cama"

completamente seguro al momento de su puesta en servicio. Lo primero, es contar una planta cubierta de grandes dimensiones que genere, por un lado, un ambiente controlado ante las inclemencias climáticas, como la radiación solar excesiva, la lluvia, la contaminación externa, entre otros factores que puedan afectar la calidad de los procesos químicos del fraguado del hormigón. Por otro lado, a diferencia de las plantas de prefabricados de hormigón simple, las plantas de hormigón pretensado cuentan con instalaciones especiales como las "camas", que son encofrados lineales metálicos, fijos a ras del suelo y de extraordinaria calidad, que están pensados para poder controlar con precisión la geometría de las secciones de los distintos elementos a fabricar, así como también garantizar la horizontalidad y continuidad longitudinal de las piezas. Además, a cada extremo de las camas, están ubicados los elementos que justamente van a realizar el proceso de pre-esfuerzo. En el inicio de la "cama" se sitúa un gato hidráulico de alta precisión que jalará el cable o los cables de acero de alta resistencia, que cruzan a toda la sección interior de las camas y se encuentran inmovilizados hacia el otro extremo de la cama. Sólo cuando el cable cumpla efectivamente el valor de tensión asignado en el cálculo estructural (medido a través de un manómetro especial adaptado para este fin) se podrá proceder a hormigonar el elemento. Así mismo, únicamente cuando éste elemento haya fraguado el tiempo necesario como para asegurar que la resistencia a compresión del hormigón empleado, supere la tensión previa introducida en el cable, se podrá proceder a cortar los cables y destensar. Si esto no sucede, y la tensión introducida en el acero es mayor a la resistencia a la compresión del hormigón, la fuerza del cable "reventará" literalmente a la pieza construida, con el enorme peligro de accidentalidad que eso conlleva a un obrero que fabrique y manipule dichos elementos.

Esto supone, contar con el acero apropiado (no se puede usar cualquier acero, pues se usa un material de propiedades físicas especiales, que se usa exclusivamente para este fin). De la misma manera, no se podría usar un hormigón "normal", ya que se deben cumplir resistencias muy altas para justamente poder cumplir la condición inicial de que el hormigón sea más resistente que la importante tensión introducida a través de los cables de pre-esfuerzo. Por este motivo, el diseño de la calidad del hormigón es el tema más importante en el resultado final del sistema constructivo. La estrategia es lograr una fórmula con una baja relación agua-cemento, y dosificaciones precisas de áridos, además de contar con la ayuda indispensable de aditivos como hiperfluidificantes y mejoradores de trabajabilidad (ya que al contar con una baja relación a/c se tendría en teoría una mezcla seca muy difícil de trabajar)

TIPOS DE UNIONES EN SISTEMAS APORTICADOS

Las uniones más sencillas son los apoyos sobre cartelas enlazadas con elementos metálicos de centrado

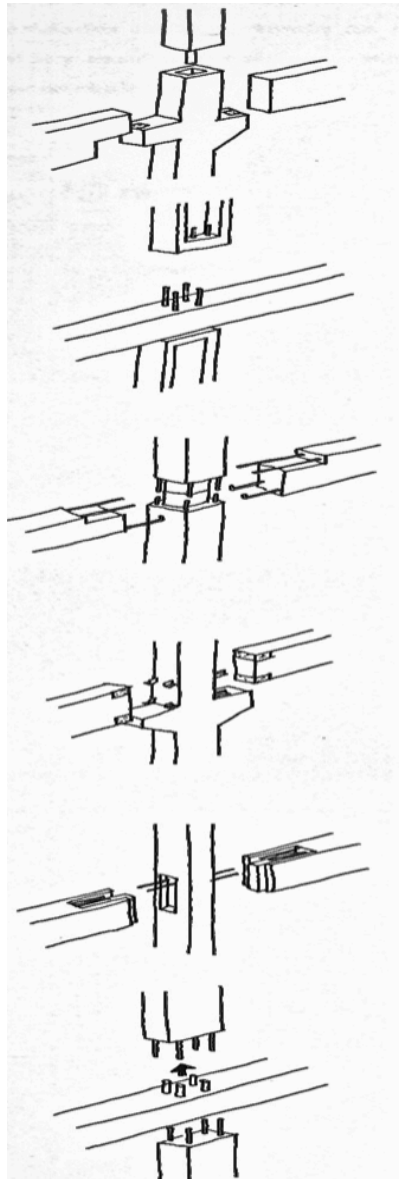
Se pueden tener uniones más limpias con tornillos o pernos, además de lograr ciertos grados de empotramiento.

Para hacer la unión resistente a momentos flectores, se puede hormigonar el nudo, resolviendo la continuidad de las armaduras con amarras o soldadura

También se puede producir uniones resistentes a momentos flectores por soldadura entre casquillos.

La unión puede llegar a escamotear todos sus mecanismos de enlace, cajeando las zonas de apoyo y solape entre armaduras.

En las uniones postensadas, el único mecanismo de unión es el sistema de fuerzas introducido, que se traduce en compresión y rozamiento entre piezas. Los empalmes de armadura, realizados después de cada operación de tensado, se resuelven con manguitos soldados



Fuente: Thiamér Koncz, Manual de la construcción prefabricada. Editorial Hermann Blume, Madrid, 1975. Citado en Monografías Tectónica, Hormigón Prefabricado. ATC Ediciones, Madrid, 2003

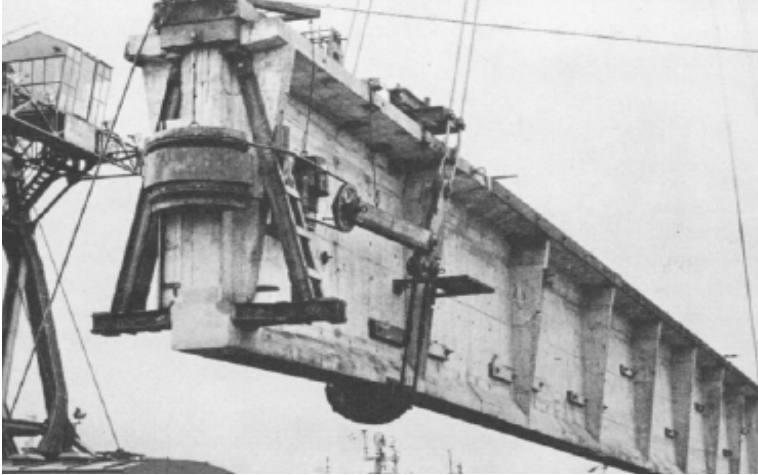
Pero la construcción prefabricada debe superar una dificultad sustancial que no es presente en el hormigón armado: la discontinuidad. El sólo hecho de pre-hacer elementos estandarizados obliga a pensar soluciones especiales para las uniones entre los mismos, ya que éstas son el determinante final para garantizar un adecuado comportamiento estructural y sismo-resistente del edificio. En este sentido, el hormigón convencional no presenta este problema, al tener uniones continuas y monolíticas entre todos sus elementos. Históricamente, “el problema de la unión en los elementos prefabricados se ha abordado tradicionalmente con dos técnicas diferentes. La primera solución sería resolver cualquier montaje por simple apoyo. La técnica del hormigón prefabricado quedaría así limitada a construcciones muy elementales, casi trilíticas, incorporando un sistema de estabilización independiente, ya que en general el nudo apoyado carece de estabilidad propia. Por otro lado el montaje se ha tratado de resolver a través de uniones rígidas, procurando solidarizar durante el proceso de montaje piezas independientes. Los sistemas básicos que han resuelto este tipo de uniones has sido a base de placas metálicas soldadas o de reserva de zonas sin hormigonar, en donde se resuelven los solapes entre armaduras y se termina la junta con un hormigonado en obra.”¹⁶

Por este motivo, es una práctica válida y usada, el conformar sistemas híbridos de elementos pretensados combinados con uniones rígidas de hormigón vertido en obra, para lo cual el fabricante y el constructor deberán preverlas, detallarlas y calcularlas desde su concepción inicial. Pero sin lugar a dudas, la técnica que cambió por completo las formas de unión fue definitivamente el postensado.¹⁷ **“Si el pretensado abre un nuevo campo en el diseño de piezas, el postensado permite concepciones absolutamente nuevas al permitir construir piezas continuas uniendo elementos prefabricados de menor tamaño, y aportando nuevas concepciones en los procesos de ejecución y montaje.”**¹⁸

¹⁶ Araujo Armero, Ramón. “Hormigón prefabricado y construcción en altura”. Artículo citado en: Monografías Tectónica, Hormigón Prefabricado. ATC Ediciones, Madrid, 2003

¹⁷ Hormigón postensado: aquel hormigón al que se le somete, después del vertido y fraguado, a esfuerzos de compresión por medio de armaduras activas (cables de acero) montadas dentro de vainas. A diferencia del pretensado, en el que las armaduras se tensan antes del hormigonado. (Fuente: es.wikipedia.org)

¹⁸ Araujo Armero, Ramón. “Hormigón prefabricado y construcción en altura”. Artículo citado en: Monografías Tectónica, Hormigón Prefabricado. ATC Ediciones, Madrid, 2003



"Viga recta pretensada para el puerto de Brest. Los rigidizadores y la sección variable de la viga nos habla de la forma como resultante de la necesidad de responder a la naturaleza del esfuerzo por comprenderla"

Fuente: José María García del Monte . "De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha" Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006



Vainas para el guiado de los cables postensados, en la obra del Banco de Bilbao

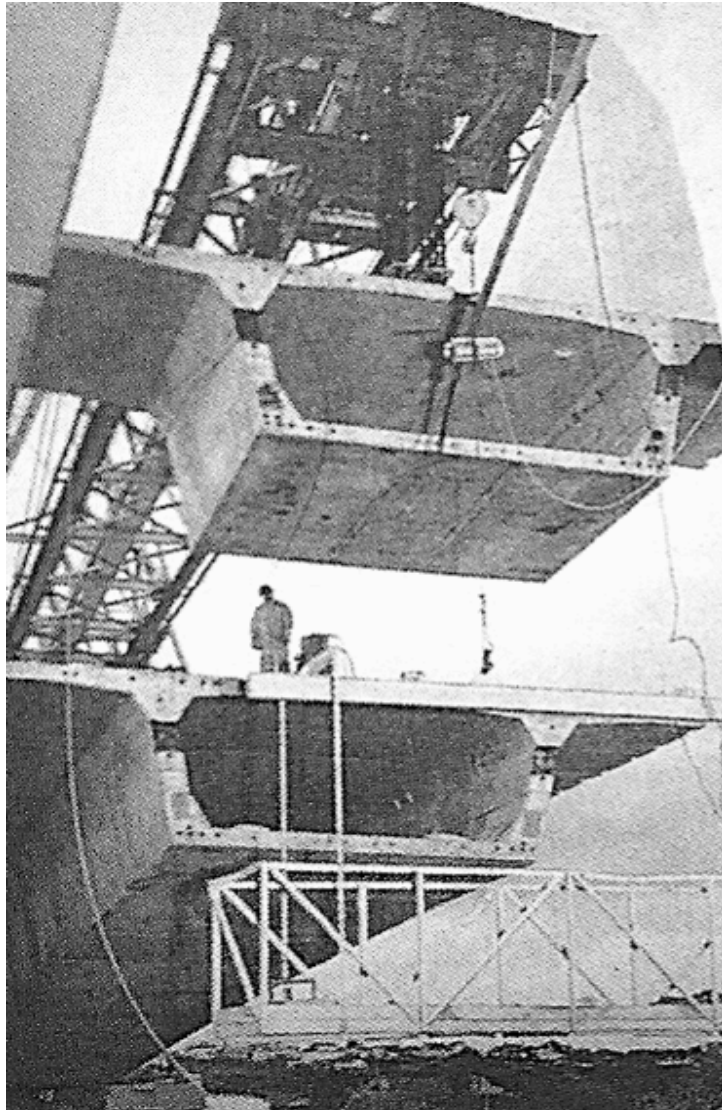
Fuente: Idem

Por ese motivo, cuando usamos la palabra **pretensado**, recordamos el concepto básico de introducir intencionalmente en el hormigón esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio a través de su armadura activa. Tal vez resulte etimológicamente más correcto hablar entonces de la palabra "**pre-esforzado**", aunque en términos constructivos, ésto se puede conseguir de dos maneras:

- Mediante armaduras pretensadas; es decir, mediante cables o alambres trellados que se tensan previo al hormigonado del elemento. Esta solución se aplica generalmente para la producción de elementos prefabricados, ó
- Mediante armaduras postensadas; es decir, mediante grupos de cables, torones, etc. que se tensan luego de que el hormigón ha fraguado, teniendo en cuenta que se dejaron previamente embebidas, tuberías guía llamadas vainas (que pueden ser plásticas, de acero o aluminio) o simplemente perforaciones planificadas para que pasen libremente los cables por su interior, que luego serán tensados, llegando al objetivo final de comprimir los elementos. Esta solución se aplica generalmente en el desarrollo de obras in situ y gracias a ella se ha podido mentalizar una arquitectura extraordinaria que nos sorprende con prestaciones técnicas imposibles de lograr con ningún otro sistema constructivo.

Además, podemos especificar su categorización según la interacción que se dé entre el concreto y los cables que realizan el pre-esfuerzo. Siendo así, podríamos tener presforzados adheridos y no adheridos. También influye en su clasificación, la localización de los elementos que generan las fuerzas de pre-esfuerzo. Entonces podrían ser pretensados con cables exteriores o interiores. Pero en todos los casos, es requerimiento básico de la técnica, el contar con hormigones y aceros de muy alta resistencia, que absorban con un alto grado de confiabilidad los esfuerzos necesarios introducidos.

Ampliando este concepto, podemos asumir que la palabra *pretensado*, acoge en toda su generalidad, los sistemas pre y postensados. O dicho con más propiedad, podemos hablar de **sistemas de precompresión con armaduras pretensadas**, o **sistemas de precompresión con armaduras postensadas**. En ciertas obras de importancia, como puentes u otras obras que requieran solicitudes especiales, es práctica común combinar los dos sistemas de pretensado. Por ejemplo, un puente de gran longitud, puede estar conformado por una serie de tramos o secciones pequeñas



Montaje del puente sobre el Loira en Blois, uno de los primeros puentes de dovelas en voladizo con adhesivo de contacto para el montaje.

Fuente: Artículo de Ramón Araujo Armero en: Monografías Tectónica, Vol 5 ATC Ediciones, Madrid 2003

individuales (dovelas o vértebras) que se van uniendo unas con otras para conformar el puente. En este caso, cada dovela, analizada individualmente, resulta una pieza prefabricada pretensada. Pero para la unión y estabilización final del conjunto, se necesitará postensar mediante cables que crucen a manera de agujetas todos los elementos pretensados, solidarizándolos íntegramente mediante compresión. De esta manera, siendo fieles a la palabra en estricto sentido, deberíamos hablar de que éste puente, es en términos reales un sistema pretensado-postensado. Para facilitar el espectro de nuestro análisis, simplemente ubicaremos estos y otros ejemplos similares bajo el nombre de “sistemas pre-esforzados”.

En síntesis, el concepto básico del hormigón pre-esforzado radica en comprimir al hormigón mediante cables especiales de acero de alta resistencia (conocidos también como armadura activa) para lograr internamente un equilibrio de fuerzas entre los dos materiales, lo que provoca una mejora significativa del comportamiento estructural del elemento, ya que “es conocido que el hormigón simple trabaja muy bien a compresión, pero es débil a tracción, ya que resiste únicamente alrededor de un 10% de lo que lo hace a compresión. Además, es muy importante tener en cuenta que el comportamiento del elemento es distinto en cuanto a sus deformaciones y fisuras, ya que en el pretensado, primero la fuerza exterior tiene que eliminar la fuerza interna de pretensado, en cuya etapa el elemento se comporta elásticamente y no experimenta fisuras, no así en el hormigón armado que, muy pronto, una vez que se alcanza el esfuerzo de fisuración del hormigón, éste se fisura; el hormigón deja de trabajar o contribuir a la capacidad resistente, y la fuerza es soportada únicamente por el acero de refuerzo, incrementándose la deformación con respecto a la del pretensado.”¹⁹

El sólo hecho de contar con un bajo o nulo nivel de agrietamiento garantiza que el acero de refuerzo va a contar con una protección efectiva contra la corrosión, especialmente si hablamos de elementos expuestos a la intemperie o a entornos agresivos. La calidad final del hormigón, especialmente reflejada en su capa superficial de recubrimiento es indispensable, ya que “la fisuración implica abrir la vía a la penetración del agua y otras sustancias, que no sólo contribuyen a degradar al hormigón (roturas por expansión, heladicidad, carbonatación, etc.), sino que atacan a

¹⁹ Carrasco Castro, Fabián. “Hormigón pretensado: diseño de elementos isostáticos” Libro publicado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, año 2010. ISBN: 978-9978-14-192-2



Planta de pretensados RFV. Cuenca-Ecuador.

Detalle de fabricación de un sistema de losa pretensada en doble T, donde se observan los cables de acero sujetos por los torones metálicos que sobresalen de las camas de encofrado continuas que se encuentran empotradas al piso.

las armaduras, datando así la fecha inexorable de caducidad del elemento constructivo.”²⁰

Esto se traduce en una ventaja adicional del hormigón pretensado, ya que por más que se dé una tracción algo excesiva, si se mantienen los cables dentro del límite elástico, el momento de descargar la pieza, la fisuración se cerrará inmediatamente, resultando muy difícil distinguirla a simple vista. Por este motivo, el pretensado resulta un material inmejorable desde el punto de vista de la durabilidad.

Adicionalmente, otra característica inherente al pretensado radica en lograr un extraordinario “coeficiente económico-resistente de los alambres de acero especial que emplea y que alcanzan enormes resistencias gracias, en parte, al trefilado de pequeños diámetros...En el hormigón pretensado, la tracción del acero y la compresión del hormigón –como fenómenos parásitos propios del material, independientes de los estados de sollicitación exterior a que se le someta después- se mantienen en buena parte, gracias a la adherencia entre la armadura y el hormigón.”²¹

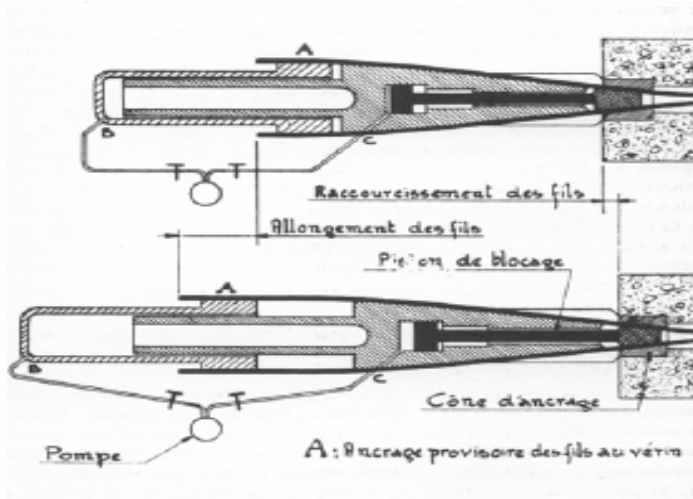
Nuevamente, remarcamos las diferencias más visibles entre el hormigón armado y el pretensado. “Para empezar, por contraste con el hormigón armado y como consecuencia de tratarse de un material elástico no fisurable, no se permite el lujo de desperdiciar las tres cuartas partes de su sección y utilizar sólo una cuarta parte como zona comprimida (hablamos, por supuesto, de problemas de flexión, los más comprometidos desde la perspectiva del aprovechamiento del material).”²²

Así mismo, “la precompresión a la que está sometido el hormigón pretensado por medio del tensado de cables, hace que se incremente sustancialmente su resistencia a tracción debido a cargas externas, antes que se fisure; por lo tanto se convierte en un elemento más rígido y con mayor resistencia. Como resultado, al tener estructuras de secciones menores, y consecuentemente de menor volumen (comparado con el

²⁰ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

²¹ Torroja Miret, Eduardo. “Razón y Ser de los tipos estructurales”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Undécima reimpresión. ISBN:84-00-07980-9 Madrid, 2004.

²² José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006



Arriba: Sección de un gato de anclaje para postensado, inventado por Freyssinet, obligado a desarrollar la totalidad de la técnica necesaria para hacer viable el sistema de construcción a base de pre-esforzados.

Abajo: Gato de postensado en la obra del Museo de Arte de Sao Paulo; proyecto estructural de Figueredo Ferraz

Fuente: José María García del Monte. "De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha". Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

hormigón armado), se puede disminuir la relación canto del elemento versus su longitud, lográndose finalmente elementos de mayor luz. En general se puede decir que en los elementos de hormigón pretensado, la relación peralte-luz comparados con los de hormigón armado es de un 65% a un 80% para un mismo diseño de carga y luz.”²³

Pero por otro lado, cuando se diseñe edificios con pretensado, el proyectista deberá asumir ciertas limitaciones específicas. La más visible radica en que los alambres no pueden curvarse con la misma libertad que en hormigón armado normal, por lo que su desarrollo se limita en su mayoría de casos a sistemas estructurales lineales, salvo las singulares excepciones, que se dan fundamentalmente en sistemas postensados. La otra radica en su puesta en obra, ya que el fabricante deberá considerar cargas especiales de transportación, izado y montajes de elementos, donde pueden accidentalmente invertirse momentos o adicionar cargas no deseadas antes de su estado final de tensión en obra. Finalmente, el éxito del sistema de ensamble de piezas prefabricadas siempre estará determinada a las conexiones, como ya se mencionó anteriormente.

Si bien es cierto, las desventajas técnicas y económicas que al principio suponían la introducción de un nuevo sistema de construcción, poco a poco han ido desapareciendo, y actualmente, el pretensado es un sistema muy utilizado, especialmente en los países industrializados y el alcance de la técnica cada vez más sorprendente. El material permite realizar piezas esbeltas, flexibles, resistentes, de excelente acabado, dando la impresión viva de que estamos hablando verdaderamente de un nuevo material revolucionario, elástico e impermeable. Problemas constructivos que antes eran verdaderas hazañas, gracias a esta técnica hoy son casi rutinarios. Sin embargo, pese a todas estas virtudes, el pretensado supone ciertas dificultades para su puesta en práctica en nuestro medio. Factores culturales, limitaciones en la transportación y montaje de los elementos, o tal vez el simple desconocimiento, ha provocado una escasa difusión del sistema en la ciudad. Si bien se conoce su uso en obras civiles recientes (especialmente en puentes y parqueaderos), su uso y aplicación en la arquitectura local es prácticamente desconocido.

²³ Carrasco Castro, Fabián. "Hormigón pretensado: diseño de elementos isostáticos" Libro publicado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, año 2010. ISBN: 978-9978-14-192-2



2.3.- ARQUITECTURA Y PRETENSADO: EJEMPLOS ICÓNICOS



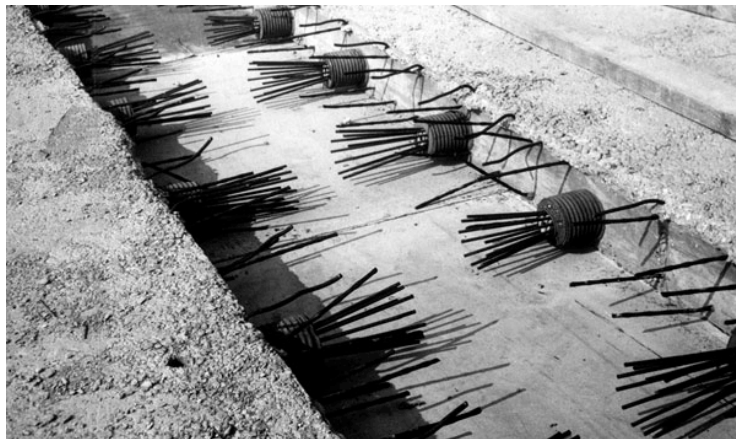
"Trabajar en el pretensado significa trabajar con el máximo rigor. Con el pretensado no se puede mentir. No se pueden exagerar las dimensiones ni las armaduras ni los coeficientes de seguridad porque sería contraproducente. Hay que situarse en el punto justo, allí donde las tensiones previas esperan a las futuras tensiones que produzcan las cargas para equilibrarlas. Ni más ni menos. En el pretensado, en su concepto puro, es imposible cubrirse; por eso es tan rico potencialmente en posibilidades estéticas. Con el pretensado el hormigón es un material noble y duradero, isótropo, capaz de deformarse elásticamente y dotado de una completa reversibilidad."²⁴

²⁴ Fernández Ordóñez, José Antonio, "Eugene Freyssinet, 24 años después de su muerte".



Freyssinet, personaje que inventó el hormigón pretensado

Fuente: efreyssinet-asociation.com



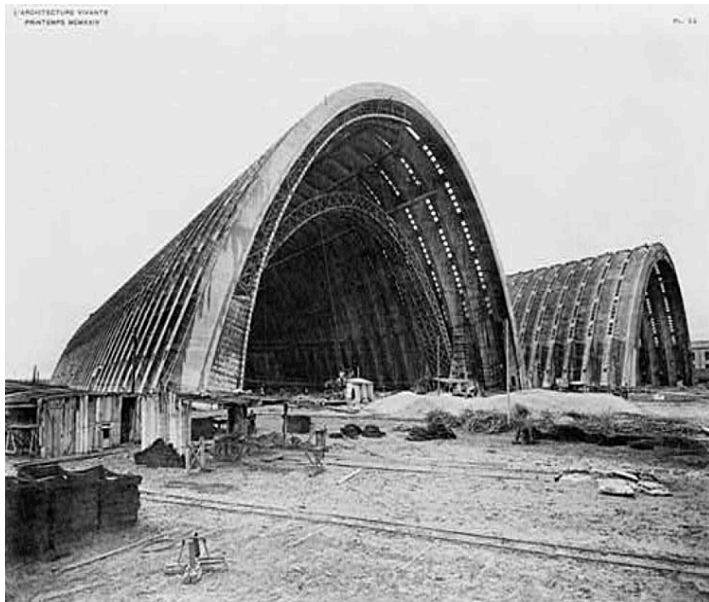
Eugène Freyssinet (1879-1962) se convierte indiscutiblemente el punto de origen y referente principal del hormigón pre-esforzado, pues lo patentó como un material de construcción, probado íntegramente desde la técnica y la práctica en el año 1928. Este ingeniero francés, titulado en 1905 por la *École Polytechnique* de París curiosamente “siempre se consideró un constructor, nunca un ingeniero. En esta batalla cuerpo a cuerpo con la materia y la gravedad, llevó más allá de lo conocido al hormigón, puso en riesgo su reputación y terminó desarrollando el hormigón pretensado.”²⁵

Si bien su estampa definió uno de los materiales más revolucionarios dentro de la técnica, su legado de conocimientos es mucho más amplio y sorprendente, pues podremos encontrarlo hasta en problemas cotidianos y elementales. “Hoy empleamos a diario, en la construcción con hormigón armado, técnicas desarrolladas por él, sin saber de su paternidad; parece que el hormigón fuera un material inventado en su forma moderna desde el primer momento, ignorando que la meta de la seguridad en su uso y de su conocimiento práctico supuso una larga e intensa pelea contra la materia que hasta entonces básicamente era una desconocida. En esta historia, el papel de Freyssinet es vital; gracias a él empleamos el hormigón armado como un material seguro, conocido y fiable: es el caso del vibrado del hormigón -que fue deducido por Freyssinet como un medio óptimo para mejorar el fraguado y la compacidad-, de los gatos hidráulicos de desencofrado, del encofrado deslizante, del estudio de la fisuración como estado natural de trabajo del hormigón, del estudio de la deformación instantánea y diferida... ¡incluso el montaje de encofrados mediante elementos baratos de madera, ensamblados por clavos de cabeza plana, se generaliza por primera vez en sus obras! Los proyectos de Freyssinet de aquella época incluyen incluso el cálculo del número, diámetro y disposición de los clavos necesarios para los encofrados.”²⁶

Paradójicamente, la historia de la construcción, muchas veces limitada a describir dogmas formalistas y superficiales, no ha sido consecuente con el verdadero aporte que Freyssinet nos dejó. Basta con recordar los famosos manuales de teoría de la arquitectura de aquellos años, para encontrar en ellos un único y angustioso debate que gira en torno a encasillar todas las obras según su estilo y su ornamento. Posiblemente, esa sea la razón por la que a Freyssinet se lo recuerde simplemente como un respetable

²⁵ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

²⁶ Idem.



Hangares de Orly., una de las maravillas de la ingeniería, lastimosamente perdidas en la Segunda Guerra Mundial, Obra realizada íntegramente por Freyssinet, desde los sistemas de encofrado, tipos de conectores de acero, etc.

Fuente: José María García del Monte . "De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha" Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

constructor de infraestructuras. "A pesar de la exaltación de la técnica como motor de la arquitectura, Freyssinet apenas es estudiado en las historias canónicas sino como un formalista hacedor de curvas, sin comprender las revelaciones técnicas que su obra implica, sin tan siquiera interesarse por ellas."²⁷ O peor aún, si hablamos específicamente del pretensado como material, limitamos su uso únicamente a obras de ingeniería civil o de caminos, excluyendo inconscientemente sus enormes posibilidades arquitectónicas, -"porque, siendo el gran invento estructural del siglo XX, que ha supuesto la ruptura de convenciones y límites a la capacidad de transformar la naturaleza, ha tenido una oscura introducción en el mundo de la arquitectura, hasta el punto de casi no tener presencia en la historiografía moderna; el contraste con las posibilidades que brinda hace aún más llamativo el silencio crítico a su alrededor y más sorprendentes las escasas arquitecturas que lo explotan."²⁸

Pero lo que resulta indiscutible es que Freyssinet fue un constructor de récords y proezas increíbles. Su profundo conocimiento de la ingeniería sumado a su extraordinaria inventiva le permitieron realizar obras únicas e irrepetibles, que serían verdaderas hazañas de realización técnica aún en nuestros días, 50 años después de su muerte. De alguna manera su entusiasmo se convirtió en algo épico y heroico, ya que a mitad de su vida profesional, con un prestigio y fortuna muy bien ganados, decidió apostar todo para desarrollar con sus propias manos la técnica del pretensado, con una serie de dificultades, pruebas y errores que en algunos años inclusive lo quebraron económicamente. Sin embargo, su emprendimiento obstinado en tan difícil empresa, le dio recompensas gratificantes de otro tipo: el poder realizar obras extraordinarias. "Su obra más conocida es la de dos hangares para dirigibles en el aeropuerto de Orly (Paris) perdidos por un bombardeo de la II Guerra Mundial: para introducir semejantes artefactos hubo de construir un volumen capaz de una altura de 90 metros. Lo hizo mediante láminas plegadas cuya relación grueso/luz es diez veces menor que la cáscara de un huevo. Para ello, como tantas veces, no sólo proyectó la forma, sino también las grúas, los encofrados, los utensilios en general... inventó como construir, como paso previo para poder hacerlo. Cuando licitó para construir sus famosos hangares en Orly, la preocupación fundamental de cliente y empresa era si no habrían incurrido en un error de valoración,

²⁷ José María García del Monte . "De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha" Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

²⁸ Idem



Detalles de la estructura interior de Basilica de Lourdes, un recinto enterrado de planta elíptica, proyecto de Freyssinet en donde el pretensado expresa su poderoso lenguaje en la arquitectura religiosa.

Fuente: arriba: es.wikipedia.org abajo: Páez Balaca Alfredo, Hormigón pretensado en la arquitectura. Informes de la construcción Vol.40 1988, Madrid.

tan baja era su oferta en relación con la de otros licitadores. Su objetivo se centró entonces en cómo poder construir aquello, no, como pudieramos pensar leyendo las historias de arquitectura, en realizar una forma más o menos novedosa o espectacular.”²⁹ No menos sorprendente resultó su proyecto para los hangares en Avord, de 46 x 60m. de luz libre. Fueron los primeros hangares de hormigón en masa para aviones que se construyeron en el mundo, hazaña increíble si consideramos que el Panteón Romano tiene una luz salvada de 43m. Luego de eso, Freyssinet sería el gran maestro de los puentes, ya que realiza un sinnúmero de obras que siempre llegaban a ser en su momento verdaderos récords de luz o de viga continua, pero nuevamente, más que el resultado final, lo importante es analizar toda la serie de procesos, artefactos y métodos constructivos que él ingenió para llegar a estos resultados.

