



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Tema:
**EXPRESIÓN DE UN LENGUAJE ARQUITECTÓNICO
A PARTIR DE LA ESTRUCTURA SÍSMICA**

Tesis que presenta:
Mariel Alejandra García Salinas

Para recibir el Título de:
Arquitecto

Asesores:
Arq. Francisco Hernández Spínola.
Arq. Lucía Vivero Correa.
Dr. Ing. Civ. Alejandro Solano Vega

Facultad de Arquitectura, Ciudad Universitaria
Coyoacán, México D. F.
08 de junio 2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi hermanita Elisa García Salinas, porque cada triunfo y cada paso en mi vida es tan tuyo como mío. Aunque la vida no nos permitió estar juntas te llevo conmigo en todo momento, eres y serás siempre la primera y última persona con la que comparto mis alegrías y tristezas. Gracias por haber existido.

A mi mamá María Elena Salinas que ha dado todo y más por mí; porque además de ser la mejor maestra del mundo, con su cariño, sus consejos, sus regaños y sus sacrificios hizo de mí la persona que soy hoy. A mi papá Amado García por darme su tiempo – sus desvelos – y todo lo que estuvo a su alcance para convertirme en alguien de provecho. A los dos muchas gracias, porque literalmente me han regalado el mundo.

A mis abuelos Eloina, Jonás, Herón, y a mi tío Miguel, porque aunque no los conocí sé que los principios, los valores y las enseñanzas con las que crecí y de las que me enorgullesco, nacieron de ustedes. A mi abue Sara, gracias por los años que pasamos juntas y por tus bendiciones.

A mi tía Luchi, mi mayor ejemplo de bondad y fortaleza, gracias por darme todo por nosotros, tía: eres mi heroína. A todos mis tíos y tías, que son muchos, por brindarme su apoyo y cariño.

A mi primo Miguel por ser mi gran ejemplo de vida. A mis primas Silvia, Cocó e Inna, por todo su cariño y porque siempre pensé: “¡Quiero ser como ustedes cuando sea grande!”. A mis primos Luigi, Quiqui, Xinah, Koatzin, Xuitzil y Alvaro, por ayudarme cuando lo he necesitado. A todos mis primos porque sin ustedes la vida sería muy aburrida.

A mis dos pequeños grandes amores, Jimena y Frida, que se han convertido en uno de los mejores regalos que me ha dado la vida.

A Diego Alonso gracias por ser el hermano que nunca quise... ¿para qué? si ya te tenía a ti. A Sol por apoyarme, entenderme y regañarme cuando es necesario. A Arita, porque sin ti no hubiera pasado ni la primera, ni la última semana en la facultad. A Raquis, por apoyarme y consentirme en la locura del intercambio. A Samantha y a Lupita, porque la carrera sin ustedes no hubiera sido lo mismo y las desveladas... menos, mis mejores recuerdos en la facultad son con ustedes. A Nadia, Elena, Yareni, Chloé, Paco, Roque, Sergio y Victor por aguantarme estos 5 años. A todos mis amigos... gracias, porque a lo largo de la vida he aprendido de ustedes, lo que ha hecho de mí una mejor persona.

A mis asesores Arq. Lucía Vivero, Arq. Francisco Hernández y Dr. Alejandro Solano, por ayudarme en el desarrollo de este proyecto. A todos mis maestros, por consagrar su vida a la noble labor de la docencia, y enseñarnos más de lo que aparece en los libros.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Arquitectura, por brindarnos a mí y a otros tantos, la posibilidad de cumplir con el sueño de una profesión y un futuro productivo.

Finalmente, gracias a Dios por todo lo que me ha dado en la vida y por permitirme llegar exitosamente al día de hoy.

PROT'OCOLO

DE INVESTIGACIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años hemos sido testigos del impacto, a veces total, que tienen los fenómenos naturales en la vida diaria, haciendo una llamada a la necesidad de revisar y analizar con más detenimiento tanto las técnicas de construcción, como los diseños estructurales y los materiales con los que hemos trabajado hasta el día de hoy, averiguar cuáles son nuestras carencias en este ámbito y de ser necesario desarrollar nuevas tecnologías que nos permitan contar con una resistencia más alta a dichos fenómenos naturales, evitando así la destrucción de ciudades enteras y la pérdida de vidas humanas.

Es claro que teniendo un conocimiento más amplio de los recursos que tenemos a nuestro alcance, es posible llegar a desarrollar proyectos más completos que complementando al sistema estructural adecuado y a la composición arquitectónica, consigan una expresión y un disfrute estético y espacial. Desde luego esto implica un nuevo reto para el arquitecto, pero estoy convencida que debemos dejar atrás la idea de que un ingeniero terminará por resolver la problemática constructiva, y estar conscientes de que es parte de nuestra labor considerar este punto desde el origen del proyecto, no dejarlo a la deriva como un requisito más que será satisfecho por otro profesionalista. Si logramos que la composición de nuestros proyectos vaya ligada a la eficiencia del sistema constructivo, es muy probable que superemos errores que se han cometido en el pasado tanto en lo que a seguridad estructural se refiere como en el diseño arquitectónico.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación busca generar una conciencia tanto en futuros arquitectos como en aquellos ya consumados que están a cargo de la formación de las nuevas generaciones y del diseño y construcción a todas las escalas, sobre la importancia de entender que lo estético no necesariamente está peleado con lo funcional, si bien es un reto combinar ambos puntos, no es obligatorio sacrificar la forma o el lenguaje arquitectónico en aras de la seguridad, muy por el contrario esto puede permitirnos mejorar una serie de condiciones tanto constructivas como arquitectónicas.

Un amplio conocimiento de las nuevas técnicas y materiales que nos ofrecen la ciencia y la tecnología, nos permitirá desarrollar proyectos más completos y resistentes, así como descubrir en el procesos que la búsqueda de una seguridad estructural en nuestros proyectos, más allá de ser una limitante o solo un requisito a cumplir, puede convertirse en una fuente de inspiración para la creación de un lenguaje arquitectónico.

Finalmente, también planteo lograr en este trabajo una breve compilación de las herramientas de diseño con las que contamos en la actualidad, que auxilien a los arquitectos enfrentar nuevos retos de diseño y que fomente en ellos la inquietud por una constante renovación de información y conocimiento que con el tiempo vaya apareciendo en el área de la construcción.

HIPÓTESIS

Habiendo estudiado la información recopilada a través de la investigación, tendremos un panorama más claro que nos permita tomar conciencia acerca de lo importante que es encontrar un equilibrio entre seguridad estructural y expresión en el diseño arquitectónico, sin sentir que como arquitectos ésto nos limita en la búsqueda de un lenguaje de diseño propio, y tomando en cuenta que con ello podemos contribuir en la experimentación de una nueva forma de proyectar, construir e incluso generar ciudad.

- Propiciar una conciencia en los arquitectos sobre la importancia de tomar como propia la tarea de buscar una seguridad estructural sin sacrificar la creatividad.
- Demostrar que la estética no tiene que estar necesariamente peleada con la funcionalidad, en el intento de encontrar una estabilidad estructural podemos obtener también una voluntad de forma.
- Proponer a partir de los conocimientos adquiridos una nueva visión sobre el modo de proyectar.

OBJETIVOS GENERALES

- Generar una compilación de datos que funcione como guía de los nuevos recursos con los que contamos para el desarrollo de proyectos sismo-resistentes
- Tener un mayor conocimiento y dominio de la normatividad para construcciones sismo-resistentes.
- Explicar a partir del análisis de casos de estudio cómo se ha llegado al desarrollo de materiales y sistemas que día con día nos permiten experimentar más en el diseño.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

METODOLOGÍA

- Investigación de materiales y técnicas de construcción antisísmicas.
- Estudio de los primeros sistemas estructurales desarrollados por civilizaciones antiguas en diferentes lugares del mundo.
- Estudio de la evolución de tecnologías y materiales desarrollados para la resistencia de construcciones en zonas de alta sismicidad.
- Estudio de la normatividad para construcciones sismo-resistentes.
- Estudio de construcciones desarrolladas en las zonas con mayor sismicidad en el mundo.
- Estudio de los casos sísmicos más intensos en Latinoamérica en los últimos 10 años. Errores constructivos y de diseño, consecuencias y reacciones.
- Estudio de los casos sísmicos más intensos en México en los últimos 60 años. Errores constructivos y de diseño, consecuencias y reacciones.
- Investigación bibliográfica en:
 1. Libros
 2. Reglamento de construcción del Distrito Federal y Normas técnicas Complementarias.
 3. Artículos de Revistas.
 4. Documentales.
 5. Periódicos que hayan documentado los diferentes eventos sísmicos a tratar
- Investigación de campo:
 1. Entrevistas con arquitectos y profesores especialistas.
 2. Visitas a distribuidores para materiales de construcción.
 3. Visitas a constructoras de la ciudad de México.
- Análisis gráfico e histórico de casos de estudio:
 1. Análisis de las causas que debilitaron la estructura o llevaron al derrumbe, a algunas edificaciones en distintos sismos latinoamericanos.
 2. Análisis de edificaciones construidas en algunas de las ciudades con mayor actividad sísmica en el mundo.

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN 1

MARCO TEÓRICO 11

1 ANTECEDENTES 17

Características De Los Sismos	18
Clasificación De Sismos	23
Medición De Los Sismos	24
Capacidad de destrucción	25
Actividad Sísmica Mundial	29
Cómo Los Edificios Reciben Los Sismos	30
Problemática Sismo-Resistente En Latinoamérica.	32
Problemática Sismo-Resistente En México	34

2 MANIFESTACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN LA CREACIÓN DE UN LENGUAJE ARQUITECTÓNICO 37

El Número De Oro Y La Armonía.	39
Mito De La Cabaña Primitiva Y Libros De Vitruvio	40
Construcciones Prehispánicas en Oaxaca	42
Machu Picchu	44
Las Pagodas Japonesas	46
El Gótico	48
La Arquitectura De Gaudí	50

3 ELEMENTOS Y SISTEMAS ESTRUCTURALES 53

Material	55
Factores Que Afectan Un Edificio Durante Un Sismo	65
Sistemas Resistentes	68
Cimentaciones De Estructuras Sismo Resistentes	75

4 CONFIGURACIÓN. CRITERIOS DE SEGURIDAD 79

La Responsabilidad Del Arquitecto En La Configuración	81
Diseño: Consideraciones Generales De Configuración	83
Uniformidad Y Distribución Del Sistema Estructura	95
Casos De Estudio. Daños Por Una Mala Configuración	100

5 ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO 105

Banco De China.	107
Taipei 101	110
Los Manantiales, Xochimilco	113
Celanese Mexicana.	116
Suiss Re	119
Torre Cocoon.	122
Cruz Del Sur.	125
Basílica De Santa María De Guadalupe.	128
Taller De Agustín Hernández	131
Construcciones En Superadobe	134

CONCLUSIONES 137

ANEXO FOTOGRÁFICO 142

MARCO TEÓRICO

Si hacemos una revisión del desarrollo de la arquitectura y la construcción desde la aparición de las primeras construcciones hasta nuestros días observaremos que la primera necesidad del ser humano fue hacerse de un lugar que se convirtiera en su refugio y por lo tanto le ofreciera la mayor seguridad posible, convirtiéndose en un intermedario entre él y la naturaleza. Con el tiempo, la búsqueda de nuevas formas de construir estos refugios, dio la oportunidad no sólo de buscar una seguridad, sino de experimentar en otros ámbitos como la búsqueda de comodidad, de lugares de reunión, y recintos dónde pudiera desarrollarse en aspectos físicos, espirituales, psicológicos, sociales.

Remontándonos a uno de los pasajes más antiguos y también más influyentes del estudio de la arquitectura, nos encontraremos con Marco Vitruvio, que plantea como principios arquitectónicos la Belleza (Venustas), la Firmeza (Firmitas) y la Utilidad (Utilitas), y veremos que desde el primer tratado que se hiciera sobre arquitectura el desarrollo de un proyecto iba mucho más allá del diseño, pues había que lograr el equilibrio entre los tres puntos mencionados y con ello probar que las ideas planteadas eran factibles, cómo dijera el mismo Vitrubio en su tratado: "El que es teórico así como también práctico, habrá construido doblemente; pues es capaz no sólo de probar la conveniencia de su diseño, sino igualmente de llevarlo a la ejecución".

A principios del siglo XX Vitrubio fue retomado por los funcionalistas quienes planteaban que la forma sigue siempre la función, y que tenían como prioridad en sus diseños la solución de todo tipo de necesidades sociales, físicas y psicológicas para el ser humano, pues estaban convencidos de que si se lograban satisfacer los aspectos funcionales, la belleza arquitectónica surgiría de forma natural. Si bien no creo que haya que caer en un pensamiento tan radical, sí creo que podemos retomar tanto del funcionalismo como de Vitrubio, la idea de que la arquitectura está conformada por una serie de problemáticas que debemos tomar en cuenta, y darle la misma importancia a cada una de ellas, para lograr el equilibrio que nos lleve a una arquitectura más completa.

También considero de gran importancia citar a continuación, una reflexión que realizara John Summerson en su libro "El lenguaje de la arquitectura", sobre otro de los puntos clave del Tratado de Vitruvio: "El mito de la caña primitiva" (del cual hablaremos en el capítulo 2), pues si bien el autor aclara que lo que menciona es una suposición de su parte (así como de algunos otros), me parece un fuerte fundamento para el sustento de esta tesis:

“Voy a pedirles que miren las ilustraciones donde aparece dibujado el orden dórico. porque es muy posible que se sientan perplejos ante ese entablamento con tantas piecitas y divisiones, con tantos nombres cuyo valor decorativo y simbólico quizá no esté nada claro. ¿Por qué los mútulos? ¿Por qué los triglifos y la metopas? ¿Por qué las tenias y esas extrañas borlitas llamadas gotas?, pueden preguntarse ustedes y yo sólo puedo darles una respuesta muy general. Es seguro que el orden dórico derivas sus formas de un tipo primitivo de construcción en madera. Vitrubio insiste mucho en ello. Cuando ustedes miran un orden dórico ejecutando en piedra están viendo en realidad la representación labrada de un orden dórico construido en madera. Naturalmente, no es una representación literal, sino un equivalente escultórico. Los primeros templos del mundo antiguo eran de madera. Gradualmente, algunos fueron reconstruidos en piedra. sería, pues, un imperativo preservar en la versión más permanente de la piedra las formas que tanta veneración habían despertado. De ahí que se copiara en piedra o mármol los procedimientos carpinteros del entablamento de madera, aunque, claro está, algo estilizados ya. Son duda, los templos en piedra que se alzaron posteriormente en nuevos emplazamientos copiaron a estas copias, y el proceso continuaría así hasta que el conjunto quedó convertido en unas fórmulas estática y aceptada.

*Miren de nuevo el entablamento dórico a la luz de lo que acabo de decir y verán cómo se explica por sí mismo hasta cierto punto. Los mútulos parecen las cabezas de las vigas en voladizo que sostienen los aleros cuya misión es que la lluvia caiga lejos de las columnas. Los triglifos podrían ser los extremos de las vigas transversales que descansan sobre el arquitrabe. Las tenias tienen aspecto de juntura y aparecen aseguradas a los triglifos por las gotas, que naturalmente no son borlas, sin clavijas. Y- digo " parecen", "podrían ser", "tienen aspecto de" porque todo esto son simples suposiciones mías. Algunos arqueólogos han consagrado muchas energías a intentar determinar con detalle la evolución que lleva desde el primer prototipo en madera al dórico ya formalizado. Sus suposiciones están más fundamentadas que las mías, pero siguen siendo eso, suposiciones, y lo que más probable es que se queden siempre en tales. **Pero lo que ahora nos importa a nosotros es que mediante este proceso evolutivo, un sistema de construcción en madera fue copiado en piedra y llegó a cristalizar en esa fórmula lingüística que Vitrubio y nosotros llamamos orden dórico.** Estas necesidades inmediatas se han olvidado hace mucho tiempo, pero las palabras y las estructuras que con ellas se forman siguen constituyendo un lenguaje que utilizamos para mil fines, incluida la poesía”*

A finales del siglo XIX y principios del XX encontramos al arquitecto Antoni Gaudí, quien se convirtiera en uno de los pocos arquitectos interesados en las cuestiones estructurales, llevando el diseño arquitectónico más allá de la forma y la función, y profundizando en el análisis geométrico y estructural, hasta llegar al desarrollo de un lenguaje propio totalmente innovador para su época.

El uso magistral de las técnicas tradicionales constructivas y las originales soluciones estructurales que consiguió, forman parte ya de unas de las páginas más brillantes de la arquitectura del siglo XX. Su trabajo nos deja ver el interés por una concepción del diseño más completa, en donde el arquitecto procura ser partícipe de todos los aspectos que influirán en su obra y demuestra una capacidad de síntesis que vemos muy poco en la actualidad, pues como él mismo se define: «Yo soy geómetra, que quiere decir sintético.»

En México nos encontramos con Félix Candela, otro arquitecto que se caracterizó por su interés en el funcionamiento estructural y geométrico, y dejó a nuestro país por legado algunas de sus obras más interesantes, como la Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa en la Ciudad de México o el restaurante Los Manantiales en Xochimilco, por mencionar los más conocidos.

Candela era un arquitecto que calculaba sus propias estructuras, y mientras lo hacía visualizaba la totalidad del problema, lo que surgiera de los números en cualquier etapa del proceso, podía influir en la forma de la estructura y viceversa. Esta habilidad radicaba en su actitud crítica ante cualquier estructura, despreciaba las soluciones complicadas, especialmente cuando estaban forzadas a ajustarse a ideas preconcebidas (de aquí su antipatía al trabajo de los formalistas). Su alumno Juan Antonio Tonda explica que: "Candela entendía el diseño estructural como: *la creación de la estructura desde un punto de vista artístico*, concepción que no comparten los ingenieros, a menos que respecto de un puente o alguna otra obra tengan que actuar como arquitectos, porque evidentemente a los ingenieros no les está vedada la creación artística. En la actualidad, los ingenieros emplean la expresión "diseño estructural" como equivalente del dimensionamiento de secciones, el cálculo de las resistencias y la cuantía de los elementos aislados. En tal sentido, el diseño estructural comprende a nuestro parecer, ideas de Candela: la concepción de la forma, el análisis estático y la comprobación o cálculo, para finalmente producir los planos que llevarán a la realización de una obra." Como se entiende en este fragmento, el éxito de este arquitecto radicaba en ver el funcionamiento estructural como parte de la concepción artística, no como un requisito más que había que cumplir para llevar a cabo la obra, buscando que sus proyectos garantizaran una seguridad estructural a partir de su forma, sin forzar las propiedades de los materiales y evitando el uso de otros recursos.

En la actualidad el mejor ejemplo de estas inquietudes lo encuentro en la arquitectura High-Tech, que ha evolucionado de cierto modo en arquitectura sustentable, y nos ha demostrado que apoyándose en la innovación y la tecnología para resolver grandes problemáticas de nuestra época ha conseguido crear una nueva forma de expresión arquitectónica.

Esta idea la podemos ver reflejada en las palabras de uno de los principales exponentes de esta corriente, Sir Norman Foster quien dice: *"... ningún detalle debe de considerarse muy pequeño... usamos la tecnología, pero no sólo por su naturaleza. Creo que la mejor arquitectura viene de la síntesis de todos los elementos que conforman un edificio: la estructura que lo sostiene en pie, los servicios que permiten su funcionamiento, su ecología, su iluminación, el carácter de los espacios, el simbolismo de la forma, la relación con su entorno, y la forma en la que el edificio marca su presencia en la ciudad o en el campo. Ya sea que se esté creando un hito o trabajando en un sitio histórico, la arquitectura exitosa debe tomar en cuenta todos estos aspectos"*^{III} Como vemos en la ideología expuesta por Foster, ningún detalle debe quedar a la deriva, y en ocasiones la intención de cubrir estas necesidades puede derivar en una fuente de inspiración.

Por otra parte, también especifica que para él *"...el reto interesante es cómo hacer que un proyecto que se comprometa con un país que tenga una identidad nacional y se convierta en un símbolo para los ciudadanos, sea al mismo tiempo una propuesta vanguardista, ejecutada con la tecnología más puntera. Hoy es evidente que la arquitectura puede pertenecer simultáneamente a un lugar, a una cultura y a su tiempo."*^{III} Con lo que nos deja en claro que una vez que se encuentra un equilibrio entre la solución de las necesidades que debemos cubrir, el reto será que la arquitectura desarrollada quede inmersa en su contexto, formando parte de un momento en las historia, un lugar y una cultura

En los pensamientos expuestos anteriormente, encuentro como denominador común la inquietud por el desarrollo de una arquitectura más completa, más factible, y más consciente de su realidad, tomando en cuenta, época, lugar y desarrollo tecnológicos. De todo ello nace en mí la idea de hacer una reflexión sobre la arquitectura que se puede y se debe desarrollar en nuestro país.

Así como hemos visto que a lo largo de la historia y en todo el mundo ha habido arquitectos que se han preocupado por acoplarse a la realidad en la que viven, como mexicanos, nosotros debemos ser conscientes de nuestra propia realidad y de los problemas que hay que resolver en el país. Para mí una de las principales problemáticas que se ha presentado en la arquitectura en México en los últimos años, es el problema de la seguridad estructural, especialmente de la eficacia que esta debe presentar ante la presencia de un sismo, pues México cuenta con varias regiones que registran un alto nivel de actividad sísmica.

Es cierto que parte de nuestra realidad también es que vivimos en un país que da poca importancia, y por lo tanto también poca inversión, a cuestiones de educación, investigación y desarrollo tecnológico, es por eso que depende de nosotros buscar la manera de innovar, de realizar investigación, de encontrar soluciones a los problemas que surgen día con día, y aun más importante de hacer conciencia de que todos debemos tener estos propósitos. Como arquitectos no podemos esperar que un ingeniero resuelva nuestros problemas estructurales. La misma importancia que damos a la composición arquitectónica, debemos dársela al diseño estructural.

Habiendo arquitectos que han hecho de la sustentabilidad y el diseño ecológico la esencia de sus proyectos, lo cual surge por la necesidad del contrarrestar los daños causados al ambiente, no veo por qué no podría suceder lo mismo con las estructuras sismo resistentes, ya que trabajando en un territorio con graves problemas de sismicidad, debemos tomar la cuestión de seguridad estructural como una de nuestras prioridades y tener claro que la única forma de cumplir con esta tarea de manera eficiente, es teniendo la inquietud de investigar sobre el tema, participar en el desarrollo de nuevas tendencias, y cumpliendo con una renovación de conocimientos constante sobre los avances tecnológicos que surgen alrededor del mundo día con día, así como lo hicieron Vitrubio, Gaudí, Candela, Foster y muchos otros arquitectos en su momento.

I. Marco Viturvio, año 15 a. C. «*De Architectura*»,

II. «*Norman Foster's Philosophy*» 2000. Sitio Designboom: <http://www.designboom.com/portrait/foster/philosophy.html>

III. Antón García-Abril, 04 de Septiembre de 2009. «*La arquitectura de calidad mejora la vida de las personas*», sitio EL CULTURAL: http://www.elcultural.es/version_papel/ARTE/25765/Norman_Foster

CAPÍTULO

1

ANTECEDENTES

Características De Los Sismos

Clasificación De Sismos

Medición De Los Sismos

Características De Los Sismos

Actividad Sísmica Mundial

Cómo Los Edificios Reciben Los Sismos

Problemática Sismo-Resistente En Latinoamérica.

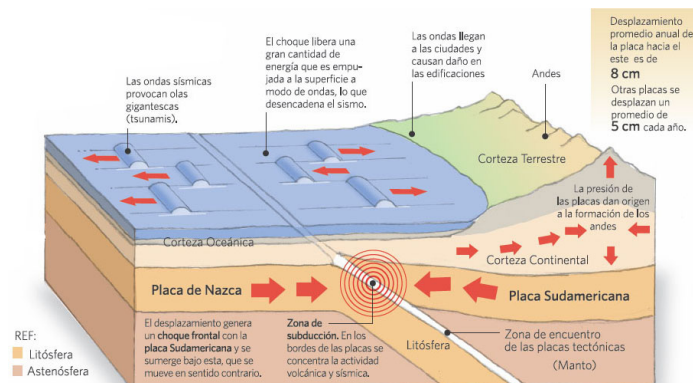
Problemática Sismo-Resistente En México

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISMOS

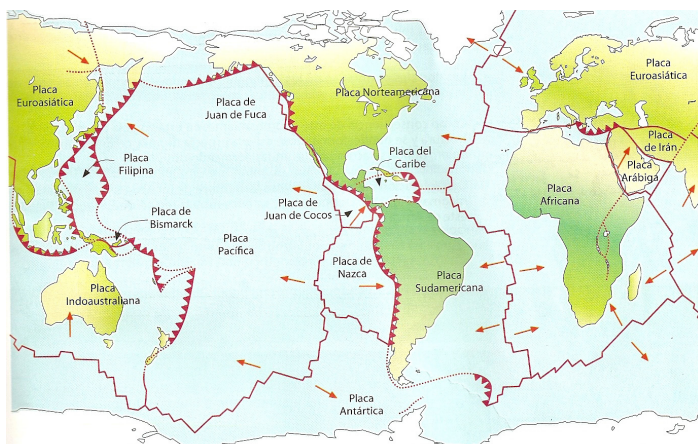
DEFINICIÓN DE SISMOS

Podemos definir a los sismos como una serie de movimientos convulsivos que se producen en la corteza terrestre y que son causados por el movimiento de placas tectónicas.¹ Actualmente, la teoría que mejor explica el comportamiento de estos fenómenos es la Teoría General del Movimiento de Placas Tectónicas.

TEORÍA GENERAL DEL MOVIMIENTO DE PLACAS TECTÓNICAS.



Imag. 1. Diagrama del Movimiento de placas



Imag. 2. Movimiento de placas tectónicas en el mundo

Esta teoría expresa que la unidad de comportamiento mecánico está constituida por la parte superior del manto, por la litosfera con un espesor promedio de 100 km., y finalmente por la corteza.

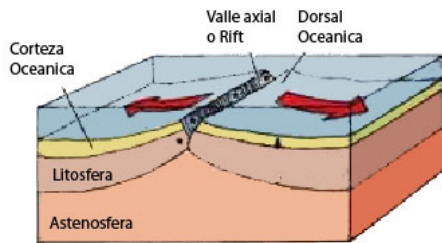
La litosfera queda dividida en una serie de placas duras apoyadas sobre una relativamente suave denominada astenósfera, en donde el terremoto o sismo es causado por la abrupta liberación de energía, que surge de la deformación acumulada en las placas durante un período de tiempo dado, ya que las placas se mueven como cuerpos rígidos sobre una capa más suave.

Las seis placas más importantes por sus dimensiones son la Pacífica, la Americana, la Euro-Asiática, la Indo-Australiana, la Africana y la Antártica. Estas placas gigantes se complementan con otras de menores dimensiones, denominadas de Nazca, de Cocos, de las Filipinas, del Caribe, de Arabia, de Somalia y de Juan de Fuca. Existen placas de dimensiones aún menores, llamadas subplacas o micro placas que en general no se mueven en forma independiente.

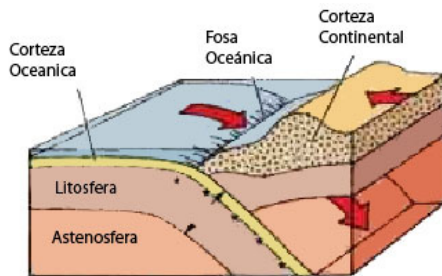
A lo largo de las zonas de contacto de placas se generan grandes esfuerzos tectónicos que provocan las dislocaciones súbitas y violentas ya descritas y, consecuentemente, la actividad sísmica. La mayor zona de contacto entre placas en el mundo es la llamada Cinturón de Fuego del Pacífico, a la que se le puede asociar el 90% de la sismicidad total del planeta. Aquí han tenido lugar los mayores terremotos registrados instrumentalmente en los últimos 100 años (Chile 1960 y Alaska 1964); el 10% restante queda comprendido en la zona del Mediterráneo entre Europa y África, algunas zonas de Asia y en las Dorsales Oceánicas.²

1. Enciclopedia Hispánica. Macropedia Tomo 14 pag.14. Britannica Publishers

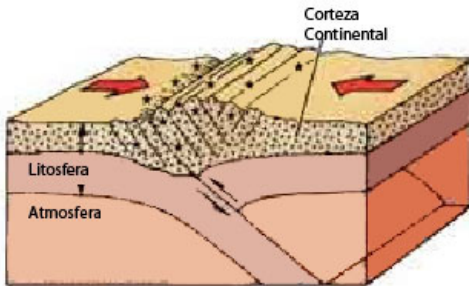
2. Instituto Nacional de Prevención Sísmica (2008). Prevención sísmica. Manual de adiestramientos. San Juan, Argentina. 9ª edición. Pag 2-7 <http://www.inpres.gov.ar/Manual%20de%20Adiestramiento%20Docentes%20Primario.pdf>



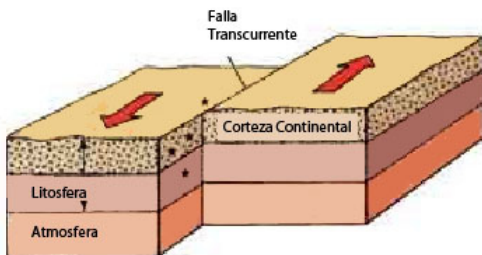
Borde divergente.



Borde convergente de subducción



Borde convergente frontal.



Borde transcurrente.

Imag. 3 Tipos de límites o bordes creados en las placas tectónicas

El 90% de los temblores en el mundo se producen en los **límites o bordes** de las placas donde se empujan unas a otras creando diferentes efectos de desplazamiento, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- **Borde divergente:** Cuando las placas se separan. Corresponde a las dorsales o zonas de expansión que generalmente están en el fondo del océano.

- **Borde convergente:** Son aquellas placas que se encuentran y pueden ser:

- a) **De subducción:** Cuando una placa oceánica está bajo otra placa consumiéndola y destruyéndola el material de la corteza.

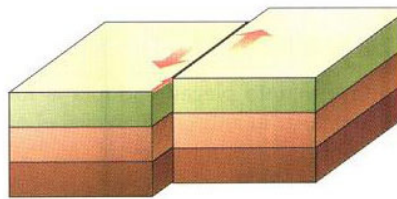
- b) **Frontal:** Cuando el desplazamiento relativo ha cesado producto de la colisión

- **Borde Transcurrente:** Corresponde a las fallas donde el desplazamiento relativo es lateral, paralelo al límite común entre placas adyacentes; en ellas no se crea ni se destruye material cortical.^{3,4}

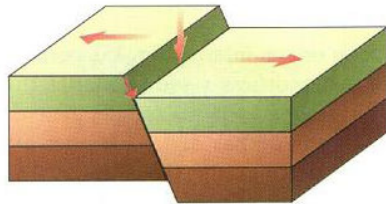
Citas.

3. Rosenblueth, E. (1991). Diseño de estructuras resistentes a sismos. México, D.F., México: Editorial. LIMUSA, S.A. de C.V. p. 15-18

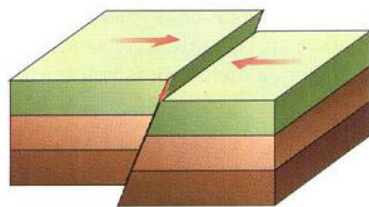
4. Wakabayashi, M. y Martínez R., E. (1988). Diseño de estructuras sismorresistentes. Naucalpan de Juárez, México: McGraw-Hill / Interamericana de México, S.A. de C.V.



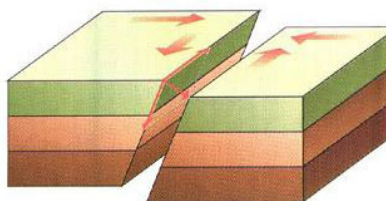
Horizontal



Normal



Inversa



Mixto

Imag. 4 Tipos de fallas según su deslizamiento

En cuanto a las fallas, equivalen al otro 10% de causa sísmica en el mundo, aunque menos comunes, el desacomodo de estas puede resultar dramática.

La falla es una discontinuidad que se forma por fractura en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 Km. de profundidad) cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada del deslizamiento de rocas tangenciales a este plano.

Según su deslizamiento podemos clasificar a las fallas como:

- En Inclínación: El deslizamiento se lleva a cabo en una dirección vertical. Se subclasifican en:
 - a) Falla normal: La capa superior de roca se desliza hacia abajo
 - b) Falla de reversa: La capa superior de roca se desliza hacia arriba
- Horizontal: El deslizamiento ocurre en una dirección horizontal. Se subclasifican en
 - c) Falla Lateral Izquierda: Vista desde una capa de la roca, la otra capa se desliza hacia la izquierda
 - d) Falla Lateral derecha: Vista desde una capa de la roca, la otra capa se desliza hacia la derecha.

A menudo hay fallas que pueden ser una combinación de estas cuatro.^{5,6}

El conocimiento de esta teoría junto con los estudios geológicos y la historia de la actividad sísmica permiten identificar las zonas sismo genéticas, o sea aquellas donde existen fallas tectónicas activas cuya ruptura genera los sismos. Los movimientos sísmicos del terreno se presentan no solo en las zonas sismogenéticas sino en todas aquellas que están suficientemente cercanas a las mismas para que lleguen a ellas ondas sísmicas de amplitud significativa.

5. Rosenblueth, E. (1991). Diseño de estructuras resistentes a sismos. México, D.F., México: Editorial. LIMUSA, S.A. de C.V.

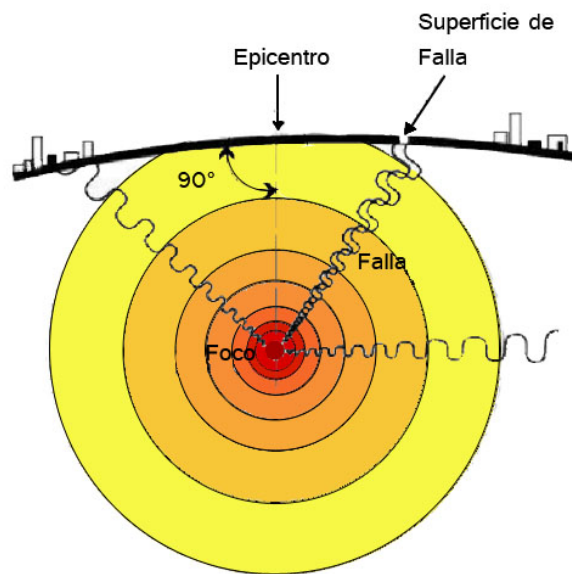
6. Wakabayashi, M. y Martínez R., E. (1988). Diseño de estructuras simorresistentes. Naucalpan de Juárez, México: McGraw-Hill / Interamericana de México, S.A. de C.V.

PROPAGACIÓN DE ONDAS

El movimiento tectónico origina ondas teóricamente esféricas denominadas ondas sísmicas, que se propagan en todas las direcciones a partir del punto de máximo movimiento. El punto donde se origina la vibración se llama foco o hipocentro y se clasifica con respecto a la profundidad:

- Someros o superficiales (superficie-70 Km),
- Intermedios (70-300 Km) y
- Profundos (300-700 Km).

La mayoría de los terremotos importantes son de focos someros, los profundos son muy escasos y nunca se detectaron sismos por debajo de los 700 Km. La proyección vertical del foco se llama epicentro y sirve para ubicarlo geográficamente en la superficie⁷.

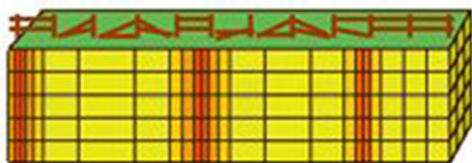


Imag. 5. Propagación de Ondas Sísmicas

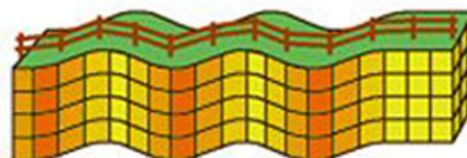
Desde el hipocentro se generan dos tipos de ondas⁸:

Las primeras son las llamadas ondas internas por su capacidad de viajar en el interior de un sólido elástico y se dividen en:

- Ondas primarias: Ondas P o longitudinales - Las primeras en producirse --: son vibraciones de oscilación donde las partículas sólidas del medio se mueven en el mismo sentido en que se propagan las ondas con velocidades que oscilan entre 6 e 13,6 Km/s. Por producir cambios de volumen en los materiales se les llama también de compresión; son las de mayor velocidad y se propagan en todos los medios.
- Ondas secundarias: ondas S o transversales - las segundas en llegar --: producen una vibración de las partículas en dirección perpendicular a la propagación del movimiento con velocidades que oscilan entre 3,7 y 7,2 Km/s. No alteran el volumen, pero sí llega a cortar la roca lateralmente en ángulo recto con respecto a la dirección de propagación. Son más lentas que las ondas P y no se propagan a través de los fluidos.



Ondas Primarias



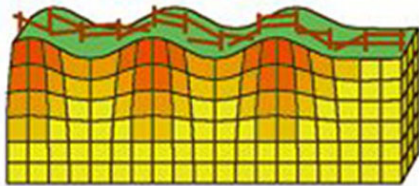
Ondas Secundarias

Las siguientes son las ondas superficiales, que se producen por la interferencia de ondas P y S. Son más lentas y al viajar por la periferia de la corteza con movimientos laterales tienen una gran amplitud, siendo las causantes de los mayores desastres. Éstas se dividen en:

7. IDEM

8. Bazán y Meli, 2001 *Diseño sísmico de edificios*. México, D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.

- Ondas Love o L: Llamadas también de torsión. Su movimiento es perpendicular a la dirección de propagación. Es similar a una onda secundaria (S) sin desplazamiento vertical; mueve el suelo de un lado a otro horizontalmente paralela a la superficie del suelo, en ángulos rectos respecto a la dirección de propagación, y produce sacudidas horizontales.
- Ondas Rayleigh o R: Se distinguen por su movimiento elíptico con respecto a la dirección de las ondas sobre planos verticales y en sentido opuesto a la dirección de propagación. En ellas el material perturbado se mueve tanto vertical como horizontalmente en un plano vertical alineado en la dirección en que viajan las ondas. Por lo general son más lentas que las Love⁹.



Ondas Love



Ondas Rayleigh

Cabe mencionar que Las velocidades de las diferentes ondas dependen de las características del medio; por ejemplo, en rocas ígneas la velocidad de las ondas P es del orden de 6 Km./s mientras que en rocas poco consolidadas es de aproximadamente 2 Km./s o menor.

9. Sitio: <http://www.monografias.com/trabajos81/disenio-sismico/disenio-sismico.shtml>

CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS

Se pueden clasificar por ¹⁰:

- Intensidad: que son conocidos con el nombre de terremotos o temblores de la tierra

1) Microsismos: Cuando son notados por el hombre y causan daños de impacto medio en seres vivos y construcciones.

2) Megasismos: Cuando son tan violentos que causan la destrucción de edificios, convierten ciudades en ruinas y acaban con un gran número de vidas.

- Por su origen:

1) Sismos tectónicos: Conforman el 90% de los terremotos y dejan sentir sus efectos en zona extensas. Estos a su vez se clasifican en

- Sismos interplaca: Se producen en la zona de contacto entre placas. Se caracterizan por tener una alta magnitud - de 7 grados en adelante - y un foco profundo - 20 Km. -.

- Sismos intraplaca: Se producen en las zonas internas de las placas. Se caracterizan por tener magnitudes pequeñas o moderadas.

2) Sismos volcánicos: Se producen como consecuencia de la actividad propia de los volcanes y por lo general son de pequeña o baja magnitud y se limitan al aparato volcánico.

3) Sismos locales: Afectan a una región muy pequeña y se deben a hundimientos de cavernas y cavidades subterráneas; trastornos causados por disoluciones de estratos de yeso, sal u otras sustancias, o a deslizamientos de terrenos que reposan sobre capas arcillosas.

10. IDEM

MEDICIÓN DE LOS SISMOS

Son dos las principales formas de medición de sismos ¹¹:

Tabla 1. Escala modificada de Mercalli.

Grado	Efectos del terremoto
I	Microsismo, detectado por instrumentos.
II	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo).
III	Sentido por algunas personas dentro de edificios.
IV	Sentido por algunas personas fuera de edificios.
V	Sentido por casi todos.
VI	Sentido por todos.
VII	Las construcciones sufren daño moderado.
VIII	Daños considerables en estructuras.
IX	Daños graves y pánico general.
X	Destrucción en edificios bien contruidos.
XI	Casi nada queda en pie.
XII	Destrucción total.

1) Intensidad: Es la medida de la fuerza del movimiento del terreno, es decir, el poder destructivo de un temblor sobre poblaciones, edificaciones y naturaleza en un lugar determinado. La intensidad puede variar notablemente de un sitio a otro, dependiendo de la distancia al epicentro y de las condiciones geológicas locales. Los primeros intentos que se hicieron para catalogar y cuantificar los temblores se basaron en efectos observables en su poder destructivo. A finales del siglo pasado, el sismólogo italiano De-Rossi y el suizo Forel propusieron la escala de intensidad de diez grados conocida como Rossi-Forel, para catalogar los daños producidos por los sismos. El sismólogo italiano Giuseppe Mercalli propuso en 1902 una escala de doce grados. Actualmente existen varias escalas de intensidad usadas en el mundo, la más utilizada es la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (MM), que fue abreviada por Charles Richter en 1956.

2) Magnitud: Es la medida de la cantidad de energía liberada en el foco calculada conociendo el efecto de las ondas sísmicas sobre un sismógrafo situado a una distancia determinada del epicentro. La magnitud es un factor que no varía con la distancia del epicentro. Se utiliza la escala RICHTER, es logarítmica con valores entre 1 y 9, por lo que pasar de un grado a otro puede significar un cambio de energía liberada entre diez y treinta veces: un temblor de magnitud 7 es diez veces más fuerte que uno de magnitud 6, cien veces más que otro de magnitud 5, mil veces más que uno de magnitud 4 y de este modo en casos análogos.

Tabla 2. Escala Richter

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas



Imag. 6 Sismo de Managua 1972

Es frecuente la confusión entre magnitud e intensidad, sin embargo, como Arquitectos debemos prestar especial atención en las intensidades registradas en el lugar donde se va a construir la edificación. Una misma intensidad puede ser producida por un sismo lejano de gran magnitud o por uno cercano de menor magnitud. Por ejemplo, el sismo que destruyó a Managua en 1972 fue de magnitud relativamente baja, en la escala de Richter fue de 5.7, pero su epicentro se localizó en la misma ciudad, así que la intensidad fue muy alta, y la destrucción fue casi total.

11. IDEM

CAPACIDAD DE DESTRUCCIÓN

La capacidad de destrucción de un sismo depende de la combinación de los siguientes aspectos:

- Magnitud
- Distancia al foco donde se origina el terremoto.
- Características del suelo, en especial su capacidad de amplificar las ondas del sismo que llegan a través de las rocas.
- Resistencia de los elementos físicos sometidos a las fuerzas generadas por el temblor.
- Grado de preparación que tenga la población y las instituciones para comportarse adecuadamente antes, a la hora, y después de lo ocurrido.

Muchos de los daños causados por un terremoto, se deben no solo a la violencia de la sacudida, sino que también a otros fenómenos igualmente destructivos que acompañan al evento. Los efectos más comunes provocados por los eventos sísmicos son los siguientes:

- Destrucción de viviendas: La destrucción de viviendas puede considerarse como el efecto de mayor impacto y con un alto costo social para la población.
- Destrucción de Infraestructura (carreteras, líneas vitales y puentes): Además de los inconvenientes que generan durante la atención de los desastres, la destrucción de las vías de comunicación terrestre, causan un impacto importante en la economía al impedir el transporte eficiente de productos así como el intercambio de bienes y servicios con la región afectada.
- Daños diversos al suelo: Por las características de los suelos, causa problemas importantes a nivel de infraestructura, líneas vitales y a la actividad agrícola. Los daños más importantes han sido fracturas, asentamientos, licuefacción - el terreno se comporta como arenas movedizas o bien presenta eyección de lodo de manera súbita -.
- Deslizamientos o derrumbes: Permanentemente sus efectos causan graves daños a la ecología, viviendas, edificios, carreteras, puentes, líneas de transmisión eléctrica, acueductos, etc.
- Tsunamis o maremotos: La mayoría se originan por eventos sísmicos de gran magnitud con epicentro en el fondo del mar.



Imag. 7 Sismo en Haití 2010. Palacio Nacional en Puerto Príncipe



Imag. 8 Terremoto en Chile 2010. Edificio en Concepción



Imag. 9 Sismo en México 2003. Casa en Mexicali



Imag. 10 Sismo en Nueva Zelanda 2011. Edificio en Christchurch

A continuación se muestran 2 tablas de los sismos más trascendentes de los últimos 60 años:

Tabla 1. Sismos de mayor magnitud

Clasificación	Fecha y hora GMT	Magnitud	País	Muertes	Observaciones
1	22 de mayo de 1960, 15:11	9,5 M_w	Chile	5.700 a 10.000	2 millones de damnificados. Valdivia se hundió 4 m bajo el nivel del mar. Erupción del volcán Puyehue.
2	28 de marzo de 1964, 03:36	9,2 M_w	Prince William Sound, Alaska	128	Levantamiento del suelo en el continente de hasta 11,5 m. Provocó un tsunami que llegó hasta British Columbia, Canadá
3	26 de diciembre de 2004	9,1 M_w	Indonesia	230.273	El tsunami generado por el sismo afectó Sri Lanka, India, Tailandia, Indonesia, entre otros.
4	11 de marzo de 2011, 14:46	9,0 M_w	Japón	11.438 fallecidos. 16.541 desaparecidos	Tsunami de hasta 10 m. Alcanzó las costas de Rusia, Taiwán, Hawái, California y México. El terremoto. El eje de la Tierra se moviera 10 cm. Se
5	27 de febrero de 2010, 03:34	8,8 M_w	Chile	524	Tsunami que afectó gran parte de la costa. Se requirió una planificación urbanística total para la reconstrucción de localidades costeras prácticamente desaparecidas. Los servicios básicos se demoraron de 3 a 80 días en ser repuestos. El terremoto dejó a miles de personas viviendo en carpas. Decenas de edificios fueron declarados inhabitables. El eje de la tierra se desplazara aproximadamente 8 cm.
6	31 de enero de 1906, 15:36	8,8	Ecuador y Colombia	1.500	El terremoto causó daños en varias ciudades costeras. También causó un tsunami destructor con olas de hasta 5 metros de altura que causaron daños en la costa y se percibieron en Hawái y Japón.
7	10 de noviembre de 1922, 23:53	8,5	Chile	800 aprox.	Después del terremoto se produjo un tsunami registrado a lo largo de buena parte de la cuenca del Océano Pacífico, con olas de hasta 9 m.
8	12 de septiembre de 2007, 18:10	8,5 M_w	Indonesia	21	Gran número de edificios dañados, algunos destruidos y carreteras afectadas en las ciudades de Bengkulu y Sumatera Barat. Produjo un tsunami con olas de hasta 10 m

Tabla 2. Sismos de menor magnitud

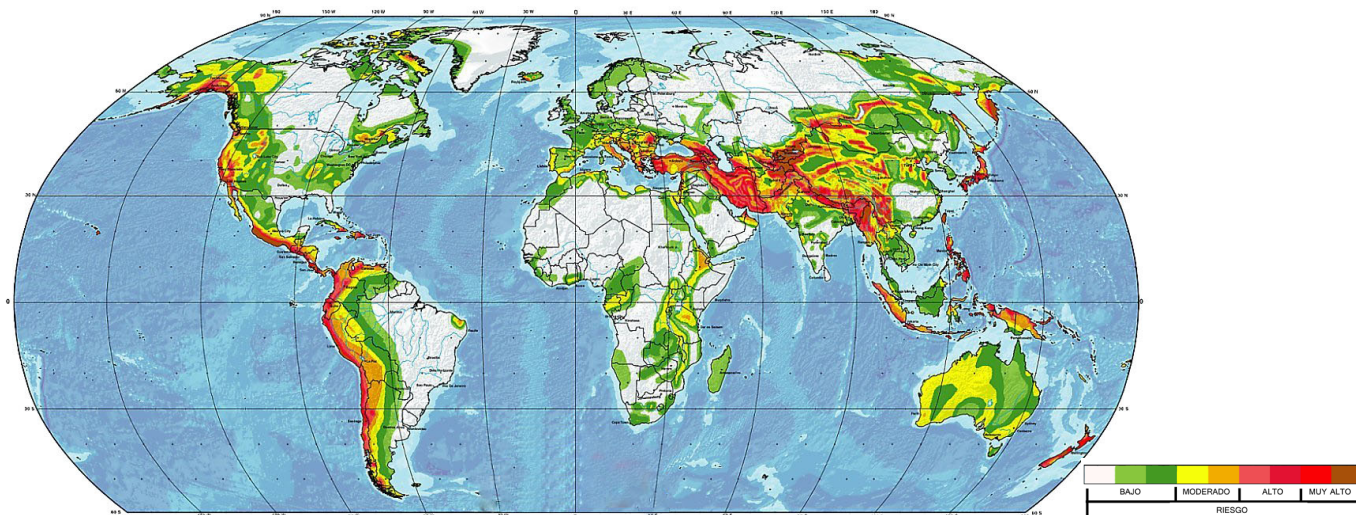
Clasificación	Fecha	Magnitud	País	Muertes	Observaciones
1	29 de febrero de 1960	5,9	Agadir, Marrocos	14,000	Duró 15 segundos mató a un tercio de la población, y destruyó un 80% de las construcciones. Fue el sismo de magnitud moderada más destructor del siglo XX
2	31 de agosto de 1968	7,4	Irán	11,600	Miles de personas quedaron sin hogar pues un 80% de las construcciones no resistieron el sismo
3	23 de diciembre de 1972	6,2	Managua, Nicaragua	5,000	Epicentro a 1 km de profundidad, debajo de la capital. Destrucción de 70%-80% de la ciudad
4	04 de febrero de 1975	7,4	Haicheng, China	1,328	En el área más afectada el 90% de las estructuras quedaron destruidas o seriamente afectadas. La mayor parte de la infraestructura sufrió daños.
5	04 de febrero de 1976	7,9	Guatemala	22,000	En solo unos segundos un tercio de la capital quedó reducido a escombros y miles de edificios colapsaron.
6	27 de julio de 1976	7,6	Tangshan, China	650,000	Es considerado el terremoto más mortífero de los últimos tiempos
7	18 de septiembre de 1985	8,1	México, México	10,000	Más de 300 edificios caídos, Más de 700 quedaron en ruinas y cientos de construcciones quedaron afectadas.
8	17 de octubre de 1989	7,1	Loma Prieta, Cal.	63	Dejó 3700 heridos y entre 8000 y 12000 personas sin hogar
9	17 de enero de 1994	6,7	Northridge, Cal.	62	Dio lugar al perfeccionamiento de sistemas de construcción que ya antes se creían probados, pero que ante la magnitud no superaron la prueba. Las casas con primeros pisos de madera se mostraron débiles. Hubo varias roturas en las tuberías de gas.
10	16 de enero de 1995	6,8	Kobe, Japón	6,434	Causó pérdidas estimadas de 3 billones de yenes en daños, el 2,5% del Producto Interior Bruto del país en ese momento.
11	12 de enero de 2010	7,0	Puerto Príncipe, Haití	316,000	350.000 heridos y 1,5 millones de personas se quedaron sin hogar

La importancia de mostrar estas 2 tablas por separado es observar que, cómo se menciona antes en este capítulo, no siempre es necesario que el sismo alcance una alta magnitud para que su intensidad e impacto resulte de proporciones catastróficas, pues al hacer una comparación de las tablas vemos cómo hubo sismos menores que alcanzaron, e incluso rebasaron, la destrucción provocada por sismos de más alta magnitud.

Hasta el momento no se cuenta en ninguna parte del mundo con una técnica segura para el pronóstico de sismos y se está todavía muy lejos de poder llegar a ella. Sin embargo, aunque no se pueden predecir los sismos en el tiempo sí se pueden predecir en el espacio estudiando la historia sísmica de una región y estimando los períodos de recurrencia de temblores de cierta magnitud. Es decir, en ciertas zonas se puede decir que ocurrirá un sismo pero lo que no se sabe es cuando. Es por ello que al no poder predecir estos fenómenos pero conociendo los riesgos a los que se expone una construcción frente a los mismos, como arquitectos debemos garantizar la seguridad de la edificación y hacer que forme parte importante de nuestro diseño.

ACTIVIDAD SÍSMICA MUNDIAL

En los últimos años se han podido registrar los temblores más importantes obteniéndose un esquema global de la sismicidad mundial. Se puede observar que la mayor parte de energía sísmica (80%) se libera en las costas del Océano Pacífico, región que se conoce como cinturón de fuego que es un conjunto de fronteras de placas tectónicas que recorren todo el océano pacifico desde las costas de Asia hasta las costas de América, Colombia en su costa pacífica hace parte de este cinturón pues chocan las placas Nazca y Suramericana. Hay otras regiones, como el Atlántico Medio y el cinturón Eurásico pero con una actividad sísmica menor. Existen también regiones donde la actividad sísmica es casi nula o desconocida; a estas regiones se les suele llamar escudos ¹².



Imag.11. Riesgo sísmico en el mundo

Observando la actividad sísmica mundial se puede estimar el número de temblores de cierta magnitud que ocurren en un año. Se ha visto que por lo menos ocurren dos grandes terremotos anualmente (Tabla del promedio anual de temblores) y están ocurriendo varios cientos de miles de temblores de magnitud inferior a 3 que pasan desapercibidos, siendo los mayores índices de sismicidad en las zonas de Perú, Japón, Chile y N. Zelanda.

Si lo analizamos con detalle, en realidad, no es que la actividad sísmica a nivel mundial haya tenido un aumento considerable, lo que ocurre es que el hombre se ha asentado en nuevas zonas del planeta, que antiguamente se encontraban deshabitadas, teniendo como consecuencia los daños catastróficos de los que hemos sido testigos los últimos años y obligándonos a poner más atención en la forma en la que construimos, a darle mayor importancia a la seguridad estructural de nuestros diseños.

En lo personal, considero que Japón ha demostrado ser un gran ejemplo en este aspecto, pues en el terremoto-tsunami del 11 de marzo de 2011, aunque el daño provocado por olas de hasta 10 metros fue inevitable, un 95 % de sus construcciones, lograron resistir un terremoto de 8.9 grados en la escala de Richter con duración de 6 minutos, superando así 2 de los factores que mayor daño pueden producir a un edificio durante un sismo: una gran intensidad y una duración prolongada.

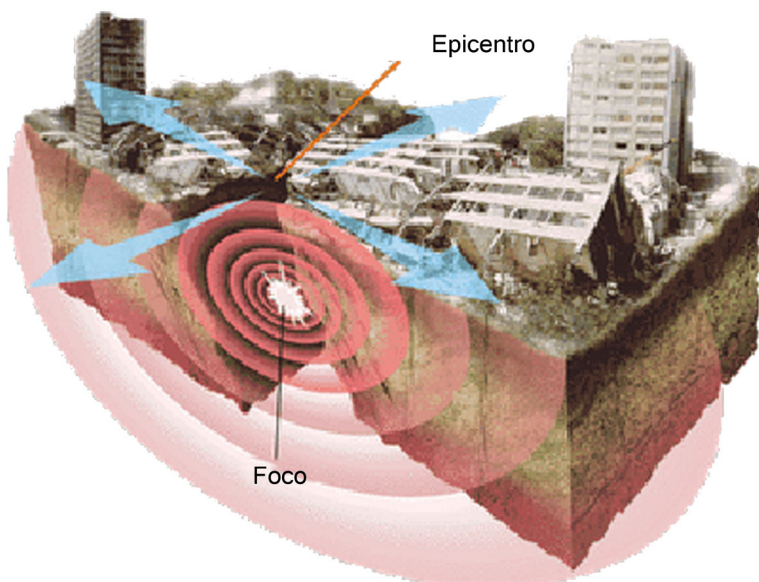
Magnitud	Número promedio
8	2
7	20
6	100
5	3 000
4	15 000
3	150 000

12. IDEM

CÓMO LOS EDIFICIOS RESISTEN LOS SÍSMOS

Ya que hemos repasado algunos de los aspectos básicos de la naturaleza de los sismos, también tendremos que revisar algunos de los principios básicos de la resistencia sísmica de los edificios, pues todas las características que presentan los sismos, terminan asumiéndose como fuerzas externas que afectan incluso a los edificios mejor construidos, sin que estos tengan ningún control sobre ellas. Sin embargo, factores como la forma del edificio, sus materiales de construcción, sus características dinámicas y desde luego un diseño estructural de calidad, influirán sobremanera en la forma en que el edificio responda a dichas acciones (Para detalles más profundos revisar capítulos 3).