De todas formas, después de dar un repaso extremadamente breve por a las fantásticas obras de ingeniería en las que Freyssinet emplearía el pretensado, se hace imprescindible en esta investigación, encontrar el punto de inflexión en donde el mundo vería que el pretensado no sólo podía ser aplicado en la ingeniería. Curiosamente, luego que su autor probara diversas aplicaciones y soluciones de la técnica, y que su prestigio como constructor-ingeniero trascendería fronteras, Freyssinet es responsable directo de un importante proyecto arquitectónico, que inclusive llega a tocar valores sensibles y de fé de las personas: La Basílica de Lourdes, un importante recinto religioso de planta elíptica, realizado en colaboración con los arquitectos Pierre Vago y André Le Donné., obra que en su momento sería muy criticada por los teóricos de la arquitectura, quizás porque empezó a ser identificado como un referente tipológico completamente distinto a sus contemporáneos, donde primaban trabajos muy ornamentales, artesanales y artísticos, mientras que Freyssinet le apostó a elevar al máximo el espíritu del sistema constructivo por él desarrollado, para probar al mundo las infinitas posibilidades arquitectónicas del pretensado. Citando sus propias palabras: “Mi misión se ha limitado a indicar el principio de una solución muy simple y, sobre todo, defender su sencillez frente a toda tendencia hacia el inútil adorno. Ninguna consideración arquitectónica ha intervenido en la definición de las líneas interiores de la Basílica. Lourdes no hace más que continuar la vetusta tradición de las basílicas románicas y las primeras naves góticas, cuyas formas únicamente estuvieron

²⁹ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006



Aeropuerto de Washington, Obra de Eero Saarinen

Fuente: www.galinsky.com



Cáscaras pretensadas-postensadas en la Opera de Sidney

Fuente: www.flickr.com

determinadas por la técnica de la época en la que se construyeron.”³⁰ Y efectivamente, la Basílica de Lourdes se convirtió en referente primigenio de que el pretensado podía usarse efectivamente en soluciones arquitectónicas singulares, y la definición estructural de dichas soluciones se podían convertir en la expresión misma de la arquitectura de dichos edificios, especialmente aplicado a los sistemas constructivos para cubiertas de grandes recintos, mediante elementos que salvaban luces muy importantes. Fue en esta época cuando se produjo un interesante refinamiento de los proyectos de ingeniería, aprovechando las ventajas del pretensado en cuanto a lograr diseños de estructuras de grandes luces con peraltes y secciones de elementos muy reducidos.

Posteriormente ocurrió un período histórico muy importante en el cual, los arquitectos e ingenieros de todo el mundo, vieron que el material ofrecía un salto tecnológico inimaginable para obtener grandes espacios diáfanos cubiertos, y se realizaron importantes aportes técnico-creativos que aún siguen contando su lugar en la historia. “Con la salvedad de contadas excepciones, el hormigón pretensado ofrece unas ventajas que primordialmente se manifiestan en las estructuras llamadas singulares, bien sea por la importancia del vano que salvan, bien sea por las especiales circunstancias que rodean su ejecución, o bien por sus particulares requisitos de impermeabilidad o resistencia frente a fenómenos de fatiga. Puesto que ninguna de estas condiciones concurren ordinariamente en la solución de viviendas, lógico es que, en este dominio estructural, la técnica del pretensado se limite al empleo de sus viguetas, unas piezas que por venir prefabricadas, ofrecen la incuestionable ventaja de una mayor economía respecto a los equivalentes perfiles metálicos, una mayor durabilidad, y un mejor comportamiento frente a los efectos de un posible incendio...En realidad, un edificio convencionalmente construido con estos elementos prefabricados, no se considera como una solución pretensada a menos que la estructura, es decir el entramado resistente que soporta esos elementos, lo sea efectivamente.”³¹

Uno de los mejores ejemplos de cubiertas arquitectónicas singulares, es el edificio diseñado por Jorn Utzon para la Opera de Sidney, (construido entre 1957 y 1973) en donde una vez más, el sistema constructivo –en este caso, un edificio cáscara con elementos pretensados-postensados, se vuelve en el tema y resultado final del edificio. Desde su apertura, este ícono de la construcción se convirtió y sigue siendo una de las grandes maravillas de la

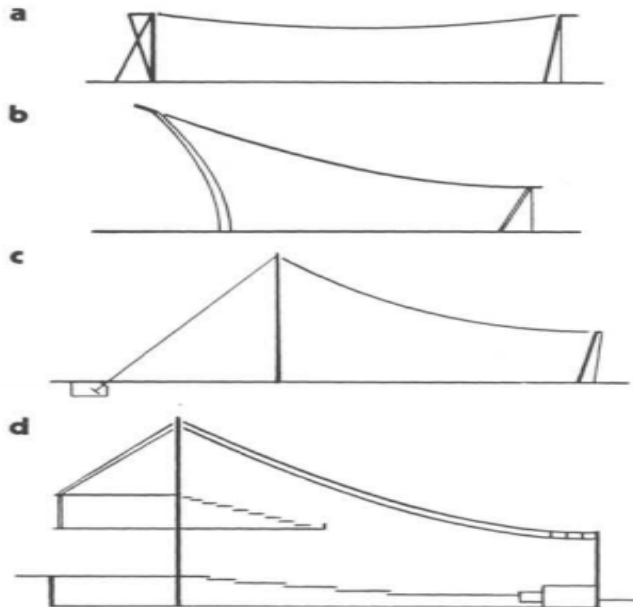
³⁰ Páez B. Alfredo. Hormigón pretensado en arquitectura. Informes de la construcción vol .40

³¹ Idem



Detalle del Gran Arco de la Défense, en París, Obra de Otto von Spreckelsen

Fuente: Zúñiga, José Vicente. www.whotalking.com



Esquemas de diferentes soluciones de láminas colgadas

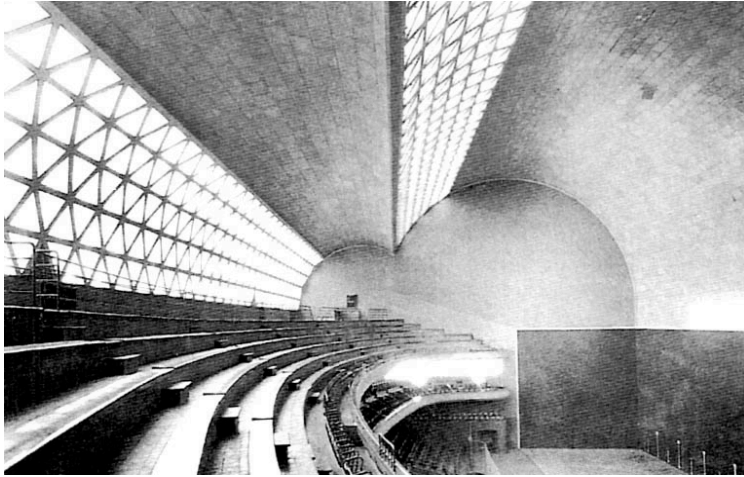
Fuente: : Páez Balaca Alfredo, Hormigón pretensado en la arquitectura. Informes de la construcción Vol.40 1988, Madrid.

arquitectura del siglo XX.

Coincidentalmente, conviene analizar otro símbolo arquitectónico mundial, como lo es el Gran Arco de la Défense, en París, que fue así mismo magistralmente solucionado con sistemas pretensados lineales. Lo interesante de la obra fue que se presentaron a concurso internacional 424 oficinas de todo el mundo, siendo seleccionado el arquitecto danés Johann Otto Von Spreckelsen, no sólo por el simbolismo de su propuesta arquitectónica, sino por lo asombroso del sistema constructivo. “Le Grande Arche de la Défense es un hipercubo casi perfecto de 35 plantas con 108 m. de ancho, 110m. de alto y 112m. de profundidad, reposando sus 300.000 toneladas en doce pilares. Entre estos y la megaestructura, se encuentran placas de neopreno que absorben las vibraciones y los cambios de dimensión. **Las vigas son de hormigón pretensado de 70m. de luz y soportan el techo de una hectárea!. Se colocaron a 110m. de altura con una precisión milimétrica.**”³² Esta obra monumental se realizó bajo la tutela personal del Presidente francés Francois Mitterrand.

Otros interesantes ejemplos de cubrición de grandes luces que se probó acertadamente con la técnica (en especial la postensada) fueron las diversas tipologías de láminas colgadas. Esta forma estructural funciona de tal forma que entre dos fachadas ciegas o líneas de sustentación paralelas, se distribuían tendones que solucionaban el vano transversalmente a través de una catenaria. De los mismos tendones se colgará un encofrado para hormigonar la lámina, sin necesidad de ningún tipo de apuntalamiento convencional desde el suelo. “A medida que el hormigonado progresa, la tensión en los alambres irá aumentando, así como la correspondiente reacción en las retenciones o anclajes sobre ambas líneas de apoyo. Cuando el hormigón vertido endurece, no queda sometido a tensión alguna, bastando con acortar ligeramente la flecha de la catenaria para que el acortamiento inducido compense el efecto de la retracción. Mientras queden abiertas las juntas extremas de la lámina, puede ajustarse la flecha de la catenaria corrigiendo la tensión de los distintos tendones sujetadores hasta conseguir que la directriz o sección transversal sea rectilínea y horizontal. Obsérvese que el conjunto de alambres que compone cada tendón está alojado dentro de una vaina, no existiendo, hasta que se proceda la inyección final, adherencia con el hormigón envolvente. Bloqueadas las juntas, todo incremento de tensión en los tendones se

³² Zuñiga, José Vicente, en www.whotalking.com



El hoy desaparecido Frontón Recoletos, ejecutado en 1935 por el maestro Eduardo Torroja., fue por aquellos tiempos, la mayor estructura de este tipo construida en Europa

Fuente: : tecnomadas.wordpress.com



El boom de la prefabricación llegó a su auge en los EEUU de los años 60. Edificio de apartamentos con pilares y losas de hormigón pretensado 1963 Realizado por Taso Katselas y Brentnall Gensert.

Fuente: : Copf, Inés. Industrialización de vivienda plurifamiliar en altura, EEUU 1950-1970

traduce en un acortamiento de la flecha y, por consiguiente, en una compresión o acortamiento del hormigón envolvente.”³³

Sin embargo, salvo estas obras especiales, el proceso de introducción del pretensado en el campo de la arquitectura resulta extremadamente complejo y muy poco conocido. Pese a contar con un material estructural en la ingeniería civil (puentes, represas, naves industriales, contenciones, etc.) Pero lo más sorprendente e inusual, es el reducido número de edificios singulares pretensados que se han construido, y que demuestren un total sentido arquitectónico. “Apenas por la vía de la prefabricación (placas, losas alveolares, viguetas) fue penetrando en el mundo de construcción arquitectónica, sin que los arquitectos fuesen capaces de dar con las claves para producir una nueva arquitectura posible.”³⁴ Quizás una explicación muy superficial de este hecho podría ser de que siendo el pretensado un material producido íntegramente en la industria, quedó culturalmente atrapado y limitado a producir sistemas básicos de elementos prefabricados aplicables a la industrialización masiva, especialmente en planes de vivienda mínima y de interés social.

Justamente este hecho, más la enorme escasez de acero en Europa durante la Segunda Guerra Mundial, desarrolló exponencialmente ciertos mercados de la construcción en hormigón a mediados del siglo XX, los cuales se desarrollan vertiginosamente dentro del punto de vista de la prefabricación de elementos pretensados. “Si bien Francia y Bélgica encabezaron el desarrollo del hormigón pretensado, Inglaterra, Alemania, Suiza, Holanda, Rusia e Italia rápidamente lo continuaron. Cerca del 80% de todos los puentes que se construyen en Alemania son de hormigón pretensado. Al otro lado del mundo, se empiezan prósperas empresas en los EEUU, en un verdadero auge constructivo. Se ha investigado y mostrado que durante los años 1957-1960 se autorizaron para la construcción 2052 puentes de hormigón pretensado.”³⁵ Pero esta masificación del uso del material resulta otra vez, casi de uso exclusivo de la ingeniería civil. Como mencionamos anteriormente, muy pocos ejemplos testimonian su uso intencionado y directo en la planificación arquitectónica. “La introducción del pretensado en Estados Unidos se había producido con anterioridad, aunque en otra dirección; así en el número de abril de 1949 de

³³ Páez B. Alfredo. Hormigón pretensado en arquitectura. Informes de la construcción vol .40 1988, Madrid

³⁴ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

³⁵ <http://navesindustrialeshormigon.blogspot.es/>



Arriba: Puente Juazeiro 1952 Construido por la empresa Freyssinet, que impuso un récord mundial en viga continua, con sus 561,45m en 13 tramos

Abajo: Puente do Galeao, 1948. primer puente pre-esforzado de Sudamérica.

Fuente: : Ministerio de transportes del Brasil. www.transportes.gov.br

la revista especializada “Concrete” podemos leer que la empresa Basalt Rock Company, de Napa (CAL), ha lanzado la “stresscrete”, losa destinada a viviendas. Por esta vía de proliferación de productos industriales, la popularización del pretensado como instrumento de construcción es muy rápido. La sociedad americana se distingue sobre todo por su gran capacidad de reacción productiva y comercial y ésta no sería una excepción. Rápidamente, se van añadiendo al catálogo losas, vigas y pilares prefabricados pretensados. Sin embargo, esto no quiere decir que el empleo del pretensado dé como resultado una arquitectura que saque óptimo partido proyectual de su existencia.”³⁶

Como todo “puente cultural”³⁷, inicia también en el caso latinoamericano, una creciente expansión de la técnica del pretensado en esos años y se registran obras civiles de enorme trascendencia en países como México y Brasil. “En realidad, **la introducción del pretensado en Brasil es la primera llegada de esa técnica a toda América**, por cuanto no será hasta 1950 cuando se construyan los primeros puentes en Estados Unidos. (...) Ya en 1948 Freyssinet construye el primer puente pretensado de Sudamérica, con proyecto y materiales procedentes íntegramente de Francia; se trata del Puente do Galeao, un puente de 15 vanos con un tramo de 43,5 m, dos de 34,3, dos de 28,2 y diez de 19m. Está construido mediante apoyos simples de las vigas sobre los soportes y pretensado mediante cables en disposición parabólica. Su emplazamiento, en la carretera a la Isla del Gobernador, donde estaba el aeropuerto de Rio de Janeiro, le confiere gran visibilidad y relevancia públicas. Poco después, en 1952, el puente de Juazeiro, también construido por la empresa de Freyssinet, supondrá el récord mundial en viga continua, con sus 561,45 metros en trece tramos.

Estos acontecimientos, desde luego, no han de pasar desapercibidos en un país donde la ingeniería civil se está desarrollando notablemente, donde existe una conciencia de que la implantación en el territorio y el desarrollo

³⁶ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

³⁷ Nota de autor: Puente cultural.- Proceso de transferencia y adaptación de valores socio-culturales, ideológicos, tecnológicos, etc. que se da principalmente a través de la migración de personas o ideas de una sociedad hacia otra. A su vez estos valores, casi siempre resultan asimilados y/o reinterpretados a una nueva realidad contextual.



*social pasan por una política de transformación de la naturaleza, lo que permite una lectura especialmente atenta de estos logros ingenieriles.*³⁸

Ocurrió justamente en Brasil, un fenómeno único y extraordinario en cuanto a la introducción seria del pretensado ya en la arquitectura. Y no sólo en casos aislados, sino que se formó y se gestó una verdadera escuela de arquitectos que pudo demostrar en la mayoría de sus obras, una filosofía constructiva que demuestra incansablemente un dominio poético del material, entendido ahora desde lo proyectual, desde los bocetos iniciales.

Hablar del “maestro centenario”³⁹ Oscar Niemeyer, o analizar la filosofía constructiva de la escuela paulista⁴⁰ de la mano de Joao Batista Vilanova Artigas y Paulo Mendes da Rocha, es hablar de una arquitectura que ha superado todas las fronteras y su legado generacional sigue felizmente visible. *“Eugene Freyssinet, y sus escritos en torno al pretensado permiten descubrir sorprendentes sintonías entre su pensamiento y el de la escuela paulista. Podríamos decir que no es casualidad que el mejor desarrollo del pretensado en arquitectura se haya producido en Brasil.”*⁴¹

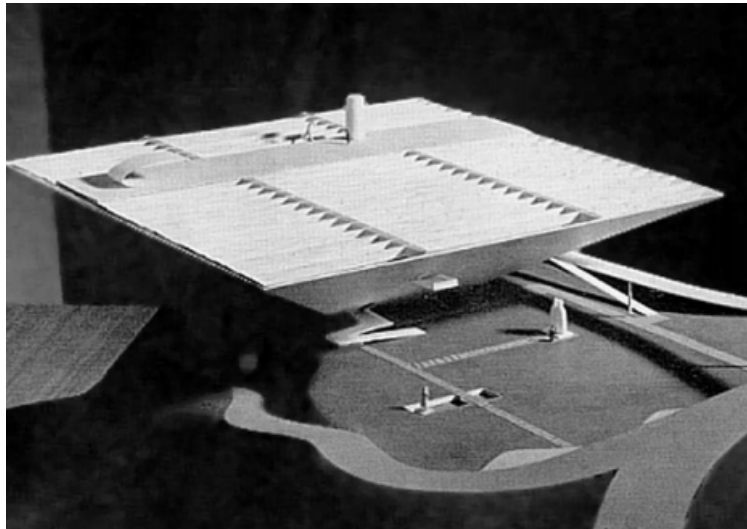
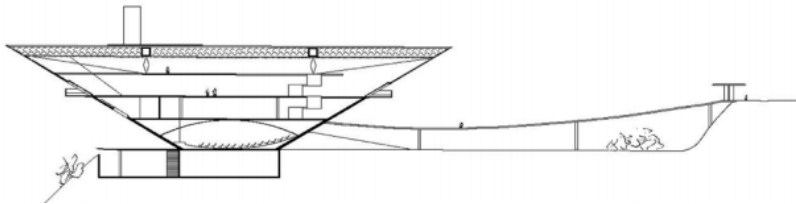
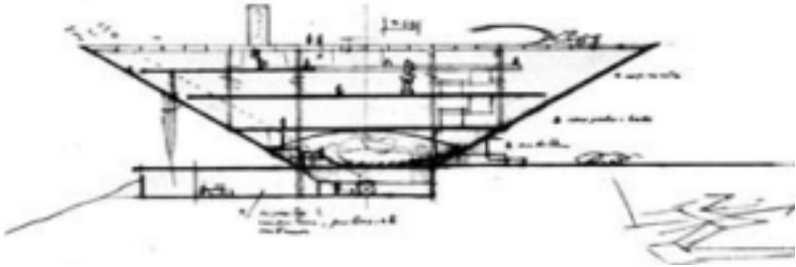
Innumerables ejemplos testimonian aún esta afirmación, sin embargo merecen especial mención, otros edificios realizados en diversas partes del mundo, que así mismo nos afirman que el pretensado, entendido efectivamente como una herramienta de diseño, ha logrado crear una arquitectura de calidad, honesta y sorprendente, la cual se analiza a continuación.

³⁸ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

³⁹ Comentario de Roberto Segre en la revista indexada Arquitectura Viva “Al llegar activo a los cien años –hecho insólito en nuestra profesión- Oscar Niemeyer ha entrado definitivamente a formar parte del olimpo de profesionales consagrados del siglo XX como el latinoamericano más conocido en el mundo entero” AV Monografías Oscar Niemeyer

⁴⁰ “Escuela paulista” : la arquitectura que se desarrolla en Sao Paulo a partir de la segunda mitad del siglo

⁴¹ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006



Proyecto no ejecutado para la construcción del Museo de arte contemporáneo de Caracas, de Oscar Neimeyer. que proponía sorprendentes sistemas pretensados

Fuente: : <http://arxiubak.blogspot.com/>



CAPÍTULO 3: EL PROYECTAR DESDE LA TÉCNICA



“Se debe pensar con la técnica, si se está preparado para ello. Por tanto, lo que aparece como técnica no es técnica, sino el pensamiento y la razón”

-Paulo Mendes da Rocha

Fotografía: anclajes postensados de la Ópera de Sidney

3.1.- EL PRETENSADO COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO



Lina Bo Bardi. Museo de Arte de Sao Paulo. 1958. Todo el edificio es concebido como una caja suspendida del suelo que deja libre toda la planta baja, a manera de una gran marquesina cubierta. El volumen elevado, se eleva 8 m del suelo y se desarrolla bajo una luz de 74m. En su tiempo, el edificio ostentó el título de la mayor área libre cubierta del mundo

Desde un punto de partida proyectual, podemos abstraernos a la idea primigenia de que el pretensado recoge “toda la pureza antropomórfica del espacio adintelado, al contar con el material idóneo durable-traccionable”⁴² siempre buscado a lo largo de la historia de la técnica. Y entendida en esencia, la arquitectura nace y se concibe como un espacio comprendido entre dos planos paralelos (suelo y techo) con la finalidad de construir un lugar, básicamente destinado a satisfacer las actividades humanas. Dicho de otra forma, el espacio arquitectónico se interpretará siempre como un “gran dintel habitado.”⁴³ Esta idea resulta imprescindible para entender el comportamiento del pretensado como sistema y como material, ya que esta técnica supone, como ya se explicó anteriormente, una lógica de construcción completamente distinta a la del hormigón armado. Esta nueva “lógica de construcción” obliga necesariamente a tomar otro tipo de consideraciones para el diseño de edificaciones que quieran acogerse al uso de esta técnica, desde los primeros trazos, tomando así mismo estrategias distintas en cuanto a criterios de coordinación dimensional, modulación, entre otras cosas que ayuden eficazmente a explotar el material desde un punto de vista técnico y sobre todo a explorar sus increíbles posibilidades arquitectónicas.

Con la misma importancia con la que se menciona a Freyssinet como punto de origen para comprender la filosofía y la técnica constructiva del pretensado, se debería también citar a un interesante grupo de ingenieros y arquitectos extraordinarios que han sabido proyectar y definir sus obras desde el conocimiento a fondo de un material, desde una técnica constructiva específica que poco a poco se van transformando en una arquitectura potente y emocionante. Si bien por la especificidad y el espectro de esta investigación no resulta posible analizar a todos los que deberían ser mencionados, a sobra de méritos, se comentarán proyectos importantes, que ilustran de manera didáctica, la evolución del pretensado como herramienta directa de apoyo al diseño arquitectónico. Especial atención merece la arquitectura paulista, donde se destaca la obra de Paulo

⁴² Fisac, Miguel. 1997 Ensayo citado en: Monografías Tectónica, Hormigón (II) ATC Ediciones, Madrid,2003

⁴³ Idem



Facultad de Arquitectura de Sao Paulo. Uno de los mejores legados de Joao Batista Vilanova Artigas. El hormigón es un material poético, noble y duradero, es la expresión arquitectónica irremplazable del edificio

Fuentes: :lc-architects.blogspot.com



Detalle del MUBE (Mendes da Rocha). El gran dintel habitado de 100m de luz que libera toda la planta baja, un recurso recurrente de los grandes maestros brasileños. Obra fantástica que fue realizada gracias al entendimiento de la técnica.

Fuentes: :arquiscopio.com

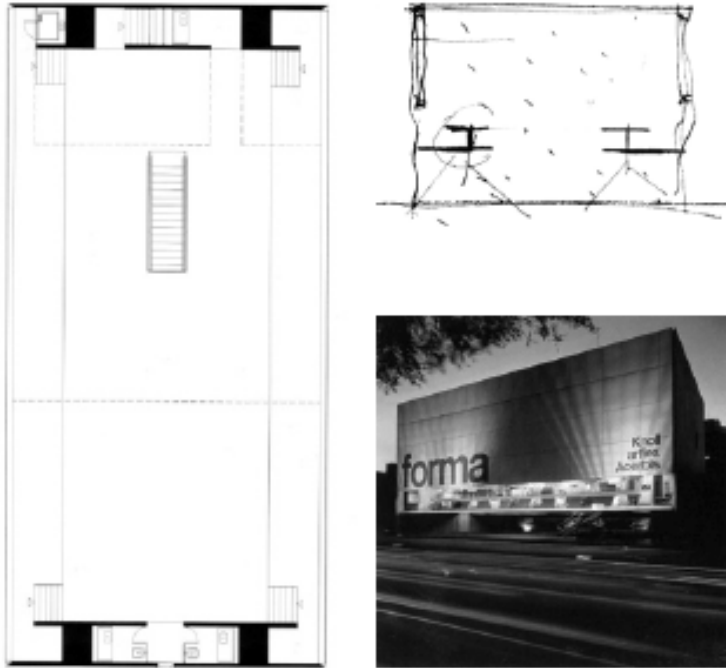
Mendes da Rocha que se convierte en referente indiscutible del cómo el pretensado pudo y podría ser usado como herramienta de diseño en la producción arquitectónica latinoamericana, puesto que ***“muchos de sus proyectos más intensos cuentan con las posibilidades de este material desde el primer croquis, hasta el punto de que no es posible imaginarlos de no disponer de esa opción técnica. El estudio de la arquitectura de Mendes da Rocha no puede hacerse sin entender el papel de la técnica en general, y del pretensado en particular.”***⁴⁴ Mejor aún, en muchas de sus mejores obras se evidencian las *“posibilidades abiertas en la arquitectura gracias a la técnica del pretensado. Dicha técnica permite plantear de una nueva manera determinados problemas arquitectónicos, desde un punto de vista eminentemente proyectual; es decir, se aborda desde la perspectiva técnica su alto potencial que queda integrado como una herramienta más de proyecto; sinergias entre técnica y pensamiento arquitectónico.”*⁴⁵

La filosofía de Mendes da Rocha, claramente refleja esa poderosa sinergia. Si se analizan sus bocetos, desde los primeros trazos y en líneas muy fuertes, se puede intuir inmediatamente un increíble dominio de las posibilidades del material. Por supuesto, se bocetan ideas, pero éstas ya cuentan secciones de elementos, luces posibles, peraltes, voladizos, etc. Ésta increíble **capacidad de síntesis** de abstracción proyectual del recurso técnico, le permite realizar no sólo planteamientos extraordinariamente sencillos y coherentes, sino que le es posible enlazar en pocos trazos, la lógica estructural y la poética del espacio. La indivisibilidad de la construcción y la arquitectura, es, sin lugar a dudas, ayudada por el profundo conocimiento de una técnica.

El MUBE (Museo Brasileño de Escultura) resume dicha postura. Si se analiza superficialmente esta obra se podría comentar que la fachada es representada por una viga descomunal de más de cien metros de luz, un verdadero alarde de la técnica. Pero desde el análisis del proyecto arquitectónico, el entendimiento profundo del encargo, llevó a Mendes da Rocha a elevar el carácter “público” del edificio enterrando su programa funcional, liberando la planta baja y cubriendo de una forma increíblemente diáfana ese poderoso espacio de interacción de los ciudadanos, como si se tratase de atrapar la calle mediante una gran marquesina y transformarla en

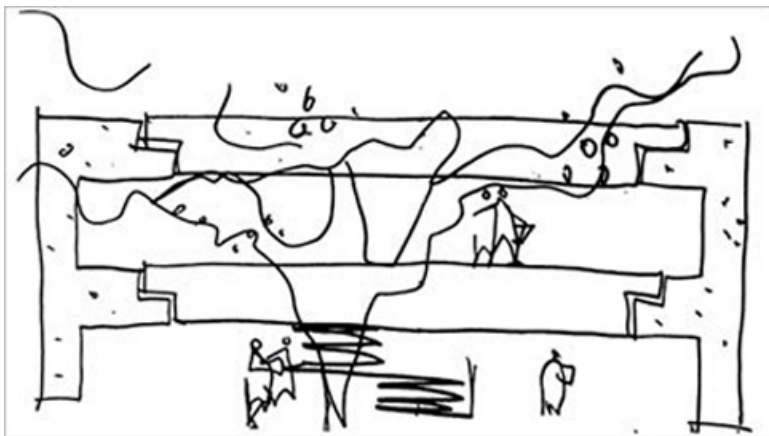
⁴⁴ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

⁴⁵ Idem



Croquis, planta y fotografía de los almacenes Forma. Mendes da Rocha

Fuente: : José Ma. García del Monte



Casa Gerassi, la forma de la estructura prefabricada es la forma de la casa. Mendes da Rocha

Fuente: : José Ma. García del Monte

Arq. Pedro Espinosa Abad

una plaza cubierta desde donde se baja a las dependencias. “El MUBE, es, de hecho, la construcción de una geografía artificial. La gran marquesina revela el carácter público de los espacios que protege; establece con su sombra la escala de intervención; sintetiza en su rotundidad la ambigüedad esencial de la arquitectura de un museo cuya identidad estriba en su ausencia: como si se tratase de una gran nube de hormigón, constituye a la vez el ámbito cubierto que acoge las eventuales actividades escénicas al aire libre y un gran atrio que prepara al visitante para la experiencia artística de unas esculturas que recorren un jardín diseñado por Burle Marx, libres de cualquier protección construida, sin otra cobertura que las estrellas.”⁴⁶

Si miramos su proyecto para la tienda Forma, (Sao Paulo,1987) “más allá de la brillantez de la operación en que se basa el proyecto –generar una superficie de aparcamiento elevando el propio edificio, de modo que los escaparates leviten-, es un homenaje a la tierra: delimitar un sitio mediante la sola acción de cubrir un trozo de suelo; provocar un espacio habitable mediante la sustracción de los atributos que habitualmente fundamentan la habitabilidad; tensionar.”⁴⁷ La fachada se expresa como una sola caja, que es perforada horizontalmente por el escaparate, continuo e ininterrumpido en la totalidad de su longitud (30 metros de luz libre). Los apoyos son laterales y no resultan visibles desde el exterior. Sobre éstos descansan dos vigas pretensadas en “doble te” las cuáles “no sólo permiten resolver la luz mayor y por tanto la cuestión de la presencia urbana de la tienda, sino que su canto (servidumbre de la luz), es aprovechado, en un elogio de la capacidad de la arquitectura de sacar fuerzas de flaqueza, para resolver la sección transversal y, con ello, de una vez, el problema entero de la tienda. El resultado es un espacio único, liberado de cualquier servidumbre e íntegramente apto para la exposición de las piezas en venta, sin objetos estructurales que molesten la continuidad del espacio.”⁴⁸

Mendes da Rocha no sólo aplica el pretensado en la arquitectura pública o comercial, sino su dominio técnico le permite introducir dichos conceptos en una escala menor pero no menos contundente: la escala doméstica. La Casa Gerassi, por ejemplo, es íntegramente realizada con prefabricados

⁴⁶ Helio Piñon. “Paulo Mendes da Rocha” Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2003

⁴⁷ idem

⁴⁸ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006



Casa Gerassi, Planta y detalle de esquina.

Fuente: : José Ma. García del Monte

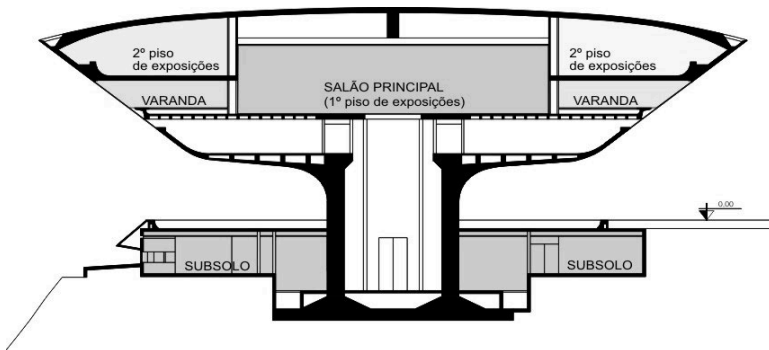
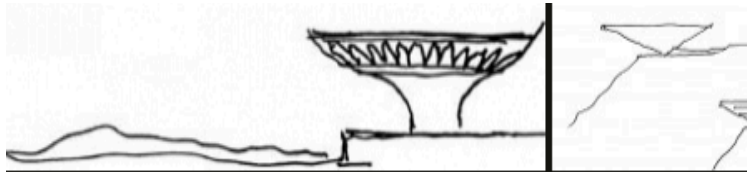
pretensados, en donde “el problema y sus soluciones aparecen íntegramente planteados en unos breves trazos, no hay ya distancia entre la técnica y la forma por ella propiciada, en tanto que se trata de una arquitectura que se proyecta desde su posesión natural y por tanto desde su integración como una herramienta más del pensamiento arquitectónico.”⁴⁹

Si se mira con atención la planta arquitectónica de la casa Gerassi, salta inmediatamente a la vista el hecho de que la estructura vertical se sitúa hacia los bordes externos de la casa. De planta casi cuadrada, la periferia paralela es definida por dos ejes de columnas, que definen por supuesto una planta interior absolutamente diáfana. Ni siquiera el único hueco que define el acceso mediante la escalera es interrumpido por este planteamiento. “Si hacemos abstracción por un momento del acierto o no de la distribución interior y nos fijamos en los mecanismos empleados en su conformación, podemos encontrar esa libertad a la que las casas de Le Corbusier no son capaces de llegar a causa de la irrupción de la estructura. Hagamos abstracción del rectángulo de superficie pisable que es la casa y veremos ese espacio ideal sin apoyos, ‘flotante’, liberado de servidumbres. Además, toda su periferia permite la iluminación. Parece la superficie perfecta para la casa.”⁵⁰ Por otro lado, si observamos su sección constructiva (fig. página anterior) llama la atención el hecho de que se van combinando alternadamente vigas pretensadas de cuelgue y vigas invertidas, por lo que la continuidad no sólo se da en planta sino verdaderamente en todo el espacio interior, paredes, suelo, cielo. Esta intencionalidad, por supuesto, no es casual, sino que corresponde al afán del arquitecto de conseguir materializar un concepto nacido y desarrollado desde la técnica más sencilla y contundente.