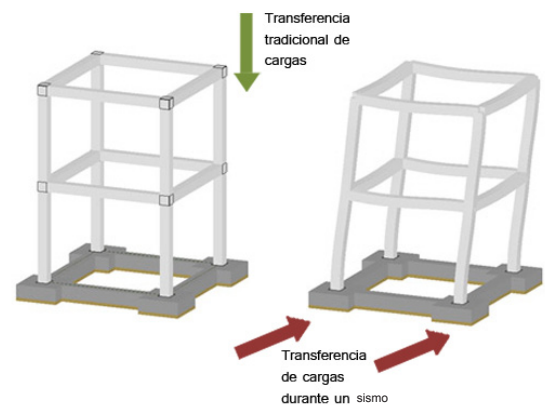
El efecto de los sismos sobre las estructuras depende principalmente de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son variables tanto durante un mismo temblor, así como de un temblor a otro, dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, y del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras. Por otro lado, las cargas que el sismo provoca sobre las estructuras dependen también de muchos factores, entre otros: las características dinámicas del evento, la zona geográfica, las propiedades del suelo y la estructura, la interacción suelo-estructura, el propio movimiento sísmico, la capacidad de liberar energía de la estructura, etc.¹³.



Imag.12. Las características dinámicas varían con respecto a la distancia epicentral.

Un terremoto puede tener su centro epicentro a varios kilómetros de la estructura, tal como pasa con los ciclones, pero aquí la onda se desplaza por la corteza terrestre, por tanto su efecto llega a la estructura por los cimientos y la mueve o sacude en todas direcciones, en general, piénsese en el símil de un péndulo invertido.

La carga de sismo va en contra de la lógica estructural, pues rompe con la transferencia tradicional de carga sobre la estructura. Las otras cargas bajan, normalmente, de las losas a las vigas, de éstas a las columnas y de allí a los cimientos (Imagen anterior). En el sismo la carga comienza por los cimientos, dándole un marcado efecto dinámico, y provocando incluso vibraciones u oscilaciones que pueden mantenerse sobre la estructura y provocar la resonancia, llevando finalmente al colapso.



Imag.13. Deformación de una estructura frente a la acción sísmica

13. Arnold, C. y Reitherman, R. (1991). Manual de configuración y diseño sísmico de edificios. México, D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.

En resumen: Al hacer el diseño con la carga de sismo, hay que tener en cuenta que la estructura soporte las grandes fuerzas de cortante que se introducen, pero además hay que cuidar que el período de oscilación de la estructura no coincida con la del suelo. Esto presupone una estructura rígida para soportar la carga y una más flexible para evitar la resonancia. (Una buena manera de lograr esto es diseñando estructuras aperticadas con paredes de mampostería enmarcadas).

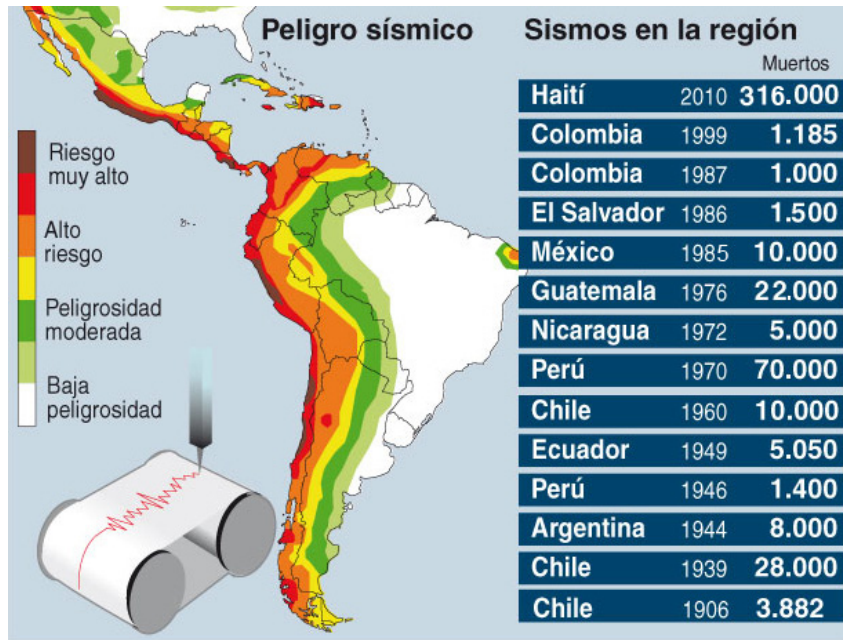
Es por esto que el diseño sísmico debe enmarcar las siguientes etapas:

- La selección de la composición estructural adecuada.
- La obtención de las acciones de diseño
- El cálculo de la respuesta estructural, el diseño y detalles de la estructura.

Finalmente, lo que debemos entender es que en realidad no son los terremotos los que provocan la pérdida de vidas humanas, sino las construcciones al derrumbarse. Depende de nosotros arquitectos tomar más en serio la integración del diseño sísmico en nuestros proyectos, no es algo que debamos dejar como tarea únicamente al ingeniero. El primer paso para cumplir esta tarea con mayor eficiencia, es interesarnos por entender a profundidad el efecto de los sismos sobre los edificios, y cómo estos responden a ellos. Entender que el resultado de nuestro trabajo tiene que ser satisfactorio, no solo a corto plazo, sino también a largo plazo.

PROBLEMÁTICA SISMO-RESISTENTE EN LATINOAMÉRICA.

Las pérdidas por la destrucción de edificaciones han sido cuantiosas. Ciudades enteras han sido reducidas a escombros, el impacto de los desastres naturales de las últimas décadas, en el mundo en vías de desarrollo, ha generado víctimas, destruido infraestructuras y frenado el crecimiento.



Imag 14. Riesgo sísmico en América Latina. y tabla con registro de la pérdidas humanas provocadas por terremotos en el último siglo.

Los países en desarrollo llevan el inmenso fardo de la pobreza, ya de por sí una catástrofe, y sobre nosotros caen, además, estos devastadores fenómenos naturales. Desgraciadamente, la mayoría de las ciudades más pobladas y con mayores problemas de pobreza de Latinoamérica están ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico: México, Bogotá, Santiago, Lima, Quito, Guayaquil, Guatemala, San José, Managua, Santo Domingo, Caracas, etc.¹⁴

Las catástrofes tienen efectos más destructores cuando las comunidades afectadas son menos educadas, menos preparadas, y más pobres, porque pierden en pocos segundos todo lo que tienen. Una catástrofe sobre otra, sobre la misma gente. Si se hacen dilatados y sostenidos esfuerzos de planificación, educación, fortalecimiento institucional y para la construcción de redes sociales, las consecuencias de las catástrofes pueden ser mucho menos devastadoras.

A mi parecer, en Latinoamérica, tenemos 2 grandes problemáticas en este tema: Por un lado, en las provincias encontramos una gran cantidad de arquitectura vernácula venida de años de tradición, en donde se acostumbra emplear los materiales más adecuados para la zona y para las necesidades básicas de los habitantes, pero en muchas ocasiones de baja resistencia y sin las condiciones pertinentes para una adecuada construcción; mientras que por otro lado, en las ciudades de mayor desarrollo, al tener problemas para controlar el crecimiento urbano debido al constante incremento poblacional, encontramos la cultura de la autoconstrucción en ínfimas condiciones, lo que a su vez trae consigo la problemática de los asentamientos fuera de normatividad.

Varios tipos de viviendas humildes han demostrado ser vulnerables a los sismos. Las construcciones de adobe por ejemplo, no poseen resistencia a cargas laterales y han colapsado durante sismos de moderada a alta intensidad, de manera similar a las viviendas de bahareque que debido al deterioro son vulnerables a sismos violentos. Tampoco las edificaciones a base de mampostería, ladrillo o piedra, sin reforzar son aptas para resistir el movimiento violento del terreno y están sujetas a sufrir graves daños y colapsar durante un terremoto.



Imag 15. Terremoto de Haití. 2010

14. Anónimo. *Novedades ESwin: requisitos sísmicos*. Blog Internet. 30 de marzo 2011.

<http://www.volver.asia/2012/03/pagodas-resisten-terremotos.html> <http://www.micondominio.com/portal/modules/smartsection/item.php?itemid=4424>

Edificios con sistemas y materiales constructivos más recientes como el concreto reforzado, no han resistido el movimiento del terreno y han colapsado cuando su diseño y ejecución han sido deficientes. Las obras de ingeniería civil en general, como puentes, tanques y muelles, son también vulnerables a sufrir daño y colapso durante sismos intensos.

Creo que construyendo en estos países, dónde la mayoría de los habitantes cuenta con bajos recursos y peor aun con muy poca educación sobre la importancia de evitar la autoconstrucción, viendo las consecuencias que esto ha traídos, uno de nuestros mayores retos hoy en día, es hacer el esfuerzo de garantizar diseños que ofrezcan alta seguridad al menor costo posible.

PROBLEMÁTICA SISMO-RESISTENTE EN MÉXICO

La República Mexicana se caracteriza geológicamente por su gran actividad sísmica y volcánica. En el contexto de la Tectónica de Placas, México se ubica en la Placa Norteamericana, limitado en su porción sur y oeste, con las placas de Cocos, Rivera y del Pacífico, además de coincidir con el llamado Cinturón de Fuego, donde se registra gran parte de los movimientos telúricos a nivel mundial.

La alta actividad tectónica por la que se caracteriza la región de Mesoamérica, que abarca México y Centroamérica, es resultado de la subducción de la placa de Cocos a lo largo de la Trinchera Mesoamericana. En el sur y oeste de México, la tectónica es más compleja debido a que es controlada por la subducción de la placa de Cocos bajo las placas de Norte América y del Caribe en el sureste. A su vez, las placas de Norte América y el Caribe tienen un límite transcurrente lateral izquierdo a lo largo de la fosa del Caimán y del sistema de fallas Motagua-Polochic. Otro rasgo no menos importante es el arco volcánico centroamericano, el cual resulta de la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Caribe y que corre a lo largo de 1,500 kilómetros desde Guatemala hasta la frontera de Costa Rica-Panamá.

La realidad es que México es uno de los países del mundo con mayor actividad telúrica, ya que según estadísticas, se registran más de 90 sismos por año con magnitud superior a 4 grados en la escala de Richter, lo que equivale a un 60% de todos los movimientos telúricos que se registran en el mundo.

Con base en el registro estadístico, los estados con mayor riesgo y donde ocurren sismos de gran magnitud que pueden afectar a la Ciudad de México son: Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Estado de México y Veracruz.

Esta peligrosidad sísmica llevó al gobierno de Porfirio Díaz a fundar el Servicio Sismológico Nacional (SSN), el 5 de Septiembre de 1910, consolidando sus red sísmica entre los años de 1910 y 1923. Dicho organismo se creó con el objeto de proporcionar información oportuna a las autoridades, a los medios de comunicación y al público en general, sobre los sismos ocurridos dentro de la República Mexicana y determinar sus principales parámetros como son la magnitud y el epicentro. En la actualidad, también es responsable de proporcionar la información necesaria para mejorar nuestra capacidad de evaluar y prevenir el riesgo sísmico y volcánico a nivel nacional¹⁴.



Imag. 16. Riesgo sísmico en México

Como muchas sabemos, el 19 de septiembre de 1985 a las 7:19 a.m. hora del Centro, se produjo un sismo con magnitud de 8.1 grados en la escala de Richter, con epicentro en el Océano Pacífico, frente a la desembocadura del Río Balsas, entre los límites Michoacán y Guerrero, seguido de una réplica de 7.5 grados el 20 de septiembre. Estos sismos provocaron la mayor devastación urbana del siglo en el país, dejando 10000 muertos y pérdidas millonarias que obligaron al gobierno, a la población y especialmente a aquellos dedicados a la construcción a tomar medidas de seguridad más estrictas, haciendo hincapié en el riesgo sísmico¹⁵.

Las regulaciones sísmicas más ampliamente conocidas en México son las que se encuentran en las "Normas Técnicas de Construcción del Distrito Federal". Tuvieron su primera edición en 1920, y fueron renovándose a lo largo de los años, pero después del terremoto de 1985 tuvieron que adecuarse a estándares exigencia mucho mayores, convirtiéndose en uno de los códigos más estrictos del mundo.



Imag. 18 Hospital Juárez



Imag. 19. Edificio Nuevo León. Unidad Habitacional Nonoalco Tlatelolco



Imag. 20. Centro de copiado ubicado en Venustiano Carranza y Gante



Imag. 21. Hotel Regis



Imag. 22. Reglamento de construcciones para el Distrito Federal

Esta normatividad es adoptada generalmente para otras partes del país, adaptándose a las diferencias de riesgo sísmico y condiciones de suelo. Desde luego, si lo reflexionamos, la falta de una normatividad nacional representa un gran peligro, pues aunque nuestras normas se consideran de las más eficientes que existen, están diseñadas específicamente para la Ciudad de México, con condiciones de sismicidad y de sitio muy específicas. Es por eso que se debería exigir al gobierno la emisión de una normatividad nacional que considere las condiciones de sismicidad de cada estado de la república, especialmente de aquellos que hemos mencionado y que sufren mayor riesgo de un terremoto.

Además, aun en la Ciudad de México sufre de algunas lagunas técnicas, pues en su mayoría sólo aplica para las construcciones actuales, por lo que un gran número de inmuebles cuyas características estructurales son afectadas por cuestiones de mantenimiento y antigüedad, se colocan en situación de riesgo potencial en caso de que un sismo de magnitud importante afecte a la ciudad. Aunado a esto, el gran núcleo poblacional que representa la ciudad y la presencia de innumerables asentamientos irregulares, obligan a contar con sistemas de alerta sísmica más eficientes que ayuden a reducir la vulnerabilidad así como las pérdidas humanas y materiales.

15. Protección Civil . Artículo *Novedades Situación Sísmica del Distrito Federal*. Toamdo del sitio: http://www.proteccioncivil.df.gob.mx/macrosimulacro/Situacion_Sismica_del_Distrito_Federal.html

16. Balboa Blanco, Carolina Elena. Documento final de Servicio Social *Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después*. 2006. pags. 5,8

CAPÍTULO

2

MANIFESTACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN LA CREACIÓN

DE UN LENGUAJE ARQUITECTÓNICO

Los Fundamentos Matemáticos Del Ideal De Belleza

Arquitectónico: El Número De Oro Y La Armonía.

Mito De La Cabaña Primitiva Y Libros De Vitruvio

Machu Picchu

Las Pagodas Japonesas

El Gótico

La Arquitectura De Gaudí

La mayor parte de los grandes estilos arquitectónicos históricos ha surgido en regiones sísmicas, pero no parece que la arquitectura creada en estas áreas exprese conscientemente los principios del diseño sísmico, pues el factor sísmico no ha propiciado la evolución de las formas constructivas naturales de un modo tan sofisticado y efectivo, como lo ha hecho la gran variedad de respuestas o soluciones determinadas por el clima, ubicación, cultura, tipologías, etc.

Sin embargo, si analizamos un poco más a fondo algunos de los trabajos arquitectónicos más admirados de la antigüedad, que por su sentido estético han sido tomados como modelos a seguir y como base de distintas corrientes a través de la historia, encontraremos que las formas y detalles arquitectónicos que en ellos valoramos tanto, parten de una profunda reflexión sobre su resistencia estructural y su sistema constructivo.

Desde luego a lo largo de la historia se han desarrollado innumerables métodos constructivos, así como lenguajes y corrientes arquitectónicas, pero me parece que sería excesivo e innecesario para el tema de esta tesis desarrollar cada uno de ellos, por lo que en este capítulo intentaré hacer referencia y profundizar un poco sólo en aquellos temas que a mi consideración ayudarán a sustentar la hipótesis, las ideas y las propuestas que en este trabajo se plantean.

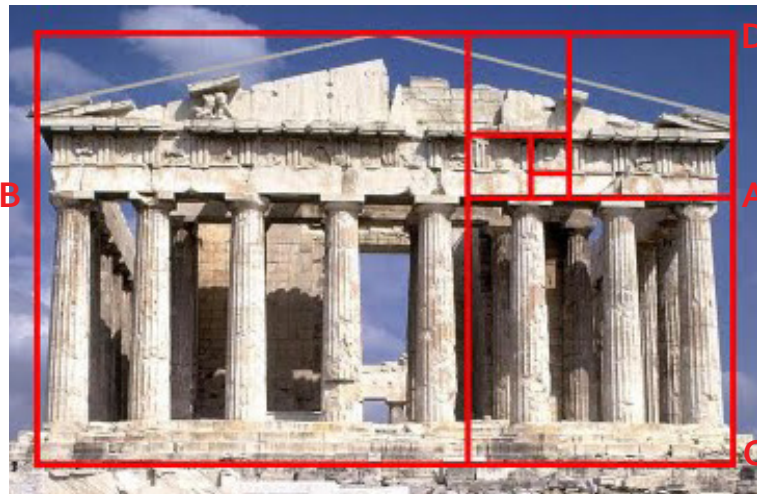
LOS FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DEL IDEAL DE BELLEZA ARQUITECTÓNICO: EL NÚMERO DE ORO Y LA ARMONÍA.

$$\Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,618033988749...$$

Los griegos creían que era la medida de la proporción divina, de la belleza perfecta, y se encuentra en el universo entero, desde caracoles, hasta las proporciones de nuestro cuerpo, nuestro ADN, y por supuesto en todas las artes incluyendo la arquitectura. Este número, mejor conocido por nosotros los arquitectos como sección áurea, es la división armónica de una segmento en media y extrema razón. Es decir, que el segmento menor es al segmento mayor, como éste es a la totalidad. De esta manera se establece una relación de tamaños con la misma proporcionalidad entre el todo dividido en mayor y menor¹⁵.

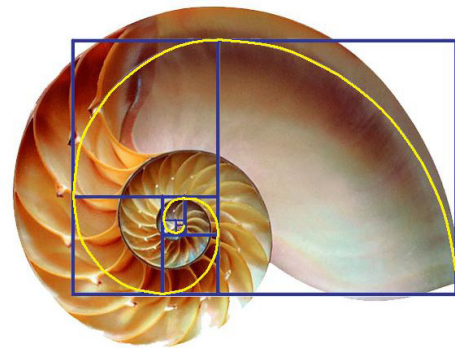
El número áureo aparece, en las proporciones que guardan edificios, esculturas, objetos, partes de nuestro cuerpo, etc. Un ejemplo de rectángulo áureo en el arte es el alzado del Partenón griego. En la figura se puede comprobar que $AB/CD=j$. Hay más cocientes entre sus medidas que dan el número áureo, por ejemplo:

$$AC/AD=j \text{ y } CD/CA=j.$$

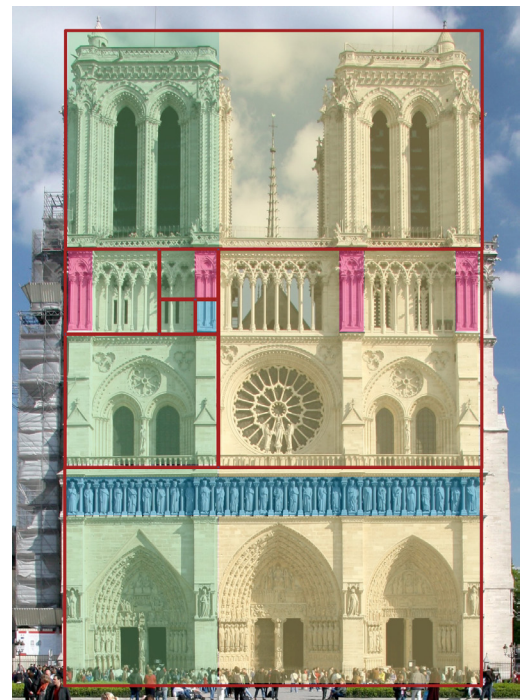


Imag. 24. Proporción aurea en el Partenón de Atenas

El número de oro, sección áurea o proporción áurea es uno de los conceptos matemáticos relacionados con la naturaleza y con el arte. Se denomina con la letra griega (Phi), en memoria del escultor griego Fidias. Está presente en el crecimiento de las plantas, las piñas, la distribución de las hojas en un tallo, la formación de caracoles, y por supuesto en cualquier estudio armónico del arte.



Imag. 23. Proporción aurea en la naturaleza



Imag. 25. Riesgo sísmico en México

15. Anónimo. Artículo *El número de Oro – La Razon Aurea*. julio 2008. sitio web: http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%A1ureo

MITO DE LA CABAÑA PRIMITIVA Y LIBROS DE VITRUVIO

Durante el siglo de las luces, el mito de la cabaña primitiva cobra gran fuerza como parte de la revisión histórica de la arquitectura, hecha por los teóricos ilustrados, quienes basaban gran parte de su pensamiento en la reflexión en torno a la Naturaleza y sus mecanismos de funcionamiento, y en la firme creencia de que el progreso humano depende de que el hombre sea capaz de regular su comportamiento individual y social de acuerdo con tales leyes naturales. Pero, en realidad, la propia idea de la cabaña primigenia es mucho más antigua.

Cuando los intelectuales del Renacimiento exhumaron el manuscrito de Los Diez Libros de Arquitectura del ingeniero militar romano Marco Vitruvio Polión, lo rodearon de veneración por ser el único testimonio restante de la que se suponía insuperable ciencia de construir de los Antiguos, donde la célebre triada de categorías *firmitas* (firmeza), *utilitas* (utilidad) y *venustas* (belleza), se convierte en la columna vertebral de su trabajo.

Sin embargo, con dicha revisión abrieron para la historia de la teoría arquitectónica occidental un episodio que aún está lejos de haber sido estudiado en toda su profundidad y derivaciones: El fenómeno del Vitruvianismo y de los intentos por fundamentar una teoría de la arquitectura moderna que se basase en los supuestos primeros principios que griegos y romanos habrían encontrado antes que nosotros.

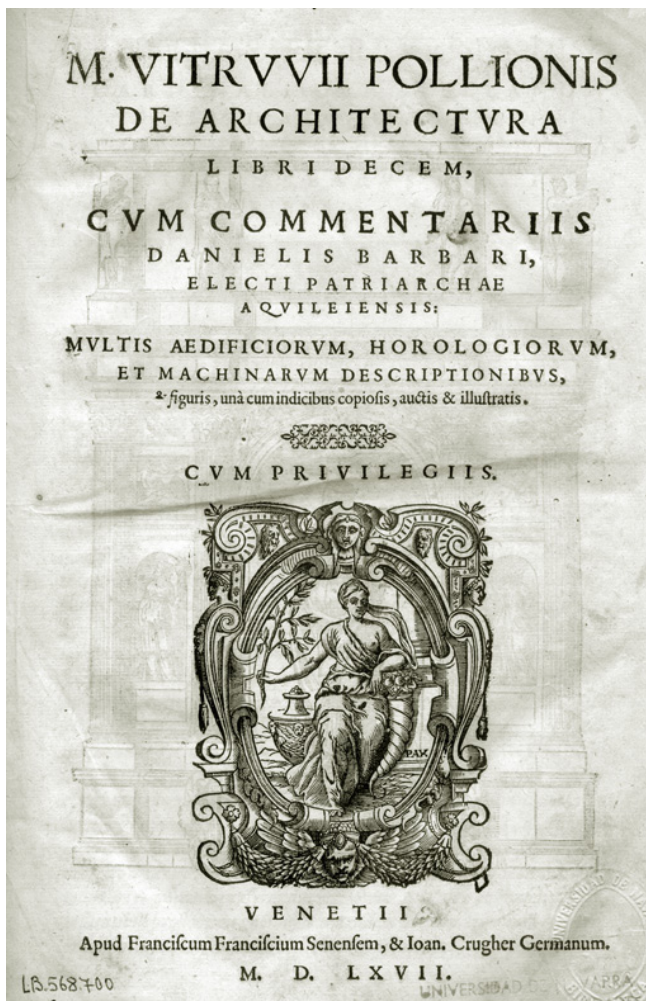
Vitruvio plantea en su libro la hipótesis de una «cabaña primitiva» en la que se encontrarían plasmadas las «reglas naturales» de la arquitectura, auténtico edificio primigenio que vendría a demostrar (en opinión de sus valedores) la íntima conexión entre la Arquitectura y la Naturaleza, entendiendo que la primera no podía sino seguir las reglas marcadas por la segunda. Esta teoría expone la idea del origen de la arquitectura como respuesta, producida por la habilidad humana, a una necesidad inmediata de tipo físico, así como el desarrollo de la arquitectura como arte a partir de estos orígenes utilitarios.

Dicho pensamiento sugiere que la naturaleza dicta a la arquitectura una serie de normas, ejemplificadas en esa arquitectura de los orígenes, y que la historia posterior de la arquitectura no es más que la historia del loable acercamiento o condenable alejamiento con respecto a tales reglas «naturales»²⁷.

La mítica historia de la invención de esta cabaña primitiva, tal y como sería asumida por toda la tradición de la tradística arquitectónica occidental a partir del Renacimiento, aparece relatada, en efecto, en el capítulo primero del Libro II del *De Architectura* de Vitruvio.

Esto último lo refiere en su tratado de la siguiente manera:

“Los hombres, comenzaron unos a procurarse techados utilizando ramas y otros a cavar grutas bajo los montes, y algunos a hacer, imitando los nidos de las golondrinas con barro y ramas, recintos donde poder guarecerse. Luego, otros, observando los techos de sus vecinos y añadiéndoles ideas nuevas, fueron de día en día mejorando los tipos de sus chozas. Y como los hombres son por naturaleza imitadores y dóciles, haciendo alarde cada día de sus nuevas invenciones, se mostraban unos a otros las mejoras de sus edificaciones, y ejercitando así su ingenio fueron de grado en grado mejorando sus gustos.”



Imag. 26 Portada del Tradado de Arquitectura de Vitruvio

Y ya que tan esencial como el planteamiento del primer principio es el momento posterior en el que la arquitectura se desliga del mero terreno de la necesidad y se convierte en arte, también nos explica:

« Como con el diario trabajo los hombres fueron haciendo sus manos más ágiles en la práctica de edificar y, perfeccionando y ejercitando su ingenio, unido a la habilidad, llegaron con la costumbre al conocimiento de las artes; y algunos, más aplicados y diligentes, se llamaron artífices de la edificación.

Comenzaran a levantar no ya chozas y cabañas sino también casas con cimientos, con paredes de adobes o de piedras y con techumbres de maderos y de tejas.



Imag. 27 Evolución de la arquitectura según Gottfried Semper

Al darse cuenta de que la Naturaleza les suministraba con manos espléndidas madera y toda clase de materiales de construcción, se sirvió de ellos, los aumentó con el cultivo, y de este modo acreció con el auxilio de las artes las comodidades y delicadeza de la vida humana.¹⁸ »

Es por lo anterior que la tesis que nos ocupa en el presente texto, encuentra su apoyo en esta teoría, no solamente en la relación que se expone entre naturaleza y arquitectura, sino aun más importante, como mencionara en el protocolo al hacer referencia al texto de John Summerson, se encuentra en el análisis profundo del texto de Vitruvio, al entender su explicación sobre la posibilidad de que la Arquitectura como arte, lenguaje o medio de expresión, surgiera inicialmente de la necesidad de crear un refugio en el que se aplicaron los primeros métodos constructivos y materiales, y que una vez dominados estos últimos, le permitieran al hombre perfeccionarlos y experimentar con ellos en la creación de distintos lenguajes, hasta llegar al desarrollo de la Arquitectura como tal.