Para reforzar aún más este concepto, su propuesta arquitectónica refiere nuevamente al “gran dintel habitado” del cual nos hablaba Miguel Fisac. Desde el primer boceto, Mendes da Rocha soluciona la sección constructiva en un alzado (que resultará la expresión formal de la casa) mediante un lenguaje preciso en cuánto a entender la indivisibilidad entre la forma y la construcción por ella propiciada. La solución, en vez de resolver una viga única de 16 m, se convierte en una de 12m soportada en dos voladizos nacidos desde los soportes prefabricados de las columnas, dividiendo

⁴⁹ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

⁵⁰ Idem



Croquis, corte y fotografía del Museo de Arte Contemporáneo de Niterói.

Fuentes: : plataformaarq.cl/ blog-arq.com

matemáticamente al dintel con juntas que marcan los puntos de contacto donde el momento resulta nulo; una muestra de la sutileza de su técnica.

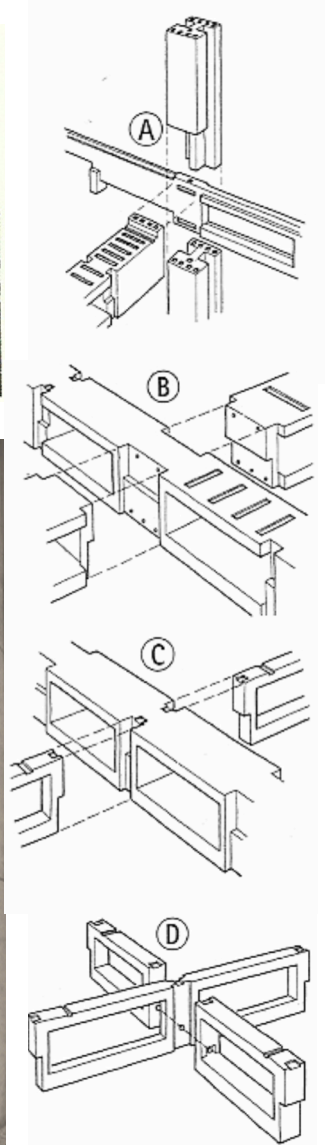
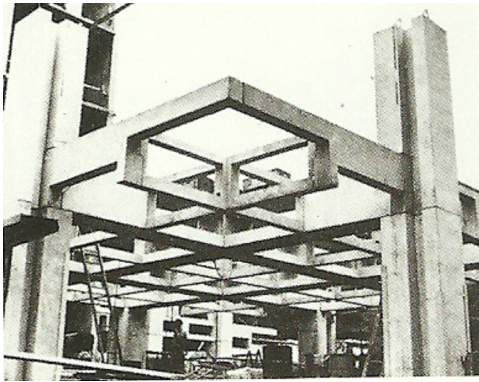
De alguna manera, es el mismo planteamiento de liberación de espacio analizado en la Tienda Forma, y que se repite en importantes obras, como la Casa Junqueira y la Casa Mazzetti, donde además probará sistemas de vigas de hormigón pretensado y postensado realizado in situ.

Y no resulta cierto que, el limitarse a usar una técnica específica de construcción sea una camisa de fuerza a la creatividad de la forma, pues muchas veces sólo gracias a ésta, la imaginación ilimitada del proyectista puede ser alimentada apropiadamente y llegar a feliz término. La obra de Oscar Niemeyer es la prueba fehaciente de lo dicho. Niemeyer ha diseñado decenas de obras icónicas, la mayoría de ellas convertidas en símbolos vivos de una ciudad, o de un país, o de una cultura. “Niemeyer otorgó validez universal a las formas libres que podían obtenerse con el hormigón, gracias al talento de sus ingenieros, quienes transformaban en construcciones sus imaginativos proyectos, en los que intentaba eludir la tradicional estructura trilitica de la columna y la viga.”⁵¹

Bastaría con analizar uno de sus innumerables proyectos para entender su filosofía de diseño: El Museo de Arte Contemporáneo en Niterói, ciudad cercana a Río de Janeiro. Es una estructura espectacular en forma de copa, cuyo fuste circular de 8 m de diámetro (o pilar hueco) se va transformando en una suerte de disco en voladizo del cual se va ensanchando paulatinamente hacia su cubierta. El Museo se vuelve en sí en una escultura visitable en hormigón, que inscribe en su interior, audaces sistemas radiales pretensados de distinto tipo para albergar los recintos.

Al igual que la arquitectura de Mendes da Rocha, donde la técnica en sí, va creando singularidades claramente identificables en sus edificios, la obra de Niemeyer, aunque radicalmente distinta en su lenguaje formal, también guarda el mismo factor común: el entendimiento profundo de la técnica y su aplicación al diseño desde la etapa inicial, lo cual no sólo permite que el arquitecto y su obra tengan un lenguaje propio e inconfundible, sino que cada uno de sus edificios se vuelven verdaderos hitos de la construcción. “La capacidad de Oscar Niemeyer de crear íconos es incontestable: el Museo de Arte Contemporáneo de Niterói es tal vez la mayor prueba del ‘efecto Niemeyer’. Ciudad separada de Río de Janeiro por la Bahía de Guanabara, Niterói era un lugar sombrío, empañado por la fama y belleza exuberante de la urbe vecina. Pero después que Niemeyer diseñara este

⁵¹ AV Monografías, “Oscar Niemeyer, One Hundred Years”, Arquitectura Viva SL, 2007



museo se convirtió en visita casi obligada, y como en Bilbao, lo que atrae a los visitantes no es únicamente la colección, sino el edificio, cuyo croquis (fig. sup. Izquierda de la pág. anterior) fue adoptado como logotipo oficial de la ciudad.⁵²

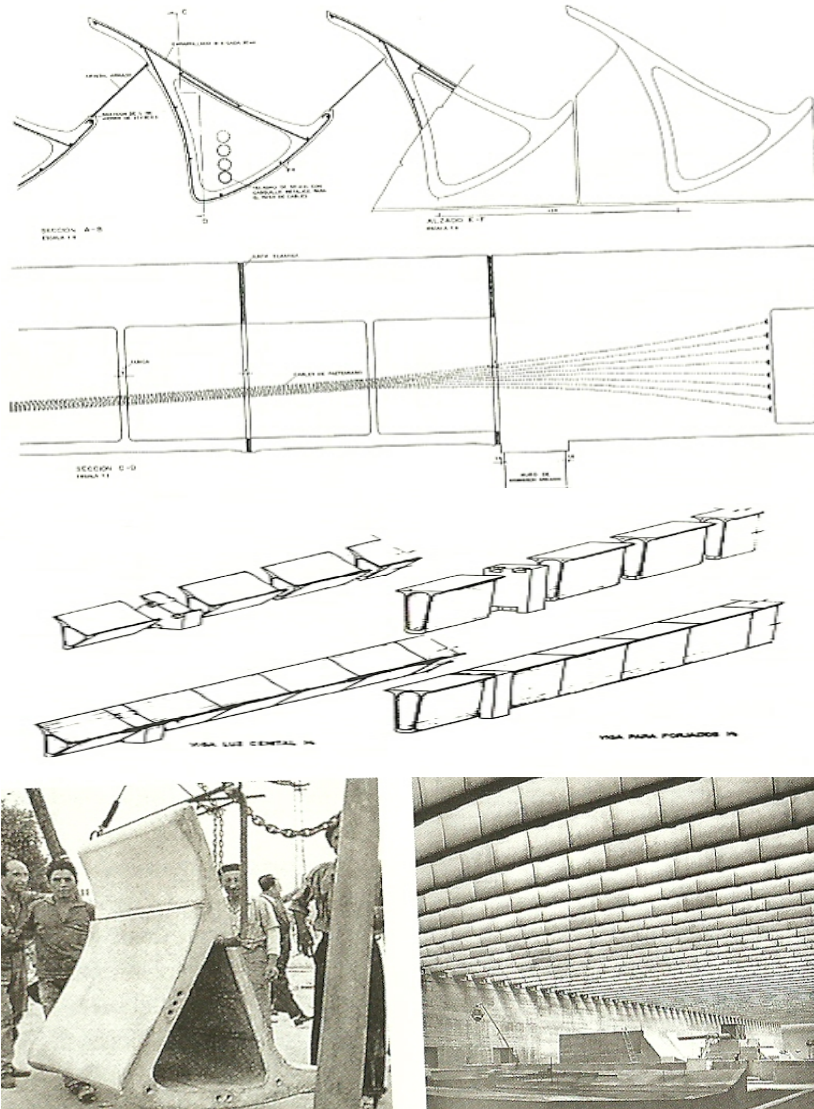
Sin olvidar tampoco a los grandes maestros universales de la arquitectura, se encuentran ejemplos inéditos y fantásticos del uso de la técnica del pretensado. Basta recordar a Louis Kahn, cuando junto al ingeniero August Komendant realizan los diseños para los laboratorios Richard, en la Universidad de Pennsylvania, hacia el año 1961. Mientras por esos años, la prefabricación de hormigón era asociada únicamente con la repetición elementos prefabricados de catálogo, Kahn diseñó sus propios componentes demostrando al mundo que éstos podían ser únicos, irrepetibles, y por que no decirlo, nobles. Desarrolló pequeños prototipos en elementos de hormigón prefabricado a manera de marcos rectangulares huecos, dispuestos a ser ensamblados bidireccionalmente mediante la técnica del postensado, conformando de esta manera pequeñas secciones de losa en cruz tipo cuadrícula, las cuales al unirse unas con otras, conformaban espacios diáfanos e increíblemente bellos. (fig.contigua) La estética de esta obra rechaza totalmente al ornamento. La estética no es más que la técnica pura, con la que Kahn ennobleció la construcción pretensada al resolver minuciosamente todas las uniones, secciones, anclajes, etc. de una forma magistral, austera y claramente presentes. Kahn no solo visualiza la idea arquitectónica, sino que inventa primero cómo construirla. Nuevamente la prolijidad de la construcción resuelve el edificio, y la genialidad de sus sistemas producen una arquitectura extraordinaria.

Mientras tanto, en Europa, se producen así mismo aportes importantes al desarrollo del pretensado y su aplicación en la arquitectura. Basta con recordar los edificios de Angelo Mangiarotti, Gianni Morandi o del maestro Eduardo Torroja, que pese a ser consideradas como obras cumbres de la ingeniería, han sido –y siguen siendo- verdaderos referentes en importantes tratados de arquitectura. El cómo distinguir, en donde un edificio se convierte en un aporte arquitectónico, es un tema eternamente discutido en debates teóricos, y realmente es algo que siempre escapará de la lógica, pues entramos inevitablemente en el complejo universo de la emotividad. En palabras del mismo ingeniero Torroja: “El nacimiento de un conjunto estructural, resultado de un proceso creador, fusión de técnica con arte, de ingenio con estudio, de imaginación con sensibilidad, escapa del puro

Laboratorios Richard, USA, 1961. Edificio en donde Louis Kahn cambió la forma de entender los usos del pretensado en la arquitectura.

Fuente: Monografías Tectónica, Vol 5 ATC Ediciones, Madrid 2003

⁵² AV Monografías, “Oscar Niemeyer, One Hundred Years”, Arquitectura Viva SL, 2007



dominio de la lógica para entrar en las secretas fronteras de la imaginación. Antes y por encima de todo cálculo está siempre la idea, moldeadora del material en forma resistente, para cumplir su misión...⁵³

Fernando Casinello y Miguel Fisac desarrollaron así mismo, una arquitectura sorprendente que emana un entendimiento profundo de la técnica. Si bien todos ellos han realizado edificios icónicos con pretensado, la obra de Fisac fue mundialmente reconocida por el desarrollo y el uso de revolucionarios sistemas postensados tipo vértebra o “huesos”, que analizados a profundidad, no cumplían funciones meramente estructurales. Estas dovelas, aparentemente de formas muy caprichosas y orgánicas, respondían efectivamente a otras necesidades del proyecto arquitectónico ya que, entre otras cosas, solucionaban atenuadamente la iluminación natural, conformaban canales y sistemas para la escorrentía de aguas, pasaban instalaciones por su interior, y dotaban a los espacios de cubiertas increíblemente interesantes y singulares, definiendo magistrales juegos de luz y sombra, mostrando al material desde su desnuda y honesta belleza técnica. No se requiere ningún tipo de “terminaciones” arquitectónicas ni artificios que cubran el material. Su textura propia, las huellas de vertido, el color natural del concreto, la expresividad de las juntas constructivas, siempre eran suficientes para definir una nueva estética de la obra en estado puro. Su aporte a la arquitectura y, sobre todo a la manera de abordarla desde el proyecto fue increíble. “Los resultados de la propuesta de Fisac ofrecen desde una actitud técnicamente rigurosa soluciones de cubierta para luces medias de ampliadas prestaciones. Así en el Centro de Estudios Hidrográficos (1959), la evolución de los “huesos” permite en una misma pieza constructiva la resolución de iluminación indirecta general y luces de 22 metros por medio de módulos de 1 metro y espesores de pared de 6 centímetros. En otra variante ejecutada en los Laboratorios Jorba y en el Complejo Parroquial Santa Ana de Moratalaz (Madrid, 1965), se minimizan los espesores hasta 2 y 3 centímetros para luces de 6 a 20 metros.”⁵⁴

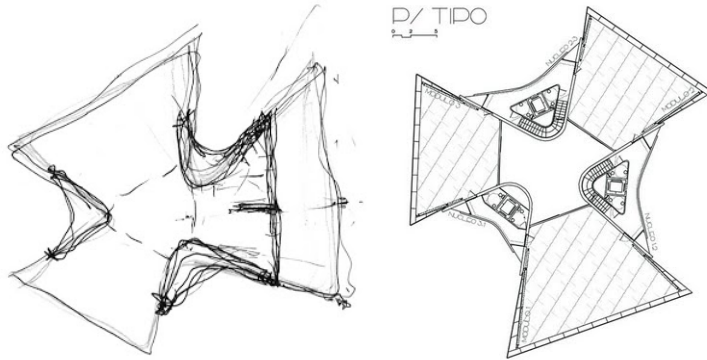
Pero como toda técnica dinámica y en constante evolución, el pretensado no es ajeno a los acelerados avances en cuanto a la calidad misma de sus materiales componentes. Aceros con aleaciones ultra-resistentes, hormigones de alto desempeño, encofrados especiales, y el infinito universo de aditivos y químicos de la construcción, permitieron la resolución de elementos constructivos que hace muy pocos años no eran más que

La genialidad constructiva de Miguel Fisac propuso los pretensados “vértebra” que los unía mediante el postensado. A más de salvar grandes luces, lograba solucionar otros problemas arquitectónicos como la iluminación indirecta, la evacuación de aguas, etc.

Fuente: Monografías Tectónica, Vol 5 ATC Ediciones, Madrid 2003

⁵³ Monografías Tectónica, Hormigón Prefabricado (II) ATC Ediciones, Madrid, 2003

⁵⁴ Idem



Torre Cube, Guadalajara. Obra de Carmen Pinós que revolucionó el planteamiento estructural de los sistemas postensados con núcleo central.

Fuentes: Arriba: noticiasarquitectura.com / g84arquitectos.blogspot.com
Abajo: arqtipo.com

quimeras. Estos avances importantes en la calidad del pretensado, no sólo permitieron mejorar las prestaciones estructurales del sistema en lo que refiere a lograr luces cada vez más grandes con secciones y pesos cada vez más reducidos. El avance mayor se da actualmente en la resolución de elementos estructurales de superficie. Losas pretensadas de gran dimensión, definen espacios completamente diáfanos con muy pocos apoyos. El observar planteamientos estructurales innovadores, como las losas postensadas en voladizo para Torre Agbar⁵⁵ en Barcelona, proyecto de Jean Nouvel, o mejor aún, la Torre Cube en Guadalajara, obra mentalizada por la arquitecta catalana Carmen Pinós, defienden y promulgan la hipótesis de que todo resulta posible, si se conoce profundamente una determinada técnica, y ésta se convierte en el arma principal dentro de su estrategia de diseño. El ejemplo es simple y contundente. ¿Hubiese sido posible diseñar la Torre Cube en otro material y conservar intacta la esencia del proyecto? O analizado desde un parámetro proyectual (al igual que lo visto en las obras de Mendes da Rocha), **el proyecto arranca con un croquis inicial que resume íntegramente la propuesta, en la cual nace una nueva disposición de elementos completamente distinto del soporte estructural, en definitiva, nace otra forma de proyectar y concebir la arquitectura ayudada por nuevos parámetros y nuevos procesos edificatorios, fundamentados en una nueva opción técnica.** La torre Cube es un edificio icónico de 70 metros de altura y está definido por una planta arquitectónica en forma de trébol, en donde las hojas son losas unidireccionales que se **postensan** “con luces de hasta 22 metros y canto fijo de 40 cm, que se unen a las jácenas sin ayuda de ningún pilar, con lo que el espacio de cada una de las hojas queda libre y diáfano para ser ocupado por las oficinas, que se amueblan y compartimentan según se desee. El espacio central, abierto, se ilumina lateralmente a través de los enormes huecos que resultan de suprimir alternativamente tres plantas de cada módulo de oficinas. No sólo la luz, sino también el aire atraviesa el vacío, ventilando el edificio y haciendo posible prescindir de climatización artificial.”⁵⁶ El gran apoyo está solucionado por un núcleo único dividido en tres partes curvas de donde “vuelan” todas las losas solidarizadas mediante la técnica del postensado, lo que a más de resultar una estructura espectacular, crea una atmósfera espacial increíblemente bella, donde convergen fuertes conceptos de levedad y plasticidad formal.

⁵⁵ www.jeannouvel.com

⁵⁶ AV Monografías 115, Materiales de Construcción. Arquitectura Viva SL Editores, 2005.



Torre Cube, Guadalajara. Losas postensadas de 22m en voladizo
Fuente: www.luis.bozzo.com



Casa Hemeroscopium. Ensemble Estudio
Fuente: juanpablotata.blogspot.com

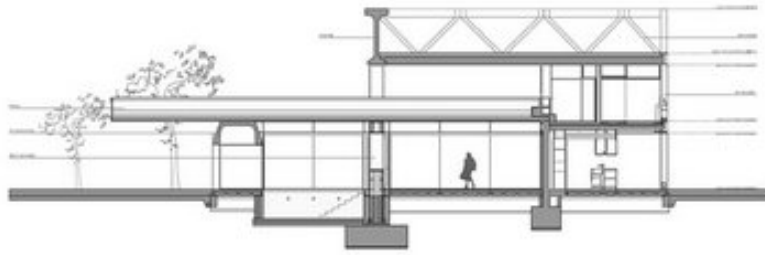
La levedad entendida desde el proyecto, siempre estará ligada al poder lograr grandes espacios libres, con elementos estructurales cada vez más ligeros. Ese ha sido un anhelo constructivo buscado a lo largo de historia, y su evolución ha ido definiendo inclusive nuevos parámetros estéticos. La técnica del pretensado ofrece abiertamente esa posibilidad en virtud de sus revolucionarias prestaciones como material. Eso ha permitido, que los arquitectos que conocen la técnica empiecen a ver con otro enfoque el encargo de proyectos. El pretensado ya no sólo sirve para ensamblar piezas industriales de catálogo pues muchas veces éste material se convierte en el tema mismo de los edificios, especialmente si se cuenta con la libertad técnica y espacial del uso correcto del postensado.

Extraordinario ejemplo de lo dicho resulta el trabajo del despacho español EnsembleEstudio, bajo la tutela del arquitecto Antón García-Abril. Parecería ser que en cada una de sus obras se desencadena un emotivo homenaje del proyectista a las posibilidades y límites del material. Los elementos constructivos, pre-esforzados y en su forma más pura, se sobreponen unos a otros y van girando en forma de helicoides. Estos elementos marcadamente horizontales y pesados, condicionan dramáticamente la forma y la resuelven intensamente, produciendo un poderoso efecto gravitatorio. Su lenguaje arquitectónico no es más que un armonioso juego de equilibrio entre piezas estructurales pretensadas y postensadas de gran dimensión, muy comunes en obras civiles, y aparentemente inimaginables en arquitectura doméstica. Sin embargo los resultados son sorprendentes e irrepitibles. Tal vez, en este punto, sea oportuno citar al maestro paulista Vilanova Artigas cuando afirmaba: “Arquitectura, básicamente, es desafiar la ley de la gravedad. Eliminar apoyos, lanzar vanos, equilibrar. El resto es confort. Un poco de confort aquí, un poco de confort allí...”⁵⁷

La casa Hemeroscopium esconde en su aparente simplicidad formal de sus elementos, “la complejidad ingenieril del tratamiento pretensado y postensado del hormigón, cuyos encuentros se producen en función de su proceso constructivo. Esta obra representa el equilibrio entre ingeniería y arquitectura, donde la envolvente formal se diluye permitiendo que las vistas se abran hacia el entorno.”⁵⁸

⁵⁷ Cita de Vilanova Artigas en: José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

⁵⁸ AV Monografías 127 , La casa natural. Arquitectura Viva SL Editores, 2007.



Casa Hemeroscopium. Ensemble Estudio. Sección constructiva.

Fuente: quadraturaarquitectos.com



Casa Hemeroscopium. Ensemble Estudio. El equilibrio estructural entre los elementos pretensados y postensados se convierte el tipo arquitectónico final.

Fuente: esaytunidadsevillano.blogspot.com

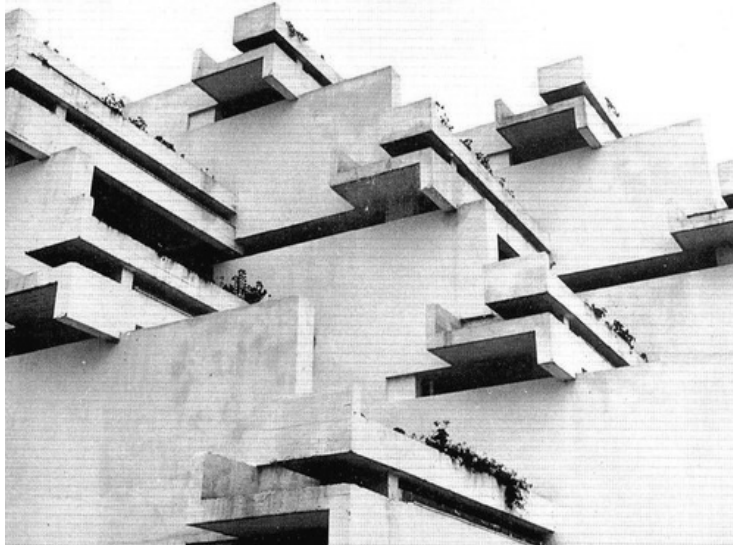
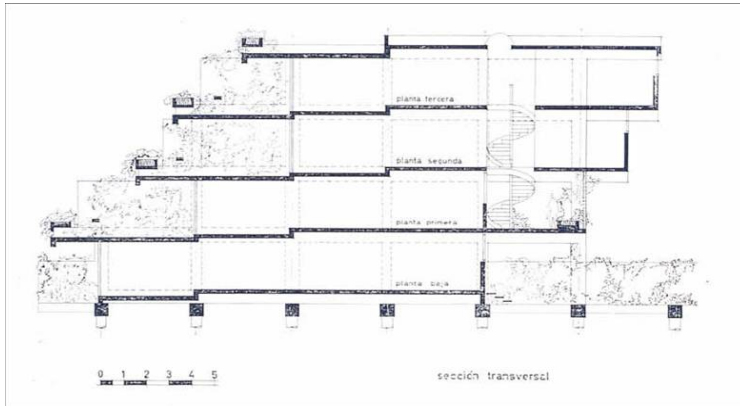
Por supuesto, el empleo y elección del sistema constructivo, nunca fue posterior al diseño. La idea de la casa nació desde el sistema constructivo en sí, y el diseño arquitectónico se desarrolló visualizando todo el potencial técnico y expresivo que el material podía ofrecer al proyecto, llevándolo a límites inimaginables. Nuevamente el detalle condiciona e intensifica la forma, y vuelve viable esta ambiciosa propuesta, que seguramente no encontrará acogida en ninguna otra técnica, si se quiere, lógicamente, mantener la contundencia y esencia del proyecto.

La composición estética, arranca y se condiciona desde la técnica, y nace una forma completamente distinta de abordar el diseño de proyectos. Recordamos a José Ma. García del Monte y su pensamiento en lo que significa diseñar con pretensado: *“La levedad, la desaparición de la fachada en tanto que tiranizadora del pensamiento arquitectónico, la recuperación del suelo y su duplicación en la cubierta, la puesta en valor de las virtudes de la naturaleza, el protagonismo del espacio en la configuración de la forma arquitectónica de planta libre, son todas ellas cuestiones que ésta arquitectura (nacida del entendimiento del pretensado) lleva a nuevos límites.”*⁵⁹

⁵⁹ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

3.2.- LA PREFABRICACIÓN APLICADA: DEL MÓDULO DE DISEÑO A LA ESTRUCTURA INDISPENSABLE

“La modulación ha llevado a muchos arquitectos a adoptar una visión más poética”⁶⁰



El arte de proyectar un sistema arquitectónico, en especial cuando se refiere a edificios en altura, inicia principalmente desde su concepción estructural. Si bien la forma de un edificio siempre estará condicionada a un sinnúmero de complejas variables, se fundamenta primordialmente en un entendimiento riguroso de la geometría y en un manejo intuitivo de criterios básicos de estabilidad y pre-dimensionamiento. Pero, el complejo proceso de composición estructural tampoco se debe limitar exclusivamente al soporte resistente en sí, pues en la arquitectura el sentido de la palabra “estructura” resulta mucho más amplio que en la ingeniería civil. Ya lo decía Edward Allen: “ Si su estructura no hace más que soportar el edificio, no se está utilizando al máximo”⁶¹ Además se debe conocer, por supuesto, la aptitud de los materiales de construcción que conformarán dicho sistema. El conocimiento y la determinada vocación (pertinencia) que pueda tener un cierto material dentro de un proyecto, nunca es aplicable a todos los casos. Es aquí donde se toman decisiones de compatibilidad, es decir, se debe analizar si el material cumple acertadamente su misión, encaja y se vuelve eficiente dentro del planteamiento estructural propuesto.

La selección del sistema de estructura, en lo que a materiales de construcción se refiere, arranca en las necesidades mismas del proyecto arquitectónico y los requerimientos exigenciales de su programa. Si bien la selección puede variar en el avance proyectual, se cuentan con herramientas importantes para cotejar y validar alternativas adecuadas según el tipo de edificio a planificar. **“El diseño estructural debería ser como una calle de dos sentidos, dando y tomando con la forma y el espacio hasta que se logre la mejor síntesis.”**⁶²

Al respecto, estudiosos del tema como Fuller Moore plantea esquemáticamente ciertas variables (anexo 1) que podrían resultar de mucha utilidad a la hora de determinar dichos criterios de diseño.

Edificio aterrazado de vivienda en Mallorca, realizado por Sáenz de Oiza en 1961

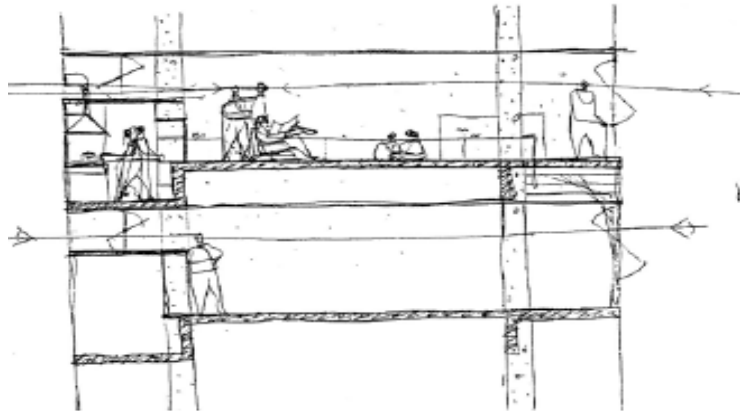
Fuente sección: etsaunproyectos2.es

Fuente fotografía: icancauseaconstellation.com

⁶⁰ Weston, Richard. “100 ideas que cambiaron la Arquitectura” Editorial Blume, 2011

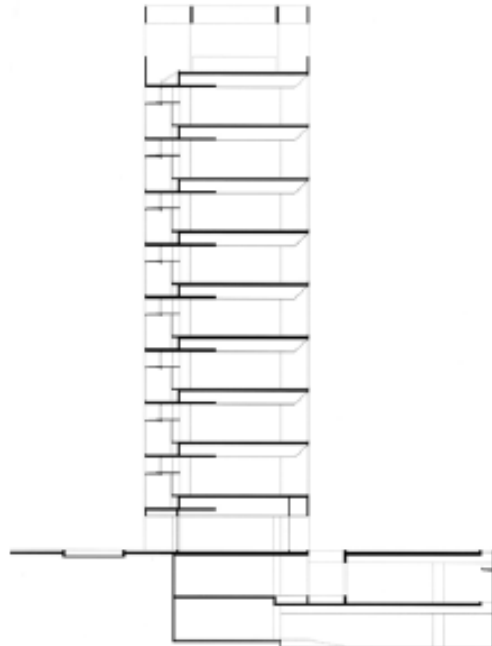
⁶¹ Allen, Edward. Cita en: “Comprensión de las estructuras en la arquitectura”. Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores. 2000

⁶² Moore, Fuller. “Comprensión de las estructuras en la arquitectura” Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores. 2000



Paulo Mendes da Rocha. Edificio de viviendas en Jaraguá. Se evidencia una profunda sensibilidad en las definiciones espaciales desde los bocetos iniciales. El típico sistema "bandeja" presente en los edificios verticales, es descompuesto en niveles intermedios que crean zonas de servicio sin interferir las vistas y la ventilación cruzada que ingresa a través de las áreas sociales.

Abajo: fotografía y corte del proyecto. Fuente: José Ma. García del Monte.



Por lo tanto, se puede afirmar que **la creatividad en arquitectura no es un arte libre, es un arte condicionado al dominio de la estática y los materiales.** No se puede hablar de la creatividad de un proyecto si éste no responde a la posibilidad técnica y real de ser construido. “La invención de una forma especialmente adaptada a la resolución de un problema concreto, ¿es estrictamente un proceso de imaginación, o es el resultado de un razonamiento lógico basado en la formación técnica? Yo no creo que sea ninguna de las dos cosas, sino una mezcla de ambas...La imaginación por sí sola no podría llegar hasta un diseño así sin la ayuda de la razón, ni tampoco podría ser un proceso deductivo, avanzando en etapas sucesivas de perfeccionamiento, haber sido tan lógico y determinante como para conducir inevitablemente hasta ello.”⁶³

La historia de la arquitectura así lo ha demostrado. Los grandes maestros siempre han sido referentes no sólo por sus obras inolvidables sino fundamentalmente por sus grandes aportes a la técnica. “Una de las maneras más provechosas de entender la relación entre la construcción y el proyecto es examinar el camino por el que han evolucionado los materiales y las maneras de construir a lo largo de la historia. Es a través de esta evolución como podemos ver los cambios en la apariencia de los edificios y reconocer, en definitiva, los tipos edificatorios.”⁶⁴

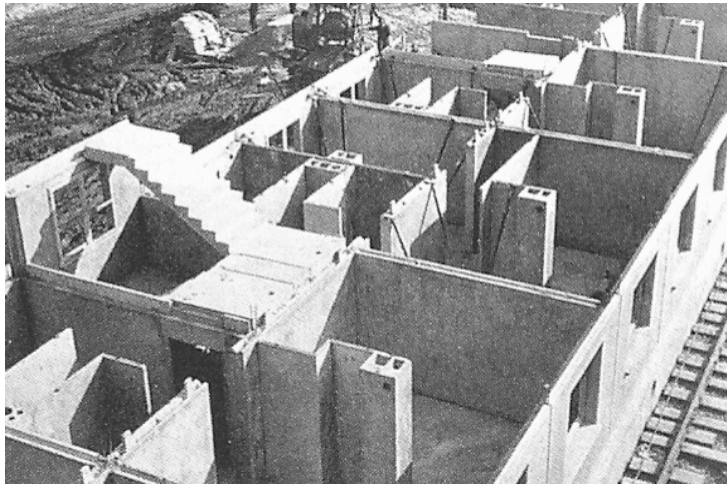
La tecnología de los materiales y su constante evolución obligó a los arquitectos a entender que detrás del nacimiento de cada material “nuevo”, siempre habrá la necesidad inmediata de proyectar edificios bajo un nuevo planteamiento estructural. “Creía Hegel que cada nueva técnica trae consigo una nueva filosofía. Y sin duda, el mestizo y cambiante universo de ideas surgido de las diferentes revoluciones técnicas de los dos últimos siglos justifica esta idea. Igualmente, podríamos decir que los nuevos problemas que afectan a la sociedad reclaman que la tecnología oriente su poder transformador en determinados sentidos. Podríamos decir así, que toda nueva filosofía social requiere una tecnología que la desarrolle. Las técnicas no son nunca neutrales.”⁶⁵

Gracias al entendimiento de la naturaleza misma de los materiales se dan las pistas; el conocer sus posibilidades, sus límites, sus criterios de uso y su comportamiento dentro de un sistema constructivo específico. Para Frank Lloyd Wright, “responder a la naturaleza de un nuevo material era el mejor

⁶³ Torroja Miret, Eduardo. “Razón y Ser de los tipos estructurales”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Undécima reimpresión. ISBN:84-00-07980-9 Madrid, 2004.