Años después, el arquitecto Gottfried Semper desarrolló un tratado, sobre el origen de la arquitectura que reafirmó esta teoría pero con una visión un tanto diferente a la de Vitruvio, menos mitológica y explicando la evolución de la arquitectura a partir de los elementos, materiales, técnicas constructivas, y características de las sociedades en la que se desarrollaron.

En su libro *Los cuatro elementos del arte de la construcción*, Semper describió la cabaña primitiva; en ella encontró cuatro elementos, de manera original y sin alteraciones, que la definían: el hogar - el primer y más importante de los elementos de la arquitectura -, después la plataforma o terraza de tierra; sobre ésta, el techo sobre columnas y, finalmente, la pared o valla de cortinas textiles¹⁹.

17. Calatrava Escobar, Juan A. Artículo '09. *Arquitectura y naturaleza. El mito de la cabaña primitiva en la teoría arquitectónica de la Ilustración*. 1991. *Gazeta de Antropología* no.8. Universidad de Granada

18. Vitruvio Polion Marco. *De Arquitectura*

19. Toca, Antonio. Artículo *El origen de la Arquitectura*. 2006. Sitio Web Calarín: <http://edant.clarin.com/suplementos/arquitectura/2006/01/17/a-01125436.htm>

CONSTRUCCIONES PREHISPÁNICAS EN LA REGIÓN DE OAXACA

Los materiales de construcción en general para los sistemas constructivos prehispánicos en Oaxaca fueron la piedra, el adobe, la madera, la tierra y la cal en términos generales.

El primer asentamiento en Monte Albán se debió a la colisión de grupos de filiación olmeca con aquéllos previamente asentados en la zona de los valles, por lo que en su primera fase (700-300 a. C.) contiene gran cantidad de elementos olmecas, como por ejemplo los sistemas constructivos para el libre apoyo de las cubiertas en las tumbas, que tienen similitud con la Tumba A encontrada en La Venta, Tabasco. Sin embargo, la arquitectura funeraria zapoteca posterior a esta fase sufre modificaciones en sus sistemas de cubierta, hasta convertirse en techumbres con rodillos para el trabajo diferencial de elementos estructurales con la eventual presencia de sismos, ya que Oaxaca se encuentra en una zona altamente sísmica.²⁰



Imag 28. Conjunto arqueológico de Monte Albán



Imag. 29 Techumbre en arquitectura funeraria zapoteca



Imag. 30 Uso de dinteles en el Templo del Grupo de las Columnas, Mitla

El uso de dinteles adosados a muros de contención es otra de las características fundamentales en estas edificaciones. En su mayoría los dinteles eran elementos monolíticos que solo requerían ser pulidos por tres de sus lados para ser colocados, ya que siendo la piedra por sí misma un material de construcción no se necesitaba desbastar más. Esta técnica se observa en el Palacio del Grupo de las Columnas de Mitla, donde se elimina el mamposteo sustituyéndolo por el sobrante superior del dintel y brindando mayor estabilidad a los vanos en el muro.

Al interior de las cámaras de otras edificaciones donde se decoró con mosaicos de piezas sueltas de piedra para formar una especie de rompecabezas, vemos sobre los huecos de acceso dinteles de piedra careados por tres lados: el inferior, el exterior o fachas y el paralelo al anterior que es el lado interior de la cámara, quedando el resto del cerramiento o dinteles sin labrarse. Esto trajo como consecuencia que para acoplar la porción careada tanto al exterior como al interior pero con bordes disparejos en sus extremos superiores y laterales, se tuvieron que labrar los motivos del dibujo del mosaico para dar continuidad al mosaico hecho con piezas sueltas, dando así una solución práctica a una problemática de tipo constructivo-ornamental



Imag. 31. Palacio del Grupo de las Columnas, Mitla

En el caso del uso de columnas se observan dos tipos: monolíticas o en base de mampostería, siendo las primeras esencialmente cilíndricas, mientras que las segundas llegan a tener dimensiones exageradas en su espesor. Su disposición dentro de las edificaciones puede ser: en el cruce de tumbas, "encajonadas" entre muros, cercanas a los cabezales de muros en el acceso a edificaciones, y formando parte de pórticos a cubierto con el acceso abierto por los dos lados.

Cabe mencionar que el caso de las columnas monolíticas "encajonadas" y el de las cercanas a cabezales de muro, es muy semejante, puesto que van siempre pareadas y sugieren ser el apoyo de vigas de madera que descansan solamente en las columnas y no sobre los muros, logrando no únicamente una solución estructural, sino también de tipo esteticista, ya que si las columnas hubieran tenido una función netamente constructiva, éstas se hubieran repartido en el claro para lograr tres claros iguales y no, como se estila, tener dos claros muy pequeños y un tercero central exageradamente grande.



Imag. 32. Edificio J en Monte Albán con refuerzo en esquina

Otro punto importante a destacar dentro del diseño de prevención sísmica en las construcciones zapotecas, es el refuerzo en general de las esquinas de los muros en base a piedras con careo en escuadra y colocadas en forma vertical, alternadas con piezas de tamaño inferior colocadas de manera horizontal. Este sistema garantiza la rigidez en las esquinas de toda edificación.

Los tableros en escapulario doble o triple sirvieron tanto de arranque de alfardas como de remate de las mismas, usándose también como ornamentación integrada a los cuerpos componentes de los basamentos piramidales fundamentalmente durante el Horizonte Clásico en Monte Albán, y después como decoración en portadas de tumbas y elemento puramente formal constitutivo de los muros durante el período Postclásico en Mitla y otras localidades.²¹

Finalmente hay que recalcar que toda la construcción de las culturas prehispánicas desarrolladas en territorio oaxaqueño, cumplen con el principio básico para un desempeño sísmico eficaz: un excelente manejo de la proporción, ya que sus obras cuentan con muros gruesos y de baja altura lo que, con ayuda de materiales pesados, les brinda gran estabilidad.



Imag. 33. Edificio en Mitla, donde se observa el uso de tableros escapulario, muros gruesos y baja altura.

20. Villalobos, Alejandro. *Aproximaciones al desarrollo urbano por fechamiento de sistemas constructivos. Primera parte: Monte Albán, Oaxaca*. abril 1986. Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana no.7. Facultad de Arquitectura UNAM. Pag 42

21. Rivera, Víctor. *Comentarios sobre algunos sistemas constructivos en la arquitectura prehispánica de Oaxaca*. marzo 1992. Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana no.18. Facultad de Arquitectura UNAM. Pags. 51-67

MACHU PICCHU



Imag. 34 Ciudad de Machu Picchu

Machu Picchu, ubicada a 2438m sobre el nivel del mar en la Cordillera Central de los Andes peruanos, es considerada en el mundo una verdadera maravilla de la arquitectura y la ingeniería, ya que logra conjugar en perfecta armonía avanzadas técnicas en el desarrollo de los dos campos.

Para el presente documento, el trabajo más notable de la ciudad lo encontramos en los detalles de su moldeado en roca. Las distintivas formas trapezoides de las rocas y los marcos de las puertas y ventanas nos remontan al apogeo del poder cultural de los incas. Cada una era tallada y puesta en su lugar por mamposteros experimentados.

Los obreros ensamblaron las piedras sin usar cemento o mortero, y a pesar de ello lograron uniones tan firmes que resulta imposible introducir si quiera la hoja de un cuchillo, factor que deslumbra a los arquitectos actuales.

Resulta increíble que sin el uso de herramientas de hierro, las piedras lograran encajar con tal calidad y precisión. Para ello, los ingenieros de Machu Picchu utilizaron piedras más pequeñas, llamadas piedras martillo, que les permitieron dar forma a la roca. Los mamposteros incas golpeaban la superficie de granito con piedras redondeadas encontradas en los lechos de los ríos hasta obtener una superficie lisa cubierta en polvo, cuando ponían la siguiente piedra el mampostero usaba impresiones en el polvo como guía en áreas que necesitaban más trabajo; usando piedras martillo progresivamente más pequeñas los obreros tallaban las piedras hasta que el paramento y la superficie del fondo encajaran perfectamente.

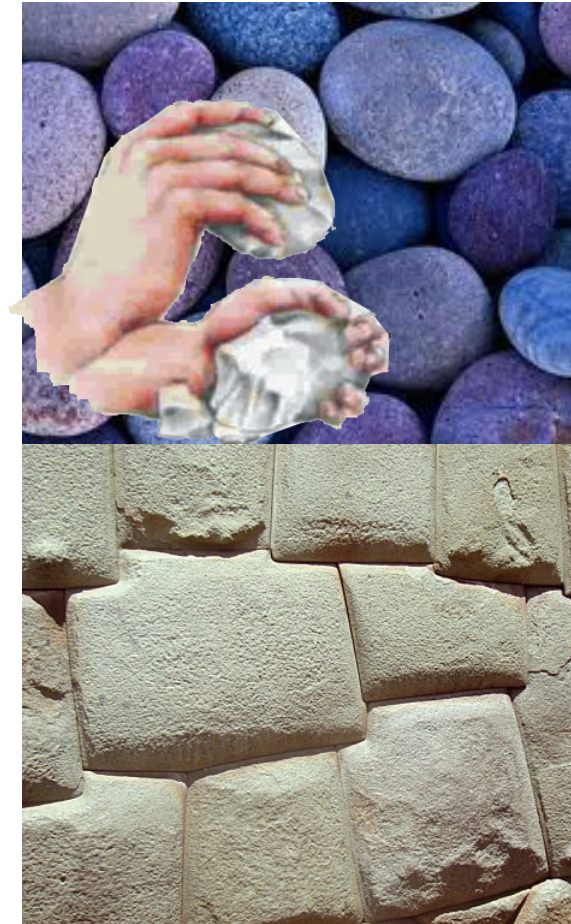
Este método creó una característica única en la arquitectura inca., ya que nunca se hallará una línea recta o una esquina en ángulo recto en las construcciones incas, a menos que se hiciera por accidente. Aunque se lleguen a ver sitios donde en la superficie las piedras parecen ligeramente cuadradas, si se observan en detalle no lo son.



Imag. 35 Marco de los vanos de las construcciones de Machu Picchu

Para lograr uniones perfectas entre cada piedra acoplaban perfectamente las caras de las piedras haciendo una cóncava y otra convexa, algo muy difícil de lograr, a diferencia de otras culturas antiguas, como la Egipcia, que habían descubierto que la forma más sencilla de unir piedras era aplanar los lados de las piedras y luego unirlos. El mismo ajuste perfecto se encuentra en todo el lugar tanto en piedras pequeñas como en piedras enormes; parecen ceñirse al mismo método de encaje tallando y ajustando sin importar el tamaño. Es posible que para lograr este ajuste usaran la técnica del "contorneado", empleada a veces por constructores de cabañas para encajar las superficies irregulares de los troncos. Esta técnica consiste en transferir la forma de una piedra a su compañera, usando un transportador para reflejar el borde de la superficie, marcarlo y darle forma hasta encajar la piedra opuesta.

Los constructores ponían fila tras fila de piedras encajadas con precisión en una disposición perfecta. Los mamposteros alternaban con cuidado las piedras deponiéndolas vertical y horizontalmente para repartir la carga de manera uniforme por toda la construcción y con la perfección de su disposición, los grandes bloques finamente encajados sobre la edificación, parecen desafiar la gravedad. Curiosamente es justo esto último lo que le permite resistir la intensidad de los sismos que se presentan frecuentemente en la región.



Imag. 36 Tallado de peidras, con ayuda de piedras martillo (piedras de río)



Imag. 37. Templo del Sol en Machu Picchu

En la parte alta de una escalera opuesta a un palacio, se encuentra la joya de la corona de la ciudad, una edificación con forma única, pues sus paredes tienen una forma especial al seguir la forma del lecho de roca creando un semicírculo. Dicha estructura es el templo del sol, usado también como observatorio solar.

Bajo la edificación se encuentra un enorme bloque redondeado de granito que sirve como base para el templo, mientras que en su interior se aprovecha una cueva natural para la creación de un sepulcro que se expandió y adornó con nichos tallados a mano. Esta subestructura tiene gran importancia porque es un ejemplo claro de la armoniosa arquitectura de los incas, pues en lugar de aplanar un terreno y hacer una edificación, construían alrededor del paisaje haciéndolo parte de la arquitectura²².

22. Discovery Channel. Documental *Megaestructuras Machu Pichu*. 2007. Discovery Channel

LAS PAGODAS JAPONESAS



Imag. 38. Típica pagoda Japonesa

El diseño y la construcción históricos en Japón se han desarrollado por lineamientos muy diferentes de los de las grandes estructuras de mampostería de Occidente. La estructura típica consiste en un marco de madera, con grandes aleros colgantes para proteger del deterioro la estructura de madera. En oposición a la leyenda, los templos y castillos tradicionales japoneses han sufrido daños y pérdidas considerables por terremotos, y la historia de su arquitectura está repleta de comentarios sobre reconstrucciones y reparaciones.

El daño se debió a los inmensos y pesados techos de teja, ya que constituían una masa pesada en la parte superior del edificio. Sin embargo, aunque este programa persiste aún hoy en las casas de marco de madera ligero con techos de teja, la estructura residencial tradicional puede soportar grandes deformaciones antes de colapsarse.

Para explicar este fenómeno, en 1939, en la Universidad de Tokio se llevaron a cabo pruebas a escala natural de un modelo de un solo piso. El modelo colapsó cuando la deflexión de elementos verticales debida a cargas laterales llegó a 17.5 centímetros por metro de altura de los elementos, o casi 60 centímetros en una estructura de 3 metros de alto.

Es aquí cuando surge la duda de cómo han logrado las pagodas japonesas resistir a través de los años, y aunque por fuera las pagodas japonesas no tienen mucha diferencia de las del resto de Asia, su composición las convierte en una de las primeras obras maestras de ingeniería civil de la humanidad, ya que han logrado resistir los fuertes sismos que ha sufrido Japón a lo largo de su historia.

En primer lugar tenemos el factor de que sus materiales de construcción fueron adaptados. Mientras que en el resto del continente la tradición era construir las pagodas con piedra, en Japón se construyeron enteramente de madera desde el principio, tanto por cuestiones filosóficas como porque los edificios de madera eran más resistentes a los terremotos que los de piedra, debido a que un material flexible absorbe mejor las cargas sísmicas. Cuando la madera se somete a una fuerza, ésta puede doblarse y deformarse sin llegar a romperse, y logrando regresar a su forma original al cesar la fuerza.

Por otro lado, las piezas de madera que conforman la estructura se unen entre sí sin utilizar ningún clavo, únicamente mediante la inserción de extremos finos y tallados en ranuras, brindándole aun más flexibilidad, de tal modo que cuando la tierra se mueve, las articulaciones de madera tienen cierta holgura para torcerse y rozarse entre sí, eliminando en parte la rigidez.

También el tamaño y la forma de las pagodas se vieron modificados, pues en China las pagodas eran estructuras de forma octogonal, con grandes dimensiones y cierta funcionalidad, mientras que en Japón pasaron a tener forma cuadrada reduciendo las plantas, de tal manera que el edificio terminó por convertirse en torre.

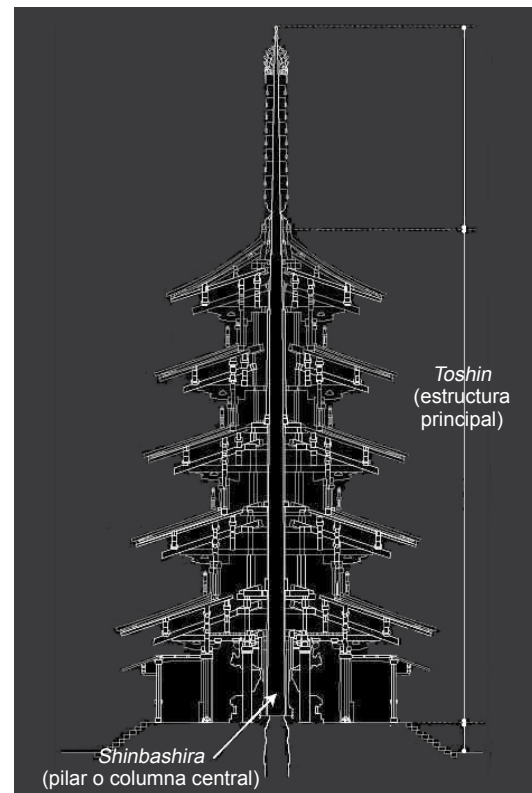
Otra característica importante es la estructura en capas de la pagoda, ya que las plantas individuales de la pagoda no están realmente unidas entre sí, sino simplemente apiladas una encima de otra, además, un detalle apenas perceptible es que cada piso es más pequeño que el de abajo y los aleros son anchos y pesados, parecido a la copa de un pino, actuando como ramas estabilizadoras en caso de que el edificio comience a balancearse.

Pero tal vez el punto más importante de la resistencia poco común de las pagodas se basa en una peculiaridad de su construcción: el uso de una columna central independiente de los marcos estructurales circundantes, suspendida como péndulo del extremo superior de la pagoda²³.

Esta técnica se desarrolló en el siglo XVII con el fin de eliminar la diferencia entre la pequeña contracción de la columna central en su sentido longitudinal y la gran contracción de las vigas y traveses circundantes en el sentido transversal a sus fibras. En la figura se ilustra la construcción de la pagoda de cinco pisos. Sin embargo, hay muchos ejemplos de pagodas en que la columna central se apoya directamente en el suelo o está soportada por una viga en el segundo piso como en la pagoda de tres pisos de la figura por lo que, no se puede inferir que el buen comportamiento sísmico de las pagodas se debe totalmente a la columna central en forma de péndulo.

Sobre estas estructuras Glenn Berg ha comentado:

“Las pagodas son estructuras relativamente flexibles, y tienen períodos naturales que fluctúan de 1 a 1.5 segundos, mismos que son considerablemente mayores que los períodos de la mayoría de las otras estructuras de Japón y más largos que el período dominante del movimiento del suelo en los terremotos japoneses. Las estructuras de madera son relativamente ligeras y por tanto absorbe menores fuerzas de inercia que otros tipos de estructuras. Pero su notable capacidad para soportar terremotos se debe atribuir en gran medida a su amortiguamiento estructural, ya que cualquier deformación de una pagoda va acompañada por la fricción de deslizamiento de madera sobre madera en las superficies de contacto de las juntas de madera.”*



Imag. 39. corte de una pagoda japonesa

A partir de esto, el profesor Tanabashi, de la Universidad de Kioto, resume un conjunto de causas del buen comportamiento de la pagoda, en términos muy parecidos a los de Gen Berg, señalando cuatro aspectos fundamentales:

1. El período natural de la pagoda es muy largo (entre 1 y 1.5 segundos) en comparación con otras estructuras tradicionales, y por lo general es mucho más largo que el período del suelo.
2. Las pagodas tiene suficiente resistencia para soportar fuerzas laterales considerables.
3. Las pagodas pueden sufrir grandes deformaciones antes de fallar.
4. Las pagodas poseen un gran amortiguamiento estructural.

Según el profesor Tanabashi, estas cuatro características representan una especie de comportamiento ideal para la resistencia sísmica. El material y el diseño permiten una estrategia análoga a la del edificio a base de marcos dúctiles actuales.²⁴

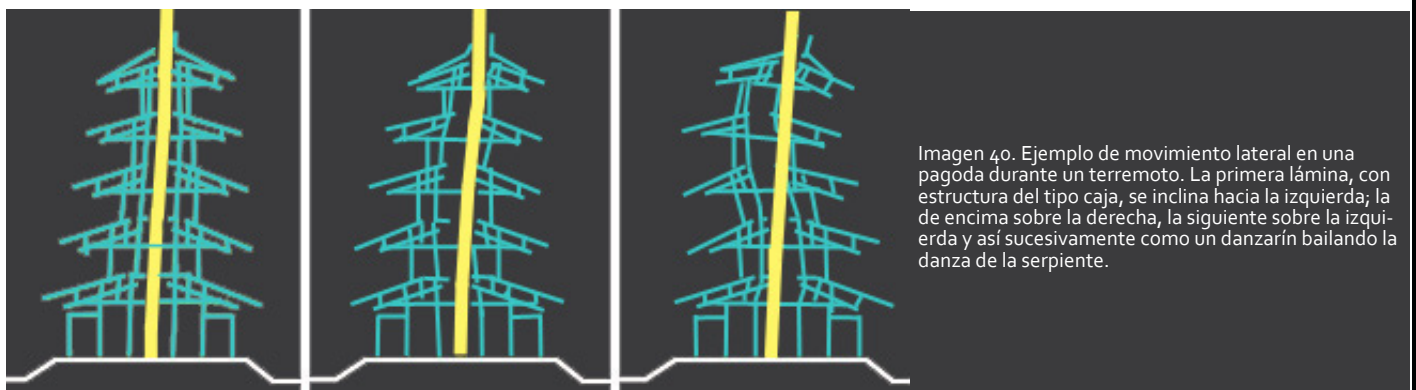


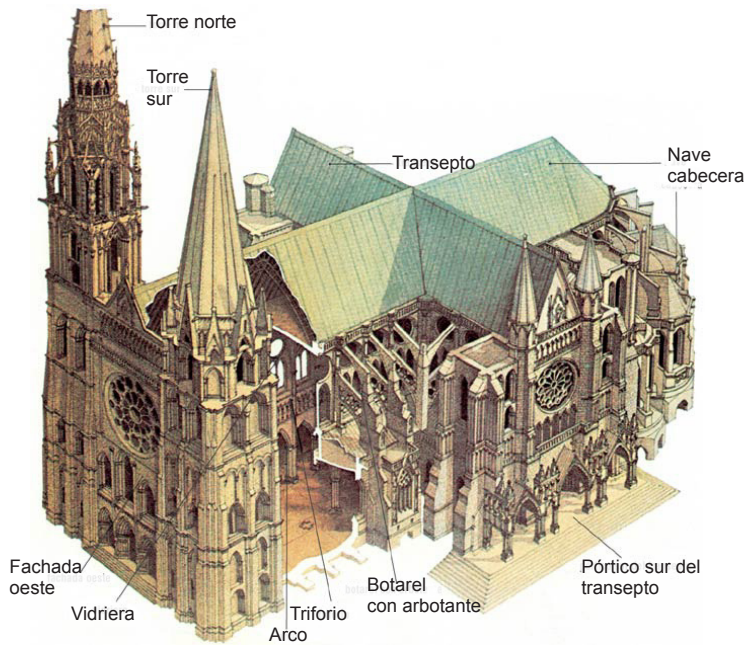
Imagen 40. Ejemplo de movimiento lateral en una pagoda durante un terremoto. La primera lámina, con estructura del tipo caja, se inclina hacia la izquierda; la de encima sobre la derecha, la siguiente sobre la izquierda y así sucesivamente como un danzarin bailando la danza de la serpiente.

23. Alberto Moreno. ¿Por qué las pagodas no se caen con los terremotos?. 9 de marzo 2012. Blog Internet: <http://www.volver.asia/2012/03/pagodas-resisten-terremotos.html>

24. Arnold, C. y Reitherman, R. (1991). Manual de configuración y diseño sísmico de edificios. México, D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V. Tomo 2 Págs. 196-198

*Todos los conceptos mencionados en este punto se explican con detalle en el capítulo 3

EL GÓTICO



Imag. 41. Catedral gótica

Desde hace mucho tiempo las catedrales medievales han sido apreciadas por su expresión estructural; el audaz y claro sentido estructural en una catedral gótica se cita como una de las características claves que distinguen a la arquitectura gótica de la imagen más "estática" de la arquitectura clásica.

Los edificios góticos eran impresionantemente altos, el contraste entre el laborioso concepto estructural de la pirámide junto a la atrevida creatividad que subyace en el diseño y construcción de las agujas y cúpulas góticas, pone de relieve una de las razones de por qué se piensa en "estructura" cuando se menciona el "gótico". Otra razón principal para esta identificación es tal vez la penetrante acción recíproca estructural-estética, que es más obvia en la arquitectura gótica que en otras tradiciones.

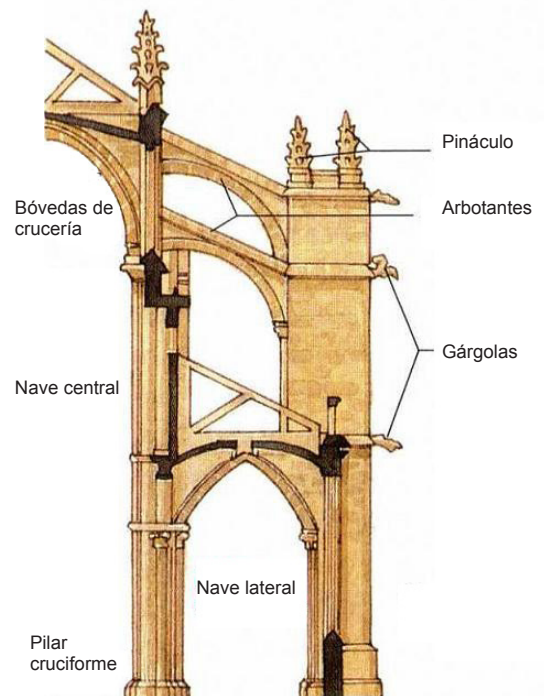
A lo largo de los siglos XIX y XX el arte gótico ha sido objeto de enfrentamientos doctrinales que han llevado a interpretaciones totalmente contrapuestas. La máxima confrontación se ha producido entre la escuela alemana y la escuela francesa. La primera se caracteriza por una interpretación espiritualista que considera al gótico como expresión del alma nórdica, opuesta a la mediterránea, y en consecuencia contraponiendo arte gótico a arte clásico. La concepción germana del gótico presta atención a los llamados fenómenos góticos y no tanto a los medios técnicos para su realización. Las formas únicamente interesan en función de su significación mental.

Frente a esta escuela, la francesa se caracteriza desde los planteamientos de Viollet le-Duc por poner el acento en la técnica de los procedimientos de construcción y en sus expresiones formales. Sus autores han defendido la teoría funcional, según la cual la forma de los edificios, su evolución y sus filiaciones se hallan estrechamente ligadas al desarrollo lógico de sus elementos constructivos tales como el arco apuntado, la bóveda de crucería y el arbotante, sin los cuales la arquitectura gótica no se hubiera podido realizar.

El resultado de esta controversia es que en la arquitectura se han diferenciado claramente tres puntos de vista: la lógica funcional o de los aspectos técnicos, la lógica visual o de las formas, y la lógica simbólica o de los significados, llegando finalmente al reconocimiento de que son tres aspectos totalmente interdependientes.

Aunque tanto los edificios góticos como los clásicos se apoyan en la masa para que sus estructuras de mampostería no reforzada permanezcan unidas entre sí, en los góticos se aprecia el esfuerzo para reducir significativamente la masa empleada, mediante técnicas de racionalización como los contrafuertes, los ápicos y arcos modelados de manera más eficiente.

La imagen estructural más característica de la catedral gótica es la del aligeramiento del muro, que se logra al girarlo en ángulo recto para formar contrafuertes. Dichos contrafuertes son a su vez soluciones estructurales auténticas y formas arquitectónicas exitosas y evocativas, y es un poco sorprendente notar la magnitud del cambio estético que ocurrió cuando la cubierta exterior muy "limpia" empleada anteriormente se le agregaron pronunciados contrafuertes articulados para absorber los empujes laterales de arco.



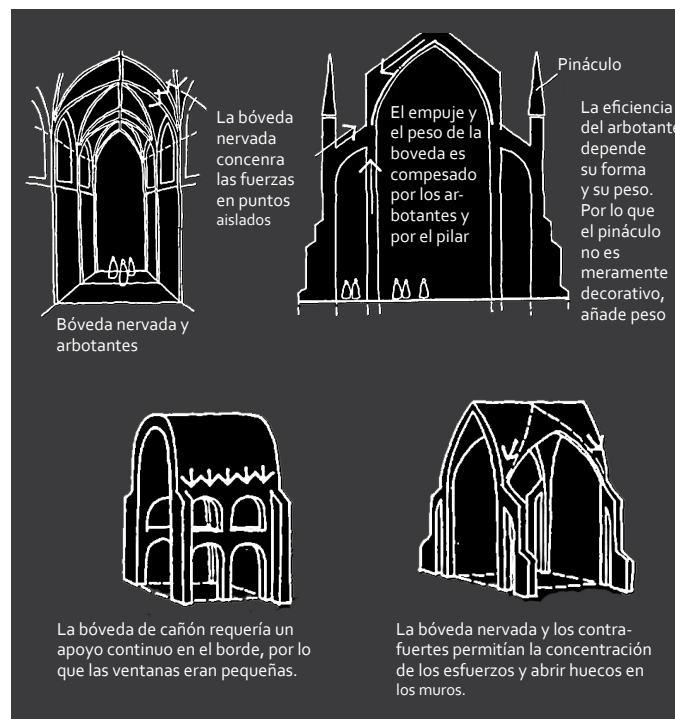
Imag. 42. Contrafuerte exterior

Pero profundizando más en el análisis de los elementos de la arquitectura gótica según la escuela francesa, Violet le-Duc formuló ya en el siglo XIX la teoría de los tres elementos esenciales del estilo gótico en arquitectura: el arco apuntado, la bóveda de crucería y el arbotante, configurando de esta manera una caracterización puramente técnica y funcional de la nueva arquitectura.

Todos estos elementos han sido cuestionados por la crítica a su escuela en algún momento, como por ejemplo el arco ojival, que ya había sido usado antes en la arquitectura europea occidental. Pero, ha sido la bóveda de crucería el elemento sobre el que más se ha especulado desde el punto de vista funcional y plástico; esta bóveda podría definirse como una bóveda de aristas que ha sido reforzada por dos nervios diagonales cruzados en la clave, enmarcada transversalmente por arcos perpiaños y longitudinalmente por arcos formeros. En los primeros momentos del gótico determina un tramo cuadrangular (segunda mitad del XII) posteriormente se empieza a usar un nervio transversal que divide la plementería en seis partes, pero la renuncia a la alternancia de soportes que suponía la bóveda de crucería sencilla, generalmente configurando un tramo más ancho que profundo. Según Violet le-Duc el peso de la plementería es soportado por los nervios y desviado en dos direcciones, una vertical que los nervios concentran en los cuatro ángulos y desplazado hacia el suelo a través de las columnilla adosadas a los pilares; y otra lateral, que en románico era sujetado por los contrafuertes y las tribunas, y que el gótico sustituye en el período clásico por arbotantes o arcos exteriores lanzados oblicuamente en el aire, por encima de las naves laterales. Quedaría así configurada una estructura en la que el muro no resulta más que un elemento de relleno y puede ser sustituido por vidriera.



Imag.43 Bóveda de crucería



Imag. 44. Eficiencia de la estructura gótica

Desde luego esta interpretación funcional ha sido puesta en duda en varias ocasiones, pero a pesar de ello, es innegable que muchos de sus principios no han perdido su vigor. Se ha defendido que los nervios de la bóveda de crucería realizados en piedra sillar bien tallada han constituido una mejor constructiva, un hallazgo que evitaba el uso de los costosos andamiajes y cimbras de madera. Se ha destacado sobre todo la eficacia de la estructura de tramo, la célula elemental del edificio gótico, que se puede multiplicar sin ninguna limitación en extensión, se insiste en que el tramo es un dodo orgánico con elementos independientes y muy jerarquizados.

Cabe mencionar que también Pierre Lavedan propone que el gótico puede caracterizarse por el impulso en altura de la arquitectura y por el naturalismo de la decoración monumental.

Lo que es claro es que, con el gótico la arquitectura vuelve a tener las facilidades de expresión que tenía con las cubiertas de madera, al mismo tiempo que se resuelve otro de los problemas pendientes de la arquitectura románica: el de la iluminación del espacio interior.²⁵

25. Torres Zapata, Manuel. *Trabajo El arte gótico*. Págs. 3-12. sitio web: <http://arteenelvalle.wikispaces.com/file/view/G%C3%93TICO.pdf>

LA ARQUITECTURA DE GAUDÍ

La excelencia en la creatividad arquitectónica de Gaudí se basa en la combinación perfecta entre el buen oficio constructivo y una visión estructural profunda con una sorprendente investigación geométrica de formas, transformaciones y operaciones espaciales. Su genialidad fue en gran parte el resultado de un análisis geométrico profundo y de una investigación espacial sin precedentes en el mundo de la arquitectura.

Gaudí limitó su interés geométrico a lo necesario, y nunca dejaba de sorprenderse cuando lo que encontraba era innovador: « Mis ideas estructurales y estéticas son de una lógica "indisputable". Me ha dado mucho que pensar el hecho de que no hayan sido aplicadas antes, el que tenga que ser yo el primero en hacerlo. Eso sería lo único que, en todo caso me haría durar. No obstante, creo que, convencido del perfeccionamiento que representan, tengo el deber de aplicarlas».

Hay que destacar que Gaudí utilizaba el término «indisputable» en el sentido de «indiscutible». Esa firme defensa de sus resultados es la clave a partir de la cual podemos empezar a entender su trabajo a partir del año 1883 y el resultado de su legado: la obra final es siempre el fruto de una profunda reflexión experimental geométrica guiada por la funcionalidad, las posibilidades de construcción y la estructura que darán sentido arquitectónico a la creación.

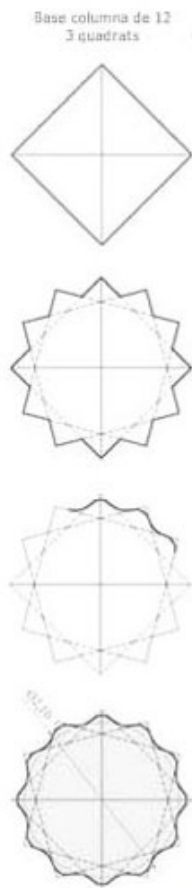


Imagen 45. Columnas de la Iglesia de la Sagrada Familia. Barcelona, España

Para Gaudí hacer un proyecto de arquitectura era desarrollar y ejecutar una obra «íntegramente», cuidarse de todos los aspectos, hasta los detalles más mínimos. La acústica, la iluminación, la higiene, la ventilación, los cierres, la decoración, el mobiliario, etcétera, todo podía concebirse e integrarse en el proyecto. Aquí Gaudí puso en práctica el profundo conocimiento que tenía de los oficios relacionados con la arquitectura de su tiempo, desde el de picapedrero hasta el de albañil, sin olvidar a los ceramistas, los herreros, los pintores, los modelistas, los fundidores, los jardineros, etc.

La falta de documentación escrita directamente por Antonio Gaudí hace que, para saber cuáles fueron los puntos de vista sobre arquitectura que utilizó para proyectar y construir su importante y vasta obra, haya que recurrir a la expresividad de las propias formas y a los testimonios de sus discípulos y colaboradores.

Siguiendo esas fuentes, pues, encontramos lo que Cesar Marteinell, uno de sus discípulos, denomina como la ruta «Verdad, Estructura, Belleza», el camino simbólico que intentó recorrer Gaudí a lo largo de su vida de arquitecto. Si analizamos ese recorrido, vemos que en la Verdad previa a la Estructura, el arquitecto sitúa las cargas, los sistemas de cálculo y recurso constructivos.

En cuanto a las cargas, la Verdad histórica le aporta sólo las verticales como actuantes y, en consecuencia, «el factor horizontal» tan sólo se encuentra en los empujes que pueden generar los arcos y las bóvedas. Curiosamente, al principio Gaudí resuelve el problema por partes y con timidez; en cambio, en su obra final, la Sagrada Familia, lo hace de forma plena y rotunda, invirtiendo la imagen del gótico, sin duda el estilo que representa el punto de partida estructural de su arquitectura. En efecto: Gaudí da la vuelta a la imagen gótica de una estructura «estrecha» en la parte más alta (la bóveda) que se ensancha hacia abajo mediante los contrafuertes y los arbotantes, y plantea unos pilares que se abre en ramificaciones sucesivas hacia arriba haciendo una especie de figura invertida del gótico.



Imag. 46. Iglesia de la Sagrada Familia. Barcelona, España

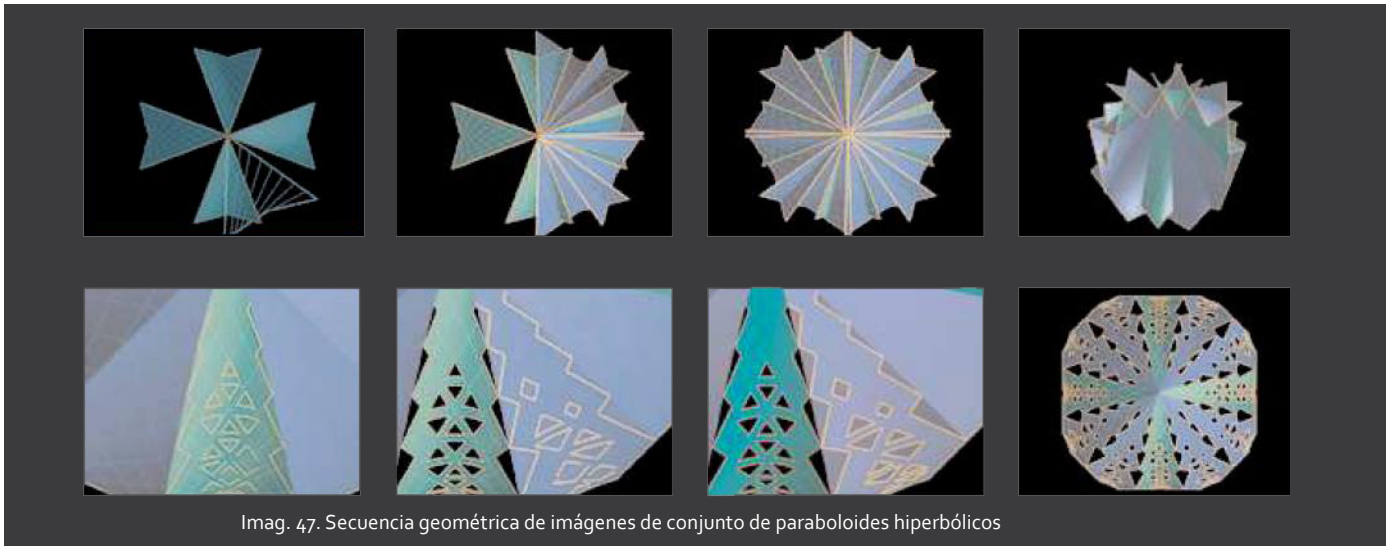
Gaudí representó un camino especial que se resumen en el pensamiento siguiente: si existe una posición de equilibrio interno para la estructura, ésta es la que utilizará la estructura para resistir. Para entender esto: cuando dimensionamos una viga, ésta se sostiene siempre que pueda encontrar una posición de equilibrio compatible con su capacidad resistente. Gaudí planteó eso mismo en estructuras mucho más complicadas que una viga, incluso - y plenamente - en algunas complejísimas estructuras como las de la Sagrada Familia.

Gaudí no tuvo en cuenta las acciones horizontales, pero cuando proyectó y construyó las torres del Nacimiento las dotó de secciones que hacían posible el equilibrio sin contrafuertes, a pesar de la acción del viento.

Si nos fijamos en los recursos constructivos - uno de los tres elementos previos a la verdad estructural del catálogo del gran arquitecto -, serían, desde las primeras obras - el Palau Güell, por ejemplo -, la fábrica en los muros, las pilastras y las bóveda, la piedra natural de los pilares, el hierro de los pilares y las jácenas, y la mampostería como mortero de cal de los muros y los macizos de los cimientos.

El individualismo de Gaudí y, como resultado, su alejamiento del camino que siguió la arquitectura en el siglo XX se caracterizaron por la complejidad de las formas que crea, a las que aplica los sistemas constructivos mencionados, a veces forzándolos hasta el límite. Esa complejidad se refleja en la forma en que utilizaba la geometría. Hasta entonces se habían utilizado desde la forma más sencilla del plano hasta las curvas de los cruceros de las naves, pero siempre eran variaciones en torno al arco y la bóveda como elementos básicos. Ése había sido, desde el Partenón hasta la catedral gótico o las cúpulas renacentistas, el camino de la arquitectura. Gaudí incorporó figuras geométricas mucho más complejas, y con esas formas definió la novedad de sus espacios. Así el paraboloides hiperbólico y el hiperboloides de revolución son elementos característicos de su arquitectura. No obstante, ese aumento de la complejidad de las formas fue siempre acompañado del mantenimiento de las superficies regladas, que le permitían apoyarlas con generatrices o directrices comunes.²⁶

Hasta el día de hoy la arquitectura Gaudiana forma un apartado sustancial en el patrimonio arquitectónico mundial, digno no sólo de admiración sino de un detallado análisis de sus formas.



Imag. 47. Secuencia geométrica de imágenes de conjunto de paraboloides hiperbólicos

26. Daniel Giralat-Miracle . "Gaudí: La búsqueda de la forma". 2002. Lunweg Editores S. A. Barcelona Págs. 27-54

CAPÍTULO

9

ELEMENTOS Y SISTEMAS ESTRUCTURALES

Material
Factores que Afectan Un Edificio Durante Un Sismo
Sistemas Resistentes
Cimentaciones De Estructuras Sismo Resistentes

Habiendo mencionado en el Capítulo uno algunos de los aspectos básicos de la naturaleza de los sismos, también tendremos que revisar algunos de los principios básicos de la resistencia sísmica de los edificios, pues como hemos visto, todas las características que presentan los sismos, terminan asumiéndose como fuerzas externas que afectan incluso a los edificios mejor construidos, sin que estos tengan ningún control sobre ellas. De allí que factores como: la forma del edificio, sus materiales de construcción, sus características sísmicas y desde luego un diseño estructural de calidad, influyan sobremanera en la forma en que el edificio responda a dichas acciones.

MATERIALES

Los materiales de construcción son uno de los puntos fundamentales dentro del diseño arquitectónico, tanto en cuestiones de acabados como de resistencia estructural. En la actualidad las investigaciones sobre el comportamiento de los materiales, ofrecen al arquitecto nuevas alternativas de construcción, que se adapten a las necesidades del proyecto.

Para el caso de esta tesis, resultaría excesivo hacer un listado de todos los materiales de construcción existentes, por lo que en este apartado buscaré explicar de manera sencilla algunas de las propiedades y características de los principales materiales estructurales, y con ello, entender en qué casos resulta más apropiada su aplicación.

Lo primero que debemos saber en lo que a materiales estructurales se refiere, es que cuentan con dos tipos de propiedades: las estructurales esenciales y las generales²⁷.

Las propiedades estructurales esenciales son:

- Resistencia: Puede variar para los diferentes tipos de fuerzas, en diferentes direcciones, en diferentes edades o en diferentes valores de temperatura o contenido de humedad.
- Resistencia de deformación: Grado de rigidez, elasticidad, ductilidad; variación con el tiempo, la temperatura, etc.
- Dureza: Resistencia al corte de la superficie, raspaduras, abrasión o desgaste.
- Resistencia a la fatiga: Pérdida de la resistencia con el tiempo; fractura progresiva; cambio de forma con el tiempo.
- Uniformidad de la estructura física: Vetas y nudos en la Madera, agrietamiento del concreto, planos cortantes en la roca, efectos de cristalización en los metales.

Las propiedades generales son:

1. Forma: Natural, remoldada o reconstruida.
2. Peso: Como contribuyente a las cargas gravitacionales de la estructura.
3. Resistencia al fuego: Combustibilidad, conductividad, punto de fusión y comportamiento general a altas temperaturas.
4. Coeficiente de expansión térmica: Relacionado con los cambios dimensionales debidos a variaciones de temperatura; crítico cuando se acoplan diferentes materiales, como en la laminación, el concreto reforzado o columnas recubiertas.
5. Durabilidad: Resistencia al clima, pudrición, insectos y desgaste.
6. Facilidad de trabajo: En la producción, moldeado, ensamble, modificación.
7. Apariencia: Natural o modificada.
8. Disponibilidad y costo

En cualquier función estructural específica, muy raras veces un solo material resulta superior en todos aspectos y, a menudo tienen que categorizar las diversas propiedades, según su importancia.

Teniendo claros estos conceptos, a continuación hablaremos sobre las ventajas y desventajas de 5 de los materiales más usados para el diseño estructural: Acero, concreto, madera, piedra y adobe (tierra)

27. Balboa Blanco, Carolina Elena. Documento final de Servicio Social *Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después*. 2006. Págs. 57-58

ACERO

El acero dentro de las estructuras se encarga principalmente de soportar los esfuerzos de tracción. Se usa en gran variedad de tipos y formas para casi cualquier edificio.

Desde las enormes columnas hasta los pequeños clavos, el acero es el más versátil de los materiales estructurales comunes, el más fuerte, el más resistente al envejecimiento y, generalmente, el más confiable en cuanto a calidad. El acero es un material completamente industrializado y está sujeto a estrecho control de su composición y de los detalles de su moldeo y fabricación, aunado a otras cualidades como la de no ser combustible, no pudrirse y ser estable dimensionalmente con el tiempo y los cambios de temperatura.

Aunque el material en volumen es costoso, el acero se puede usar en pequeñas cantidades debido a su gran resistencia y a sus procesos de moldeo, los cuales lo hacen competitivo con materiales de menor costo en volumen.

Dos desventajas principales del acero para estructuras son inherentes al material. Estas son su rápida absorción de calor y la pérdida de resistencia, que se produce cuando se expone al fuego, y su corrosión cuando se expone a la humedad y al aire (o a condiciones corrosivas).²⁸

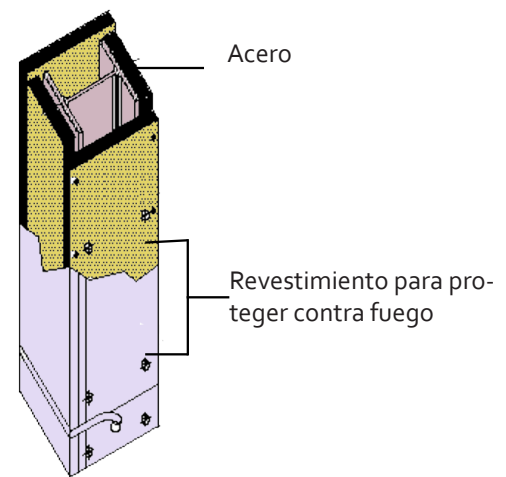
El revestimiento de marcos de acero con concreto fue un medio común para lograr su protección contra el fuego. Esto se hace aún en algunos casos en que se usan losas o muros de concreto junto con marcos de acero. Sin embargo, ahora es más común rodear la estructura de acero con construcción de mampostería, aplanados, elementos prefabricados de cartón y yeso o algún otro material resistente al fuego.

El bajo peso, propio de una estructura de acero frente a otros materiales, le permite tener mejores propiedades para rebatir las fuerzas sísmicas, sin embargo, en el diseño de las mismas deben considerarse especificaciones especiales para minimizar ese riesgo. Los sismos de Northridge -California (1994) y Kobe-Japón (1995), fueron un parte aguas en la normatividad mundial, que permitió se establecieran distintos niveles de desempeño según las intensidades de los sismos. Para compartir las investigaciones acerca del comportamiento de las estructuras en acero frente a estos sismos los científicos estudiosos del tema crearon el congreso internacional "Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA".²⁹

Un ejemplo del comportamiento de este material, pudo apreciarse en el último terremoto de Chile en 2010 donde las estructuras industriales de acero tuvieron un comportamiento superior a otras soluciones constructivas, al igual que en el caso de las construcciones livianas tipo Steel Framing que tampoco sufrieron daños, dado su muy bajo peso y su alta resistencia.



Imag. 48. Alcances del acero en la construcción



Imag. 49. Protección del acero



Imag. 50 Casa de Acero en Arizona, Estados Unidos Americanos

²⁸. IDEM. 58-59

²⁹. Información presentada en el Congreso de STESSA: www.cec.uchile.cl/~stessa2012/

CONCRETO



Imag. 51. Panteón de Roma. Una de las primeras construcciones de concreto sin refuerzo de acero

Se denomina concreto a una mezcla en la cual, una pasta de cemento y agua liga los materiales conocidos con el nombre de agregados y forma un conglomerado que endurece conforme progresa la acción química del agua sobre el cemento.

Una de las principales virtudes del concreto es poder adoptar formas distintas, a voluntad del proyectista. Al colocarse en obra es una masa plástica que permite rellenar un molde, previamente construido con una forma establecida, que recibe el nombre de encofrado.

El concreto armado es aquel en el que se han incluido armaduras o varillas de fierro para formar un solo cuerpo desde el punto de vista mecánico. El concreto por sí sólo, tiene características pétreas que le ayudan a soportar bien esfuerzos de compresión, pero se fisura fácilmente pues es incapaz de formar piezas que resistan otro tipo de esfuerzos como flexión, tracción, torsión o cortante; la inclusión de varillas metálicas que soportaran dichos esfuerzos propició optimizar sus características y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura.

Sirve como material en la construcción principalmente en aquellas partes de la obra que reciben y transmiten cargas (cimientos, columnas, traveses, losas, pesas y muros) y como material para fabricación de productos constructivos como mosaicos, tubos, bloques, y otros.³⁰

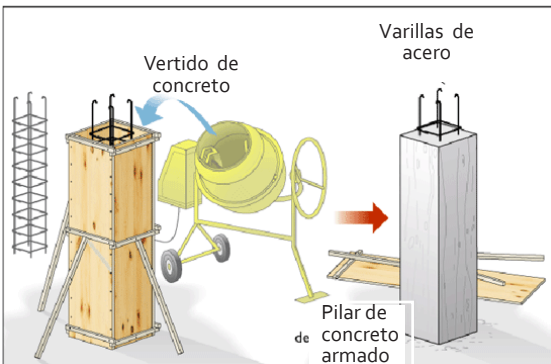
Las principales ventajas que ofrece el concreto como material de construcción, son:

- Bajo costo de fabricación y conservación; y adaptación a cualquier forma.
- Alta resistencia al desgaste en toda clase de pavimentos.
- Rapidez de ejecución
- Resistencia al fuego.

En la actualidad la construcción en concreto ha proliferado en todo el mundo y México no es la excepción. En lugares como nuestro país, que presentan gran actividad sísmica, resulta indispensable que si se va a construir con éste material las obras sean de concreto reforzado, haciéndolas capaces de resistir los embates de estos fenómenos naturales. Para ello, según explica en el artículo "Concreto y terremotos" el Ingeniero Civil Mauricio Gallego Silva, es necesario tener control total sobre cinco variables fundamentales:

1. Rigidez
2. Masa
3. Resistencia
4. Ductilidad
5. Peligro sísmico

Dichas variables se explican con mayor detalle en los capítulos 3 y 4.



Imag. 52. Proceso de elaboración del concreto armado.



Imag. 53. MUAC. Ciudad Universitaria, México D. F.

30. Ibalboa Blanco, Carolina Elena. Documento final de Servicio Social *Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después. 2006*. Págs. 59-60

MADERA

La madera de construcción es aquella que se utiliza en la producción intensiva de elementos estructurales como vigas, tableros, etc. o para la realización de estructuras portantes de un edificio, como techos, paredes, escaleras, etc. Teniendo diferentes funciones que la madera de carpintería, conviene que estas maderas sean de rápido crecimiento, baratas y no necesariamente de una alta calidad. La tendencia actual se orienta a la utilización de coníferas, maderas livianas, blandas y de bajo peso propio³¹.

Estas estructuras adoptan, por lo regular, cualquiera de dos formas³²:

1. La construcción con marcos ligeros: Utiliza miembros delgados muy cercanos entre sí para formar muros, pisos y techos en un sistema llamado construcción con estructura de plataforma, siendo su principal ventaja su economía y flexibilidad. Se utiliza mucho para viviendas unifamiliares y multifamiliares, más que para edificios de apartamentos de poca altura y estructuras comerciales pequeñas. Como este sistema se fabrica en gran parte en el sitio y los miembros estructurales son pequeños, es particularmente adecuado para usarse en casos en que se requieren distribuciones poco comunes o formas irregulares. La construcción con estructura de plataforma incorpora, de una manera fácil y discreta, a los sistemas mecánicos y a otras instalaciones del edificio.
2. La Construcción con madera pesada: Utiliza miembros más grandes dispuestos con un sistema de postes y vigas. Se caracteriza por su elevada resistencia al fuego (tiene un resistencia al fuego sustancialmente más alta que el acero aparente), gran capacidad de carga y las cualidades estéticas únicas de la estructura de madera aparente. Los miembros estructurales para este tipo de construcción pueden ser de madera maciza o de madera laminada unida con pegamento. Se utilizan estructuras de madera pesada para edificios comerciales e industriales de poca altura y en la construcción residencial. Como los miembros estructurales son por lo regular, prefabricados, el tiempo de construcción en el sitio suele ser muy corto con este sistema. Sin embargo, las dimensiones más grandes de los miembros estructurales hacen que este sistema sea menos adecuado que la estructura de plataforma, en edificaciones de forma o distribución muy irregular.

Ambas se pueden combinar con estructuras de mampostería para obtener un incremento en la resistencia al fuego y la capacidad de carga.



Imagen 54. Madera de construcción



Imagen 55. Construcción con marcos ligeros



Imagen 56. Construcción con madera pesada

31. Arq. Martínez, Cecilia. *La Madera como material de construcción*. <http://www.herrera.unt.edu.ar/fauunt/publicaciones/estructuras2/madera/madera.htm>
 32. Jiménez, Katia. Artículo *Duración de la madera*. Sitio Archys: <http://www.archys.com/contenidos/madera-construccion.html>

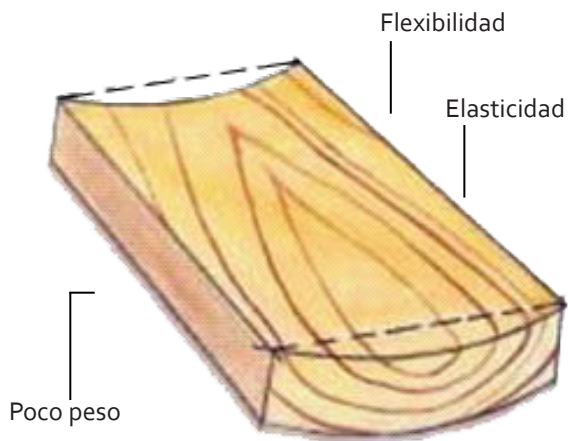


Imagen 57. Propiedades de la madera en la construcción



Imagen 58. Casa de madera con base de piedra que funciona como aislamiento



Imagen 59. Deforestación de grandes bosques

Gracias a sus propiedades de flexibilidad, elasticidad, y poco peso, la madera tiene un comportamiento excepcional en zonas sísmicas, pues posee una gran capacidad para absorber energía y resiste mejor las cargas de impacto ocasionadas por temblores. Además, ya que una estructura de madera puede ser 5 veces más liviana que una de concreto, la inercia de todo el edificio se reduce en gran escala, evitando la aceleración de la estructura y finalmente su colapso.

Si revisamos las construcciones tradicionales de varios estados de la República Mexicana, observamos el uso de la madera como recurso estructural y la gran mayoría han probado su eficiencia soportando frecuentes impactos de los terremotos que se generan en algunos de los estados de mayor actividad sísmica, como Oaxaca y Guerrero.

En principio el costo de la madera es bajo, Debido a la ligereza del material, se ahorran energéticos en los procesos de elaboración y en el costo de transporte de los elementos, con respecto a los costos correspondientes de otros materiales y sistemas constructivos. Desde luego esto varía dependiendo del tipo de madera que se desee utilizar así como la demanda de cada lugar (país, estado, ciudad, etc.)

Existen algunos prejuicios sobre el uso de la madera y uno de los más comunes tiene que ver con la resistencia del material frente al fuego, desconociendo que a pesar de ser altamente combustible, también es mal conductor de calor; lo que implica que un miembro de madera de proporciones robustas conserva su capacidad de carga en un incendio durante mayor tiempo que uno de acero de igual resistencia. Esto sucede porque, aunque en el exterior la madera se esté carbonizando, su periferia se vuelve carbón y actúa como aislante, ad diferencia del acero que al calentarse pierde rigidez y colapsa.