⁶⁴ Strike, James. “De la construcción a los proyectos” Editorial Reverté, 2004

⁶⁵ Ruiz-Larrea, E. prieto, A. Gómez Arquitectura, Industria y sostenibilidad IdIC 2008



No siempre la prefabricación tuvo feliz término. El mal uso de componentes prefabricados usados sin una base conceptual previa desde el proceso de diseño, provocaron soluciones muy rígidas, complicadas y estéticamente discutibles:

Fuente: Prof. Julián Salas, conferencia realizada en la ciudad de Cuenca. 2012



Museo de Arte de Sao Paulo [MASP] de Lina Bo Bardi. Edificio icónico que no sólo pudo plasmar todo el dominio técnico de la escuela brasileña en la tecnología del concreto postensado, (con anclajes patentados inéditos del Ing. Figueroide Ferraz) sino que dio un paso incuanticable en eterno ideal arquitectónico del "gran espacio libre de columnas"

Fuente: José Ma. García del Monte.

modo de conquistar la resistencia profesional al cambio y el camino más seguro hacia una nueva arquitectura." ⁶⁶

Si analizamos por ejemplo, las estructuras soportantes de ladrillo ó las construcciones tradicionales en madera, y las comparamos con otras obras de similar escala solucionadas en hormigón armado o esqueletos de acero, veremos diferencias notables. A más de las propiedades técnico-expresivas de cada sistema constructivo, que no vienen al caso comentar, encontramos fundamentalmente diferencias en la forma de delimitación espacial.

En palabras de Gottfried Semper la construcción ha ido evolucionando "de la estereotomía a la tectónica." ⁶⁷ El lenguaje pesado de un arquitectura primigenia nacida del empleo estructural de gruesos muros de carga que restringían el espacio a través de una compartimentación cerrada y luces reducidas, poco a poco fue "aligerándose", abriendo camino a espacios más generosos y cada vez más libres. Parecería a primera vista que uno de los mayores avances tecnológicos de la nueva arquitectura guarda estrecha relación a conseguir espacios diáfanos con el menor número de elementos de soporte y espesores cada vez más reducidos. Basta recordar breves episodios del movimiento moderno, donde el uso del acero estructural complementado al uso de vidrios de gran formato, cambiaron radicalmente el planteamiento arquitectónico de los edificios y sobretudo el modo de vida de sus ocupantes.

La estructura, en nuestros días, busca ser la justa y necesaria para cumplir su misión. Esto permite a su vez, llevar a la arquitectura a nuevos límites, ayudada por supuesto, desde el entendimiento de la técnica y de la física de cada material. Citando a J. Ortega y Gasset: "La técnica...es el esfuerzo para ahorrar esfuerzo. Aquello a lo que dedicamos esfuerzo para inventar y ejecutar un plan para: asegurar la satisfacción de las necesidades elementales; lograrlo con el mínimo esfuerzo; crear objetos que no hay en la naturaleza y caminar con ella —con la técnica- hacia la vida buena y la emancipación humana...la técnica debe estar siempre al servicio de lo propiamente humano." ⁶⁸ En esencia, el objetivo de todo proyectista apunta a lograr que la arquitectura, exprese su lenguaje poético sin artificios, con los materiales apropiados, con la estructura indispensable.

⁶⁶ Weston, Richard. "Materiales, forma y arquitectura" Editorial Blume. S.L. Primera edición 2003.

⁶⁷ Desplazes, Andrea. "Construir la arquitectura: Del material en bruto al edificio" Editorial G.G 2010.

⁶⁸ Cita de J. Ortega y Gasset en: Salas, Julián. "Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible." Informes de la Construcción Vol. 61, 513 11-31. 2009.



“Durante los años 60 y 70 salieron a la luz algunos proyectos con ansias de renovar y modernizar el concepto de vivienda modular. Se destaca el proyecto Hábitat 67 desarrollado por Moshe Safdie. Este conjunto de edificios se asemeja a una maraña de cubos entrelazados entre sí de forma aparentemente caótica, de forma que muy pocas viviendas sean iguales entre sí (hasta 15 tipologías diferentes). Sólo con esta configuración, se rompe el estereotipo de las restricciones estéticas que imponen este tipo de edificios.”

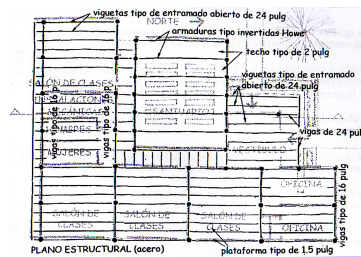
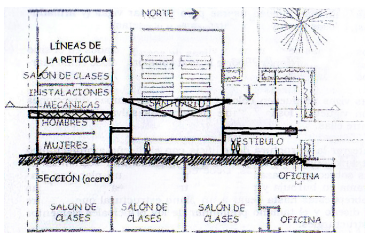
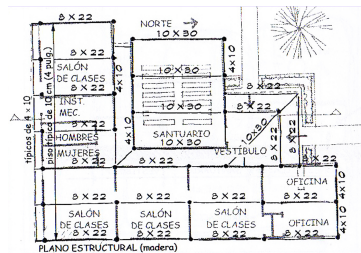
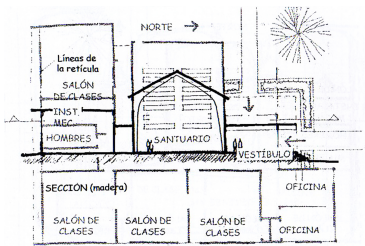
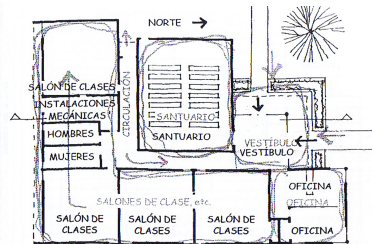
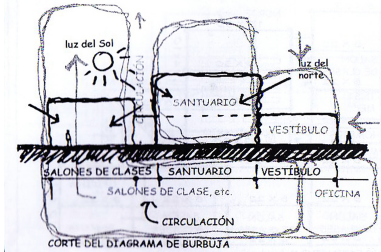
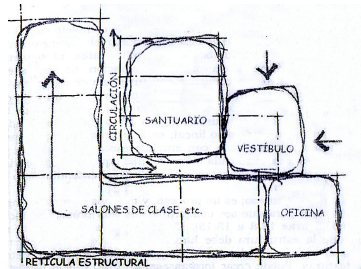
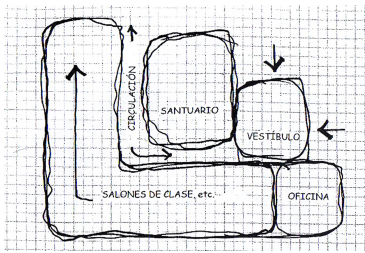
Fuente: V. Gómez Jáuregui, en Informes de la Construcción, Vol 61. Año 2009

La palabra “indispensable”, entendida desde lo estructural supone lo mínimo y necesario para que una edificación cumpla su función estática, pero con un comportamiento óptimo y seguro del edificio ante demandas propias y externas. En otras palabras, casi de manera natural, el proyectista busca solucionar un problema resistente de la forma más óptima, eficiente, con la menor cantidad de elementos soportantes posibles, con los cantos y secciones mejor aprovechados. Ésta ha sido una de las búsquedas más arduas e insistentes de la ciencia de la construcción, y desde mediados del siglo pasado, se han dado interesantes acontecimientos que cuentan este fenómeno. Especial énfasis se ha puesto, por ejemplo, en los sistemas de vivienda masiva de interés social, naves industriales, y edificios en altura, con el desarrollo de la prefabricación de componentes constructivos. Al tratarse de productos manufacturados producidos en la industria, tuvieron que ser concebidos como resultados visibles de un hilado y complejo proceso de evolución –síntesis- del problema estructural aplicado a la introducción de la arquitectura a la era industrial.

La industrialización de la construcción es un tema demasiado extenso e increíblemente complejo, que resultaría pretencioso abordarlo en esta investigación. Sin embargo, se ha tomado de referencia un cuadro síntesis elaborado por el profesor Julián Salas, donde se plantea una interesante “propuesta tentativa de división conceptual de la industrialización de la edificación.”⁶⁹ (anexo 2) para ayudarnos a entender la real magnitud del problema. Pero para este análisis, simplemente se puede decir que se abrieron nuevos caminos, y éstos han dejado huella hasta nuestros días, ya que la industrialización nunca se limitó a su idea inicial (de fabricar únicamente piezas de catálogo) sino que desde su difícil introducción en los proyectos de arquitectura, hasta sus agudos tiempos de crisis, parece que podría revenir su desarrollo hacia un renovado renacimiento. Cuando allá por los años cincuentas, se empezaba a explorar una arquitectura intuitiva que adaptaba con mucha dificultad, criterios de inserción de elementos industriales a la planificación arquitectónica, personajes visionarios como Le Corbusier tenían otra forma muy distinta de entender el fenómeno: “Acaba de comenzar una gran época. Existe un espíritu nuevo. La industrialización, desbordante como el río que corre hacia su destino.”⁷⁰

⁶⁹ Salas, Julián. “Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible.” Informes de la Construcción Vol. 61, 513 11-31. 2009.

⁷⁰ Cita de Le Corbusier en: Strike, James. “De la construcción a los proyectos”. Ed. Reverté 2004

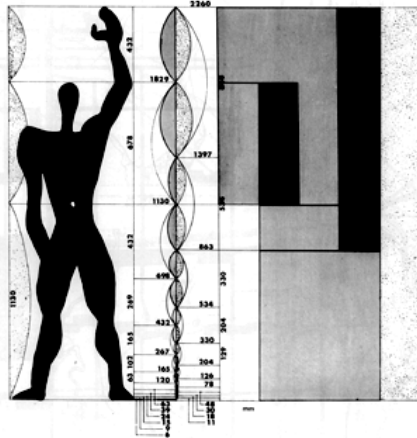


Sin embargo, este increíble empuje de optimismo del maestro francés, quedó como un principio idealista tíbiamente traducido a una arquitectura que se desarrollaría según sus expectativas, pues debido a complejos fenómenos socio-culturales, **la industrialización fue mal entendida, tergiversada, ínfimamente reducida a algo utilitario a aplicarse exclusivamente en la prefabricación de soluciones –muy rígidas- de vivienda masiva de bajo costo, o proyectos experimentales de unos cuantos académicos.** Ya en los años setenta, el ingeniero industrial Jean Prouvé manifestaba enérgicamente: “¿La industrialización abierta? ¿Qué es eso? ¿Quizás los concursos de paneles de fachada, ventanas, puertas, etc.? Nadie ha podido utilizarlos. No han servido para nada. Cada arquitecto quiere diseñar su ‘truco’, quiere su panel para él...para que esa industrialización proporcione una arquitectura bella, es preciso que los arquitectos dominen los procesos.”⁷¹ Y un proceso, entendido como la sumatoria de una serie de fases establecidas para conseguir un fin, requiere, como es lógico, la determinación de una estrategia que defina dichas acciones. En este caso, la primera consideración a seguir, es reconocer que si la estructura del edificio debe integrarse por completo con el diseño arquitectónico, “los dos deben evolucionar simultáneamente, empezando con los bosquejos preliminares. El siguiente procedimiento de diseño asegurará dicha integración. Es un proceso evolutivo y reiterativo que comienza con un plano de diagrama de burbuja y progresa con una serie de sobrecapas hasta un plan estructural que muestra la composición preliminar y el tamaño de los principales elementos estructurales.”⁷² (revisar imágenes contiguas)

A su vez, el análisis de programa arquitectónico específico determina la escala del proyecto. En otras palabras, la estrategia cambia radicalmente, por ejemplo si diseñamos un aeropuerto, o si proyectamos una vivienda mínima. Los requerimientos espaciales son radicalmente distintos, y condicionan directamente las soluciones y el dimensionamiento de los elementos estructurales. La forma más práctica y objetiva de enlazar esta escala de diseño con el programa arquitectónico es a través de reconocer necesariamente las dimensiones específicas de cada uno de los espacios a proyectar y saber lidiar con ellos, como una suerte de juego geométrico que enlaza coordinadamente a su paso, función, forma y soporte. Pero el diseño arquitectónico es complejo, único e irrepetible en la mayoría de casos, por lo que requiere, en su tratamiento, de una herramienta que

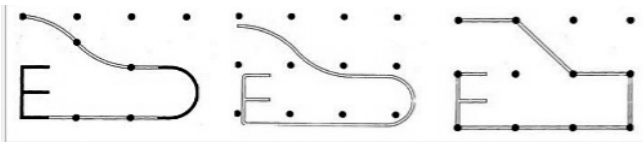
⁷¹ Cita de Jean Prouvé, 1979 en: Salas, Julián. “Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible.” Informes de la Construcción Vol. 61, 513 11-31. 2009.

⁷² Moore, Fuller “Comprensión de las estructuras en arquitectura” McGraw Hill Edit. 2000.



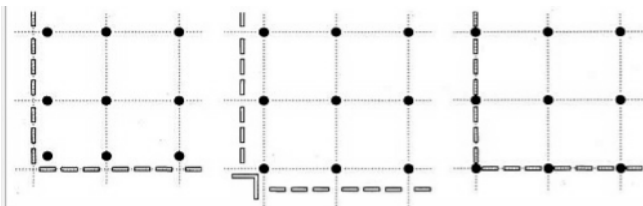
“Le Corbusier define el Modulor como un utensilio que sirve para ayudar a dimensionar objetos; como una herramienta que busca armonía y belleza mediante relaciones abstractas, y que pretende unificar visualmente las partes del proyecto para dotarlo de un sentido de orden. Las aplicaciones del Modulor van desde el diseño del equipo doméstico, como búsqueda de una ciencia de la vivienda, la industrialización basada en la prefabricación y la producción en serie, hasta la concepción de una gran ciudad, donde el arquitecto sea capaz de relacionar al hombre con su ambiente.”

Fuente: www.joseleearquitectura.com/ / blog



Esquemas de relación formal, explícita y radical, entre cerramiento y estructura

Fuente: I. Patricio



Esquemas de modulación del cerramiento según su posición relativa respecto a la estructura

Fuente: I. Patricio

facilite y simplifique dicho proceso. Esa poderosa herramienta es la modulación. En arquitectura, un módulo es una unidad espacial de medida o de agrupación dimensional nacida del programa arquitectónico, que no solo facilita la organización, sino que estructura la lógica misma del cómo construir. Desde los rigurosos múltiplos matemáticos encontrados por Vitruvio en los edificios clásicos, hasta el “Modulor”⁷³ antropométrico Corbuseriano, han sido valiosos estudios que demuestran el antiguo afán del hombre de encontrar relaciones geométricas lógicas entre un edificio y sus partes, especialmente su estructura. En reflexiones más actuales, Julián Salas, por ejemplo, relaciona también desde un punto de vista constructivo, la propuesta teórica enunciada por G.C.Argan que nos habla sobre el paso de llegar “del módulo medida al módulo objeto.”⁷⁴ Si bien todos los autores que han desarrollado reflexiones sobre este tema, aportan con una interpretación propia del cómo entender “un módulo de diseño” y sus diferentes escalas, existen formas sencillas y universales de aplicar dichos conceptos al planteamiento de edificios.

El concepto de modulación aplicado al diseño de proyectos, siempre estará indivisiblemente ligado a la coordinación dimensional. No se puede hablar de modulación sin comprender la coordinación dimensional. Todos los procesos de diseño arquitectónico, especialmente los que incluyan a la industrialización y a la prefabricación, requieren como filosofía, partir de estos preceptos para cumplir su objetivo. Pero esto no significa de ninguna manera, que se deba producir una arquitectura “modular” entendida desde lo monótono y repetitivo. “La coordinación dimensional es un MEDIO, nunca puede ser un FIN por sí misma (...) La mejor coordinación dimensional debe ser lo suficientemente flexible para poder ser aplicada prácticamente en cualquier edificio, en el grado necesario y según las exigencias y capacidades de los agentes implicados. Y el arquitecto tiene que ser lo suficientemente sabio para reconocer el escenario en el que se producirá su obra, así como el tipo y grado de disciplina dimensional que resultará más eficiente a ser aplicada.”⁷⁵

En el caso de la arquitectura pretensada, y con mayor razón en las soluciones postensadas, podemos comentar que la “métrica” del espacio puede cambiar dramáticamente con respecto a otras técnicas por las increíbles prestaciones del material en cuanto a lograr importantes luces

⁷³ “El Modulor” I y II fueron escritos que realizó Le Corbusier donde quería demostrar las relaciones armónicas del cuerpo humano y su íntima relación con la métrica de los espacios arquitectónicos.

⁷⁴ Salas, Julián. “De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico” en Informes de la Construcción, Vol 60, pág. 30. 2008

⁷⁵ http://www.construmatica.com/construpedia/Qu%C3%A9_es_la_Coordinaci%C3%B3n_Dimensional



El MUBE (Museo Brasileño de Escultura) en Sao Paulo, impuso una nueva métrica de entender los espacios diáfanos gracias a la técnica del presforzado. (más de 60m de luz libre entre apoyos)

Fuente: www.meetingselect.com



Una mal entendida creatividad está produciendo actualmente formas extravagantes donde prima el desorden estructural y constructivo

Fuente: listas.economista.es

libres de apoyo. Al respecto, vale la pena citar el comentario de José María García del Monte de éste tema, en su análisis de la obra de Mendes da Rocha y su particular forma de interpretar la coordinación dimensional en sus proyectos: “Si pasamos de pensar en unidades de cinco o, en el mejor de los casos, diez metros, a pensar en unidades de treinta (para empezar), la arquitectura necesariamente es otra. Dibujar en el papel la rejilla menor es el primer paso para tenerla clavada en la mente, por más que se quiera negarla en el desarrollo del proyecto. Poseyendo mayores escalas, los problemas que hay que resolver son los de las circulaciones, la adecuación de los espacios a la luz, las ventilaciones, superficies, relaciones con el exterior...el minué con el pilar ya no tienen sentido y no enturbiará nuestra mente. En su lugar, aparecerán otros elementos capaces de estructurar el espacio: rampas, escaleras, ascensores, núcleos de servicio...como protagonistas activos de la arquitectura, no testigos impávidos de lo que ocurre a su alrededor.”⁷⁶

Desde otro enfoque, la coordinación dimensional nace también en el proyecto como una valiosa herramienta de racionalidad y optimización. Es primera etapa de diseño para que los procesos de industrialización tengan sentido e impacto positivo en las construcciones, especialmente en lo que refiere a la fabricación de componentes. La falta de racionalidad, orden y coherencia, al plantear o pre-dimensionar un edificio (que supone usar elementos prefabricados), es penosamente visible en el desarrollo de proyectos de edificios en altura, y complican su desarrollo como si fuese una “trampa” de la cual el proyectista encontrará una difícil salida, debiendo recurrir a artificios muy rebuscados para encontrar buenos resultados de diseño.

“El desorden estructural y constructivo, en lugar de ser la excepción, se ha convertido en “norma” en gran parte de los edificios construidos recientemente. Esta situación, cuyo origen se remonta a los tiempos en que se generalizaron las técnicas de construir forjados planos, ha llegado a ser objeto de debate. La coordinación dimensional, entendida no como un valor que se añade a la obra a modo de suplemento, sino como una “métrica” que marca toda la definición geométrica del proyecto y apunta a optimizar tres de los factores capitales de la construcción, es decir, el tiempo, el coste y la calidad.”⁷⁷

⁷⁶ José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006

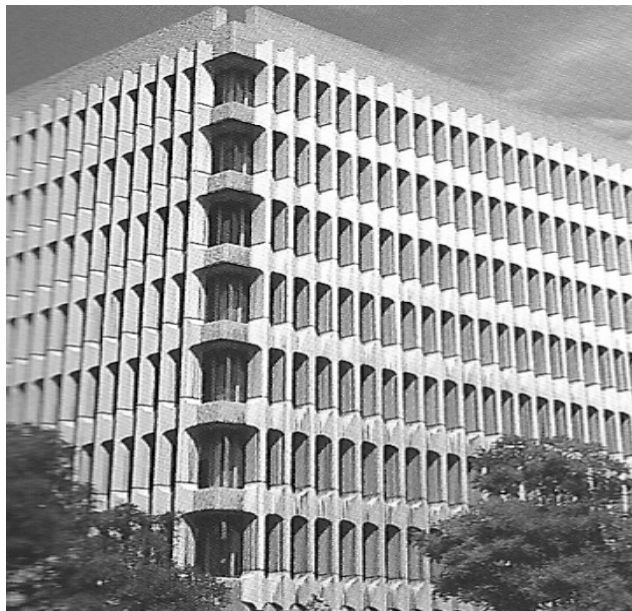
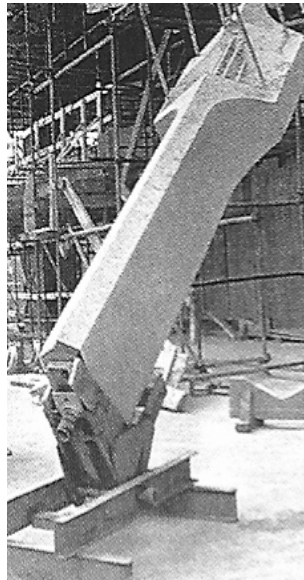
⁷⁷ Joan Lluís Zamora “Proyectar la Arquitectura desde la Coordinación Dimensional” ITEC 1999



Edificio Beatriz, Madrid 1972. Obra de Eleuterio Población, en donde propone una fachada resuelta íntegramente con soportes prefabricados en forma de cruz latina que actúan además como quiebrasoles.

Nuevamente, la solución técnica de la estructura se vuelve la imagen final del edificio.

Fuente: Artículo de José Jurado Egea en: Monografías Tectónica, Vol. 5 Hormigón Prefabricado (II) ATC Ediciones 1999.



La introducción de sistemas industrializados al desarrollo de edificios en altura, supone entonces un planteamiento muchísimo más riguroso de la coordinación dimensional, que dará sus frutos especialmente en el momento mismo de la ejecución. “Cuando en la obra se han de realizar actividades de ajuste dimensional no previstas surgen mermas de productos y pérdidas de tiempo que reducen la productividad potencial de los procedimientos industrializados, superior, teóricamente, a la de los tradicionales. Además, **en los edificios en altura se amplifican algunos problemas de coordinación dimensional: la coincidencia entre plantas debe ser más estricta y los errores en la planta se multiplican por el número de plantas.** La gracia está en traspasar las fronteras del proyecto e impregnar toda la obra de esta disciplina, aspecto en el que **el arquitecto ejerce un liderazgo técnico basado, no en su autoridad legal, sino en los beneficios que la coordinación dimensional aporta a todos los agentes participantes.**”⁷⁸

La construcción de edificios que incluyan la incorporación de componentes industrializados requiere de esta filosofía desde su etapa proyectual inicial. **“No resulta pertinente proyectar en tradicional y ejecutar en prefabricado. De la misma manera, los sistemas industrializados no pueden atender en forma eficiente cualquier tipo de pedido.”**⁷⁹

Por este motivo, se debe, necesariamente cambiar de mentalidad a la hora de planificar un edificio que incorpore eficazmente el uso de componentes. No es un tema de construcción; es, básicamente, una postura muy diferente al afrontar el encargo de un proyecto, que merece una lógica distinta de abordar el problema de diseño, siempre desde la idea inicial, y por supuesto, desarrollada con la información correcta y necesaria. En otras palabras, se debe proyectar desde la comprensión de la técnica, para sacar de ella sus mejores virtudes. A su vez, el proceso combinado entre decisiones de diseño y alternativas de construcción, se convertirá en un puente directo de conexión que facilite la comunicación interdisciplinaria en todas las diferentes fases del proyecto. Acoger “la pragmática propuesta de Habraken de utilización de la coordinación modular como herramienta de lenguaje entre Proyectistas (arquitectos) - Clientes (usuarios) – constructores y productores (industriales).”⁸⁰ A continuación, se enuncian

⁷⁸ Joan Lluís Zamora “Proyectar la Arquitectura desde la Coordinación Dimensional” ITeC 1999

⁷⁹ Salas, Julián. “De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico” en Informes de la Construcción, Vol 60, pág. 22. 2008

⁸⁰ Idem.



"Edificio emblemático en el momento de su ejecución [1971] al inicio de la utilización de las fachadas `singulares´ prefabricadas, mediante el empleo de vibrado por `choques´, moldes de fibra de vidrio y cemento blanco, construido en Rennes (Francia)".

Fuente: Julián Salas.

los niveles posibles de construcción a base de componentes prefabricados, según Salas:⁸¹

SISTEMAS CERRADOS: los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio sistema, responden únicamente a reglas de compatibilidad interna y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse en forma no necesariamente sumisa a los condicionantes del sistema

EMPLEO PARCIAL DE COMPONENTES: la gama de productos y prestaciones de más o menos fija admitiéndose ciertas variaciones dimensionales o de pequeña entidad. Su empleo no requiere un grado de industrialización determinado de sus realizaciones y pueden utilizarse en obras o proyectos claramente tradicionales.

SISTEMAS TIPO MECANO: son resultado de la evolución hacia una apertura "acotada" de los sistemas cerrados, preparados para combinarse en múltiples soluciones suministradas por distintos productores que respetan voluntariamente un lenguaje cobinatorio definido y acotado.

SISTEMAS ABIERTOS: constituidos por elementos o componentes de distinta procedencia aptos para ser colocados en diferentes tipos de obras, industrializadas o no, y en contextos diversos. Suelen valerse de juntas pretenciosamente universales; gamas modulares acotadas; flexibilidad de proyecto prácticamente total; etc

Fuente: Julián Salas

En síntesis, existen diferentes formas o sistemas de adaptar los procesos de industrialización a las construcciones, sin embargo, siempre se tiene que analizar cuál o cuales se pueden adaptar a una determinada realidad. Según estos antecedentes, se podría pensar que la construcción pretensada, tan poco desarrollada en nuestro medio, tiene un mayor futuro desde los sistemas de fabricación de componentes constructivos, por las siguientes razones: Los sistemas cerrados, históricamente solucionaron de forma parcial ciertos problemas (especialmente en lo que respecta al déficit de vivienda social) pero demostraron ser muy rígidos y limitados en sus posibilidades arquitectónicas. Los sistemas mecano, en cambio, requieren ser producidos y ensamblados con un especial tipo de tecnología, muchas veces no disponible o aplicable en países como el nuestro, y de alguna manera, también imponen ciertas restricciones al diseño de proyectos. Los sistemas abiertos suponen "la posibilidad cierta de que componentes complejos de distintas procedencias y generados con diferentes formas de producción, bajo directrices de proyecto redactadas con mentalidad y disciplina industrial, propicien como resultado, espacios construidos mayoritariamente a base de componentes producidos por empresas distintas." ⁸² Los sistemas abiertos son un verdadero universo complejo donde confluyen muchas técnicas y materiales industrializados de diferente procedencia pero de compatibilidad universal, y al parecer, están

⁸¹ Salas, Julián. "De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico" en Informes de la Construcción, Vol 60, pág. 24. 2008

⁸² Idem



Edificio "Portal del Ejido". Cuenca. 2011. Estructura de 7 pisos más un subsuelo, que utilizó componentes prefabricados pretensados,

dominando el mercado actual de la construcción por su flexibilidad entendida desde el diseño de proyectos, sin embargo, todavía su aplicabilidad efectiva en nuestro medio resulta muy lejana.

Con estos antecedentes, la investigación persigue adoptar un modelo de industrialización posible y fácilmente alcanzable, tal vez no tan ambicioso como los anteriores, pero que permita simplemente mejorar los procesos, los tiempos de ejecución y la calidad de los edificios en la ciudad. La aplicabilidad de esta "prefabricación" debe partir del entendimiento a fondo de nuestras posibilidades técnicas reales y nuestro entorno edificado. Hablar de una "prefabricación aplicada" es casi hablar de un sincretismo; es referirse a conocer y explorar las posibilidades que nuestra naciente industria de componentes puede ofrecer para posibilitar la creación de diseños específicos y singulares; a romper el mito de que los elementos repetitivos producidos en serie pueden realizar únicamente una arquitectura repetitiva, producida en serie.

Desde la industria básica, con fábricas relativamente pequeñas, se vislumbra factible impulsar el desarrollo local de la técnica del pretensado, pero con la intención firme de que ésta pueda sintonizarse completamente con el diseño de proyectos y nuestros arquitectos puedan conocer algunas de las virtudes que la construcción con elementos prefabricados puede ofrecer, pero si la consideramos como una herramienta de diseño y no sólo como la simple elección de un material.

De todas formas, hablar de la construcción prefabricada pretensada, es por sí mismo un tema demasiado extenso, especialmente si nos referimos; por ejemplo, al desarrollo de productos arquitectónicos (como envolventes de fachada, mamparas de celosía, cubiertas singulares, paneles divisorios, mobiliario urbano, entre otros.) Por este motivo, se ha creído oportuno desarrollar únicamente, ciertos criterios específicos básicos para el planteamiento estructural de los edificios a base del uso de componentes prefabricados pretensados, tema que resulta la principal motivación de este trabajo de tesis.



CAPÍTULO 4: CRITERIOS DE APLICACIÓN:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS VERTICALES
DE MEDIANA ALTURA EN LA CIUDAD DE CUENCA
(entre 4 a 9 pisos)



Edificio Portal del Ejido, Cuenca. Estructura de hormigón pretensado con envoltente de ladrillo
Diseño: SurrealEstudio Arquitectura Construcción: RFV Carrasco Construcciones, año 2011.

4.1.- CONDICIONANTES DEL ENTORNO ESPECÍFICO

La aplicabilidad del sistema constructivo de componentes prefabricados pretensados al diseño y construcción de edificaciones en altura para la ciudad de Cuenca, debe partir de las condicionantes particulares de actuación en la ciudad, para lo cual se ha tomado en consideración parámetros básicos como las normas disponibles en el código de ordenanzas municipales, así como también ciertas restricciones del uso del sistema, entre otras cosas, que se detallan a continuación.

4.1.1.- CONSIDERACIONES PARA EL USO DEL SISTEMA PROPUESTO EN FUNCIÓN DE LA NORMATIVA DE EDIFICACION VIGENTE

Al analizar la normativa municipal vigente, podemos encontrar datos interesantes, que nos llevan a confirmar la hipótesis inicial que versaba en el hecho de que gran parte del futuro edificado de Cuenca, apunta a construir soluciones de mediana altura.

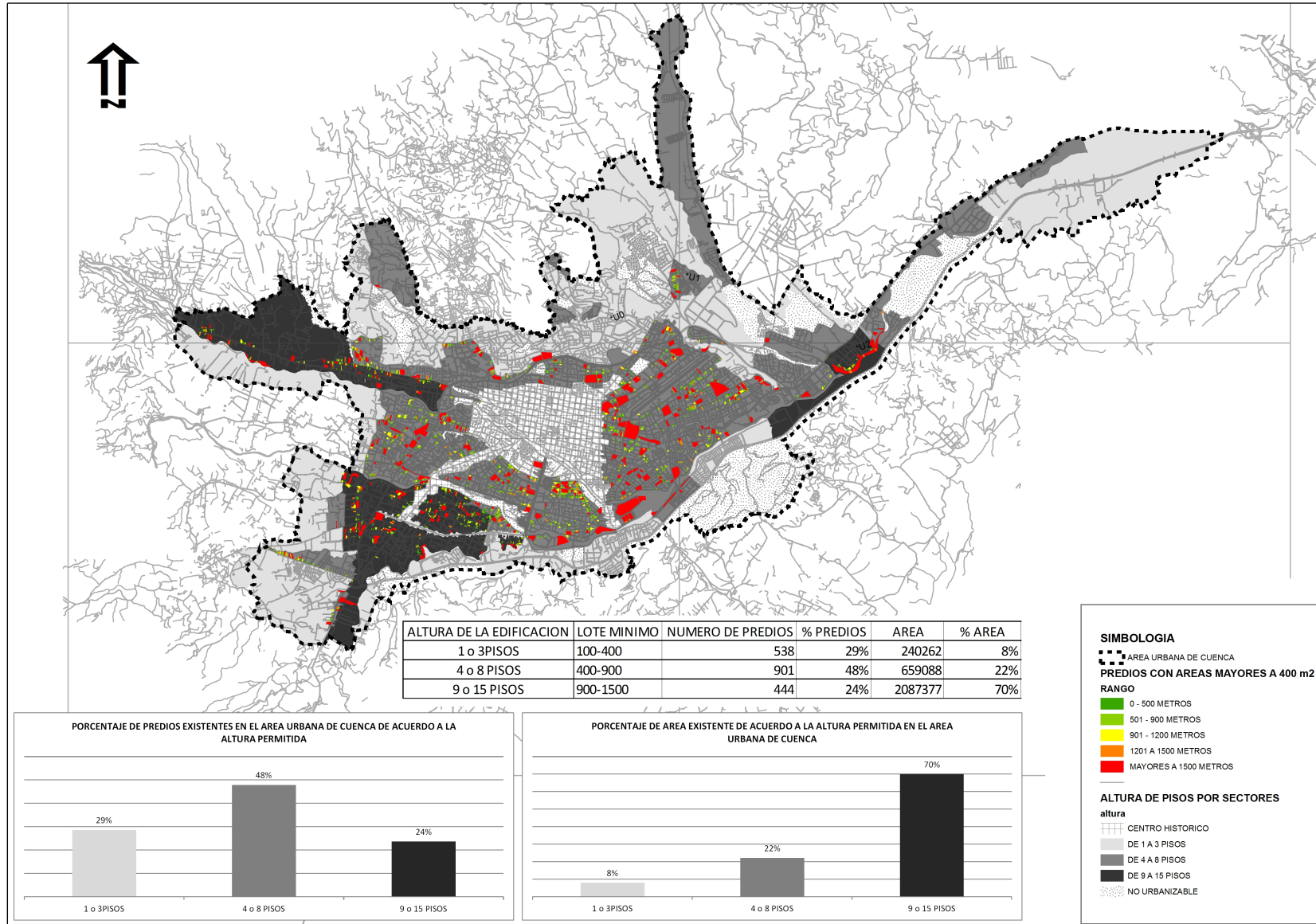
Se realizó una recopilación inicial de información en donde se determinó mediante un mapa (*que se anexa en la página siguiente*) los predios libres o disponibles en el área urbana con sus áreas respectivas, sin considerar en el análisis, el centro histórico, que dispone de su normativa especial y particular. De esos datos, se pudo determinar, que en el 29% de dichos predios se podría construir como máximo tres pisos, ya que tienen áreas inferiores a 400m² o tienen frentes reducidos, o bien las vías de acceso a dichos lotes son de anchos mínimos.

Pero por otro lado, se confirmó en cambio, que casi la mitad del global de lotes analizados (**48%**) cumplen todas las exigencias para planificar soluciones de entre 4 a 9 pisos, bien sea en tener un área mayor a 500m², o disponer de frentes mayores a 12m, y estar servidos por vías de acceso con un ancho mínimo de 12m. Sólo el 24% restante, corresponde a predios en donde se podrían planificar edificios de entre 9 a 15 pisos pero en determinadas zonas, que están claramente marcadas y concentradas.



Panorámica de Cuenca, Ecuador, donde predominan soluciones de baja y mediana altura.

Foto: www.skyscrapercity.com



CONDICIONANTES DE NORMATIVA DE PLANIFICACION DE EDIFICIOS.
Fuente: I.Municipio de Cuenca Elaboración del mapa: Arq. Fernando Chicaiza

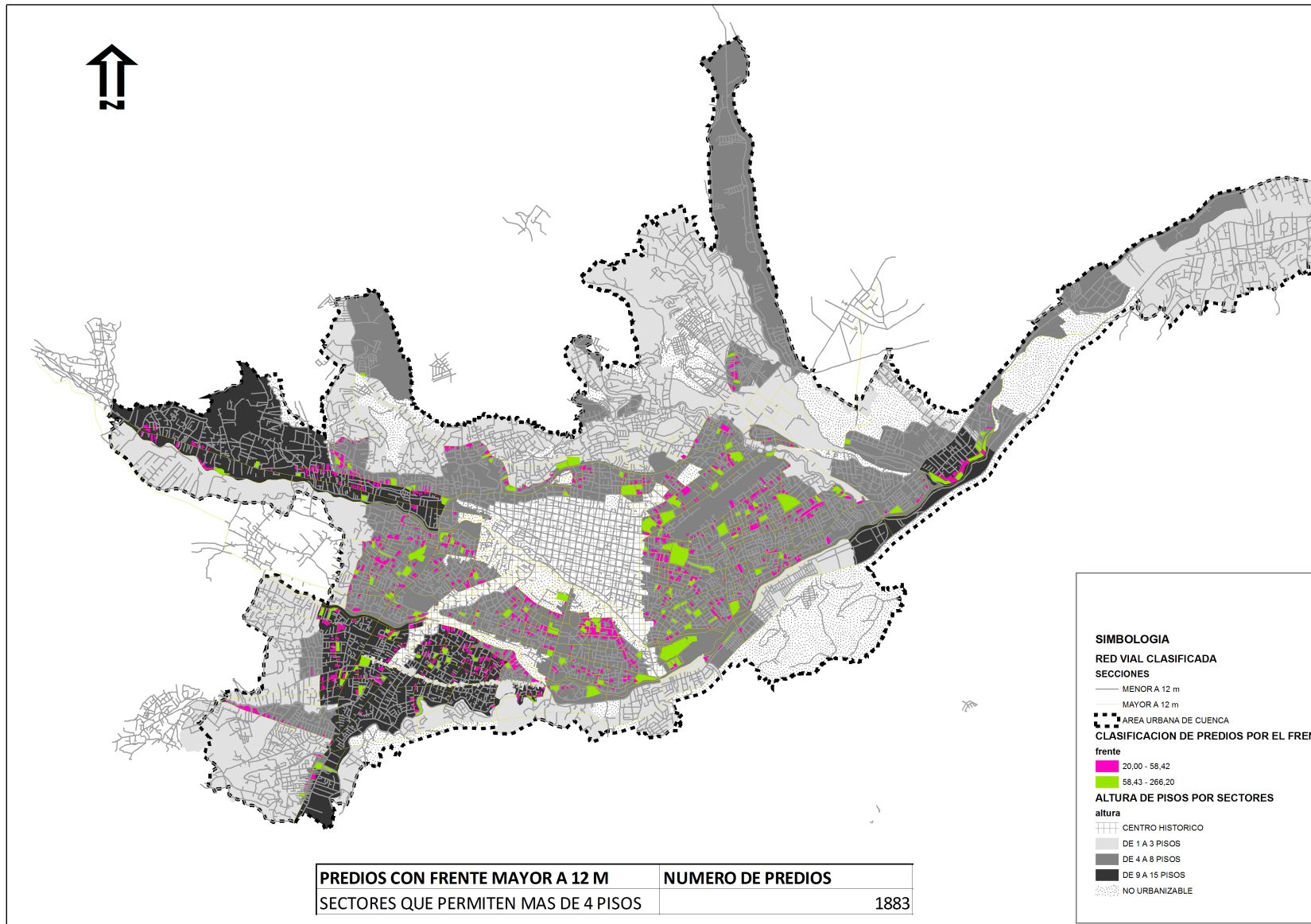


De acuerdo a la normativa municipal vigente, casi la mitad (48%) de lotes disponibles en la ciudad de Cuenca pueden ser planificados y cumplen las condiciones para realizar soluciones entre 4 a 9 pisos. Apenas en un 24% restante resulta posible planificar edificios de más de 9 pisos.

Foto: www.skycrapercity.com

Por este motivo, se subraya la importancia del aporte que pueda dar este trabajo de investigación a los nuevos procesos edificatorios en la ciudad, pues en función de estos datos reales, se puede afirmar que **al menos la mitad de edificios en altura que se planifican o se planificarán en la ciudad de Cuenca en los próximos años, serán tipologías de entre 4 a 9 pisos**, rango donde el sistema constructivo de componentes prefabricados encuentra sentido y efectividad, puesto que como veremos más adelante, no resulta muy rentable para el fabricante, el elaborar elementos “a medida” para soluciones de menos de tres pisos, salvo que se trate de la ejecución de grandes áreas para soluciones horizontales, donde se justifique el fabricar moldes especiales por el volumen de la obra. Tampoco es muy real para nuestro medio, realizar soluciones con elementos prefabricados de hormigón pretensado para edificios de más de 10 pisos, ya que se necesitarían grúas o plumas especiales, muy difíciles de conseguir o no disponibles en la ciudad, y sólo el hecho de traerlas representaría para el fabricante costos increíblemente altos, que se transfieren al precio final del sistema, lo que le quitaría competitividad en el mercado de la construcción local.

En sistemas estructurales prefabricados, es un tema no menos importante el hablar de las facilidades de transportación, izado de elementos y accesibilidad al predio. En este sentido conviene analizar previamente y en cada caso particular, la posibilidad real de ingresar con camiones plataforma (de largos muy considerables), al sitio final. Si bien en el grupo de predios analizados es posible, en teoría, construir soluciones de más de 4 pisos, puesto que todos los frentes de dichos lotes son mayores a 12m. (*ver mapa anexo en la página siguiente*) el análisis resulta más complejo, pues en función del recorrido de calles existentes entre la planta de fabricación y el sitio final se determinará si no hay ninguna limitación en cuanto a pesos admisibles máximos de transportación (cuando se cruce puentes, por ejemplo) o vías muy estrechas donde se tenga que hacer giros cerrados que a lo mejor impiden que una plataforma (que transporta elementos) pueda terminar su recorrido en el sitio final. El problema de tener las vías estrechas o radios de giro muy cerrados, es un tema recurrente en la ciudad, pues como es conocido, Cuenca tiene muchas zonas con estas características (centro histórico o urbanizaciones pequeñas, por ejemplo) en donde previo a plantear la posibilidad de aplicar esta alternativa de construcción, se deberá realizar este análisis obligatoriamente.



Fuente: I.Municipio de Cuenca Elaboración del mapa: Arq. Fernando Chicaiza



Detalles de grúas trabajando en el izado y montaje de elementos pretensados en la ciudad de Cuenca. Se observa la fuerte presencia de sistemas constructivos tradicionales que van incorporando poco a poco componentes prefabricados para mejorar los procesos y tiempos de montaje.

Otra restricción podría resultar la existencia de construcciones adyacentes, ya que si el lote a implantar tiene colindancias construidas, la grúa posiblemente tenga acceso sólo por la parte frontal, lo que determinará un modelo de construcción escalonado desde atrás hacia adelante, y podría complicar o encarecer el proceso de montaje e izado de elementos, que se recomienda hacerlo siempre desde varios frentes, en forma ascendente y uniforme, lo cual resulta una forma lógica y fluida de construcción, traduciéndose en una reducción significativa de costos y tiempos de ejecución de la obra.

4.1.2.- ANALISIS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS USADOS PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS EN ALTURA EN LA CIUDAD DE CUENCA

Uno de los argumentos más importantes para justificar el desarrollo de esta investigación, radica precisamente en proponer un sistema constructivo distinto a los tradicionalmente conocidos en la construcción local de soluciones verticales. En la ciudad de Cuenca, la estructura de los edificios en altura (especialmente los realizados en los últimos 50 años), se ha venido solucionando únicamente por sistemas -in situ- de esqueleto aporticados, realizados bien sea en hormigón armado o en perfiles de acero. Dichos esqueletos, generalmente son recubiertos con obras de fábrica simple, en ladrillo no portante o en bloque ligero de cemento. Si bien no se cuentan con datos estadísticos oficiales, a través de fuentes propias (entrevistas directas y encuestas a los más importantes constructores locales) se puede decir que del total de las **estructuras para edificios de más de 4 pisos** que se construyen actualmente, el **86%** son pórticos de hormigón armado mientras que el **11%** son pórticos solucionados a base de perfiles de acero. Apenas un **3%** corresponden a tipologías distintas, como paredes portantes de ladrillo, paneles armados de hormigón o sistemas mixtos. Si bien la mayoría de constructores reconocen el nombre “hormigón pretensado” lo identifican más bien como un sistema especial de construcción que sirve para la construcción de puentes, pasos a desnivel, parqueaderos y otras obras de ingeniería. Tal vez por este hecho, se encontraron apenas 2 ejemplos que aplican componentes pretensados para soluciones de edificios en altura de más de 4 pisos, **pero lo hacen únicamente como sustitución de elementos estructurales convencionales y quedan ocultos, por así decirlo, sin explotar sus posibilidades expresivas.**



Encofrados fijos o "camas", usados para la producción de elementos pretensados de la Compañía RFV. Cuenca



Detalle de elementos pretensados especiales, usados en el sótano de estacionamientos para el Parque de la Madre. Cuenca

Según estos datos, la mayoría de tipologías estructurales corresponden a sistemas aporcados de hormigón armado y su lógica constructiva debe cumplir ciertos requerimientos preestablecidos, especialmente en lo que refiere a los tiempos necesarios para cumplir los procesos específicos de construcción (secuencia de fabricación) que en este caso serían los siguientes: encofrado, apuntalamiento, colocación de armadura, fundido en sitio, fraguado inicial, curado, espera de fraguado final, desapuntalamiento, desencofrado. Este proceso, en condiciones normales de baja complejidad, tomaría al menos tres semanas para realizar un entrepiso. Además, el apuntalamiento impide poder trabajar al mismo tiempo otras obras paralelas en losas inferiores, como mampostería, instalaciones, etc.

Con los sistemas prefabricados, la secuencia de construcción en sitio, se resume únicamente al izado de elementos y al tipo de conexión del elemento estructural, con lo que los tiempos se reducen increíblemente, ya que todo el proceso de fabricación del elemento, se lo realizó previamente en una planta. Por lo tanto, mientras se prefabrican los elementos en planta, se realizan las cimentaciones en obra, por lo que los cronogramas de ejecución se traslapan, reduciendo el tiempo total. Otra gran ventaja de trabajar con el sistema de componentes, resulta el hecho de no necesitar encofrados ni apuntalamientos que impidan el desenvolvimiento de otras actividades en las losas inferiores, gracias a contar con áreas completamente libres. Esto también ayuda a reducir los tiempos globales de ejecución. Además, la obra prefabricada es completamente limpia, a diferencia del hormigonado en sitio que genera de forma inevitable una gran cantidad de escombros y suciedad, no sólo por la poca prolijidad que podrían tener de los obreros, sino por la naturaleza misma del proceso de construcción (acarreo, mezcla, preparación de puntales, riostras, encofrados y vertido de materiales en el mismo sitio).

Por otro lado, al analizar las estructuras para edificios realizadas en acero, se puede concluir que si bien el sistema constructivo metálico comulga con muchas de las ventajas de la construcción prefabricada pretensada, como el simple montaje de elementos industrializados sin necesidad de encofrados, grandes luces libres, rápida ejecución, obra limpia, etc. el problema de su poco uso en edificios locales, más bien viene dado por dos asuntos fundamentales: el primero es el costo de los perfiles de acero, que siempre fluctúa a la par de mercados internacionales y ha tenido intermitencias muy considerables de precios en los últimos años. Esto ha provocado en el



Grieta por dilatación. Unas delgadas fachaletas de ladrillo rodean una columna metálica, lo que induce al agrietamiento por la parte más frágil que se dibuja detrás el recorrido del soporte vertical

Fuente: peritaarquitectura.blogspot.com

constructor local, una sensación de inestabilidad e incertidumbre a la hora de presupuestar obras grandes con este sistema constructivo a plazos largos. El segundo factor, y el más importante, viene más bien dado por un problema de “incompatibilidad” entre materiales, forzosamente generada por la manera “artesanal” de construcción de edificios en nuestro medio.

Este problema radica en cómo los constructores locales han afrontado las soluciones de los envolventes arquitectónicos y su vínculo con la estructura. Pensar que una pared simple, de ladrillo o bloque, pueda “pegarse” apropiadamente a columnas o vigas de acero mediante mortero simple o peor aún, pasta de cemento, es desconocer por completo ciertas reglas naturales del construir, como la dilatación distinta de materiales, retracción del cemento, etc. Normalmente, se cae en un error doble, al querer enlucir con mortero las uniones entre materiales, para “perder” las juntas entre acero y mampostería. Este hecho, inevitablemente conducirá a aparición casi inmediata de grietas, justamente en éstas uniones que marcan los cambios de material. De alguna manera, en las estructuras de hormigón, este fenómeno de “grietas de junta” es mucho menos visible, ya que el mortero de mampuestos y los enlucidos, son totalmente compatibles con los elementos estructurales de hormigón. Esto, entre otros motivos, ha generado mucho más confianza en los constructores locales para preferir los sistemas estructurales de hormigón antes que los de acero, no porque sean “mejores”, sino porque se adaptan de mejor forma a los procesos artesanales de resolver nuestros envolventes, ya que es muy conocido que los sistemas de acero resultan; por ejemplo, mucho más versátiles y efectivos que los de hormigón para cierres de fachada con paneles (sean ligeros o pesados), revestimientos encristalados, fachadas ventiladas, revestimientos especiales, etc. Desgraciadamente, también estas alternativas de cierre son poco conocidas en nuestro medio, observando soluciones de cierre de pared simple no portante, en todos los casos analizados.

De alguna manera, cuando se trabaja en estructuras de hormigón pretensado, se logra una combinación de las ventajas de los dos sistemas anteriores analizados, puesto que los componentes prefabricados son piezas industriales (al igual que los perfiles de acero) pero que tienen, para nuestra realidad local, un alto grado de compatibilidad y adherencia (como en el caso de la estructura de hormigón armado convencional) con los sistemas artesanales de mampuestos, lo que lo vuelve interesante, también desde ese punto de vista.

4.2.- CRITERIOS DE DISEÑO Y APLICACIÓN EN EDIFICIOS



Grúa transportando y posicionando cimentaciones prefabricadas para la construcción de un sótano de parqueaderos en un edificio cerca del centro de Cuenca.

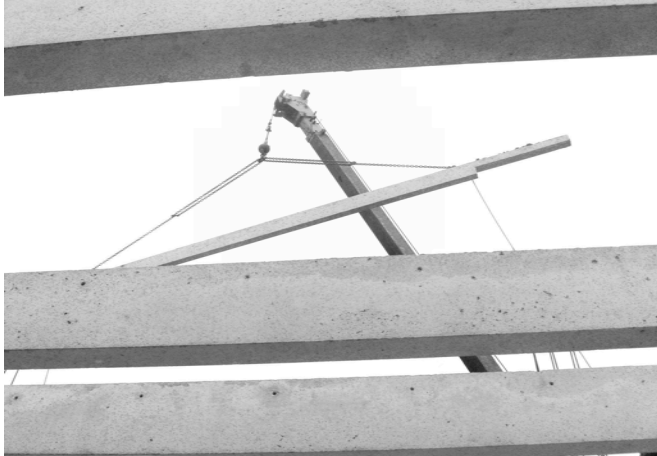
Como se comentó en el capítulo anterior, la prefabricación aplicada a nuestro medio, resulta -al menos por ahora- el desarrollo de componentes constructivos para la solución de edificios. Pero esta aplicabilidad sólo será posible, únicamente si el arquitecto que planifica tipologías en altura, ha imaginado desde un inicio la incorporación de elementos prefabricados a sus diseños preliminares. No resulta viable, o al menos será muy difícil, el tratar de adaptar un sistema de componentes pretensados a diseños de edificios terminados, que no han sido pensados desde la prefabricación, considerando todo lo que ello implica, como, criterios de modulación, luces libres, volados permitidos, conexiones, posibilidades, límites, etc. Recordando nuevamente a Julián Salas: **“No resulta pertinente proyectar en tradicional y ejecutar en prefabricado.”**⁸³

La investigación no pretende ser **el** camino a seguir para la solución de problemas constructivos locales, en realidad es sólo **un** camino. Ahora vemos que las respuestas que se puedan dar irán mucho más allá de la adopción o no de una determinada técnica. Pero sí resulta de mucha ayuda, cambiar radicalmente de visión, empezando desde transformar la manera misma de afrontar el encargo de un edificio en altura. El hecho de conocer a fondo un material, que ofrece efectivamente un nuevo sistema de construcción, que mejora procesos, tiempos y calidad de obra, se convierte en una oportunidad inmejorable para aprovecharlo desde el diseño arquitectónico. **Este cambio técnico producirá seguramente una nueva “estética” inherente a las prestaciones propias del material y sus procesos, que podría aportar innovaciones importantes en las propuestas compositivas y expresivas de nuestros edificios.**

Pero eso requiere, como punto de inicio, conocer qué tipo de componentes pretensados pueden ser desarrollados a nivel local, además de establecer a partir de ello algunos criterios básicos de diseño, así como también poder desarrollar ciertas tipologías aplicadas a usar apropiadamente este sistema. Solamente a través de conocer esta información, será posible proponer diferentes alternativas constructivas, que aporten efectivamente al diseño de edificios desde su concepción inicial, es decir, que nos ayuden a proyectar y ser creativos, desde el conocimiento de la técnica local disponible.

⁸³ Salas, Julián. “De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico” en Informes de la Construcción, Vol 60, pág. 22. 2008

4.2.1.- DISPONIBILIDAD DE COMPONENTES PRETENSADOS A NIVEL LOCAL: CRITERIOS DE DISEÑO



Grúa transportando y posicionando viguetas prefabricadas para conformar un entrepiso en un edificio de Cuenca



Viga cargadora en voladizo, sobre la que descansan finalmente las viguetas pretensadas.

La única manera de aprovechar efectivamente el sistema constructivo pretensado, empieza por conocer (a manera de inventario) los componentes que se pueden obtener o producir con relativa facilidad en nuestro medio. Para ello, se ha trabajado directamente con fabricantes locales y se logró establecer los tipos de elementos estructurales disponibles, su geometría, los distintos usos posibles, sus condicionantes de diseño, entre otros factores, que nos ayuden por un lado, al entendimiento de cada elemento por separado, pero por otro lado, nos ayuden a asociar criterios y posibilidades de interacción o conexión existente entre algunos elementos para conformar sistemas de construcción. Dichos criterios, ya se vuelven herramientas de diseño arquitectónico, pues arrancan desde cierto pre-dimensionamiento y se sujetan a normas muy estrictas de geometría y coordinación dimensional, que es justamente, el objetivo primario que persigue este trabajo de investigación.

Del análisis de la información producida en conjunto con los fabricantes locales, se puede deducir los siguientes grupos genéricos de elementos, que cumplen las siguientes funciones estructurales:

* **Viguetas:** elementos longitudinales cuya función principal es para soportar losas que se funden generalmente en sitio. Las viguetas disponen generalmente de pequeños orificios en su parte superior, que sirven de soporte a pequeñas varillas de acero sobre las cuales se colocarán los tableros de encofrado que soportará la fundición de la losa.

* **Vigas cargadoras:** elementos longitudinales que reciben en sus diferentes secciones, y según el caso; a sistemas de viguetas, losas prefabricadas macizas o losas doble T. Normalmente las vigas cargadoras se unen monolíticamente a las columnas de descarga formando pórticos.

* **Columnas:** elementos verticales que reciben a las vigas cargadoras. Pueden ser piezas continuas que reciben uno o varios entrepisos a la vez, a través de ligeros cambios de sección en los puntos de soporte de los mismos.



Losas doble T apiladas, listas para transportar. A la izquierda inferior, vigas de amarre para cimentaciones. Planta RFV Cuenca.

* **Muros de contención:** elementos verticales de superficie cuya principal misión es la contención de tierras en subsuelos o sótanos. Sin embargo, los muros pueden además servir de apoyo horizontal para losas o sistemas de viguetas para conformar entresijos. También pueden apoyar verticalmente otros muros superiores, o distintos elementos de descarga vertical.

* **Losas macizas:** elementos horizontales de superficie que sirven fundamentalmente para conformar entresijos. Se apoyan básicamente sobre vigas cargadoras o sobre muros verticales.

* **Losas doble T:** elementos de superficie que son una suerte de combinación entre vigas y losas en un mismo elemento. Son quizás los componentes pretensados más interesantes y versátiles, ya que normalmente se usan para entresijos de grandes luces, pero también se puede usar como elementos de cierre vertical o muros de contención.

* **Cimentaciones:** elementos de superficie que generalmente reciben a muros de contención o a columnas a nivel de subestructura. Casi siempre, las uniones entre elementos se apoyan en soldadura y fundición en obra para garantizar la monolitividad entre elementos.

* **Elementos especiales:** cada proyecto puede necesitar componentes especiales, diseñados según ciertas solicitudes. En este grupo entran desde sistemas de envolventes pesados y cierres, hasta mamparas o celosías, escaleras y hasta mobiliario urbano. Por la amplitud del tema y su complejidad, en nuestro análisis han sido consideradas únicamente ciertas soluciones de escaleras prefabricadas, que complementan el planteamiento estructural propuesto.

Por supuesto, cada uno de estos grupos tiene diferentes tipos y tamaños de componentes, que marcarán así mismo su función y comportamiento específico. Para ello, se ha realizado una primera clasificación esquemática que ayuda significativamente a comprender las potencialidades de cada componente.

Las siguientes tablas esquemáticas de clasificación, no son de ninguna manera un modelo de cálculo. Mas bien tratan de ser una fuente confiable para el arquitecto en el sentido de poder pre-dimensionar geoméricamente el planteamiento estructural de un edificio en altura (que en nuestro caso, resultan soluciones de entre 4 a 9 pisos). Se asume que las condiciones

impuestas para esta clasificación, parten de dos supuestos fundamentales que simplificaron al máximo los datos contenidos en las tablas :

- 1) *Se asumió que el suelo tienen una capacidad relativamente buena de carga (2kg/cm^2) ya que al ser elementos estructurales dependen completamente del tipo de suelo.*

En la ciudad de Cuenca, en la mayoría de casos, el suelo es un conglomerado estable de buena calidad, por lo que el predimensionamiento propuesto sirve como una referencia efectiva. Sin embargo, se aclara nuevamente que estos datos sirven exclusivamente para la planificación arquitectónica, en cuanto a establecer parámetros geométricos de modulación, luces libres, volados y secciones referenciales de muros, columnas y sobre todo entresijos. Finalmente será el ingeniero calculista quien establezca los valores finales exactos para cada elemento estructural en un modelo de cálculo que parte del diseño arquitectónico final y sobre todo del estudio de mecánica de suelos.

- 2) *Se asumió además que todos los edificios son para uso exclusivo de vivienda o de oficina; es decir, tienen cargas de uso similares, a diferencia de lo que puede llegar a ser un edificio industrial o de bodegas, o espacios de congregación masiva o edificios singulares que requieren datos más específicos, y que cambiarían criterios de modulación de columnas y/o secciones de elementos.*

Según esos supuestos, se obtuvieron los siguientes elementos tipo, que se presentan a continuación de manera gráfica, para su fácil interpretación:



Detalle de montaje de un muro de contención macizo prefabricado que se ubica sobre una cimentación prefabricada. Los hierros a la vista y el dentado en la parte inferior del muro son diseñados para luego fundir sobre ellos hormigón en obra y conformar de ésta manera una unión monolítica

ELEMENTOS PARA LOSAS DE ENTREPISOS					
Descripción	Sección	Sección 3d	Luz Máx. entre apoyos	Volado Máx.	Grúa requerida Ton. Mín.
DT - 70					
DT - 60					
DT - 35					
Vigueta V - 30					
Vigueta V - 20					
Vigueta V - 16					
Vigueta V - 12.5					
El acero presente en los gráficos es esquemático y deberá ser definido en cada caso particular según el diseño estructural final; así mismo, en el caso de los voladizos se deberá disponer de acero de refuerzo para momento negativo en la parte superior de los mismos.					
Tipo de conexión: Hormigonado en obra, soldada, empernado, simplemente apoyada.			Recomendación: Depende de la luz entre vigas cargadoras.		FUENTE: Ing Vladimir Carrasco ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa DIAGRAMACION: Santiago Santacruz

ELEMENTOS PARA VIGAS CARGADORAS DE LOSAS DE ENTREPISOS.					
Descripción	Sección	Sección 3d	Luz Máx. entre apoyos	Volado Máx.	Grúa requerida Ton Mín.
T - 90					
T - 65					
L - 90					
L - 65					
Rectang 80					
Rectang 60					
Rectang 40					
El acero presente en los gráficos es esquemático y deberá ser definido en cada caso particular según el diseño estructural final; así mismo, en el caso de los voladizos se deberá disponer de acero de refuerzo para momento negativo en la parte superior de los mismos.					
Tipo de conexión: Hormigonado en obra, soldada, empernado, simplemente apoyada.			Recomendación: Depende de la luz entre vigas cargadoras.		FUENTE: Ing Vladimir Carrasco ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz

ELEMENTOS PARA COLUMNAS.				
Descripción	Sección	Sección 3d	Altura maxima.	Grua requerida Ton Min.
Cuadrada 30 x 30			2 PISOS	
Cuadrada 40 x 40			3 PISOS	
Cuadrada 50 x 50			4 PISOS	
Cuadrada 60 x 60			5 PISOS	
Cuadrada 70 x 70			7 PISOS	

El acero presente en los gráficos es esquemático y deberá ser definido en cada caso particular según el diseño estructural final; así mismo, en el caso de los voladizos se deberá disponer de acero de refuerzo para momento negativo en la parte superior de los mismos.
NOTA: Las columnas incluyen refuerzo transversal (estribos) no mostrados únicamente para simplificar los esquemas.

Tipo de conexión: Hormigonado en obra, soldada, empernado, simplemente apoyada. Recomendación: Depende de la luz entre vigas cargadoras.

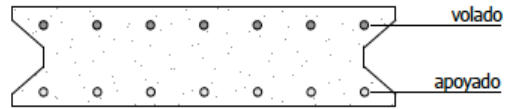
FUENTE: Ing. Vladimir Carrasco
 ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
 DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz

ELEMENTOS PARA MUROS DE CONTENCIÓN.						
Descripción	Sección	Sección 3d	Altura maxima volado	Altura maxima apoyado	Grúa requerida Ton Mín.	
Macizo e = 10cm			2.5 m	3 m		
Macizo e = 15 cm			3 m	3.5 m		
Macizo e = 20 cm			3.4 m	6 m		
Macizo e = 25 cm			3.8 m	9 m		
DT - 35			3.4 m	6 m		
DT - 60			4.2 m	9 m		
El acero presente en los gráficos es esquemático y deberá ser definido en cada caso particular según el diseño estructural final; así mismo, en el caso de los voladizos se deberá disponer de acero de refuerzo para momento negativo en la parte superior de los mismos.						
Tipo de conexión: Hormigonado en obra, soldada, empernado.			Recomendación: Depende de la luz entre vigas cargadoras.		FUENTE: Ing Vladimir Carrasco ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz	

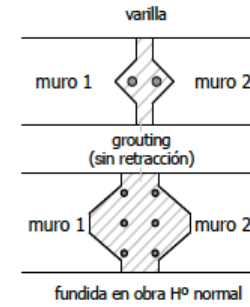
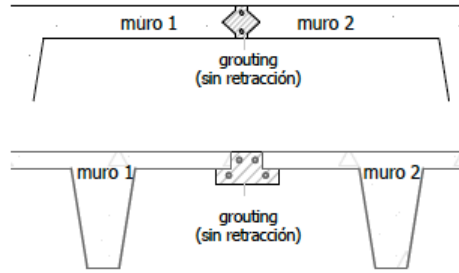
ELEMENTOS PARA CIMENTACIÓN.						
Descripción	Sección	Sección 3d	Ancho Zapata	Largo Zapata	Grúa requerida Ton Min.	
Zapata corrida, muro h = 3			1.5	variable		
Zapata corrida, muro h = 6			2.5	variable		12
Zapata corrida, muro h = 9			3.5	variable		15
Zapata aislada, columna 2 pisos			1.3	1.3		
Zapata aislada, columna 3 pisos			1.8	1.8		
Zapata aislada, columna 4 pisos			2.2	2.2		
Zapata aislada, columna 5 pisos			2.5	2.5		
Zapata aislada, columna 6 pisos			3	3		
Vigas de cimentación	Sección típica h = 50 x a = 40 cm					
El acero presente en los gráficos es esquemático y deberá ser definido en cada caso particular según el diseño estructural final; así mismo en el caso de los voladizos se deberá disponer de acero de refuerzo para momento negativo en la parte superior de los mismos.						
Tipo de conexión: Hormigonado en obra, soldada, empemado.			Recomendación: Depende de la luz entre vigas cargadoras.		FUENTE: Ing Vladimir Carrasco ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz	

ELEMENTOS PARA UNIONES Y DETALLES.