Otro defecto podría ser el que se presenta con la humedad, pues conduce generalmente a problemas de hongos e insectos, terminando por deteriorar el material. Frente a esto son claros los mecanismos de seguridad que hay que usar: Construir relativamente elevado del suelo de manera que las bases permanezcan aisladas de plantas y zonas pastosas, o utilizar barreras como telas asfálticas o polietileno entre la madera y los cimientos, para garantizar su impermeabilidad.

A pesar de tener tantas ventajas, hay tres factores fundamentales que han evitado el uso de la madera. El primero es la desinformación en cuanto al trabajo de la madera para la edificación, pues como ya se mencionó existen varios prejuicios al respecto. El segundo es el grave problema que implica la deforestación provocada por el uso excesivo de madera. Y finalmente, observamos que desde principios del siglo pasado, el acero y el concreto han acaparado el campo estructural, especialmente en las grandes ciudades.

PIEDRA

La piedra ha perdido importancia desde la aparición del concreto y el acero, debido a que este tipo de construcción requiere mucho más tiempo de ejecución. A pesar de esto aun se ve su presencia y no deja de ser un buen recurso para países empobrecidos gracias su altísima calidad, como en India donde se utiliza para muros y paredes de edificios.

La construcción con este material, al ser una técnica primitiva que emplea un elemento natural, consiste en la unión de piedras con o sin la aplicación de argamasas, y se utiliza para construir viviendas o edificios. En ellos, se puede emplear como elemento estructural portante, formando muros de carga, o bien revestimiento de cerramientos, exterior e interior.

Con la piedra, los elementos se pueden trabar por efecto de la gravedad (a hueso), empleando morteros, como el de arena y cal, cemento y arena, etc. En la variedad de aparejos o sistemas de colocación de piedras tenemos: sillería, sillarejo, mampostería, sistemas mixtos, etc., pero lo importante, es saber que la piedra resiste mejor los esfuerzos de compresión que los de tracción, siendo ideal para la realización de muros más que para planos horizontales amplios y aberturas. La mejor solución para este inconveniente, es el uso de cúpulas y arcos, donde se produce una distribución de cargas más equilibrada³³.

La durabilidad, la resistencia al fuego, el fácil mantenimiento y la inercia térmica y acústica son algunas de las ventajas de este material, además de que los procesos de elaboración o transformación de piedra suelen consumir menos energía que otros materiales.

Las desventajas de la están en la lentitud en el proceso constructivo, la presencia de humedades, la sobre explotación de muchas canteras y los altos costos que representa.

Para el caso de las zonas sísmicas, los daños que se pueden presentar en una estructura de piedra son básicamente tres:

- Separación de las paredes en las esquinas y las juntas-T.
- Separación de los bloques internos.
- Colapso del techo: Provocan la caída de las paredes o simplemente grandes agujeros.

Para evitarlos, los factores que se han de tener en cuenta son: las dimensiones, la calidad del mortero, la proporción de las aberturas en las ventanas y los refuerzos verticales de paredes.³⁴



Imagen 60. Stonehenge. Una de las obras más antiguas del mundo



Imagen 61. Unión de piedras por efecto de gravedad



Imagen 62. Casa de Piedra en Uruguay

33. Información de la Pág. Construmática: http://www.construmatica.com/construpedia/Construcciones_Sismoresistentes_en_la_Construcci%C3%B3n_para_el_Desarrollo

34. Autor anónimo. *Construcción en piedra*. Tomado del sitio: <http://www.bluebagages.com/construccion/construccion-en-piedra.php>

ADOBE

El uso de adobe es muy común en algunas de las regiones más propensas a desastres del mundo, tradicionalmente a lo largo de América Latina, África, el subcontinente de India y otras partes de Asia, el Oriente Medio y el Sur de Europa. Es un material de construcción de bajo costo y de fácil acceso al ser elaborado por comunidades locales. Este tipo de estructuras son generalmente de autoconstrucción, porque la técnica constructiva tradicional es simple y no requiere consumo adicional de energía, además de contar con propiedades térmicas y acústicas.

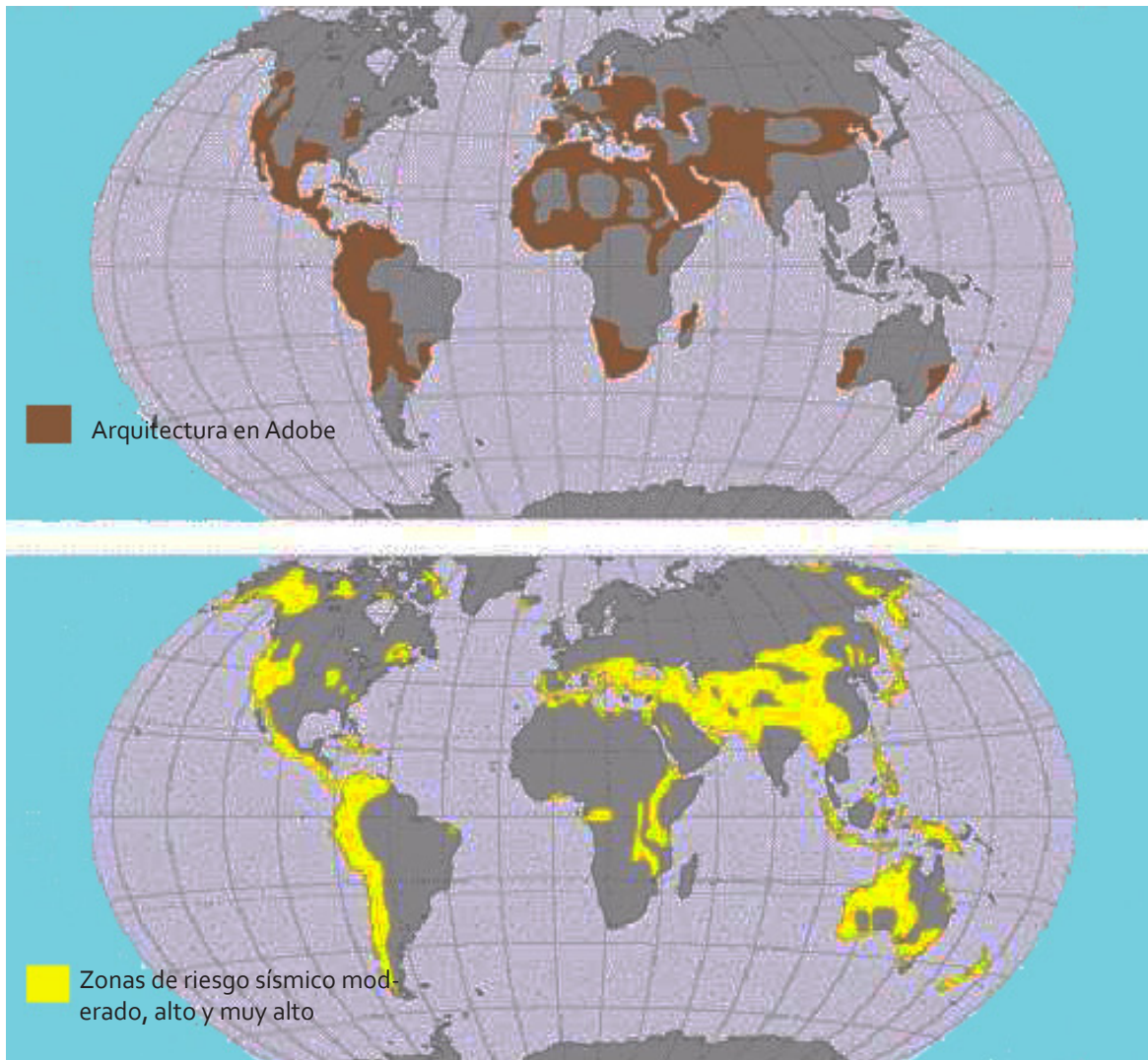


Imagen 63 a. Construcción de adobe vs zonas sísmicas en el mundo



Imagen 63 b. Casa de adobe en Cacahuatpec, Oaxaca después del sismo del 20 de marzo del 2012

Las estructuras de adobe por sí solas son vulnerables a los efectos de fenómenos naturales tales como lluvias, inundaciones y terremotos. Esta deficiencia se debe al elevado peso de la misma, a su baja resistencia y a su comportamiento frágil. Las fallas más comunes durante terremotos son: Severo agrietamiento y desintegración de muros, separación de muros en las esquinas y separación de los techos de los muros, lo que en la mayoría de casos lleva al colapso.

Sin embargo, basándose en los estudios de investigación y aplicaciones en campo, el adobe puede resultar una excelente opción para la construcción siempre y cuando se tomen en cuenta los puntos que se mencionan a continuación.³⁵

Los factores clave para el comportamiento sísmico mejorado de la construcción de adobe son:

1. Composición de la unidad de adobe y calidad de la construcción.
2. Distribución robusta.
3. Tecnologías constructivas mejoradas incluyendo refuerzo sísmico.

Uno de los principios esenciales de la construcción de adobe sísmo resistente es el uso de distribuciones en planta compactas y tipo caja. Las recomendaciones principales se resumen a continuación:

1. Construir casas de sólo un piso.
2. Usar un techo liviano y aislado en lugar de un techo de tierra pesado y compacto.
3. Disponer la distribución de muro para proveer soporte mutuo por medio de muros transversales, en intervalos regulares en ambas direcciones o usar contrafuertes.
4. Mantener los vanos de los muros pequeños y bien distribuidos.
5. Construir sobre una cimentación firme.

Los muros son los principales elementos portantes en una edificación de adobe. Algunas recomendaciones empíricas relacionadas a la construcción de muros resistentes a los terremotos son las siguientes:

1. La altura del muro no debería exceder ocho veces el espesor del muro en su base y en ningún caso debería ser mayor que 3.5 m.
2. La longitud sin arriostres de un muro entre muros transversales no debería exceder de 10 veces el espesor del muro, con un máximo de 7 m.
3. Los vanos no deberían exceder de un tercio de la longitud total del muro.
4. Ningún vano debería tener un ancho superior a 1.2 m
5. Proveer muros de 1.2 m de longitud mínima entre vanos.



Imagen 64. Recomendaciones para diseño de casas de adobe

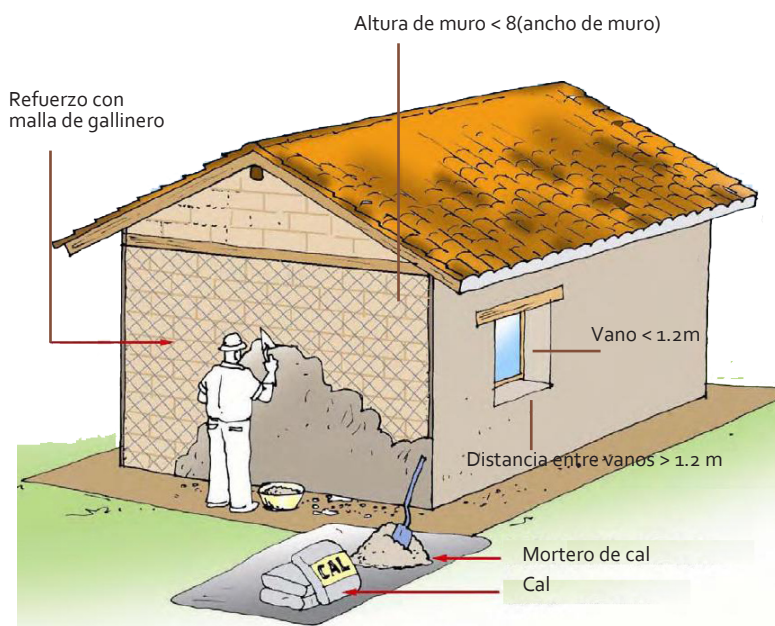
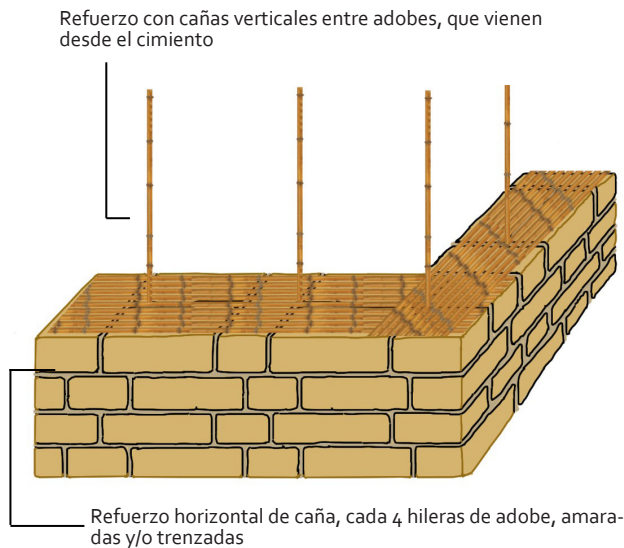


Imagen 65. Recomendaciones para diseño muros de adobe

35. Chuqimia, Haider y Quiunn. Abstract *Construcción Sismo Resistente en Adobe. Una Alternativa para Edificaciones Públicas* Págs. 1-2



Imag. 66. Colocación del refuerzo de caña

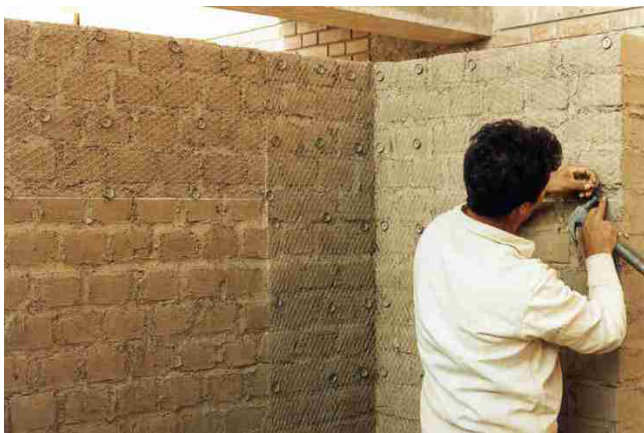


Imagen 67. Colocación del refuerzo de malla electrosoldada



Imagen 68. Uso de contrafuertes en una casa de adobe en Cuernavaca, Morelos

AVANCES EN EL REFUERZO DE CONSTRUCCIONES EN ADOBE

El reforzamiento puede hacerse con cualquier material dúctil, incluyendo: caña, bambú, junco, parra, sogá, madera, malla de gallinero, malla de púas o barras de acero. El refuerzo vertical ayuda a mantener la integridad del muro fijándolo a la cimentación y a la viga collar y restringe la flexión perpendicular al plano y el corte coplanar. El refuerzo horizontal ayuda a transmitir la flexión y las fuerzas de inercia en los muros transversales (perpendiculares al plano de la sollicitación) hacia los muros que resisten el cortante (coplanares con la sollicitación), también restringe los esfuerzos de corte entre muros adyacentes y minimiza la propagación de las fisuras verticales. El refuerzo vertical y horizontal debería estar unido entre sí y a los otros elementos estructurales (cimentación, viga collar, techo) por medio de hilo de nylon. Esta unión provee una matriz estable, que es de por sí más fuerte que sus componentes individuales. La colocación del refuerzo debe ser cuidadosamente planificada y las unidades deben ser fabricadas tomando provisiones especiales en cuanto a sus dimensiones. Una ilustración del refuerzo de caña para muros de adobe se muestra a continuación.

En la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima, Perú, se han realizado múltiples investigaciones en edificaciones de adobe reforzadas con caña. La conclusión principal fue que un refuerzo interior logrado con caña vertical, combinado con caña horizontal aplastada colocada cada cuatro hiladas, aumentaba considerablemente la resistencia de los modelos.

Los ensayos dinámicos demostraron que la mejor solución para viviendas de adobe existentes es un reforzamiento consistente en malla electrosoldada (alambre de 1 mm espaciado cada $\frac{3}{4}$ pulgada) clavado, mediante tapas metálicas de botella, contra el adobe como se muestra en la Figura 21. La malla es colocada en franjas horizontales y verticales simulando vigas y columnas, y es cubierta con mortero de cemento y arena. Esta solución demostró ser altamente efectiva en retardar el colapso de la estructura.

El uso de contrafuertes y pilastras en las partes críticas de una estructura aumenta la estabilidad y el esfuerzo resistente. Los contrafuertes actúan como soportes que pueden prevenir el volteo del muro hacia adentro o hacia fuera. Los contrafuertes y las pilastras también mejoran la integración de los muros que convergen en las esquinas.

El uso de contrafuertes y pilastras para la resistencia mejorada de construcciones de adobe ha sido reportado en El Salvador, como parte de un esfuerzo de educación de base y reconstrucción posterior a los terremotos del 2001.³⁶

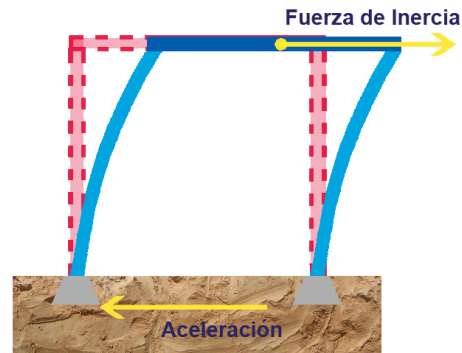
36. Chuquimia E, GTZ, COPASA, PUCP, 2005. "Manual de construcciones sismo resistentes en adobe", Arequipa, Perú. Págs 1-26

FACTORES QUE AFECTAN UN EDIFICIO DURANTE UN SISMO

Fuerza de Inercia

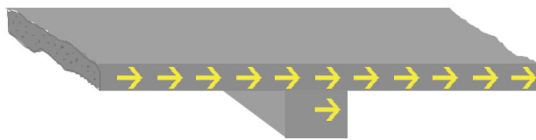
Las fuerzas sísmicas son fuerzas de inercia, las cuáles se presentan cuando un objeto experimenta una aceleración y su masa se resiste a dicha aceleración, cumpliendo así con la segunda ley de Newton.

$$\vec{F} = m \times \vec{a}$$



Imag. 69. Diagrama de como la aceleración y la inercia actúan sobre una estructura.

Las fuerzas de inercia trabajan sobre el edificio cuando el suelo se mueve y la aceleración se transfiere a través de la estructura del edificio desde la cimentación, generando inercia en todo el edificio. Dicha fuerza actúa en el diafragma que se forma en los entrepisos teniendo una participación esencial en la secuencia de transmisión de fuerzas y en la determinación del camino que estas seguirán.



Fuerzas de inercia horizontales

Imag. 70. Acción de la fuerza de inercia sobre una losa.

La masa del edificio es el factor más importante para determinar la inercia, pues según la segunda ley de Newton, la fuerza de inercia es proporcional a la masa, por lo que entre más pesado sea el objeto, mayor será la inercia generada por la aceleración.

Es por eso que en zonas de alta sismicidad es recomendable construir con materiales ligeros. Desgraciadamente, por cuestiones económicas y de costumbre en la mayoría de los países se construye con materiales pesados como tabique, concreto y adobe (Tabla 1). Sin embargo, esto no implica necesariamente que con el uso de estos materiales aumente el riesgo del edificio, pues como ya hemos mencionado, todo depende del conocimiento que se tenga sobre el comportamiento de los materiales, las nuevas tecnologías y las herramientas de diseño, aspectos de los cuáles hablaremos a lo largo de los siguientes capítulos y que nos permitirán sacar el mayor provecho de los materiales diseñando estructuras de alto rendimiento³⁷.

MATERIALES DE PIEDRA	Máximo ton/m ³	Mínimo ton/m ³
Adobe	1.60	1.50
Cemento Portland fraguado	2.95	---
Concreto simple con agregados de peso normal	2.20	2.00
Concreto reforzado	2.40	2.20
Mortero de cal y arena	1.50	1.40
Mortero de cemento y arena	2.10	1.90
Aplanado de yeso	1.50	1.10
Tabique macizo hecho a mano	1.50	1.30
Tabique macizo prensado	2.20	1.60
Bloque hueco de concreto ligero	1.30	0.90
Bloque hueco de concreto intermedio	1.70	1.30
Bloque hueco de concreto pesado	2.20	2.00
Bloque de Vidrio para muros	1.25	0.65

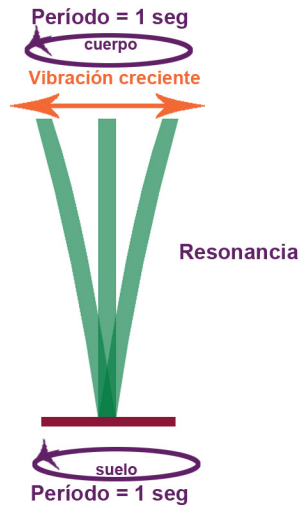
Tabla 1. Masas para materiales petreos

MATERIALES DE MADERA	Máximo ton/m ³	Mínimo ton/m ³
Alamo seco	0.59	0.39
Caoba saturada	1.00	0.70
Cedro blanco seco	0.38	0.32
Cyamel	0.65	0.55
Encino saturado	1.00	0.80
Pino saturado	1.00	0.80
Fresno seco	0.95	0.57
Ocote seco	0.80	---
Palma real seca	0.70	0.60
Roble blanco seco	0.80	---
Roble rojo o negro seco	0.70	---
Roble (otras especies) seco	0.95	0.85

Tabla 2. Masas para maderas

37. Arnold, C. y Reitherman, R. 1991. *Manual de configuración y diseño sísmico de edificios*. México, D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V. Pág. 38

RESONANCIA Y PERÍODO

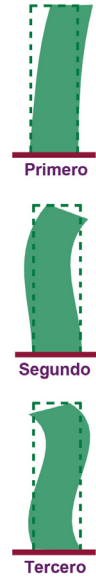


Imag. 71 Resonancia y período

La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar, es sometido a la acción de una fuerza armónica, y el período de vibración de ambos coinciden. El período se refiere al tiempo que tarda un cuerpo en hacer una vibración u oscilación completa.

Para conocer el período de un edificio es necesario hacer una serie de cálculos que tomen en cuenta las dimensiones del edificio, la forma en que está distribuida su masa y la estructuración (pues cada estructura tiene su propio período). Pero para cuestiones simplificadas de diseño, el período de vibración dependerá de la altura o número de niveles que tenga el edificio, tomando como base los primeros tres modos de vibración de un edificio.

En cuanto al suelo, sus diferentes períodos naturales se calculan por métodos que requieren de mucho criterio, basado en la experiencia con sismos registrados previamente en lugares cuyas características de suelo sean similares.



Imag. 72. Modos de vibración de un edificio

Christopher Arnold presenta datos generales en su libro "Configuración y Diseño Sísmico de Edificios", donde nos indica que los períodos fundamentales de las estructuras pueden fluctuar desde los 0.5 segundos para un estructura baja de hasta 4 pisos, hasta 1 y 2 segundos para un edificio alto de 10 a 20 pisos (Tabla 3); los períodos naturales del suelo son entre 0.5 y 1 segundos, de tal modo que es posible que el edificio y el suelo tengan el mismo período fundamental, habiendo así una alta posibilidad de que el edificio se aproxime a un estado de resonancia parcial.

El terremoto de Ciudad de México del 19 de septiembre de 1985 es un notable ejemplo de esto. pues muchos edificios que se derribaron durante el terremoto fueron de alrededor de 20 pisos de altura, es decir que tenían un período natural de alrededor de 2,0 segundos, igual al período del suelo en algunas zonas de lago.³⁸

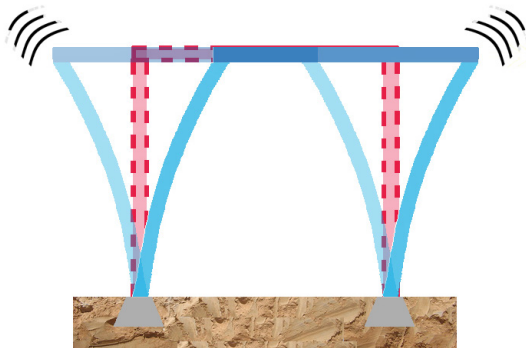
Entonces, parte del problema de diseño sísmico es "sintonizar" el edificio de tal manera que su propio período esté fuera del intervalo de los períodos probables del terreno, lo que reduce o elimina la posibilidad de una vibración forzada por resonancia, la cual se presenta cuando un sistema (el edificio) está unido elásticamente a un soporte que tiene un movimiento alternativo (el suelo). Es pues, el diseñador quien puede elegir el tipo de diseño que permita reducir la posibilidad de resonancia. Esto se puede conseguir desde el principio del proceso de concepción, cuando se toman las decisiones fundamentales en cuanto a la configuración y materiales.

Pieza de Equipo Anclada		0.05 seg.
Marco Sencillo de un Piso		0.1 seg.
Estructura baja de hasta 4 pisos		0.5 seg.
Edificios de entre 10 y 20 niveles		1-2 seg.
Estructura sobre un sólo apoyo		4 seg.
Torre de perforación		2.5-6 seg.
Puente colgante		6 seg.

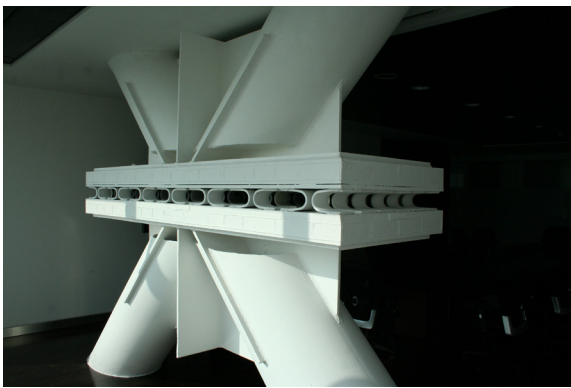
Tabla de Períodos, según el tipo de estructura. Christopher Arnold.

38. IDEM. Págs. 39-43

AMORTIGUAMIENTO



Imag. 73. La fuerza elástica funciona como amortiguador del cuerpo de un resorte



Imag. 74 Dispositivo disipador de la Torre Titanium, Santiago de Chile

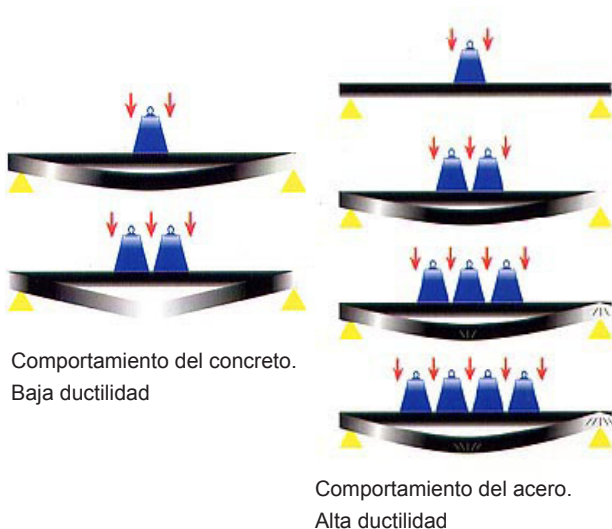
Es una característica que le permite a un objeto en movimiento vibratorio u oscilatorio volver rápidamente a su condición original de equilibrio. Por ejemplo, cuando se pone a oscilar un resorte su propia fuerza elástica le obliga a regresar rápidamente a su estado original y se dice que lo amortigua. De cierto modo, el amortiguamiento es una condición opuesta a la resonancia y en el caso de un edificio dependerá de cómo esté estructurado y de las propiedades de los materiales que se usen para su construcción.

Un amortiguamiento que evite por completo la oscilación del objeto se conoce como amortiguamiento crítico, pero en general el amortiguamiento que presentan los objetos representa un cierto porcentaje del valor del amortiguamiento crítico.

Para la estabilidad de un edificio, es conveniente añadirle amortiguamiento, modificando así el espectro de respuesta a los movimientos del suelo, y ayudando a disipar el impacto de las ondas sísmicas a lo largo de la estructura.

La flexibilidad de los materiales está estrechamente relacionada con el amortiguamiento que se introduce en el diseño del edificio y dependerá de sus propiedades como se explicara en la sección de materiales de este capítulo.³⁹

Ductilidad



Comportamiento del concreto.
Baja ductilidad

Comportamiento del acero.
Alta ductilidad

Imag. 75 Ductilidad en concreto y acero

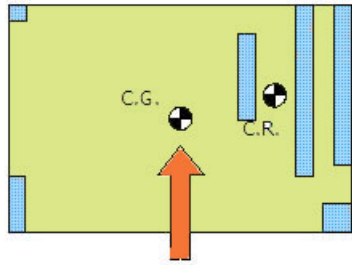
Uno de los principales factores que ayuda al edificio a resistir un sismo es la ductilidad de sus materiales, propiedad que se refiere a la capacidad que tienen los objetos sólidos para deformarse y fallar sólo cuando se presenta una considerable deformación inelástica que consiste en que el material no regresa a su forma original. Es así que los materiales dúctiles pueden soportar mayor carga antes de fracturarse completamente.

En el caso de los materiales frágiles como el concreto, pueden fallar súbitamente con un mínimo de deformación. No obstante, se observa que el acero contenido en el concreto reforzado puede darle una ductilidad considerable, pues al deformarse la estructura absorbe la energía y difiere la falla absoluta del concreto.

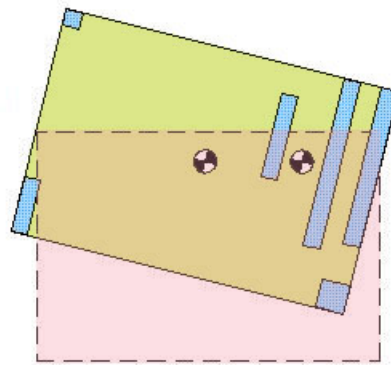
La única alternativa para no requerir ductilidad, es proporcionar resistencia para que los miembros no excedan los límites elásticos.⁴⁰

39. IDEM. Págs. 43-44
40. IDEM

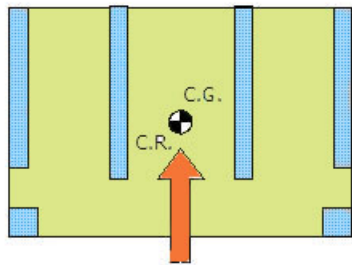
TORSIÓN



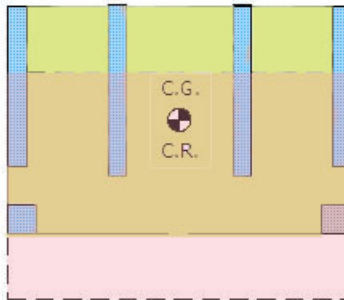
Fuerza aplicada por el sismo pasa por el centro de gravedad.



Como resultado el piso no solo se desliza sino también gira.



Fuerza aplicada por el sismo para por el centro de gravedad.



Como resultado el piso solo se desliza y no gira

Imagen 76. En una planta asimétrica el centro de gravedad y el centro de rigidez no coinciden.

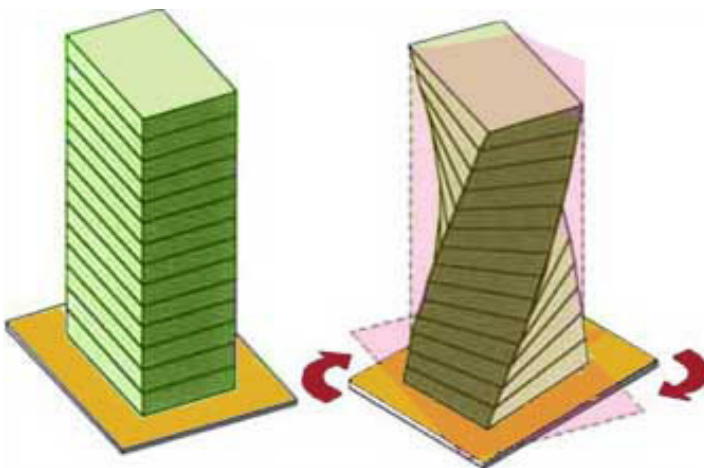


Imagen 77. Edificio bajo efecto de torsión

Los sismos generan fuerzas de inercia que se pueden semejar a un equivalente de la gravedad, sólo que en dirección horizontal. Si la masa dentro del piso de un edificio se distribuye de manera uniforme, entonces la fuerza resultante de la aceleración horizontal, se aplica a través del centro del piso. Si la resultante de la resistencia pasa a través de este punto, y por tanto es opuesta a la resultante de las cargas y sobre su misma línea de acción, se mantiene el equilibrio, no existe posibilidad de rotación. De otro modo, si las fuerzas de inercia y las de resistencia están en diferente línea de acción se producirá rotación en el plano horizontal o torsión.

En la figura (de a lado) se ve el efecto de torsión creado en una configuración sencilla de edificio. Se presenta torsión debido a que una fuerza uniformemente distribuida no está siendo resistida por una resistencia lateral uniformemente distribuida.

Es por esto que la distribución ideal para los elementos resistentes a sismos es colocarlos simétricamente, en todas direcciones, de tal modo que no importe en qué dirección reciban empuje las losas de cada piso, ya que la estructura reaccionará con una rigidez equilibrada que evitará la rotación.

De aquí, la regla general de que la simetría es una característica valiosa de la configuración, lo que no debe tomarse como una limitante en el desarrollo del diseño del espacio, pues encontramos a lo largo de la historia importantes obras arquitectónicas donde la simetría juega un papel fundamental en la expresividad del diseñador, generando interesantes vistas o bien despertando sensaciones.⁴¹

41. IDEM. pags. 45-46

SISTEMAS RESISTENTES

Para hacer frente a las fuerzas sísmicas, el diseñador puede valerse de un número reducido de diferentes componentes que se combinan para formar sistemas resistentes, clasificándose en horizontales y verticales.

En el plano horizontal se usan diafragmas, formados con frecuencia por los pisos y techos del edificio, o bien armaduras horizontales. En el plano vertical, tres clases de componentes resisten las fuerzas laterales: muros resistentes al cortante, marcos contraventeados, y marcos rígidos o resistentes a momento. Estos elementos también son componentes arquitectónicos básicos. Tanto su presencia como su forma son el resultado del diseño arquitectónico esquemático del edificio. Su localización o su forma se puede modificar debido al análisis estructural y algunas veces se pueden agregar componentes.

La respuesta de los sistemas resistentes depende en buena parte de las proporciones de sus componentes y del material utilizado para los mismos, cuestiones que dependerán de la intención del arquitecto como diseñador, quien puede valerse de una serie de criterios básicos, para garantizar la eficiencia del sistema desde la concepción del proyecto y comprobarla finalmente a través de los cálculos.

Por lo anterior, es importante que el diseñador arquitectónico adquiera el conocimiento de cómo trabajan estos sistemas resistentes en respuesta a las fuerzas generadas por el sismo, pues aunque puede no tener la oportunidad ni el deseo de adquirir el conocimiento teórico profundo y la experiencia que el ingeniero debe poseer, vale la pena desarrollar sus sensibilidad con respecto a las fuerzas estructurales, ya que una vez adquirida, le servirá como una guía casi automática para sus diseños.

De manera general procederemos a describir a continuación, los sistemas resistentes que hemos mencionado.

DIAFRAGMAS

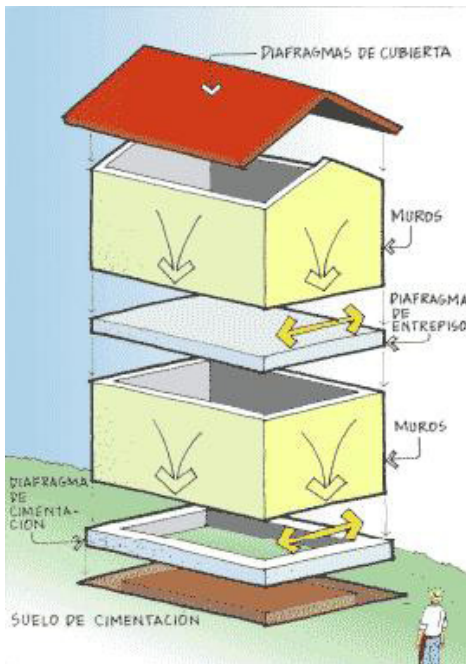


Imagen 78. Diafragmas en un edificio

En muchas ocasiones cometemos el error de poner poca atención a los planos horizontales en el diseño de las estructuras sismo-resistentes, debido a su aparente falta de daños durante un terremoto, lo que en la mayoría de los casos se debe a que los planos horizontales están innecesariamente sobreprotegidos por el sacrificio de fuerzas de planos verticales que terminan por llevar al colapso del edificio. Sin embargo, no por eso resultan menos importantes, pues es un componente vital para determinar el camino que seguirá una fuerza sísmica. Mientras que en el enfoque arquitectónico muchas veces los planos horizontales son los que determinan el número de muros que habrá así como el espacio entre los mismos.

Un diafragma puede definirse como un conjunto estructural horizontal o vertical, de espesor pequeño respecto de sus otras dos dimensiones, que tiene la capacidad de trabajar bajo fuerzas contenidas en su propio plano.

En el caso del plano horizontal, está diseñado como una viga horizontal que se flexa entre los elementos verticales del sistema de aportados. El diseño puede hacerse tanto en la dirección longitudinal como en la transversal e incluirá las debidas comprobaciones de resistencia a la flexión y al corte.⁴²

El Reglamento de Construcción del Distrito Federal, en la sección 6.6 de las Normas Técnicas Complementarias para concreto, establece una serie de requisitos que se aplican a los diafragmas, como sistemas de piso o techo, así como puntales y diagonales de compresión de sistemas que transmitan fuerzas laterales en su plano, como las inducidas por los sismos, a/o entre elementos resistentes a fuerzas laterales. Estos requisitos son:

- En sistemas de piso o techo prefabricados se aceptará que un firme colado sobre los elementos prefabricados funcione como diafragma a condición de que se dimensionen de modo que por sí solo resista las acciones de diseño que actúan en su plano. También se aceptará un firme que esté reforzado y cuyas conexiones con los elementos prefabricados de piso estén diseñadas y detalladas para resistir las acciones de diseño en el plano.
- El espesor del firme no será menor que 60 mm, si el claro mayor de los tableros es de 6 m o más. En ningún caso será menor que 30 mm.
- Los diafragmas se dimensionarán con los criterios para vigas comunes o vigas diafragma, según su relación claro a peralte. Debe comprobarse que posean suficiente resistencia a flexión en el plano y a cortante en el estado límite de falla, así como que sea adecuada la transmisión de las fuerzas sísmicas entre el diafragma horizontal y los elementos verticales destinados a resistir las fuerzas laterales. En particular, se revisará el efecto de aberturas en el diafragma en la proximidad de muros de concreto y columnas.

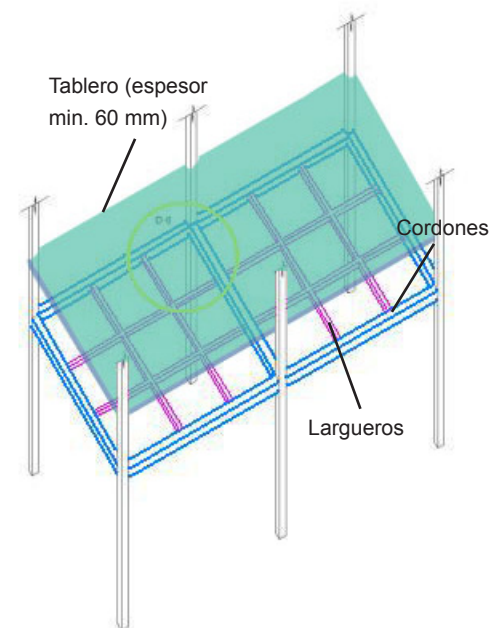
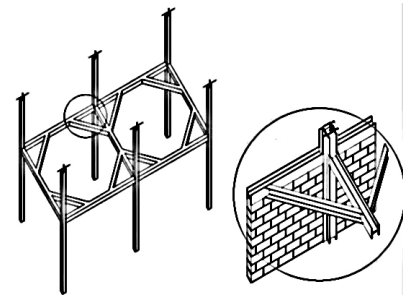


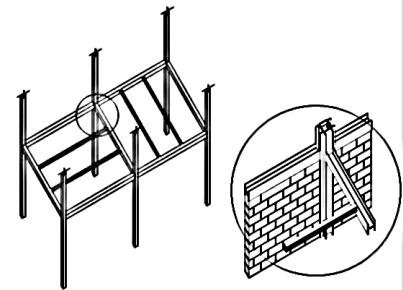
Imagen 79. Componentes básicos de un diafragma

42. IDEM. Págs. 50-52

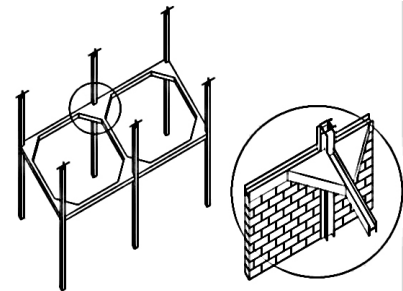
- Para revisar los estados límite de servicio, se deberán considerar las rigideces del diafragma a flexión y cortante, así como los efectos de flujo plástico, contracción y gradientes térmicos.
- El refuerzo mínimo por fuerza cortante, será el indicado en el inciso 6.5.2.5.c. Si se utiliza malla soldada de alambre para resistir la fuerza cortante en firmes sobre elementos prefabricados, la separación de los alambres paralelos al claro de los elementos prefabricados no excederá de 250 mm. El refuerzo por fuerza cortante debe ser continuo y distribuido uniformemente a través del plano de corte.
- Los elementos de refuerzo en los extremos de diafragmas podrán estar incluidos en el espesor del diafragma o bien, preferentemente, en vigas de borde.
- Los elementos extremos de diafragmas se dimensionarán para la suma de la compresión directa de diseño que actúe y la debida al momento de diseño que obre en la sección, la cual puede obtenerse dividiendo el momento entre la distancia que separa los ejes de los elementos extremos.
- Los elementos a compresión de diafragmas horizontales y de armaduras verticales, así como las diagonales de contraventeo, sujetos a esfuerzos de compresión mayores que $0.2fc'$, contarán en su longitud con el refuerzo transversal mínimo que se prescribe en los incisos 7.3.4.b a 7.3.4.d. Este refuerzo puede interrumpirse en las zonas donde el esfuerzo de compresión calculado sea menor que $0.15fc'$.
- Las barras de refuerzo longitudinal de elementos extremos deberán ser continuas y podrán ser unidas mediante traslapes, soldadura o dispositivos mecánicos. En todo caso, deberán poder alcanzar su esfuerzo de fluencia.
- En las zonas de traslape y anclaje se deberá suministrar refuerzo transversal en cuantía al menos igual a la mínima de la sección 2.5.2, excepto cuando se coloque el refuerzo transversal prescrito en los incisos 7.3.4.b a 7.3.4.d.



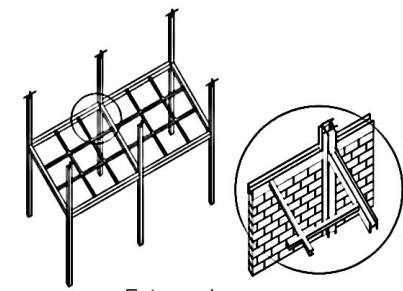
Cartelas



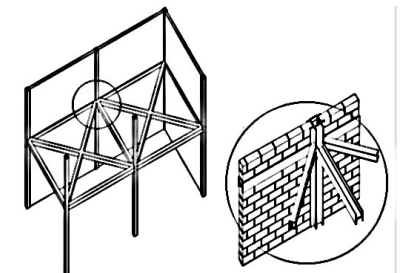
Viguetas



Macizado



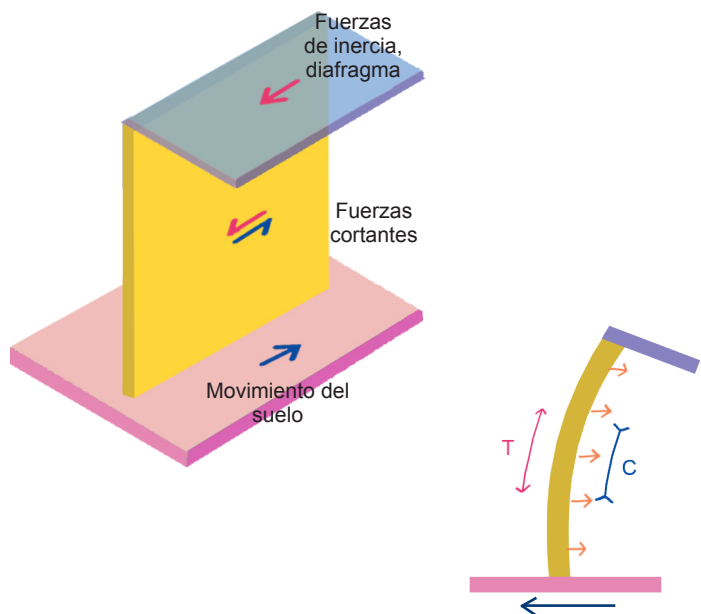
Entramado



Diagonales. (Cruces de San Andrés)

Imagen 80. Elementos de refuerzo en los extremos de los diafragmas

MUROS RESISTENTES A CORTE

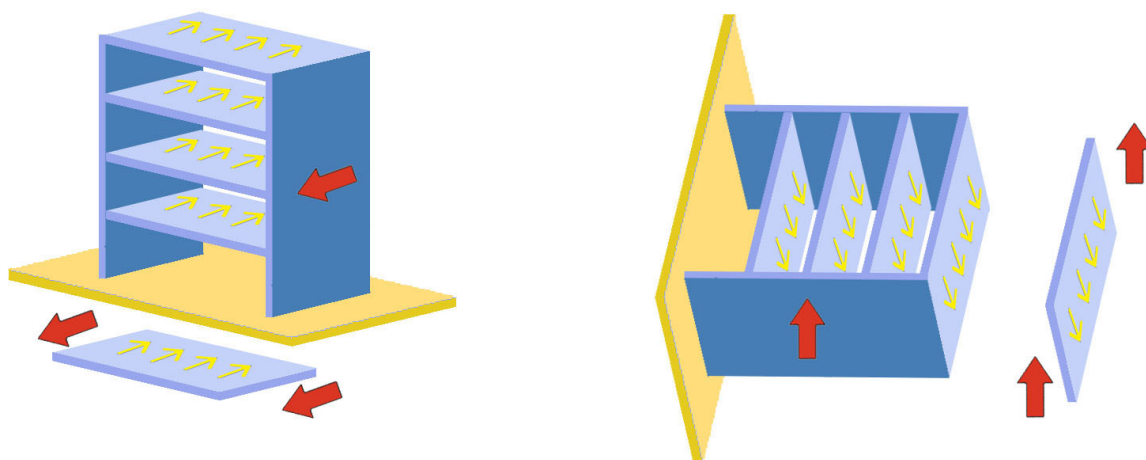


Imag 81. Fuerzas que afectan un muro resistente a corte

Los muros resistentes a corte también llamados muros cortantes, están diseñados para recibir las fuerzas laterales que los afectan originadas por sismos, viento u otras cargas gravitacionales, para luego transmitir las al suelo. Las fuerzas en estos muros son predominantemente cortantes, aunque un muro de cortante esbelto también puede sufrir flexiones significativas (Imag. 75).

En la imagen 76 se ilustra el comportamiento de un edificio sencillo con muros de cortante en los extremos.

El movimiento del suelo mueve al edificio y crea fuerzas de inercia que mueven a su vez a los diafragmas de piso. Este movimiento es resistido por los muros de cortante, y las fuerzas se transmiten hacia abajo hasta la cimentación, sin embargo, a diferencia de un voladizo normal que soporta fuerzas de gravedad, el muro de cortante debe resistir fuerzas dinámicas que están invirtiendo su dirección mientras esté sometido a un movimiento fuerte, dependiendo también de las características del sismo.⁴³



Imag. 82 Trabajo de muros resistentes a cortante: Analogía vertical como viga en voladizo

En México, la fuerza cortante que toma el concreto en muros se determinará con el criterio que se especifica en el punto 6.5.2.5 de la Norma Técnica Complementaria para Concreto dentro del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

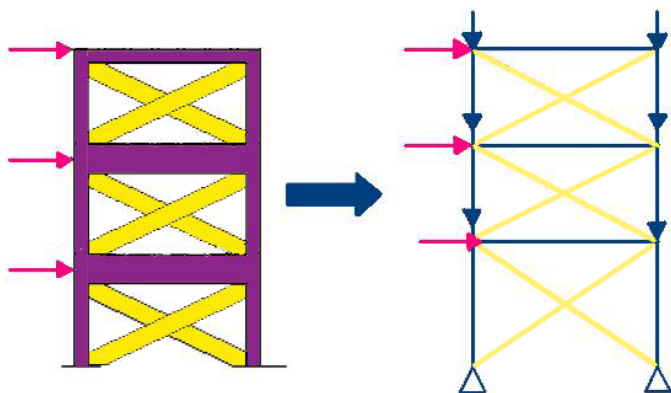
Desde luego, además de las especificaciones técnicas requeridas, el tamaño y la localización de los muros resistentes a cortante, dentro del diseño, son críticos. Las plantas se pueden concebir como conjuntos de elementos resistentes con orientaciones variables para resistir las fuerzas de translación, que se colocan a distancias variables del centro de rigidez para resistir fuerzas de torsión. En el siguiente cuadro (tabla sw) se ilustran, según Christopher Arnold, algunos aspectos conceptuales de la colocación de muros dentro de plantas con formas geométricas sencillas.

43. IDEM. Págs. 53

Configuración esquemática	Elementos resistentes para fuerzas sísmicas	Elementos resistentes para fuerzas sísmicas	Elementos resistentes para torsión
			Problema principal no hay resistencia a la torsión
		Produce torsión	Poca resistencia a la torsión brazo de palanca pequeño
			El análisis sobre dos ejes no es suficiente: para las fuerzas a lo largo de este eje diagonal/no hay elementos resistentes
	Produce torsión	Produce torsión	
			Aunque los triángulos pueden parecer intuitivamente buenas formas estructurales, tienden a producir plantas descompensadas

Tabla de criterio de localización de muros de cortante según Christopher Arnold en su libro "Configuración y Diseño Sísmico de Edificios".

MARCOS CONTRAVENTEADOS



Imag. 83. Trabajo de Marcos contraventeados

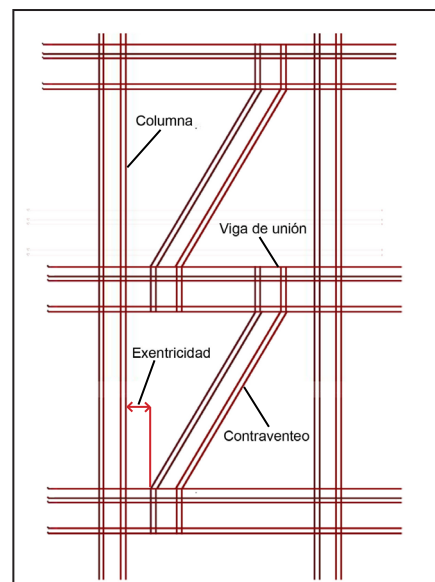
Los marcos contraventeados actúan de la misma manera que los muros de cortante, y son frecuentemente utilizados en la actualidad como elementos de diseño arquitectónico pues garantizan mayor seguridad estructural que un marco común y resultan menos limitantes que los muros de carga en la concepción de diseño. Estos marcos están formados por columnas, vigas y diagonales que en conjunto evitan el pandeo de la estructura logrando una correcta transmisión de cargas de manera vertical y resistiendo las fuerzas horizontales gracias a las diagonales que trabajan como vectores.

Desde luego, se debe prevenir el comportamiento en elástico del contraventeo a fin de obtener un conjunto seguro, ya que las fuerzas de vibración pueden hacer que los elementos diagonales se alarguen o compriman, en cuyo caso pierden efectividad y proporcionan grandes deformaciones o el colapso de la estructura vertical.

Es muy importante un diseño detallado para asegurarse de lograr trayectorias completas de las cargas para las fuerzas más grandes. Si en el detallado quedan excentricidades (Imag. 78), estas pueden reducir en gran medida la efectividad del contraventeo, aunque algunos esquemas de contraventeo incorporan las juntas desfasadas. Estas se diseñan para asegurar que haya comportamiento no lineal en las vigas, antes que en las columnas, y a través del control de fallas y el uso de ductilidad, las juntas desfasadas demoran el comienzo del colapso total provocado por el pandeo de las columnas.⁴⁴



Imag. 85. Torre del Centro John Hancock en Chicago, EUA



Imag. 84 Contraventeos con juntas excéntricas

Un excelente ejemplo de solución a este problema, podemos encontrarlo en los diamantes formados diagonales que se encuentran en la fachada de uno de los primeros edificios inteligentes: El edificio John Hancock en Chicago, EUA (Imag. 79)

44. IDEM. Págs. 55

MARCOS RESISTENTES AL MOMENTO

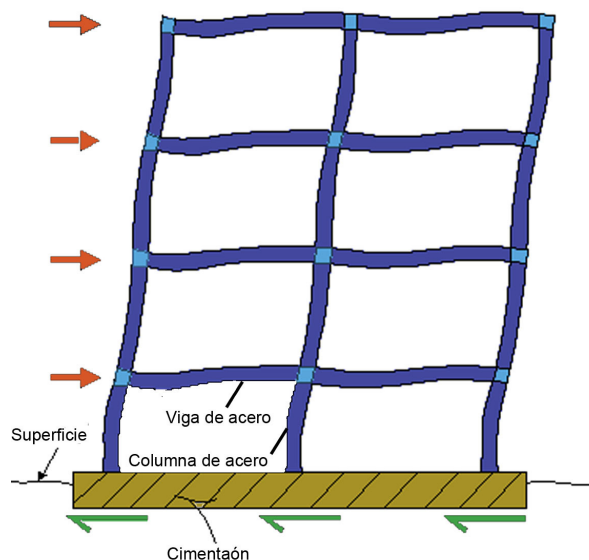


Imagen 86. Comportamiento de un marco resistente a momento.

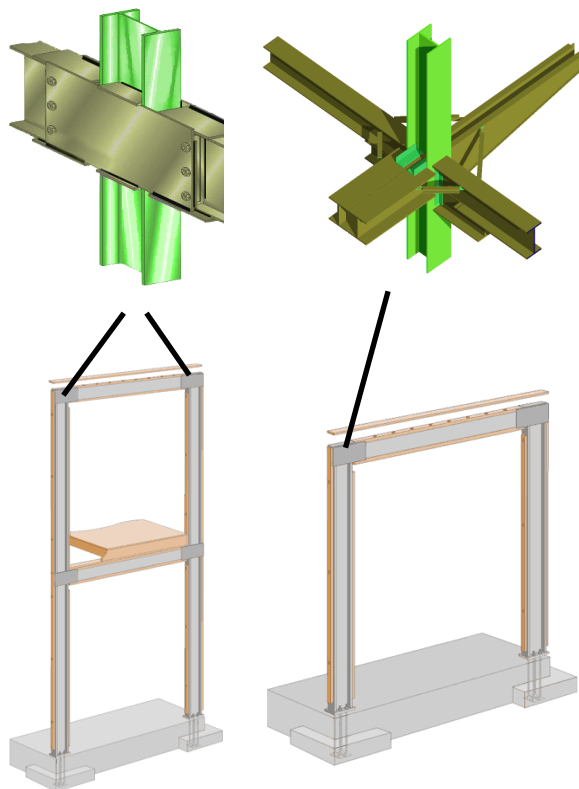
El uso de marcos resistentes al momento tiene importancia arquitectónica en dos aspectos: Uno es que su uso evita la necesidad de muros de cortante o marcos contraventados, eliminando así las posibles implicaciones restrictivas de planeación de ambos. El otro es que las estructuras de marcos resistentes al momento, tienden a ser mucho más flexibles que las estructuras de tipo muro de cortante, con implicaciones consecuentes para el diseño de los elementos arquitectónicos que les acompañan, como muros de relleno, divisiones y plafones.⁴⁵

Al igual que en un sistema resistente con muros de cortante, en que se asignan muros específicos para dar resistencia, en el diseño con marcos, los marcos resistentes al momento pueden ser sólo una parte del total de la estructura de marcos.