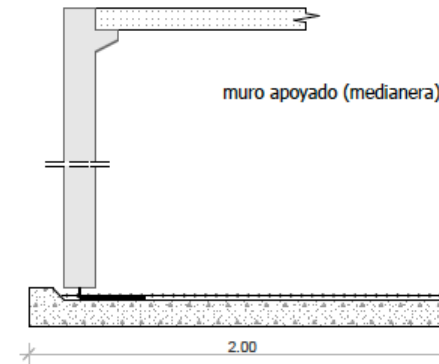
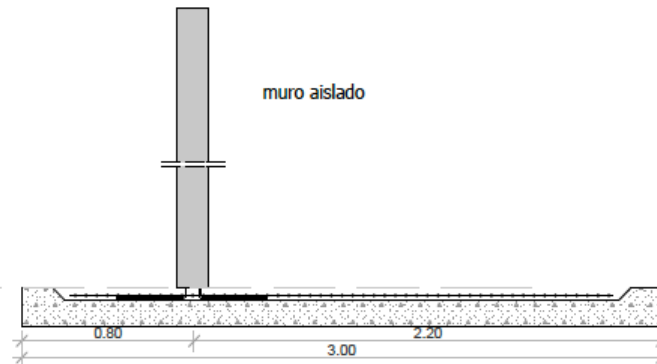
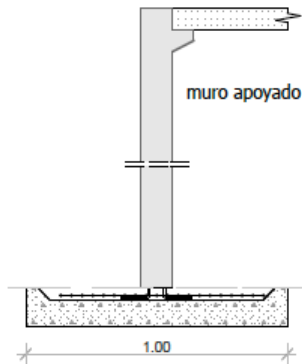
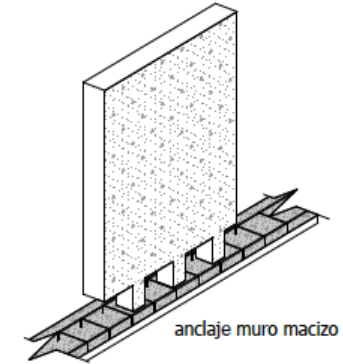
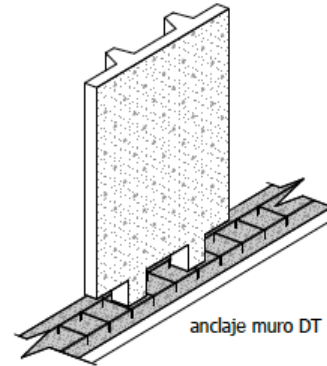
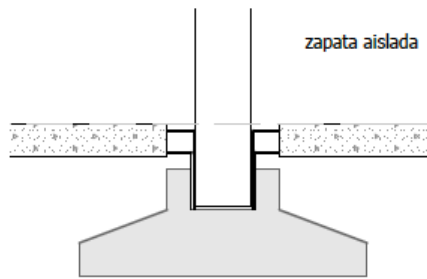
DISPOSICION DE VARILLAS EN LOS MUROS



UNIONES ENTRE MUROS



ANCLAJE DE COLUMNA Y MUROS



FUENTE: Ing Vladimir Carrasco
ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz

4.2.2.- TIPOLOGIAS BASICAS APLICADAS AL DISEÑO DE EDIFICIOS: *Coordinación dimensional y planteamiento estructural*

Si bien no existe ninguna receta o proceso que detalle efectivamente la aplicación de los componentes prefabricados al diseño de proyectos arquitectónicos, es necesario tomar referencias, muchas de ellas presentes en ciertos ejercicios académicos o de la práctica profesional, que por su importante visión podrían llegar a aportar significativamente al desarrollo del tema, especialmente en el hecho de agrupar ideas y canalizar esfuerzos para lograr resultados visibles desde la técnica.

Por ejemplo, bastaría recordar a Mies van der Rohe, cuando toda la genialidad de su obra, y la meticulosidad de su proceso de diseño pudo ser resumido en sólo tres tipologías básicas del manejo estructural de sus edificios. En el libro "Mies van der Rohe at work"⁸⁴ Peter Carter menciona los tres caminos tipológicos presentes en sus diseños:

- 1) high rise skeleton frame buildings
- 2) low rise skeleton frame buildings
- 3) clear span buildings

(Esqueletos estructurales para edificios de gran altura, esqueletos estructurales para edificios de baja altura, edificios horizontales de grandes luces libres.) A Mies le bastaron estas tres tipologías para diseñar todos sus edificios y casas en el período americano. (1938 a 1969)

Pero para esta investigación, se ha creído más oportuno y cercano, citar las importantes reflexiones del Arq. Antonio Armesto, en el enunciado "Fundamentos y Memoria"⁸⁵ como guión a seguir para el desarrollo de proyectos arquitectónicos de su curso académico en el año 2009. Estas directrices "señalan la noción de construcción y la noción del lugar como las principales a trabajar y transmitir: Según estas directrices, la construcción se asocia y casi se identifica con la idea de materialidad, que es lo que convierte al proyecto técnico caracterizado por la precisión de las medidas y la solidez del conjunto."⁸⁶

⁸⁴ Carter, Peter. "Mies van der Rohe at work"

⁸⁵ Armesto Aira, Antonio. Profesor titular de la ESTAB y la Universidad Politécnica de Cataluña, profesor invitado a la Maestría en Proyectos Arquitectónicos de la Universidad de Cuenca

⁸⁶ Cita de Armesto Aira como introducción al Curso Académico "Fundamento y Memoria" Año 2009 UPC

Armesto señala los posibles sistemas conceptuales para interpretar y encaminar (por así decirlo) la complejidad que conlleva un proceso de diseño arquitectónico, que va desde las amplias ideas iniciales de los Sistemas **VST** (vida, sitio, técnica), pasando por delimitaciones espaciales concretas, como son los Sistemas **ARP** (aula, recinto, pórtico) y llegando a la especificidad de las tipologías estructurales mediante los sistemas **MEB (muros, entramados, bandejas)** que parten de la complejidad de la técnica (T) para proponer sus interacciones. Del análisis de estos últimos, surge el interés personal de desarrollarlos y aplicarlos al sistema de prefabricación con componentes con la única finalidad de agruparlos, por así decirlo, y lograr una fácil lectura de interpretación pero, que a su vez, pertenezcan siempre a un sistema más grande que conecte a otras decisiones más amplias a considerar en un proyecto de arquitectura, ya que el camino es increíblemente complejo y todos los sistemas, por más técnicos y/o artísticos que estos sean, se interrelacionan con los demás. “Cada sistema establece una afinidad con uno de los elementos de la triada ARP: el de muros con el recinto, pues delimita el plano horizontal; el de bandejas con el de porches o pórticos pues delimita el desarrollo de la dimensión vertical; el de entramado con el aula pues refiere a las tres dimensiones a la vez. Pero esta afinidad no conforma un determinismo. Cada uno de los sistemas **MEB** posee su propia vocación espacial y topológica (el de crujías de muros delimita mucho las dos dimensiones horizontales y deja indefinida la altura; el de bandejas lo hace a la inversa y el de entramado posee la potencialidad de los otros dos: Estas vocaciones dimensionales (en cuanto a las direcciones del espacio y no a la extensión), permiten establecer una relación con los caracteres del sitio en el sentido de su acentuación o bien de su negación o corrección.”⁸⁷

Además, existe una cuarta clasificación, el Sistema **BLB** (barras, láminas y bloques), que define “elementos morfológicos definibles sin recurrir a la materialidad, con los que se confeccionan tanto las estructuras resistentes como los límites.”⁸⁸ Sin embargo, estos tienen mucho que ver con los sistemas MEB, por lo que se ha decidido incluirlos como complemento a dicha clasificación.

De esta manera podremos encontrar en el análisis previo de componentes, elementos que pueden reagruparse según lo acotado anteriormente. Todos

⁸⁷ Cita de Armesto Aira como introducción al Curso Académico “Fundamento y Memoria” Año 2009 UPC

⁸⁸ Idem.

los sistemas de columnas, viguetas y vigas pertenecen a la clasificación “barras”; mientras que contenciones y elementos de carga pertenecen a la familia de “muros”; y, por supuesto, las losas -ya sean macizas o doble T- definen los sistemas “bandeja”, conformados por “láminas”. Los entramados casi siempre, suelen ser la combinación de “barras”.

A partir de los cuadros realizados, se sintetiza en el siguiente gráfico una posible reclasificación que nace de la interacción de los sistemas MEB-BLB con los componentes pretensados disponibles en el mercado local.

SISTEMAS M.E.B (MUROS)					
Descripción	Sección	Sección 3d	Descripción	Sección	Sección 3d
DT - 70			Macizo e = 10cm		
DT - 60			Macizo e = 15 cm		
			Macizo e = 20 cm		
DT - 35			Macizo e = 25 cm		
			liso e = 10, 15, 20, 25 cm		

FUENTE: Ing Vladimir Carrasco
DIAGRAMACION: Santiago Santacruz

SISTEMAS M.E.B (ENTRAMADOS)					
Descripción	Sección	Sección 3d	Descripción	Sección	Sección 3d
Vigueta V - 30			T - 90		
Vigueta V - 20			T - 65		
Vigueta V - 16			L - 90		
Vigueta V - 12.5			L - 65		

FUENTE: Ing Vladimir Carrasco
DIAGRAMACION: Santiago Santacruz

SISTEMAS M.E.B (ENTRAMADOS)					
Descripción	Sección	Sección 3d	Descripción	Sección	Sección 3d
Rectang 80			Cuadrada 40 x 40		
Rectang 60			Cuadrada 50 x 50		
Rectang 40			Cuadrada 60 x 60		
Cuadrada 30 x 30			Cuadrada 70 x 70		

FUENTE: Ing Vladimir Carrasco
DIAGRAMACION. Santiago Santacruz

SISTEMAS M.E.B (ENTRAMADOS)					
Descripción	Sección	Sección 3d	Descripción	Sección	Sección 3d
Zapata corrida, muro h = 3			Zapata aislada, columna 4 pisos		
Zapata corrida, muro h = 6					
Zapata corrida, muro h = 9					
Zapata aislada, columna 2 pisos			Zapata aislada, columna 5 pisos		
Zapata aislada, columna 3 pisos			Zapata aislada, columna 6 pisos		

FUENTE: Ing Vladimir Carrasco
DIAGRAMACION, Santiago Santacruz



SISTEMAS M.E.B (BANDEJAS)		
Descripción	Sección	Sección 3d
DT - 35		
DT - 60		
DT - 70		

FUENTE: Ing Madimir Carrasco
DIAGRAMACION: Santiago Santacruz



Si bien las combinatorias entre elementos resulta sumamente amplia, se busca ejemplificar esta interpretación de la información recopilada mediante una propuesta de partidos simples iniciales que demuestren, justamente, el potencial del conocer los componentes disponibles, en donde, aplicando ciertas nociones básicas de diseño, se propongan ciertas combinaciones e interacciones entre elementos constructivos. Pero, como resulta lógico, las combinaciones posibles deberán hacer alusión obligatoria a las posibilidades técnicas del material dentro del proceso de diseño arquitectónico, partiendo de su geometría y su coordinación dimensional.

En este sentido, se presenta un ejemplo básico y sencillo del cómo interpretar esta información en un encargo específico de arquitectura. Este caso podrá convertirse en un punto de partida para orientar las diferentes opciones tipológicas posibles dentro del pre-dimensionamiento estructural y la geometría organizacional de los elementos, según su luz, sus volados y sus funciones.

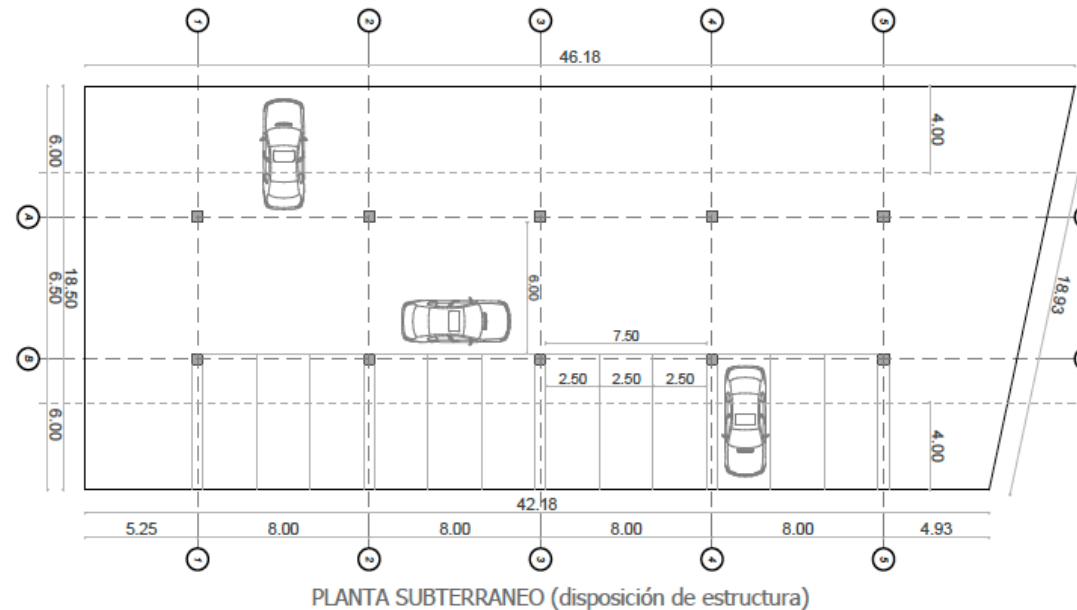
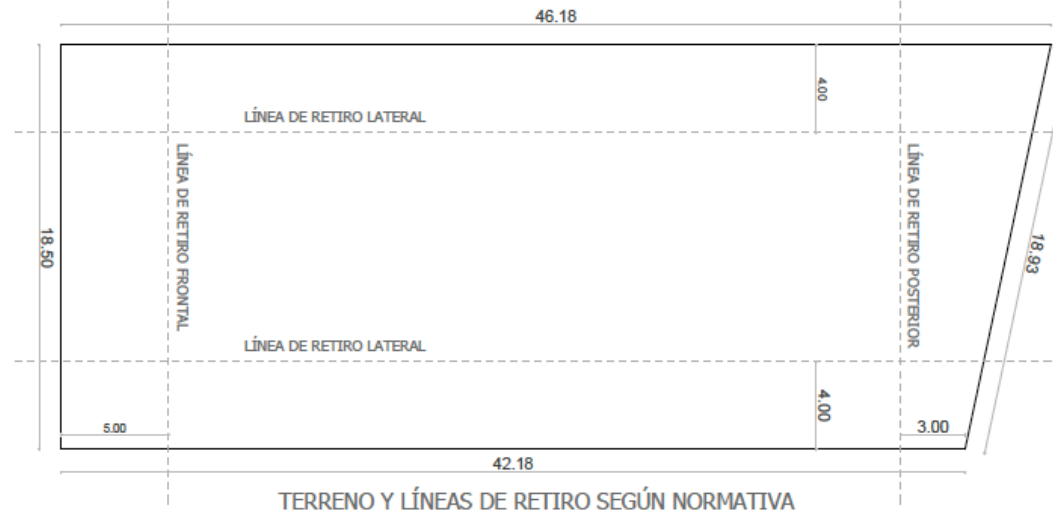
(Caso de aplicación en la página siguiente)

CASO DE APLICACIÓN

Se ha escogido un lote cualquiera, que cumpla todas las condiciones establecidas por la normativa local para poder planificar edificios de vivienda de entre 4 a 9 plantas (48% de lotes disponibles en la Ciudad, según el Municipio de Cuenca); es decir, tener un lote mínimo de 500m², disponer de frentes mayores a 12m, y estar servidos por vías de acceso con un ancho mínimo de 12m.

En este ejemplo, se puede suponer que se tiene un lote entre medianeras que tiene 817 m² y un frente de 18.5 m. La vía tiene 12m, por lo tanto, la normativa permite realizar 6 pisos más un subsuelo, en donde se ubicarían todos los parqueaderos requeridos para el proyecto. Según esta hipótesis, los retiros necesarios serían: 5m frontal, 4m laterales, 3m posterior.

La coordinación dimensional y modulación del proyecto, en éste caso deberán partir necesariamente de la organización del parqueadero subterráneo, que siempre deberá superponer una malla inicial de ubicación de columnas, las mismas que deberán estar -como es lógico- dentro de la línea de retiros del lote y de preferencia, deberán contar con luces libres que sean múltiplos del módulo individual de un parqueadero (2,5 x 5m.). Siendo así, podríamos partir de ese supuesto a nivel gráfico.



FUENTE: Ing. Vladimir Carrasco
ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz

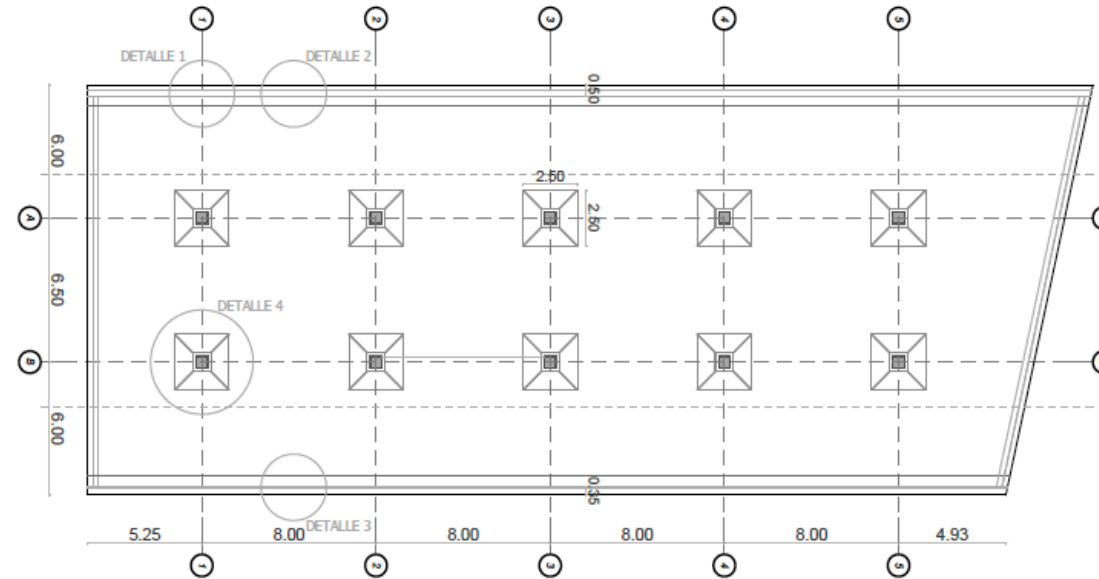
CASO DE APLICACIÓN

Otra hipótesis a considerar podría ser que el lindero lateral izquierdo tiene un corte de excavación muy pegado a su colindante por lo que la sección de muro sería lo mas delgado posible para así no perder el espacio interior en el parqueadero. Siendo así según las tablas realizadas en los análisis anteriores, la mejor alternativa de contención de tierras podría ser el muro macizo con espesor de 25 cm que para un solo nivel de sótano funciona bastante bien. Este a su vez soportará la bandeja horizontal que conformará la planta baja (detalle 2).

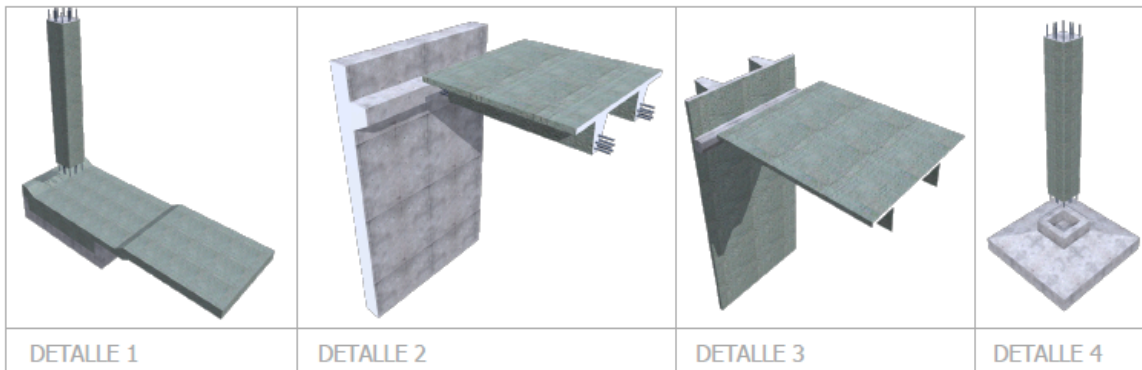
Al contrario, podemos suponer que el lindero lateral derecho tiene una mayor holgadura en cuanto a la línea de excavación por lo que se podría utilizar un muro de contención de mayor ancho (35 cm). Siendo así se reemplaza el muro macizo por una losa doble T en posición vertical, la misma que por su forma y prestaciones puede resultar una opción muy interesante para este caso. (detalle 3).

La cimentación de dichos muros (y de columnas perimetrales) se podrían resolver con una zapata continua entre medianeras también prefabricada (detalle 1), sobre la que se asentarán finalmente muros y columnas. Se resolverán las uniones de estos elementos a través de un método específico de fundido en obra que se podrá ver mas adelante.

Las columnas que quedan sueltas o no están situadas en la periferia se deberán apoyar en zapatas aisladas prefabricadas que para nuestro caso se sugiere usar la zapata cuadrada de 2.5 m de acuerdo a la carga impuesta en nuestro ejemplo y según el número de pisos a soportar. (detalle 4).



PLANTA ESTRUCTURAL

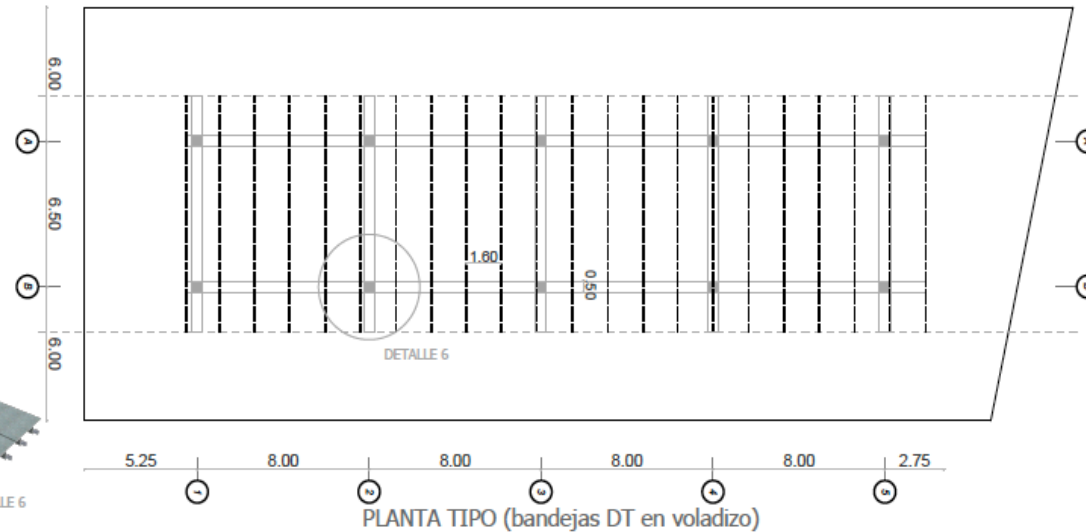
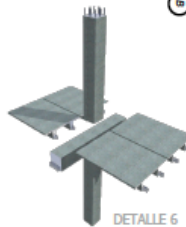
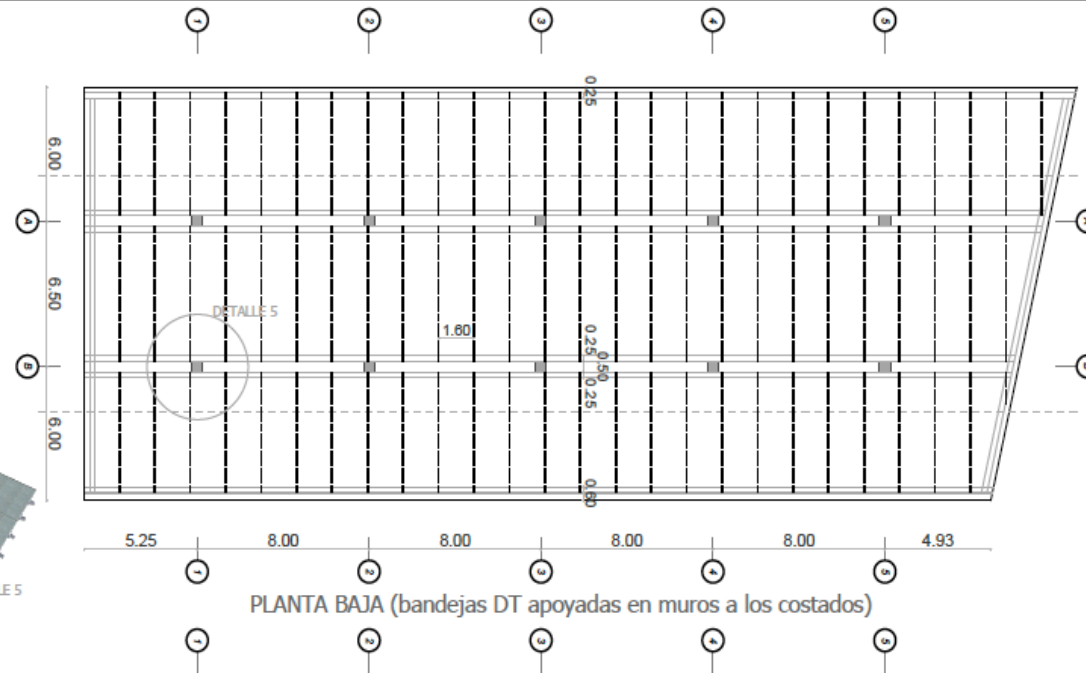
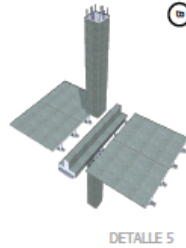




CASO DE APLICACIÓN

Para la planta baja, dado que contamos con los apoyos periféricos de los muros de contención, la mejor opción de bandeja resulta el sistema de losa doble T (DT 35 ya que resuelve una luz máxima de 11m, y nuestra mayor luz de apoyo es de 6.5m). El otro soporte de la losa deberá ser una viga cargadora tipo T invertida (T 65 en este caso) que deberá conformar los pórticos respectivos con las columnas. Dichas columnas deberán ser cuadradas de 50cm de lado dadas las condiciones de carga y de número de pisos impuesta en este ejercicio. (detalle 5).

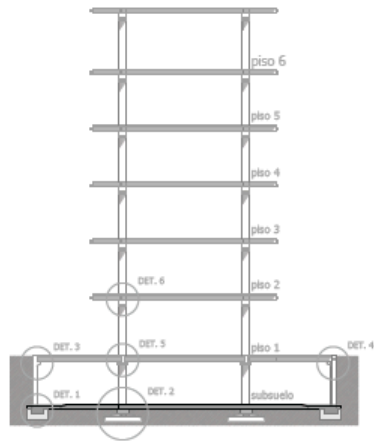
Para los entresijos siguientes, el área de cobertura se reduce según los retiros asignados en la normativa, por lo tanto se van a necesitar voladizos laterales (que sean menores a 2m según el elemento utilizado) y respetar el planteamiento estructural inicial. A diferencia de la losa de planta baja, sería una mejor opción para entresijos el usar viguetas continuas de toda la longitud a salvar, las cuales se soportarán sobre las vigas cargadoras. Luego el entresijo se podrá resolver con una losa fundida en obra soportada en las viguetas, lo que haría que el elemento final trabaje de manera monolítica con un efecto muy similar al que se conseguiría con un entresijo de losa doble T, (detalle 6). Además otra razón importante para cambiar de sistema tiene mucho que ver con la accesibilidad que se tiene al predio (sitio entre medianeras). En planta baja la grúa puede transportar y posicionar elementos en todo el predio, pero en los pisos subsiguientes se complica el acceso especialmente el lateral por lo que resulta mas viable levantar y posicionar viguetas en lugar de losas.



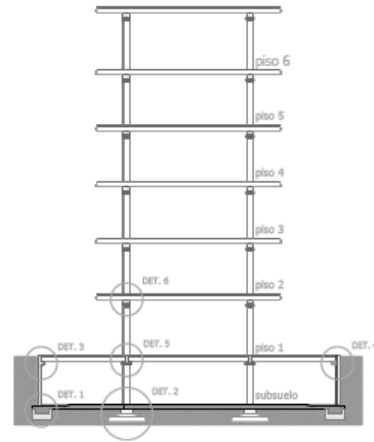
FUENTE: Ing. Vladimir Carrasco
ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz



EJEMPLO DE APLICACIÓN (ELEVACIONES Y CORTES)



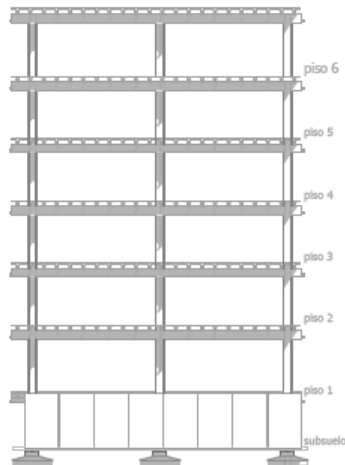
ELEVACIÓN FRONTAL



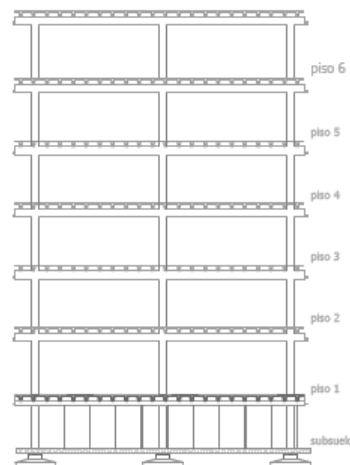
CORTE TRANSVERSAL



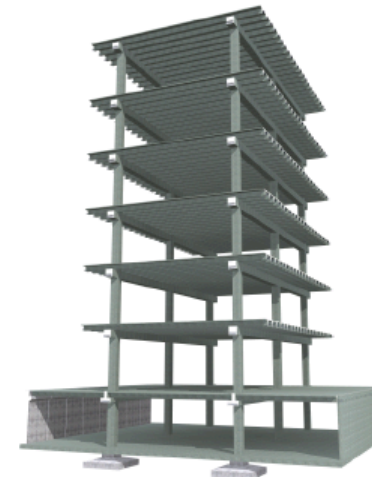
PERSPECTIVA FRONTAL



ELEVACIÓN LATERAL



CORTE LONGITUDINAL

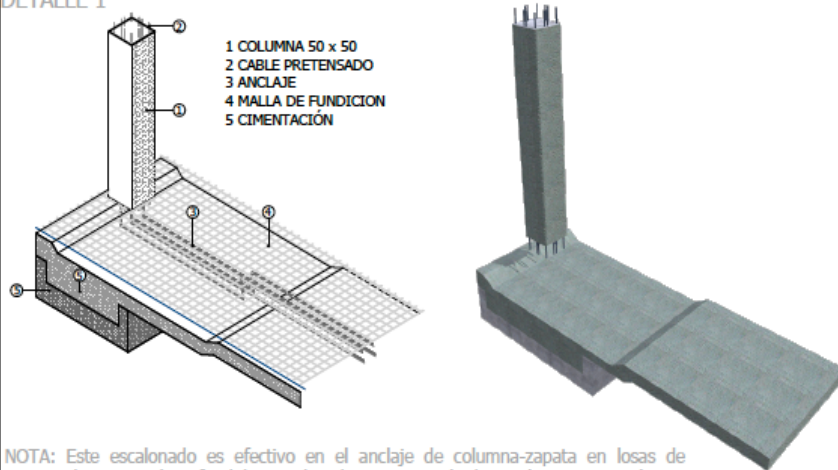


PERSPECTIVA LATERAL

FUENTE: Ing. Vladimír Carrasco
ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz

ELEMENTOS PARA UNIONES Y DETALLES EN EJEMPLO DE APLICACIÓN.

DETALLE 1

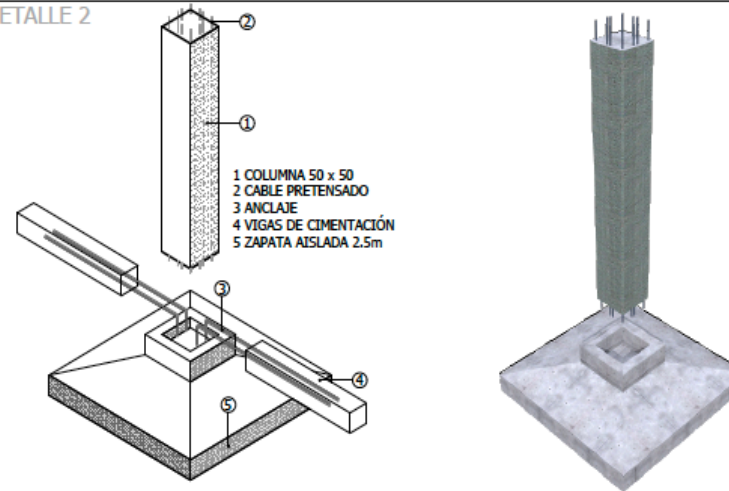


- 1 COLUMNA 50 x 50
- 2 CABLE PRETENSADO
- 3 ANCLAJE
- 4 MALLA DE FUNDICIÓN
- 5 CIMENTACIÓN

NOTA: Este escalonado es efectivo en el anclaje de columna-zapata en losas de parqueaderos que al ser fundidas en obra dan como resultado un elemento monolítico

ZAPATA DE MEDIANERÍA Y COLUMNA CUADRADA 50 ANCLAJE

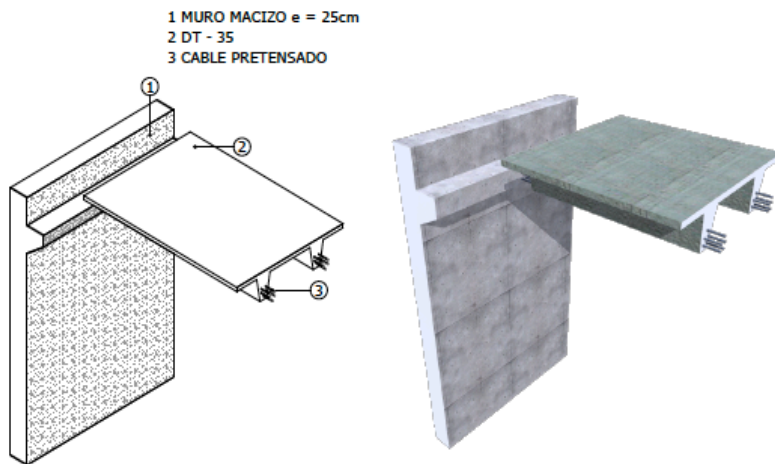
DETALLE 2



- 1 COLUMNA 50 x 50
- 2 CABLE PRETENSADO
- 3 ANCLAJE
- 4 VIGAS DE CIMENTACIÓN
- 5 ZAPATA AISLADA 2.5m

ZAPATA AISLADA 2.5 x 2.5 Y COLUMNA CUADRADA 50 ANCLAJE

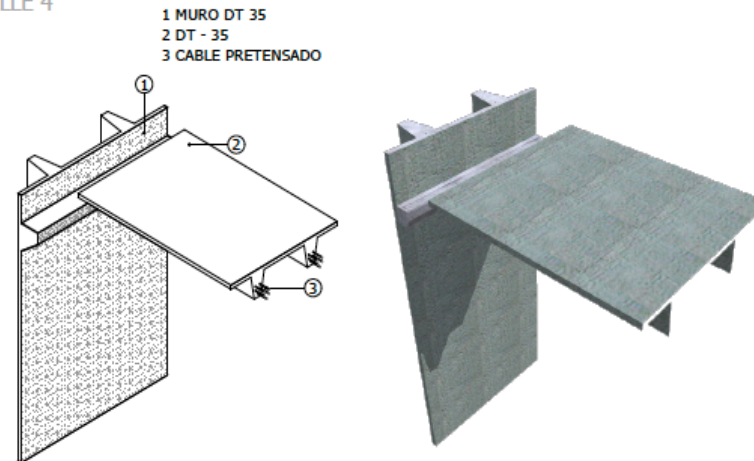
DETALLE 3



- 1 MURO MACIZO e = 25cm
- 2 DT - 35
- 3 CABLE PRETENSADO

BANDEJA DT 35 APOYADA SOBRE MURO MACIZO e= 25cm

DETALLE 4

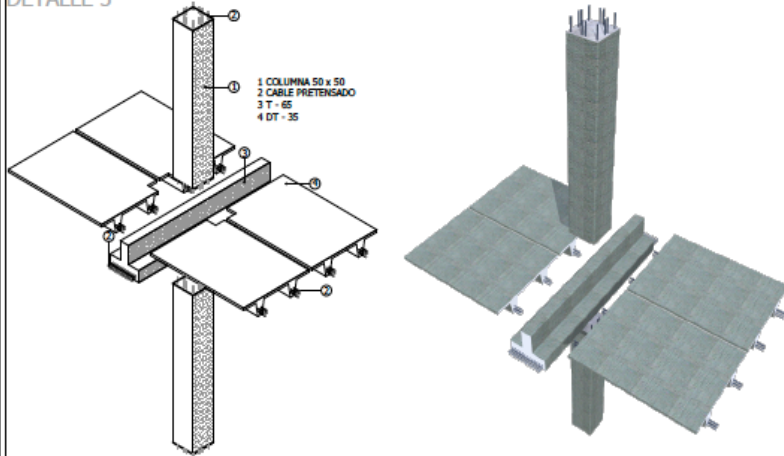


- 1 MURO DT 35
- 2 DT - 35
- 3 CABLE PRETENSADO

BANDEJA DT 35 APOYADA SOBRE MURO DT 35

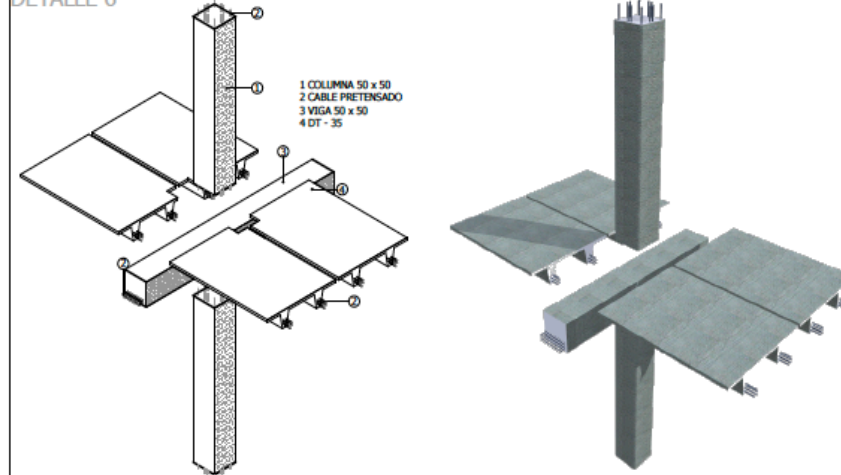
ELEMENTOS PARA UNIONES Y DETALLES EN EJEMPLO DE APLICACIÓN.

DETALLE 5



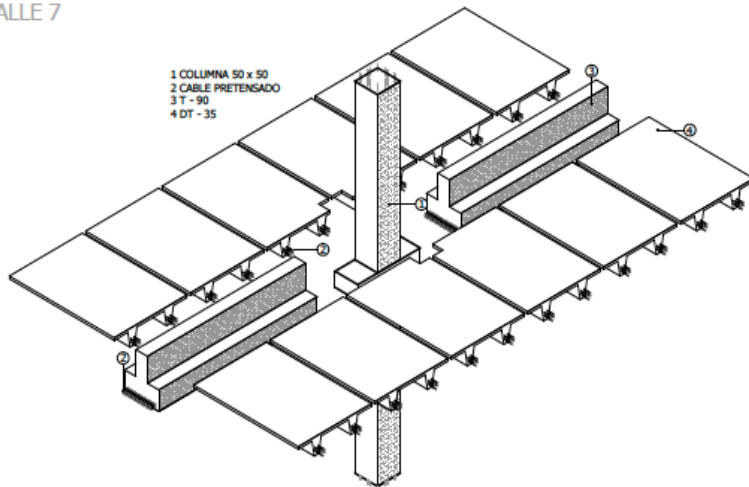
COLUMNA CUADRADA 50 - VIGA T 65 - BANDEJA DT 35

DETALLE 6



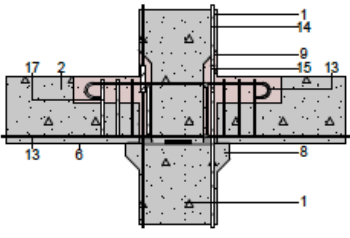
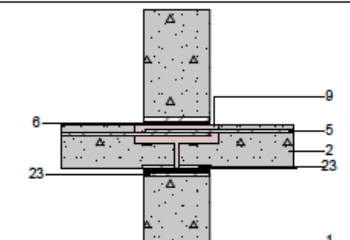
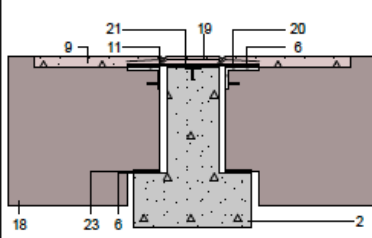
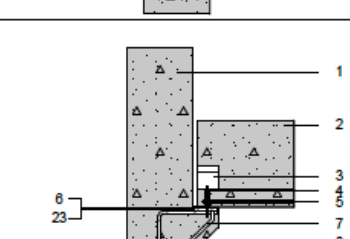
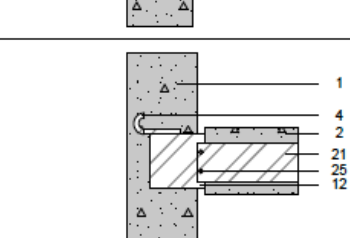
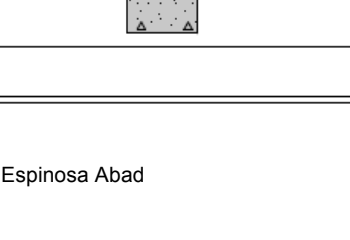
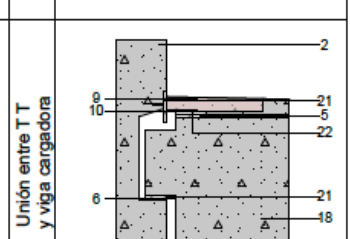
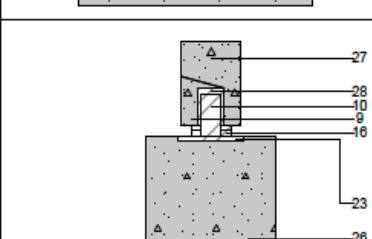
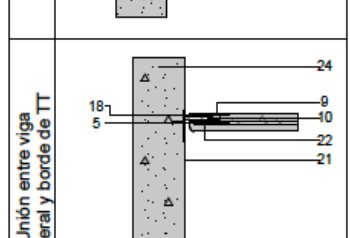
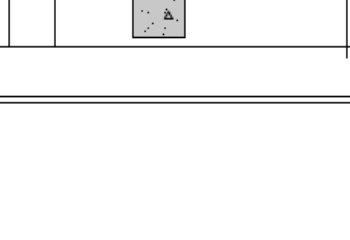
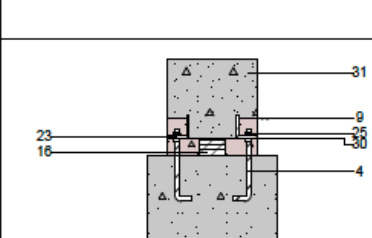
COLUMNA CUADRADA 50 - VIGA CUADRADA 50 - BANDEJA DT 35

DETALLE 7



COLUMNA CUADRADA CONTINUA 50 - VIGA T 90 - BANDEJA DT 35

ELEMENTOS PARA UNIONES Y DETALLES.

UNIÓN VIGA - COLUMNA		UNIÓN VIGA - COLUMNA		UNIÓN DOBLE T		UNIÓN DOBLE T	UNIÓN DOBLE T	UNIÓN DOBLE T			
		Unión Rígida Hormigonada viga-columna	Unión Soldada y Hormigonada viga-columna	Unión Empalmada viga-columna	Unión Soldada viga-columna				Unión simplemente apoyada viga - columna	Unión columna - zapata	
Unión Rígida Hormigonada viga-columna				Unión Soldada y Hormigonada viga-columna				Unión columna - zapata			
Unión Soldada viga-columna				Unión Empalmada viga-columna				Unión simplemente apoyada viga - columna		Unión entre TT y viga cargadora	
Unión Soldada viga-columna				Unión DOBLE T				Unión columna - pared (panel)			
Unión DOBLE T				Unión entre viga lateral y borde de TT				Unión muro - cimiento			

- 1 Columna
- 2 Viga cargadora
- 3 Agujero en viga
- 4 Vanilla roscada (perno de anclaje)
- 5 Placa de apoyo metálica
- 6 Superficie de apoyo (neopreno)
- 7 Estribo
- 8 Ménsula
- 9 Sellante
- 10 Placa metálica suelta
- 11 Perfil en L fundida en viga
- 12 Placa fundida en columna
- 13 Enganche metálico en U
- 14 Armadura metálica vertical
- 15 Placa de union entre viga y columna
- 16 Cuñas de nivelación
- 17 Vanillas de anclaje
- 18 Viga TT
- 19 Malla Metálica
- 20 Placa de refuerzo
- 21 Placa fundida en viga
- 22 Placa fundida en TT
- 23 Placa de soporte
- 24 Viga lateral
- 25 Tuerca exagonal
- 26 Zapata aislada
- 27 Panel (pared)
- 28 Perfil L fundido en panel
- 29 Zapata corrida
- 30 Arandela plana
- 31 Muro
- 32 Panel de forjado
- 33 Placa fundida en muro

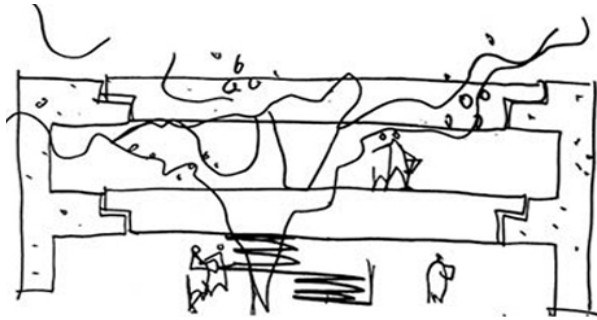
FUENTE: Ing. Vladimir Carrasco
ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
DISEÑO: María Dolores Velaz
DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz



ELEMENTOS PARA UNIONES Y DETALLES.

UNIÓN LOSAS		UNIÓN LOSAS		UNIÓN LOSAS		<ol style="list-style-type: none"> 1 Columna 2 Viga cargadora 3 Agujero en viga 4 Varilla roscada (perno de anclaje) 5 Placa de apoyo metálica 6 Superficie de apoyo (neopreno) 7 Estribo 8 Ménsula 9 Sellante 10 Placa metálica suelta 11 Perfil en L fundida en viga 12 Placa fundida en columna 13 Enganche metálico en U 14 Armadura metálica vertical 15 Placa de union entre viga y columna 16 Cuñas de nivelación 17 Varillas de anclaje 18 Viga TT 19 Malla Metálica 20 Placa de refuerzo 21 Placa fundida en viga 22 Placa fundida en TT 23 Placa de soporte 24 Viga lateral 25 Tuerca exagonal 26 Zapata aislada 27 Panel (pared) 28 Perfil L fundido en panel 29 Zapata corrida 30 Arandela plana 31 Muro 32 Panel de forjado 33 Placa fundida en muro 	
Unión Hormigonada entre panel de forjado - viga cargadora		Unión hormigonada entre muro - viga TT		UNIÓN COLUMNA - COLUMNA	Unión soldada entre columnas		
Unión hormigonada entre panel de forjado - viga cargadora		Unión hormigonada entre panel de forjado		UNIÓN COLUMNA - COLUMNA	Unión hormigonada entre columnas		
Unión Empalmada entre panel de forjado - viga cargadora		Unión soldada entre columnas		UNIÓN VIGA - VIGA	Unión soldada entre vigas		
Unión Empalmada y soldada entre muro - viga TT		Unión soldada entre columnas		UNIÓN VIGA - VIGA	Unión soldada entre vigas		

FUENTE: Ing. Vladimir Carrasco
ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
DIBUJO: María Dolores Velez
DIAGRAMACION: Santiago Santacruz



Casa Gerassi. Mendes da Rocha. La estética del pretensado define la casa sin ningún artificio ni material de "acabado"

Fuente: José Ma. García del Monte

4.2.3.- "ESTÉTICA INHERENTE" APLICADA AL DISEÑO DE EDIFICIOS

Possibilidades expresivas y lenguaje arquitectónico del pretensado.

Las tipologías estructurales analizadas en el punto anterior, suponen, por supuesto, una nueva manera -y por que no decirlo- una nueva forma de visualización del proyecto arquitectónico. El sólo hecho de tener la menor cantidad de apoyos posibles para solucionar luces y volados importantes, es casi una condición obligatoria a ser aprovechada por el proyectista en cuanto al lenguaje expresivo del nuevo edificio. Según García del Monte, las posibilidades arquitectónicas del pretensado nacen de sus especiales prestaciones estructurales, pues "permiten esquemas más libres a través de prestaciones mayores, que las estructuras convencionales de hormigón armado o acero; la expresión problemática del esfuerzo estructural es menor gracias a relaciones de esbeltez y prestaciones mucho más favorables; además, la naturaleza de su empleo convierte estas técnicas avanzadas en un acervo naturalmente poseído e integrado entre las herramientas del proyecto."⁸⁹

Además, cada componente prefabricado cuenta con una presencia física singular. Según esto, cada elemento estructural pretensado, representa en sí, un modelo propio de eficiencia constructiva en cuanto a resolver un problema tensional con la menor sección posible y con una calidad de fabricación extraordinaria. Esto supone aprovechar y mostrar desde lo compositivo dichas singularidades.

Si bien esta tesis no ha centrado sus esfuerzos y objetivos en analizar a profundidad el lenguaje arquitectónico de lo que significa diseñar con pretensados, resulta indispensable sugerir que el aporte de la investigación no estará completo, si la innovación propuesta en el planteamiento y pre-dimensionamiento estructural de nuestras edificaciones no viene de la mano de una innovación desde la "estética inherente" que el sistema constructivo en sí, nos está ofreciendo. Es un tema profundo e inagotable que por supuesto, debería ser tratado a mayor detalle, quizás en otra investigación de tesis. Sin embargo se ha querido poner énfasis en el hecho de que no se puede pensar en propuestas que sólo aporten desde la técnica pura de

⁸⁹ José María García del Monte . "De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha" Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006



Edificio de arquitectura educativa realizado recientemente por el arquitecto colombiano Daniel Bonilla. Los envolventes arquitectónicos son solucionados como una trama conformada por esbeltas piezas pretensadas en color ocre.

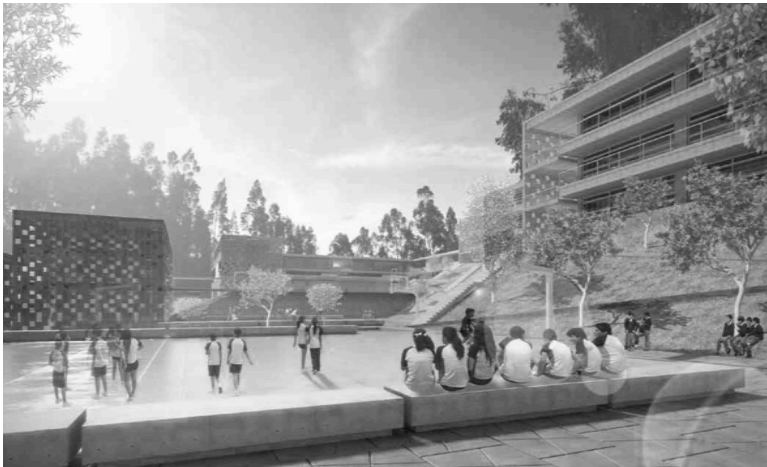
Fuente: www.plataformaarquitectura.cl

construcción, como un sistema más. Se trata de un material especial que por sus particularidades de fabricación, puede llegar a desarrollar un sinnúmero de posibilidades compositivas dentro del proyecto de arquitectura. Según lo ampliamente analizado en el Capítulo 3, el sistema constructivo como tal, se convierte en el tema mismo del edificio convirtiéndose en su expresión formal final. Además, -recordando a José Fernández Ordóñez- la arquitectura pensada desde el pretensado como herramienta de diseño, termina visualizándose como algo evocativo que siempre destaca la honestidad estructural y expresiva del material. Citando sus propias palabras: “Trabajar en el pretensado significa trabajar con el máximo rigor. **Con el pretensado no se puede mentir.** No se pueden exagerar las dimensiones ni las armaduras ni los coeficientes de seguridad porque sería contraproducente. Hay que situarse en el punto justo, allí donde las tensiones previas esperan a las futuras tensiones que produzcan las cargas para equilibrarlas. Ni más ni menos. **En el pretensado, en su concepto puro, es imposible cubrirse; por eso es tan rico potencialmente en posibilidades estéticas.** Con el pretensado el hormigón es un material noble y duradero, isótropo, capaz de deformarse elásticamente y dotado de una completa reversibilidad.”⁹⁰

Sobre éste punto, la tecnología de materiales ha ayudado significativamente a la búsqueda incansable para que el pretensado “hable” su propio lenguaje expresivo. Hormigones de altísima calidad en su formulación y en sus procesos de elaboración, realizados con encofrados de superficies pulidas, texturadas, serigrafiadas, de secciones especiales; sumados a la vertiginosa contribución de los aditivos colorantes, hiperfluidificantes, autocompactantes, etc. así como también el uso de determinadas adiciones minerales para mejorar la apariencia física y durabilidad del concreto, hacen cada vez más posible lograr un alto grado de especificidad en cada proyecto no sólo de sus solicitaciones estructurales, sino su imagen arquitectónica, particular e irrepetible, si se quisiese.

Además, se podría pensar que el hecho de estandarizar componentes (la base de todo proceso de prefabricación rentable) llegaría a ser una camisa de fuerza desde la creatividad compositiva de un proyecto. Pero la historia de la técnica ha demostrado, como en el caso de la obra de Paulo Mendes

⁹⁰ Cita de Fernández Ordoñez; José Antonio en: José María García del Monte . “De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha” Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006



Propuesta para el nuevo campus de la "Unidad Educativa La Asunción". Cuenca, Ecuador, donde diseñaron estructuras y envolturas pretensadas como estructura y como imagen arquitectónica final de los edificios.

Fuente: SurrealEstudio Arquitectura. Dibujos: Arq. Felipe Cobos H.

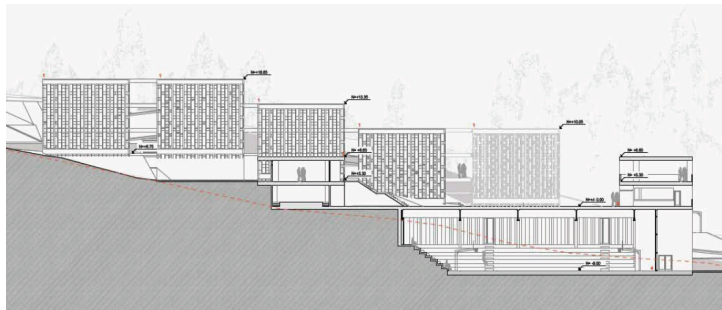
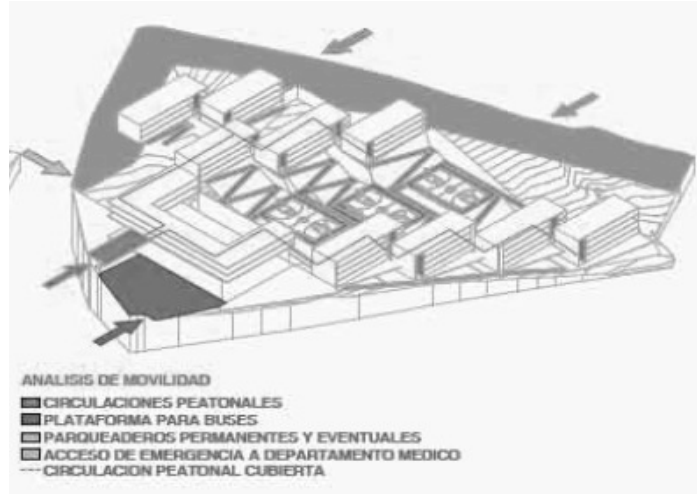
da Rocha, Miguel Fisac, Oscar Niemeyer, Louis Kahn, entre otros grandes constructores ya analizados anteriormente, que en realidad no existen límites expresivos, si éstos se desarrollan a partir del entendimiento profundo del material y de su lógica constructiva.

Si bien es cierto, en nuestro medio, la técnica del pretensado nos cuenta una presencia muy primaria, y de alguna manera limitada en ciertas cosas, pero al mismo tiempo **nos confiere la oportunidad inmejorable de la experimentación y la innovación con los fabricantes locales**. Con toda seguridad, van a seguir realizándose y se realizarán nuevos edificios que incorporen la tecnología del hormigón pretensado, y es aquí donde resultará importante aportar propuestas innovadoras desde los arquitectos locales, que justamente exploten las inmensas prestaciones estructurales del material, pero que a la vez lo encaminen a lograr un verdadero aporte expresivo hacia la nueva arquitectura de Cuenca y su nuevo lenguaje, que poco a poco trata de imponer un sendero distinto al tradicional.

Por este mismo hecho, no existen referentes en la ciudad que hayan explotado dichas condiciones, de la estética inherente al material. Sin embargo, merece la pena mencionar, como un caso especial y como un primer paso a seguir, un proyecto que si bien no calza dentro del espectro específico de nuestro análisis, (ya que no es precisamente un edificio de vivienda en altura) recoge muchas de las intenciones que se podrían transmitir desde la innovación del pretensado como imagen arquitectónica a la producción local de edificios.

El nuevo campus para la "Unidad Educativa La Asunción", es un proyecto en marcha de gran impacto en la ciudad de Cuenca, y resulta destacable para ejemplificar este capítulo puesto que sus diseños partieron verdaderamente de la condición de prefabricar localmente la mayor cantidad de elementos constructivos posibles y además, lograr que dichos elementos se conviertan en la arquitectura final del complejo, tratando de prescindir casi completamente de los tradicionales "elementos de acabado". La propuesta debía encontrar en este camino, un lenguaje expresivo particular y claramente identificable para la institución.

En este singular proceso de diseño, se resumen y se ven cristalizadas muchas de las aspiraciones que persigue este trabajo de investigación, empezando por el hecho de que hubo una coordinación total inicial entre arquitectos, calculistas y fabricantes. Este empate interdisciplinario fue el punto de partida y primer paso obligatorio previo al inicio del proyecto, lo



Propuesta de emplazamiento y corte transversal para el nuevo campus de la "Unidad Educativa La Asunción". Cuenca, Ecuador.

Fuente: SurrealEstudio Arquitectura.

que permitió un proceso convergente de ida y vuelta de un sinnúmero de decisiones arquitectónicas, estructurales y de posibilidades reales de fabricación local de componentes pretensados. La idea de proyecto arquitectónico nunca fue algo intocable ni impositivo, más bien, fue el resultante de un sistema lógico entre las posibilidades estructurales posibles y su factibilidad constructiva, porque de alguna manera "hay una diferencia entre diseño y arquitectura: el diseño es una variable y la arquitectura es el producto que integra armónicamente diseños y conocimientos interdisciplinarios, no forzados sino equilibrados, coherentes, jerarquizados, coordinados, constructivos, etc. El diseño está en el papel y la arquitectura está en la realidad, no todo diseño es viable de construir, pero la arquitectura sí." ⁹¹

La propuesta, emplazada en una topografía muy difícil, define diversos bloques-aulario de tres y cuatro plantas, en los que toda la estructura soportante es de hormigón pretensado, que cierra lateralmente con muros doble T verticales (también pretensados), a los cuales los diseñadores han realizado una serie de perforaciones admisibles que transforman la naturaleza de un elemento de catálogo a una pieza arquitectónica singular y única. Además, se aprovechan las formas dejadas por las secciones de los componentes prefabricados para solucionar estantería, iluminación, casilleros, remates, etc. demostrando un aporte valioso y una verdadera exploración del material desde la arquitectura y su expresividad.

Para entender de mejor manera la intencionalidad estética del uso del pretensado en este caso, se presenta en la página siguiente una síntesis de la concepción de un bloque-tipo, que deja ver ese camino que va desde la construcción a la expresividad en todas sus etapas, donde se reafirma por un lado el análisis estructural del edificio y al mismo tiempo, la posibilidad real de fabricarlo.

⁹¹ Gómez Acuña, Julio César. "Enfoque analítico y sistémico hacia la coordinación técnica total en la arquitectura." Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes, 2007.

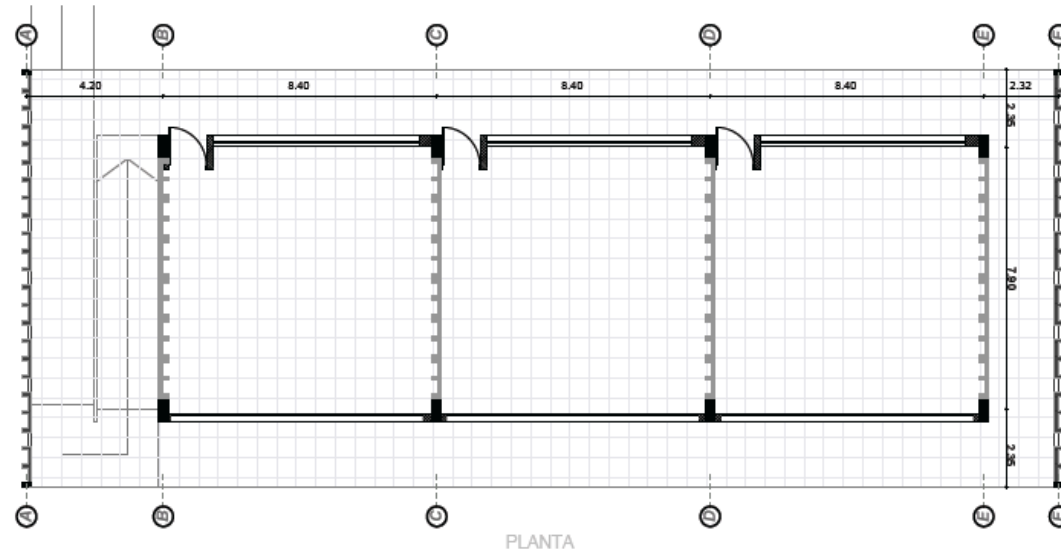
EJEMPLO DE DISEÑO

Este diseño partió de una coordinación interdisciplinar inicial entre el arquitecto, el estructuralista y el fabricante, en donde se pudieron determinar las necesidades del programa y su coherencia con la coordinación dimensional apropiada según las posibilidades estructurales y de fabricación.

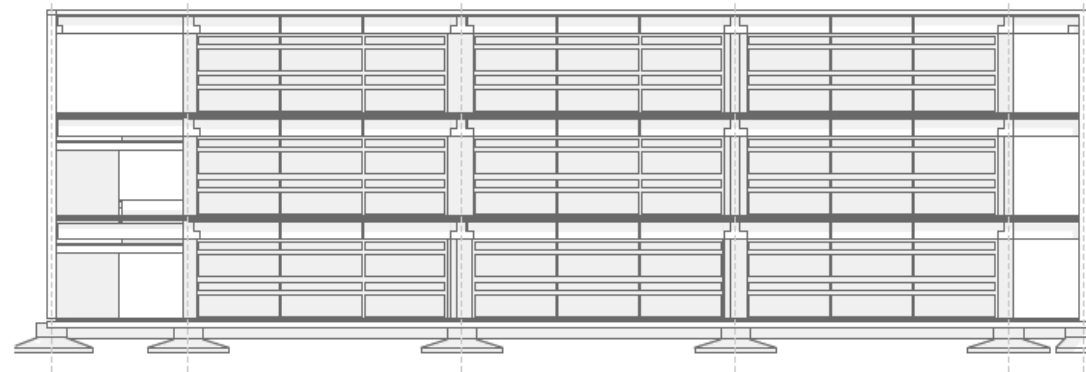
Desde la arquitectura, se estableció la medida óptima de un aula (módulo - objeto cercano a 8m x 8m) y se compatibilizó esta necesidad según las medidas posibles cercanas a conseguir de acuerdo a las dimensiones de las piezas prefabricadas posibles, llegando a un módulo de 7,90m x 8,40m. Luego se posicionó una estructura lógica que daba pistas de los máximos volados posibles según dicho planteamiento.

En este punto, el arquitecto ya condiciona el hecho de que la estructura debe quedar a la vista como la expresión final del edificio y dicha modulación posible (que establecía el estructuralista y el fabricante), procuraba tener elementos sin cortes ni espacios residuales; que sean los mismos elementos y su multiplicidad la que defina las dimensiones de los espacios.

Por otro lado, una vez planteada la malla estructural se trabajó en la posibilidad de que los envolventes externos de los edificios también puedan ser elementos prefabricados pretensados los mismos que podrían ayudar a prescindir de cierres con obras de fábrica comunes en este tipo de proyectos.



PLANTA



ELEVACION FRONTAL

EJEMPLO DE DISEÑO

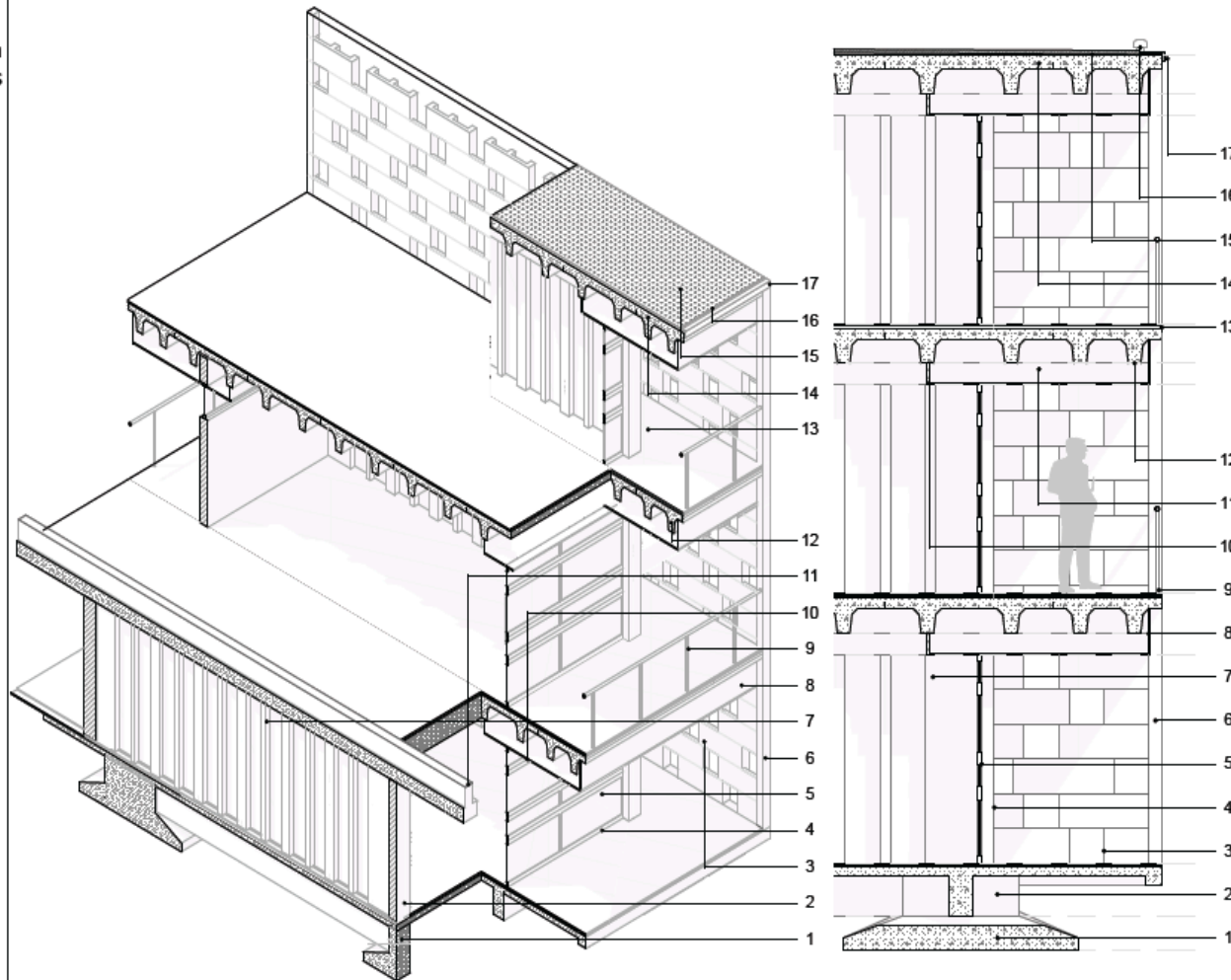
Para facilitar el análisis se describe una sección constructiva que cuenta con todos los elementos presentes en la propuesta.

DETALLES Y SECCIONES CONSTRUCTIVAS

LEYENDA

1. ZAPATA PREFABRICADA AISLADA
2. COLUMNA HORMIGÓN ARMADO
3. MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL PERFORADA "MÓDULO E" *
4. CARPINTERÍA ALUMINIO - VIDRIO
5. VIDRIO CLARO 6MM
6. COLUMNA GUIA 15 X 30 CM
7. MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL MACIZA "MÓDULO E"
8. PLACA PERIMETRAL DE ETERBOARD 6MM
9. PASAMANO 90CM
10. CIELO RASO PLACA DE ETERBOARD 3MM
11. VIGA CARGADORA EN HORMIGÓN ARMADO
12. LOSA DOBLE T HORMIGÓN PRETENSADO
13. PISO ANTIDESLIZANTE EN HORMIGÓN PULIDO
14. CHAPA DE COMPRESIÓN 10 CM
15. MANTO ASFÁLTICO IMPERMEABLE
16. CANAL DE AGUAS LLUVIAS
17. LAGRIMERO / REMATE

* **NOTA:** Este detalle fué evolucionando al final del proceso y se lo describe mas adelante



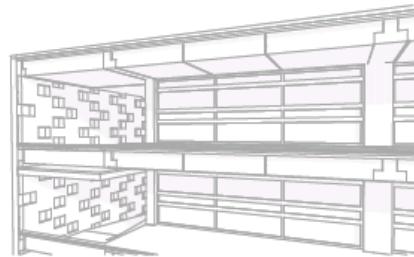
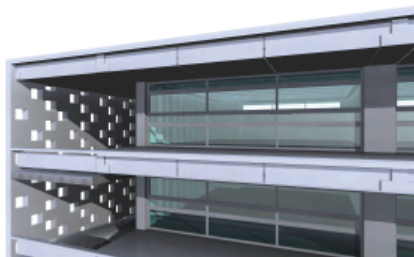
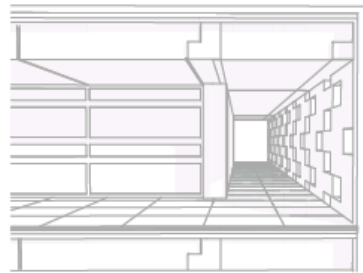
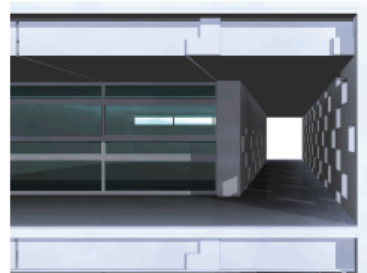
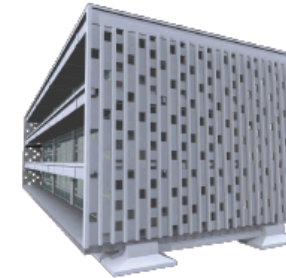
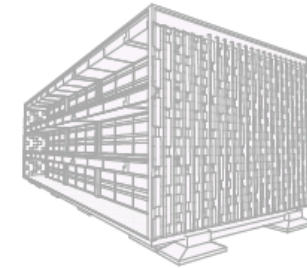
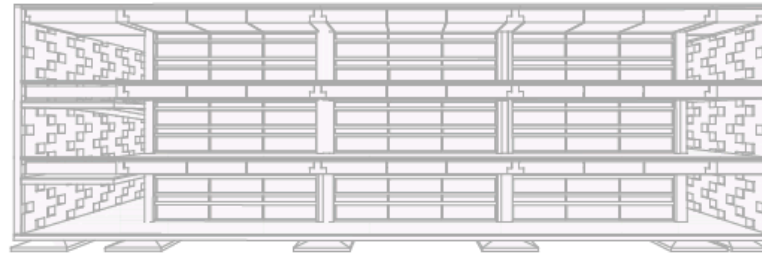


EJEMPLO DE DISEÑO

Como se aprecia en las imágenes, la propuesta de prefabricación incluía además las cimentaciones y muros de contención de donde nacían los elementos de soporte vertical para conformar los pórticos que definen la estructura general.

Empiezan a notarse paulatinamente las diferentes secciones de elementos, como vigas en L, vigas DT y vigas continuas, las mismas que empiezan armarse de tal forma que sean verdaderamente parte de la composición estética del edificio dejando claramente marcadas las juntas y uniones entre todos los elementos. El concepto de honestidad estructural del material quiere ser destacado en todas las escalas posibles. Solamente en los voladizos que definen los corredores externos se incorporó un elemento adicional a la estructura como un cierre realizado en paneles de fibrocemento, material necesario para ocultar ciertas instalaciones.

Para las envolventes laterales también se propuso trabajar con elementos de hormigón que empezaron visualizándose como una mampostería especial en forma de E, que se podía traslapar y dejar a su paso ciertas perforaciones buscadas desde el diseño arquitectónico, pero poco a poco fueron evolucionando y simplificándose en piezas de mayor dimensión (similares a una DT pero con secciones ortogonales), a las cuales se podrían realizar ciertas perforaciones desde fábrica, consiguiendo el mismo efecto expresivo con el menor número de elementos haciendo de esta manera mucho mas rentable y mas rápida la ejecución en obra.



DISEÑO. Surrealistudio Arquitectura
ELABORACIÓN. Arq. Pedro Espinosa
DIAGRAMACIÓN. Santiago Santacruz

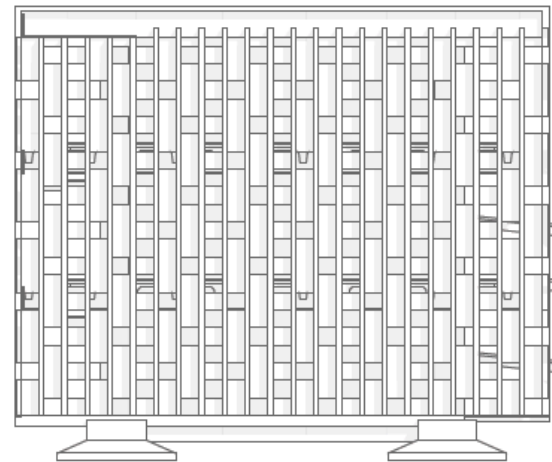
EJEMPLO DE DISEÑO

Como se mencionó anteriormente una de las partes más importantes de la propuesta expresiva eran los envoltentes o paredes de cierre lateral de los edificios.

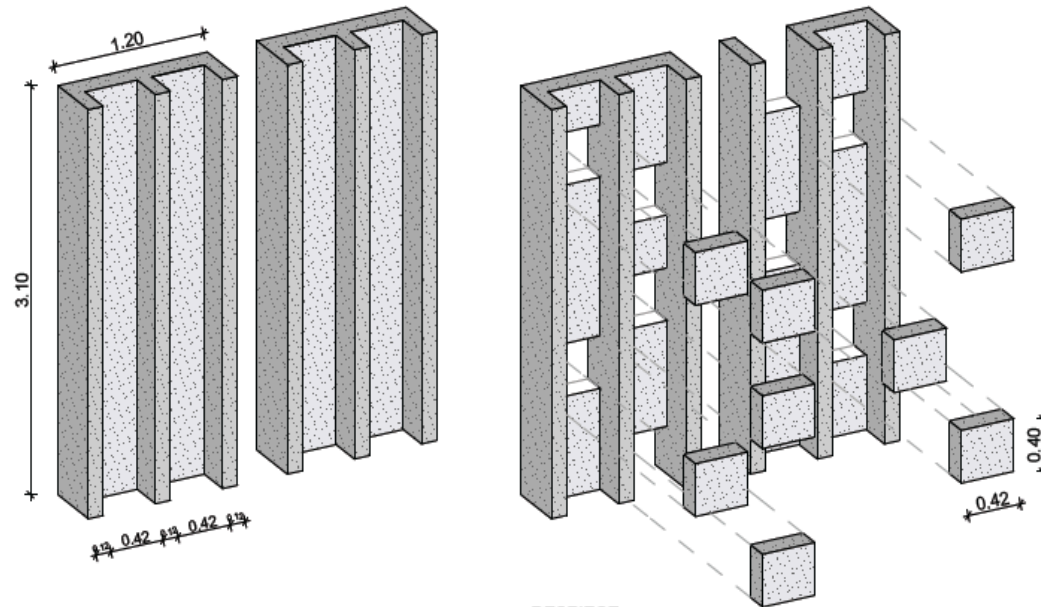
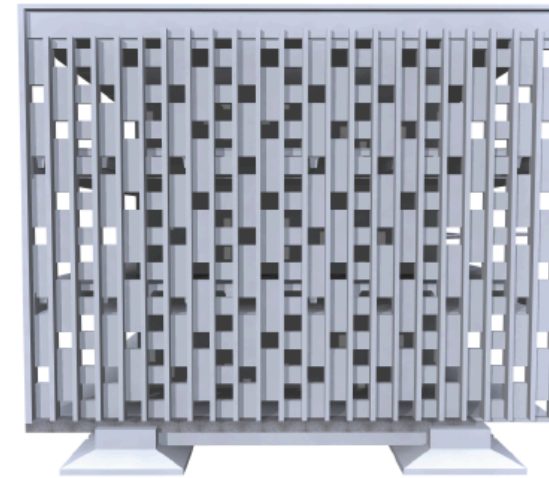
El concepto de lograr una imagen arquitectónica singular que identifique al complejo educativo radicó justamente en desarrollar y potenciar este recurso. Si bien todos los elementos resultaban tipologías idénticas desde la construcción, desde la arquitectura en cambio se quería dar a la propuesta un rango identificable y heterogéneo para cada bloque. Esto se pudo conseguir justamente con las perforaciones realizadas en los muros que resultan de realizar ciertas operaciones básicas de sustracción, permisibles en la sección completa inicial.

Con esto se consigue que las fachadas prefabricadas tengan vida y movimiento, demostrando que si es posible lograr un lenguaje expresivo único en un sistema industrial basado en la repetición de elementos.

La modulación de dicho cierre se pensó de tal manera que no sólo sea múltiplo del espacio dimensional propuesto dentro del programa sino que también cubra la altura completa de un entrepiso (3,10m) para de esta manera lograr solidarizar de una forma eficiente dichos elementos con los entrepisos y la cubierta. Este hecho garantiza un comportamiento óptimo de la estructura a nivel estático y de sismoresistencia.



ELEVACION LATERAL



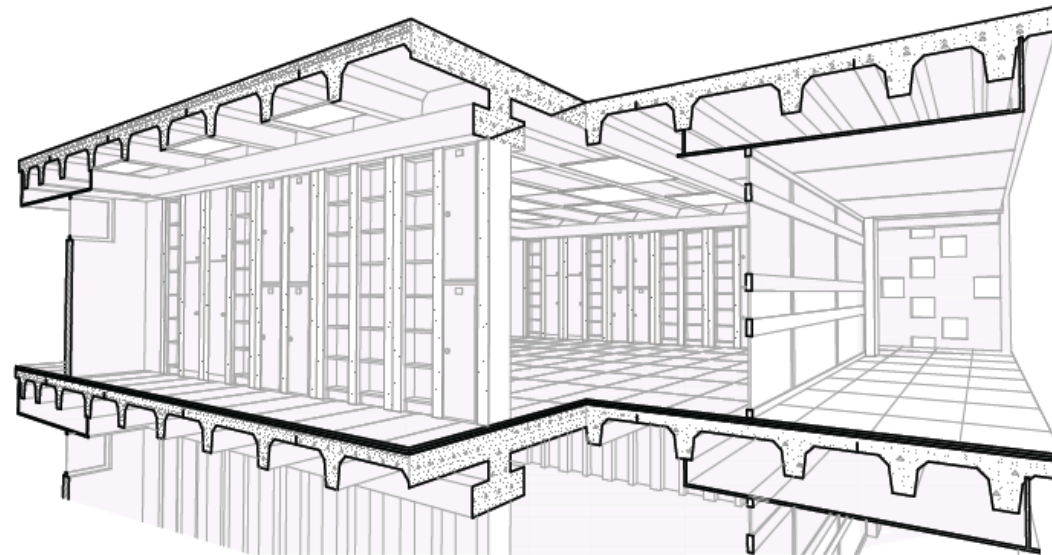
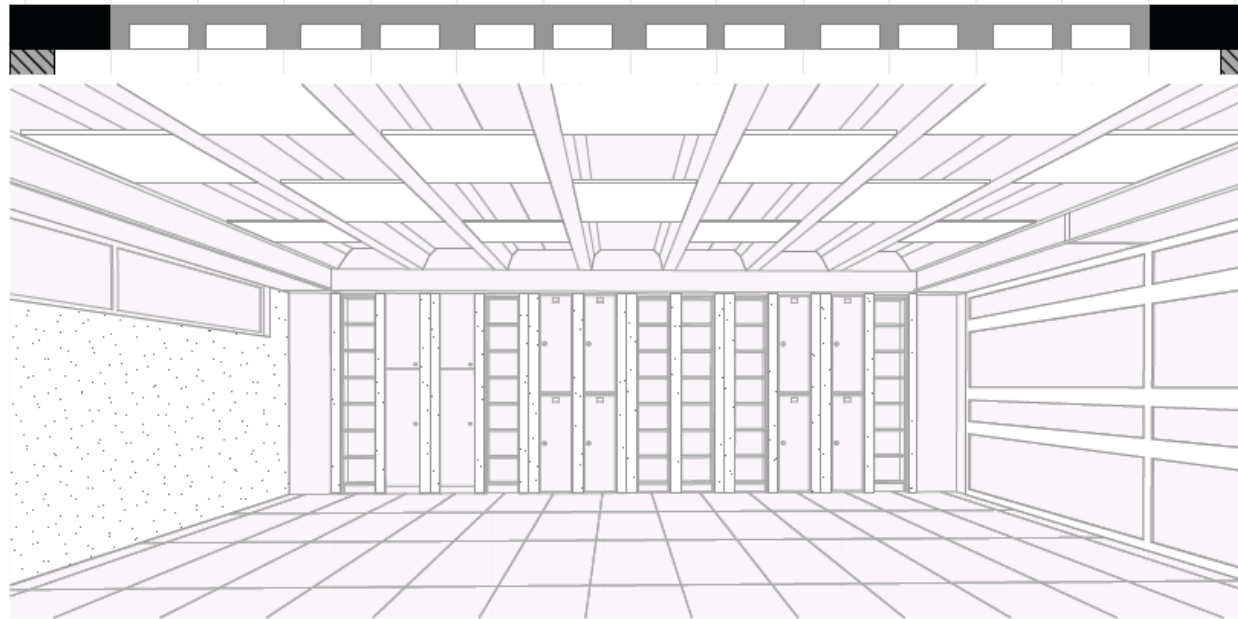
DESPIECE

EJEMPLO DE DISEÑO

Otro de los objetivos principales de la propuesta radicaba en prescindir casi totalmente de elementos arquitectónicos "de acabado" como: enlucidos, cielorasos, muebles, etc. En este sentido se aprovecharon, en el caso de las losas DT su especial sección transversal de nervios trapecoidales, para, entre ellos solucionar bases de lámparas, repisería, estantería y todo lo necesario para el adecuado funcionamiento del aula.

Como se observa en la figura superior, las placas de color blanco representan la posibilidad de incorporar a la misma estructura (en el espacio dejado entre sus nervios) una serie de vidrios opacos que podrían traslaparse alternadamente y albergar en su interior luminarias y conexiones. De la misma manera, las paredes de cierre (así mismo, soluciones de hormigón nervado) albergarían en su interior una serie de elementos básicos funcionales como repisas, casilleros, cajonería, etc, lo que vuelve a la propuesta muy interesante desde ese punto de vista.

La sección constructiva de la parte inferior muestra a detalle todas las interacciones, contactaciones, y relaciones entre los elementos estructurales y no estructurales, así como su tratamiento diferenciado del espacio interior (aulas recinto) y del espacio exterior (corredores de circulación).



EJEMPLO DE DISEÑO

Como resultado final, se presentan dos imágenes que resumen todo el proceso de búsqueda de la fuerza expresiva que podría llegar a tener un sistema prefabricado pretensado, cuando éste no se limita exclusivamente a usar los componentes comerciales de una forma utilitaria, sino que propone una arquitectura de calidad que nace de la reflexión, la experimentación y la coordinación interdisciplinaria. El cómo convertir un elemento industrial anónimo en un detalle arquitectónico imprescindible que resulte único e irremplazable para cada proyecto, se convierte en el mensaje y objetivo primario de este trabajo de investigación.



DISEÑO: Surrealstudio Arquitectura
ELABORACIÓN: Arq. Pedro Espinosa
DIAGRAMACIÓN: Santiago Santacruz

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y ANEXOS

5.1 CONCLUSIONES

- El entendimiento a profundidad de un material de construcción y de sus sistemas constructivos, se convierte en una herramienta válida de conocimiento que facilita y mejora los procesos de diseño arquitectónico, en donde se considere efectivamente el uso de dichos sistemas como opción técnica inicial. En este caso, el conocer las prestaciones, posibilidades y límites del pretensado y su aplicación en la arquitectura, requiere otra lógica de planteamiento estructural, que debe ser tomada en cuenta siempre y cuando, arranque paralelamente desde el inicio de un proceso de diseño arquitectónico. **No resulta viable, al menos no resulta lógico, plantear el uso de pretensados sobre diseños terminados, que nunca concibieron esta opción técnica en dicho proceso.** Las soluciones pueden ser muy forzadas, sin una modulación efectiva, sobredimensionadas y excesivamente costosas, por lo que en éste caso, no se recomendaría su uso y aplicación.
- Se debe insistir en una coordinación casi obligatoria entre el arquitecto diseñador, el ingeniero calculista y el productor local desde el arranque del diseño. Así resultará más fácil la integración y adaptación posterior de los requerimientos exigenciales del resto de ingenierías complementarias a lo arquitectónico y el proyecto tendrá más lógica y coherencia constructiva. De todas formas, desde el entendimiento de la técnica y del material, el arquitecto sí podría llegar a proponer sistemas de pre-dimensionamiento inicial y distribución de componentes en la planificación de un anteproyecto, sin llegar a realizar modelos de cálculo complejos, que serán realizados posteriormente por el ingeniero para el proyecto final de construcción.
- Normalmente, el mejor camino para tener un diseño efectivo en este tipo de edificios, es a partir de lograr un balance efectivo entre la modulación óptima de los parqueaderos y el menor número de columnas posibles, tratando siempre de aprovechar la generosidad de los voladizos que éste sistema permite realizar.

- La optimización y modulación de elementos prefabricados pretensados puede reducir significativamente los costos de construcción y los plazos de ejecución de las obras pues se cuenta con un cronograma de producción que es anterior al cronograma de inicio de los trabajos preliminares y de excavación. Sin embargo, el análisis debe completarse con las facilidades de accesibilidad al predio y las condiciones de trabajo de las grúas y elevadores que posicionarán los elementos. Si esto podría ser un problema, tal vez no resulta pertinente optar por ésta opción técnica.
- Cuando se trabaja en estructuras de hormigón pretensado, se logra de cierta forma una combinación de las ventajas de los dos sistemas más usados en nuestro medio (acero y hormigón armado), puesto que los componentes prefabricados pretensados son piezas industriales (al igual que los perfiles de acero) pero que tienen, para nuestra realidad constructiva, un alto grado de compatibilidad y adherencia (como en el caso de la estructura de hormigón armado convencional) con los sistemas artesanales de mampuestos, por lo que podría ser acogido con más confianza por los constructores locales.
- Si bien los elementos pretensados han tenido una trascendencia técnica increíble en el desarrollo de proyectos singulares de arquitectura, en nuestro medio se vienen utilizando únicamente como sustitución de elementos estructurales convencionales y quedan ocultos por los envolventes y las “terminaciones”, sin explotar sus posibilidades expresivas, y es aquí justamente donde se podría visualizar una verdadera innovación. De todas formas, esto si ha ayudado a mejorar en parte la calidad y los procesos edificatorios locales, pero se debe insistir en explotar completamente todas sus posibilidades arquitectónicas dentro del proyecto. Si bien, la técnica del pretensado local empieza a tomar presencia, deberíamos apuntar un poco más lejos y ver más cerca la posibilidad de desarrollar obras importantes con postensado, donde los límites se vuelven inimaginables. En este sentido, el hallazgo más importante de la investigación, radica en determinar que en la mayoría de casos analizados, las verdaderas proezas estructurales y el salto de escala en los edificios emblemáticos **ha sido únicamente posibles gracias al postensado**, que ha podido unir y sumar todas las prestaciones (por sí solas ya interesantes) de componentes pretensados más pequeños. La gran desventaja radica en que no siempre es posible realizarlo, al menos todavía en



nuestro medio, la técnica del postensado ha sido usada –y con cierta dificultad- sólo en puentes de gran luz, pero no ha existido todavía la intención de integrarla al desarrollo de proyectos arquitectónicos singulares. La falta de técnicos, tecnología y de productores con experiencia en el tema, tal vez resulten los principales factores que han frenado el desarrollo de sistemas postensados en edificios. Ojalá que ésta investigación pueda convertirse en un pretexto válido para que los arquitectos y constructores locales empiecen paulatinamente a cambiar esta historia y se pueda ofrecer a la ciudad, un nuevo capítulo en la arquitectura de sus edificios...



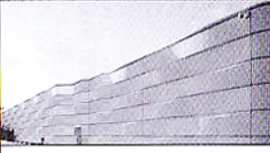
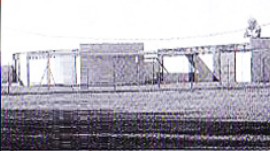



5.2 DOCUMENTOS ANEXOS

Anexo 1.- Fuller Moore, selección de sistemas constructivos

CRITERIO DEL DISEÑO	Madera ligera de estructura	Madera pesada de estructura	Muros de mampostería de carga	Marco de acero (conexiones articuladas)	Marco de acero (conexiones rígidas)	Viguetas de acero de alma abierta	Marco tridimensional de acero	Plataforma de acero	Concreto colado en el sitio: losa en una dirección	Concreto colado en el sitio: losa plana en dos direcciones	Concreto colado en el sitio: losas en dos direcciones	Concreto colado en el sitio: viguetas en un sentido	Concreto colado en el sitio: losas reiculares	Concreto precolado: losa sólida	Concreto precolado: losa aligerada	Concreto precolado: sección T	Concreto precolado: sección doble T	CRITERIO DEL DISEÑO
Expuesto, construcción a prueba de incendios																		Construcción inherentemente resistente al fuego
Forma irregular del edificio																		Simple, sistemas de fabricación en el sitio
Ubicación irregular de columnas																		Sistemas sin vigas en el techo o en los pisos
Minimizar el espesor del piso																		Sistemas de concreto precolado sin nervaduras
Previsión para renovaciones futuras																		Claro corto, en un sentido, fácilmente modificable
Permitir la construcción en clima extremo																		Erigido rápidamente; evitando concreto colado en el sitio
Minimizar el tiempo de fabricación fuera de la obra																		Cimbrado fácilmente o construido en el sitio
Disminuir al mínimo el tiempo de instalación en la obra																		Altamente prefabricado; componentes modulares
Minimizar el tiempo de construcción en altura baja																		Peso ligero, fácilmente cimbrado o prefabricado
Reducir lo más posible el tiempo de construcción en altura media																		Precolado, concreto colado en el sitio; marcos de acero
Disminuir el tiempo de construcción en altura alta																		Fuerte; prefabricado; peso ligero
Minimizar los muros al cortante o el refuerzo diagonal																		Capaz de formar uniones rígidas
Reducir las cargas muertas sobre la cimentación																		Peso ligero, sistemas de claros cortos
Minimizar el daño debido a los asentamientos de los cimientos																		Sistemas sin juntas rígidas
Minimizar el número de oficios separados en el trabajo																		Componentes de propósitos múltiples
Proveer espacio oculto para servicios mecánicos																		Sistemas que inherentemente proveen espacios
Reducir al mínimo el número de soportes																		Sistemas en dos direcciones, claros largos
Claros largos																		Sistemas de claros largos

Anexo 2.- Julián Salas, división tentativa de la industrialización.

UNA DIVISIÓN TENTATIVA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	MEDIANTE SISTEMAS CERRADOS PREFABRICADOS (GENUINAMENTE A BASE DE GRANDES ELEMENTOS, PRIORITARIAMENTE DE HORMIGÓN)				
	INDUSTRIALIZACIÓN SUTIL DE LA EDIFICACIÓN: INDUSTRIALIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN A BASE DE LA UTILIZACIÓN INTENSIVA DE (elementos) + (componentes) + (subsistemas)	INDUSTRIALIZACIÓN SUTIL CERRADA	MEDIANTE SISTEMAS DE CATÁLOGO DE PROCEDENCIA ÚNICA	Utilización del catálogo de una, o de varias empresas, que, coordinadamente, llevan a la práctica la totalidad del proyecto.	
		INDUSTRIALIZACIÓN SUTIL ABIERTA	SINGULAR, ESPECÍFICA O POR ENCARGO	Negociación con los suministradores adaptaciones al proyecto	
			DE CATÁLOGOS COMPATIBLES	Asimilable a lo que hoy día se conoce como 'Métodos Modernos de Construcción' (MMC)	
			DE SISTEMA ABIERTO	Preferencia de soluciones repetibles, no necesariamente idénticas	
DE SOLUCIONES MIXTAS	Posibles soluciones híbridas de las anteriores				

BIBLIOGRAFIA

Fuentes bibliográficas

- Fernández Ordóñez, José Antonio. "Freyssinet, 24 años después de su muerte" 1986.
- Moyano, Gabriela.-Rivera, Mónica. "Arquitectura de las líneas rectas: Influencia del movimiento moderno en Cuenca 1950-1965" Tesis de grado, año 2002 Fac. de Arquitectura. U.de Cuenca
- Carrasco Castro, Fabián. "Hormigón pretensado: diseño de elementos isostáticos" Libro publicado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, año 2010. ISBN: 978-9978-14-192-2
- Torroja Miret, Eduardo. "Razón y Ser de los tipos estructurales". Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Undécima reimpresión. ISBN:84-00-07980-9 Madrid, 2004.
- José María García del Monte . "De las posibilidades arquitectónicas del pretensado, técnica y proyecto en la obra de Paulo Mendes da Rocha" Tesis doctoral del Departamento de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Año 2006.
- Fisac, Miguel. 1997 Ensayo citado en: Monografías Tectónica, Hormigón (II) ATC Ediciones, Madrid,2003
- Araujo Armero, Ramón. "Hormigón prefabricado y construcción en altura". Artículo citado en: Monografías Tectónica, Hormigón Prefabricado. ATC Ediciones, Madrid,2003
- Páez B. Alfredo. Hormigón pretensado en arquitectura. Informes de la construcción vol .40, Madrid 1988.
- Helio Piñon. "Paulo Mendes da Rocha" Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2003.
- AV Monografías, "Oscar Niemeyer, One Hundred Years", Arquitectura Viva SL, 2007.
- Monografías Tectónica, Hormigón Prefabricado (II) ATC Ediciones, Madrid,2003.
- AV Monografías 115, Materiales de Construcción. Arquitectura Viva SL Editores, 2005.
- AV Monografías 127 , La casa natural. Arquitectura Viva SL Editores, 2007.
- Weston, Richard. "100 ideas que cambiaron la Arquitectura" Editorial Blume, 2011.
- "Comprensión de las estructuras en la arquitectura". Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores. 2000
- Moore, Fuller. "Comprensión de las estructuras en la arquitectura" Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores. 2000.
- Strike,James. "De la construcción a los proyectos" Editorial Reverté, 2004.
- Ruiz-Larrea. E prieto, A. Gómez Arquitectura, Industria y sostenibilidad IdIC 2008.
- Desplazes, Andrea. "Construir la arquitectura: Del material en bruto al edificio" Editorial G.G 2010.
- Salas, Julián. "Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible." Informes de la Construcción Vol. 61, 513 11-31. 2009.
- Salas, Julián. "De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico" en Informes de la Construcción, Vol 60, 2008.
- Joan Lluís Zamora "Proyectar la Arquitectura desde la Coordinación Dimensional" ITeC 1999.

BIBLIOGRAFÍA

- Carter, Peter. "Mies van der Rohe at work"
- Armesto Aira, Antonio. Introducción al Curso Académico "Fundamento y Memoria" Año 2009 Universidad Politécnica de Cataluña.
- Gomez Acuña, Julio César. "Enfoque analítico y sistémico hacia la coordinación técnica total en arquitectura." Colección Punto Aparte. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Artes, 2007.

Fuentes digitales

Martínez Ponce, David. "Historia del hormigón" [es.scribd.com/doc/91367937/5]

luisbozzo.com

jeannouvel.com

m.forocoche.com

elconstructorcivil.com

efreysinnetasociation.com

galinsky.com

frickr.com

whotalking.com

tecnomadas.wordpress.com

Copf, Inés. Industrialización de vivienda plurifamiliar en altura, EEUU 1950-1970

transportes.gov.br

arxiubak.blogspot.com

plataforma arquitectura.cl

archdaily.mx

lc-architects.blogspot.com

arquiscopio.com

noticiasarquitectura.com

g84arquitectos.blogspot.com

arqtipo.com

juanpablotata.blogspot.com

esaytunidadsevillano.blogspot.com

quadraturaarquitectos.com

es.wikipedia.org

etsaunproyectos2.es

icancauseaconstellation.com

joseleearquitectura.com / blog

construmatica.com/construpedia/Qu%C3%A9_es_la_Coordinaci%C3%B3n_Dimensional

meetingselect.com

listas.economista.es

skycrapercity.com

peritaarquitectura.blogspot.com



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todo!

A la querida familia, por la paciencia y las ausencias...

A SurrealEstudio, la segunda familia

A RFV Carrasco Construcciones, pilar de apoyo fundamental en este trabajo.

Al Dr.Ing. Juan Carrión, por su dirección y su generosidad.

A la Escuela de Arquitectura de la UDA, profesores y estudiantes.

A Peke Mantilla, por su tremendo aporte conceptual

A los amigos del Municipio de Cuenca que ayudaron con información valiosa

A los constructores de Cuenca, que apoyaron en las encuestas y entrevistas.

Al Profesor Julián Salas Serrano, la mejor coincidencia de todo este proceso.

A todos los amigos cercanos y colaboradores que empujaron este sueño.