Imagen 88. Residencia Loop, Orcas Island, Washington, USA

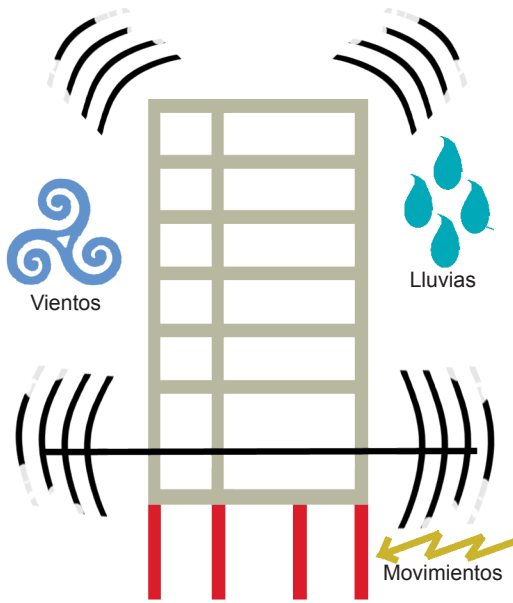
Cuando se da resistencia sísmica mediante marcos resistentes al momento, las fuerzas laterales serán contenidas por flexión y cortante de columnas y vigas, que se unen con conexiones de momento. Las juntas son sometidas a esfuerzos elevados, y los detalles de su construcción son muy importantes, porque representan el punto más susceptible a falla al ser articulaciones (imag. 81). Además, el comportamiento del marco en el intervalo inelástico o plástico se vuelve un aspecto importante a considerar cuando se genera la estrategia para lograr resistencia mediante el uso de absorción de energía, obtenida por deformación permanente de la estructura, anterior a su falla última. Por esta razón, generalmente los marcos resistentes al momento son estructuras de acero con juntas rígidas soldadas en las que existe la ventaja de la ductilidad natural del material. Los marcos de concreto reforzado en forma adecuada también han sido aceptados como marcos dúctiles.



Imag. 87. La eficiencia de los Marcos de momento, radica en la ductilidad de su material y en la rigidez de sus juntas o conexiones.

45. IDEM. pags. 56

CIMENTACIONES DE ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES



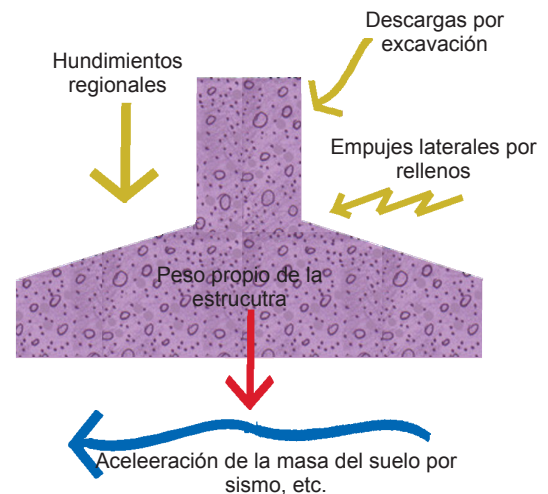
Se puede decir que para la elección correcta y cálculo racional de una cimentación es también necesario considerar las condiciones y fuerzas ambientales, como precipitaciones, vientos, probabilidad sísmica, etc. que puedan afectar la estabilidad del terreno; Así pues, es necesario conocer la estratigrafía del lugar y en particular de la zona en cuestión, las condiciones hidráulicas que rigen en el momento y los cambios probables que podrían suscitarse en el futuro. Conociendo la estratigrafía y las características de los sedimentos que constituyen el terreno en varios lugares, se podrá conocer la variación probable de las propiedades mecánicas de los sedimentos en el área de la cimentación. En regiones sísmicas o de vientos de alta velocidad, deberán establecerse modalidades en el diseño de las cimentaciones que permitan hacerlas menos vulnerables a estas fuerzas, especialmente cuando se trata de cimentaciones con pilas o pilotes, como es el caso de la ciudad de México.

Imag. 89. Fuerzas ambientales que actúan sobre un edificio

CARGAS QUE DEBE TRANSMITIR LA CIMENTACIÓN AL TERRENO

Cuando se habla de cimentaciones se habla también de la parte más importante de una construcción, en la cual no debe ahorrarse ni materiales ni cuidados, pues cuando una cimentación es deficiente y recibe cargas superiores a su capacidad resistente, sin duda se generarán grietas que pongan en riesgo la construcción. Es un grave error reducir por economía las dimensiones, calidad y/o proporciones de los materiales a emplear en las cimentaciones por disminuir el costo, pues al final subsanar los defectos originados por estas deficiencias, terminará por incrementar el costo original de la estructura.

La función de una cimentación ante un sismo es brindar al edificio una base lo suficientemente rígida y capaz de transmitir al suelo las acciones que se generan por la interacción entre los movimientos del suelo y de la estructura, sin que se produzcan fallas o deformaciones excesivas en el terreno.⁴⁶



Imag. 90. Cargas que actúan sobre la cimentación

En pocas palabras, de una cimentación correcta depende el éxito de una estructura. Es por ello que debe cumplir sus funciones cabalmente, las cuales incluyen:

- Transmitir al terreno las cargas estáticas.
- Transmitir las cargas dinámicas.
- Dimensiones ajustadas a la capacidad de resistencia del suelo en el tiempo.
- Que los asentamientos no superen los límites admisibles.
- Prevenir los asentamientos por sobre consolidación.
- Prevenir la licuefacción del suelo en caso de sismos.
- Trabajar en conjunto, limitando los desplazamientos diferenciales, horizontales y verticales, entre los apoyos.

⁴⁶. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, NTC para cimentación

TIPOS DE TERRENOS.

El comportamiento del suelo es complejo y no es fácil determinarlo como sucede con los demás elementos y materiales de la construcción. Toda estructura se divide en dos partes fundamentales, la que está sobre el suelo y la que está debajo del suelo, y que al ser diferente, lógicamente necesitaran que su diseño sea bajo razonamientos diferentes.

En primer lugar hemos de considerar la clasificación de los terrenos para la Ciudad de México, que se define en el artículo 170 del Capítulo VIII, del Título Sexto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, que indica que para fines de la presente norma la Ciudad se divide en tres zonas con las siguientes características generales:

a) Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados;

b) Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros; y

c) Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

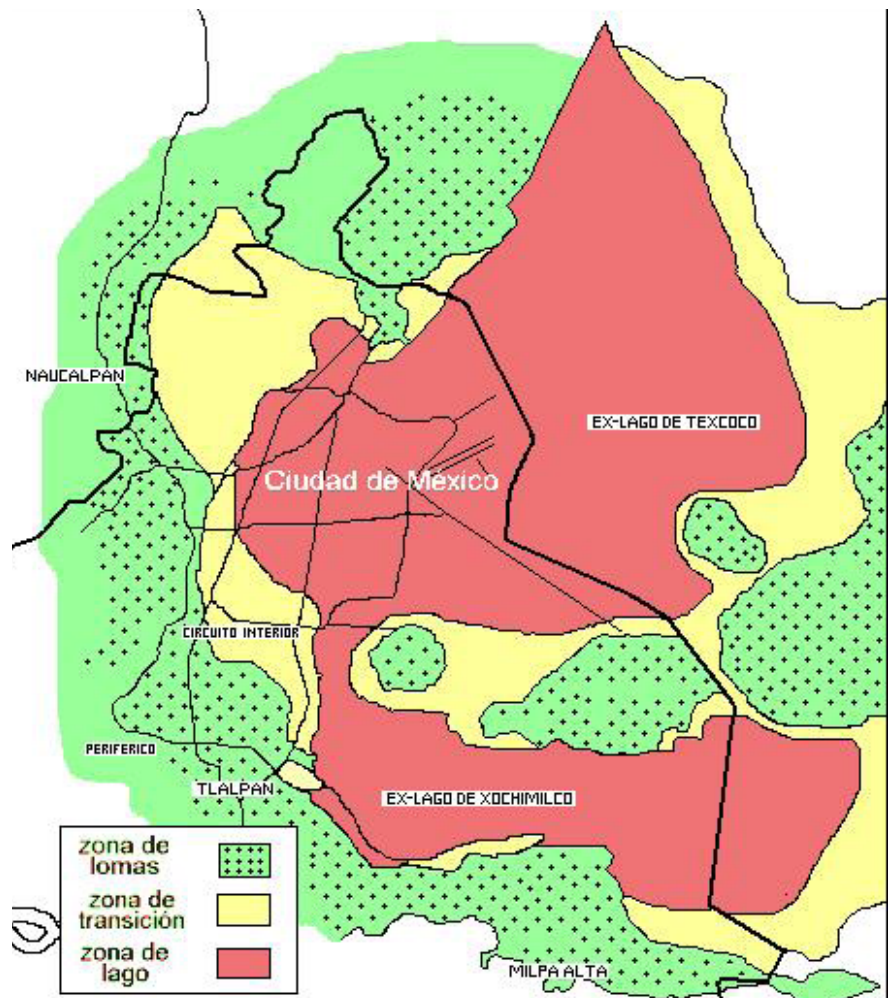


Imagen 91. Zonificación del suelo de la Ciudad de México, según su tipo de suelo.

El sistema de alertamiento sísmico debe ser considerado como prioritario en las zonas de lago y de transición (zonas II y III), ya que en dichas zonas la respuesta de terreno es desfavorable para el comportamiento de las estructuras.

Cabe mencionar que la aceleración que sufre una zona con respecto a otra durante el impacto de un sismo, suele variar. Por ejemplo, durante el terremoto del 19 de septiembre de 1985, en la Ciudad de México se obtuvieron aceleraciones inusitadas, ya que se rebasaron las mediciones máximas previas hasta cinco o seis veces. Las aceleraciones registradas en distintas zonas de la ciudad fueron muy diferentes, debido precisamente al tipo de terreno de cada lugar, lo que explica el que las intensidades con que se sintió el movimiento hayan variado tanto. Se observaron amplificaciones en la zona lacustre del orden de 4 veces, con respecto a las aceleraciones medidas en terrenos firmes.⁴⁷

Por otro lado, para realizar el diseño más adecuado en cada tipo de suelo, también resultarán importantes los siguientes dos conceptos:

Cargas admisibles: para el diseño de una cimentación debemos conocer la capacidad de carga del terreno, esta capacidad se determina generalmente mediante un estudio de mecánica de suelos. La carga admisible depende de los siguientes elementos:

- Del tipo de terreno.
- De la construcción en sí y su conjunto.
- De los asentamientos que se pueda producir.
- De las dimensiones de la cimentación.
- Del tiempo de carga en la construcción.
- De las vibraciones que puedan afectar a la construcción.

También dependerá de los asentamientos, que deben ser compatibles con la capacidad de deformación de la estructura, y cumplir con lo estipulado en la NTC para cimentaciones.

Asentamientos admisibles: Los asentamientos admisibles son los asentamientos (totales y diferenciales) máximos que tolera la estructura, tanto en entrepisos como en los materiales usados para los sistemas verticales, sin que se produzcan daños como fisuras, descensos o giros que inutilicen la obra (Tabla de límites).

Generalmente toda construcción sufre un asentamiento en mayor o menor grado, el cual dependerá de que tan adecuado haya sido el estudio de la mecánica del suelo y de la cimentación escogida. No obstante, un asentamiento no causará mayores problemas cuando el hundimiento sea uniforme y se hayan tomado las debidas precauciones para ello. Sin embargo, en las cimentaciones aisladas y en las corridas (aunque en las últimas en menor proporción), con frecuencia aparecen hundimientos diferenciales más pronunciados en el centro de la construcción. Esto se debe principalmente a la presencia de los bulbos de presión y a la costumbre generalizada de mandar mayores cargas en la parte central de la edificación.

El asentamiento total depende, entre otros factores, de:

- La distribución de los distintos estratos de suelo y sus espesores, que se determinan por medio de sondeos.
- Las características geotécnicas de cada suelo, en especial el índice de poros y el coeficiente de compresibilidad, que se conocen por medio de ensayos (para arcillas).
- La distribución de tensiones y el valor de la tensión máxima.



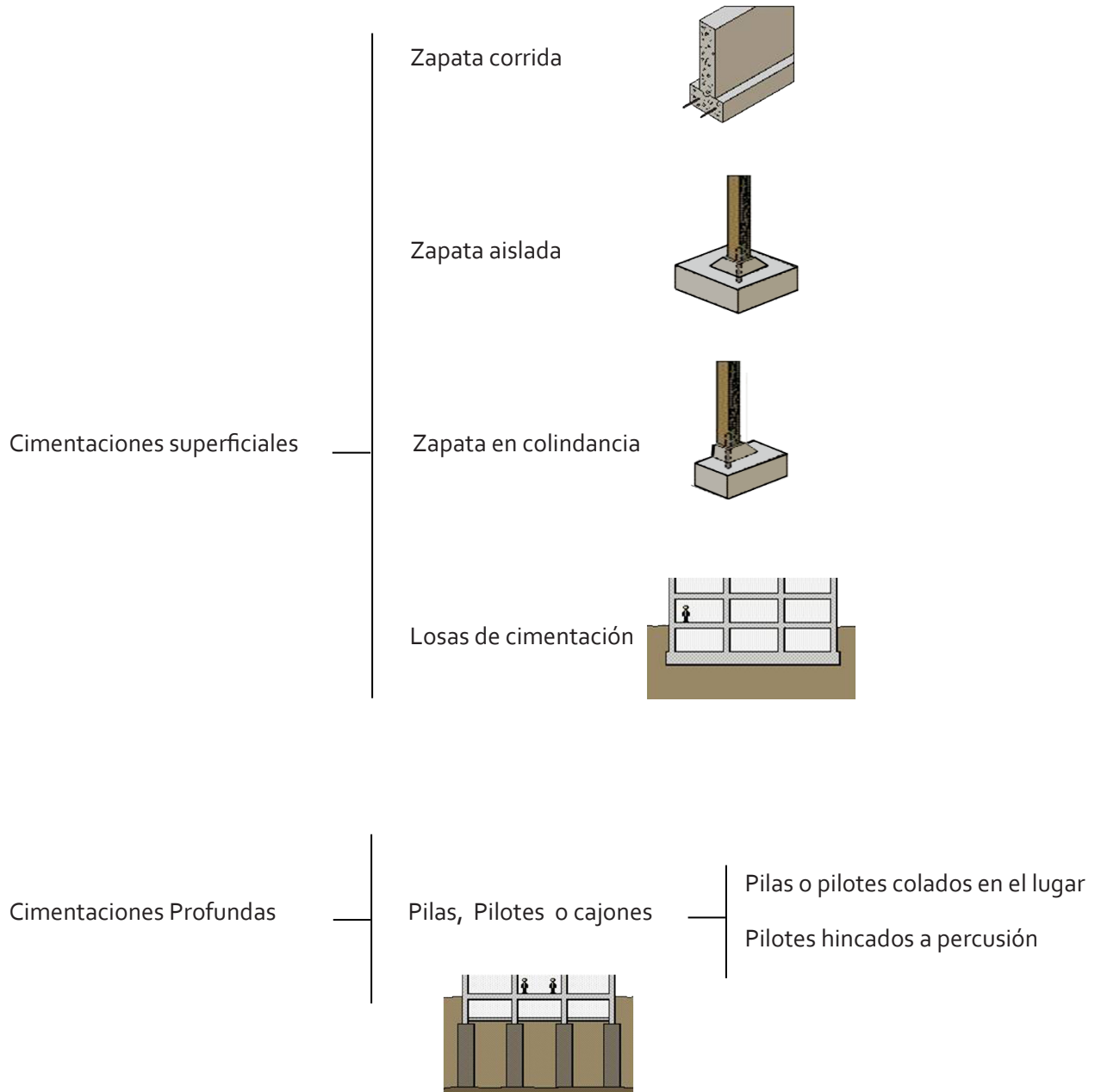
Tabla de límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación. Norma Técnica Complementaria para Cimentaciones. Reglamento de Construcción del D. F.

47. Balboa Blanco, Carolina Elena. Documento final de Servicio Social *Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después*. 2006. Pág. 8

CLASIFICACIÓN DE LAS CIMENTACIONES

De acuerdo con la forma en que se transmiten las cargas, la cimentación se clasifica en:⁴⁸

1. Superficiales: Son aquellas que transmiten la carga al suelo por presión bajo su base sin rozamiento lateral de ningún tipo.
2. Profundas: Son aquellas que transmiten la carga al suelo por presión bajo su base, pero pueden contar, además, con rozamiento en el fuste.



48. Pérez Alamá, Vicente 2010. *Materiales y Procedimientos de Construcción, Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Trillas, Pág. 43

CAPÍTULO

4

CONFIGURACIÓN.

CRITERIOS DE SEGURIDAD

**La Responsabilidad del Arquitecto en la Configuración
Diseño: Consideraciones Generales de Configuración
Uniformidad y Distribución del Sistema Estructura
Casos de Estudio. Edificios que Sufrieron Daños por una
Mala Configuración**

Una vez que hemos profundizado en los principios básicos de la resistencia sísmica de los edificios, y entendido cómo afectan las fuerzas naturales su estructura, en este capítulo buscaremos estudiar algunos criterios básicos para el diseño de la forma, que por su simple lógica funcional y geométrica nos permitan darle mayor resistencia a nuestra obra, además de la que le proporcionen los materiales o la tecnología.

LA RESPONSABILIDAD DEL ARQUITECTO EN LA CONFIGURACIÓN

La profesión del arquitecto tiende a caracterizarse por un patrón de relativo desinterés al tratar de complementar un diseño arquitectónico con una eficiencia estructural. Dicho desinterés emana de diversas percepciones por parte del arquitecto. Una es que el diseño estructural y el comportamiento sísmico es, de hecho, una rama de la ingeniería que se puede agregar al concepto del arquitecto, con poca necesidad de preocupación por parte de este. Este aspecto se refuerza por la tendencia del ingeniero a estimular al arquitecto para que piense así, ya que con ello se enaltece la mística del ingeniero en el dominio de un área en la que el arquitecto tiene poco conocimiento. Siempre que el ingeniero se queja de las deficiencias del diseño sísmico que ha realizado el arquitecto, acepta la oportunidad de hacer negocio a partir de la necesidad del arquitecto de poner a salvo la apariencia de su diseño. Para algunos ingenieros, la ignorancia del arquitecto acerca del diseño estructural y el comportamiento sísmico es una molestia, y para otros, una fuente de ingresos.

Es por ello que debemos preguntarnos ¿Qué hace el arquitecto que influya en el desempeño sísmico del edificio y que constituya una fuente de distintos intereses para el ingeniero?. La respuesta es que el arquitecto concibe y controla la configuración de la construcción. la configuración en general se define como el tamaño y la forma del edificio.

La configuración y los elementos formales que la crean, se originan en el programa del edificio, que se puede resumir como una descripción de las actividades que se desarrollan en tal construcción, pues por las combinaciones de espacios de actividades y de circulación se llega a ciertas dimensiones y finalmente a la configuración. pero existen otras determinantes como la geometría, geología y clima del lugar, diseño urbano y aspectos arquitectónicos. la elección final de la configuración es el resultado de un proceso de decisión que considera de alguna manera estos requisitos variables.

Si la configuración del edificio en su conjunto o en detalle, es tal que las fuerzas sísmicas producen un esfuerzo superior a la resistencia, éste falla.

No se intenta sugerir que la configuración es lo principal, y que las técnicas de diseño y construcción de ingeniería son secundarias o no determinantes; obviamente, están relacionadas por su contribución en la seguridad y eficiencia del edificio. Lo que sí ocurre es que las primeras ideas del diseñador sobre la configuración son muy importantes, ya que en una etapa muy conceptual y tal vez antes de que se discutan los aspectos de ingeniería, el diseñador está tomando decisiones de gran importancia para los análisis posteriores y el diseño de detalles de ingeniería.

Por tanto, el diseño sísmico constituye una responsabilidad arquitectónica y de ingeniería compartida.

Una gran parte de la resistencia inherente del edificio a fuerzas laterales está determinada por su planta básica de distribución. Los ingenieros están reconociendo que la forma, simetría y distribución general de la construcción desarrolladas en la etapa conceptual, son más importantes, o contribuyen de manera más significativa en la determinación exacta de las fuerzas especificadas por reglamento.

En este tema resulta fundamental el trabajo del ingeniero en estructuras William Holmes, que en 1976 escribió:

"Se sabe desde hace mucho tiempo que la configuración y la sencillez y alineación del sistema resistente a los sismos de una estructura, es tan importante, o acaso más, que las fuerzas laterales de diseño."

Así mismo, Henry Dengenkolb enfatiza al destacar la importancia de la configuración, pero también reconoce que el diseño sísmico no es más que una de las muchas influencias sobre la forma de la construcción:

"Si en un principio se tiene una configuración deficiente, todo lo que el ingeniero puede hacer es poner un parche (mejorar una solución básicamente deficiente lo mejor posible). En cambio, si se empieza con una buena configuración y un esquema estructural razonable, incluso un ingeniero poco brillante no perjudicaría demasiado el comportamiento final. Esto último se ha exagerado un poco. Gran parte del problema se resolvería si todas las estructuras fueran de una forma regular, pero el aprovechamiento económico de los tamaños y distribuciones de los terrenos, los diversos requisitos de planeación para el uso eficiente del espacio y las proporciones estéticas agradables, requieren que el ingeniero estructural proporcione construcciones seguras de formas variadas."

La mayoría de los libros que se han escrito hasta ahora sobre el tema, indican que lo mejor para un diseño sísmico, es una configuración sencilla, simétrica, continua, etc. Pero en la actualidad hay una gran cantidad de avances tecnológicos tanto materiales como teóricos que garantizan la seguridad en las construcciones, y que desde mi punto de vista, nos permitirá experimentar con el diseño, nuevas formas, secciones, materiales, sistemas, etc.

DISEÑO: CONSIDERACIONES GENERALES DE CONFIGURACIÓN

CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL EDIFICIO PARA EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO

En el proceso de diseño se deben tomar en cuenta las características que son relevantes en el comportamiento sísmico del edificio:

- Masa
- Planta
- Elevación y proporción
- Uniformidad y distribución del sistema estructural
- Separación

A continuación se describe la problemática presente dentro del criterio de diseño de cada uno de estos puntos, así como algunas de las posibles soluciones, basándome en lo explicado por Christopher Arnold a lo largo de los capítulos IV, V, VI, VII y VIII en su *Manual de configuración y diseño sísmico de edificios*.^{49, *}

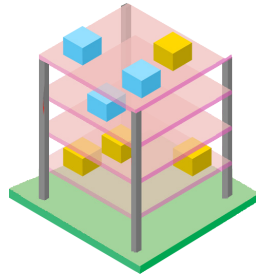
Cabe mencionar que si bien, lo que se menciona, son consideraciones que habrá que tomar en cuenta al momento de diseñar, dependerá del criterio del arquitecto el limitarse a esta pequeña serie de soluciones, o bien, ayudado de su creatividad y capacidad para la solución de problemas, encontrar alternativas de diseño que respeten estos criterios y les permitan experimentar en la concepción arquitectónica.

49. Arnold, C. y Reitherman, R. 1991. *Manual de configuración y diseño sísmico de edificios*. México, D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V. Págs. 61-143
*Nota: Todas las imágenes que ejemplifican los siguientes puntos, fueron realizadas por la autora de la tesis.

MASA

PLANTEAMIENTO

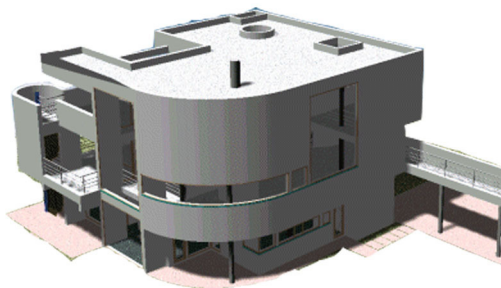
El tamaño del edificio indica también la masa del mismo por ello debe procurarse un edificio lo más ligero posible, incluyendo los revestimientos y elementos divisorios que influyen en la respuesta del edificio. Cualquier cambio en el tamaño del edificio afecta su comportamiento y las decisiones que se tomen para la solución estructural.



PROBLEMÁTICA

La respuesta sísmica del edificio es difícil de cuantificar cuando la distribución de paredes es demasiado compleja, las plantas presentan alas, vestíbulos, balcones, torres, techos en volado, elevadores, ductos y tuberías; así como los techos con vacíos para alojar tragaluces, cubos de ventilación y chimeneas.

Las masas ubicadas en las partes altas de un edificio no son favorables porque la aceleración crece con la altura.



SOLUCIÓN

Como se mencionó con anterioridad, puesto que las fuerzas que afectan el edificio son de inercia, por lo general un aumento de masa produce un aumento de fuerza, de allí que la mejor solución para este problema sea el uso de estructuras ligeras.

En el caso de las estructuras de madera, estas son de poco peso por lo que las fuerzas de inercia serán bajas y es posible violar ciertos principios de configuración, introduciendo irregularidades que constituirían un problema grave en un edificio grande.

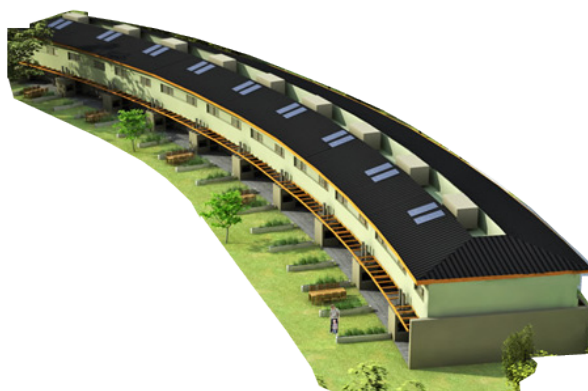
Es conveniente ubicar en los pisos bajos las áreas donde se prevén mayores concentraciones de pesos (tales como archivos, bóvedas, cuartos de máquinas, etc.). También se deben impedir las fuertes diferencias de los pesos en pisos sucesivos y tratar que el peso del edificio esté distribuido simétricamente en la planta de cada piso, una posición asimétrica podría generar un problema de torsión.



PLANTA

Planteamiento

Es fácil visualizar las fuerzas de volteo relacionadas con la altura, como un problema sísmico, pero las áreas de planta grande también pueden ser inconvenientes, puesto que la longitud extrema puede provocar respuestas diferentes a lo largo de la estructura.



PROBLEMÁTICA

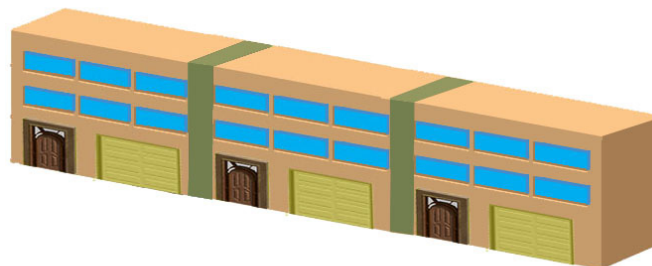
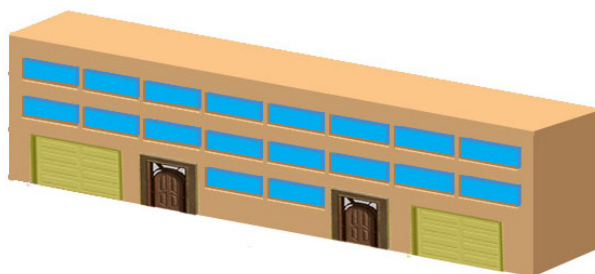
Longitud de planta: Las estructuras con dimensiones considerables en planta, experimentan grandes variaciones de la deformación a lo largo de la estructura que generan fuerzas rotacionales.

Por otro lado, cuando la planta se vuelve extremadamente grande, incluso teniendo una forma sencilla y simétrica, el edificio puede tener dificultad para responder como una unidad a las fuerzas sísmicas.

RECOMENDACIÓN

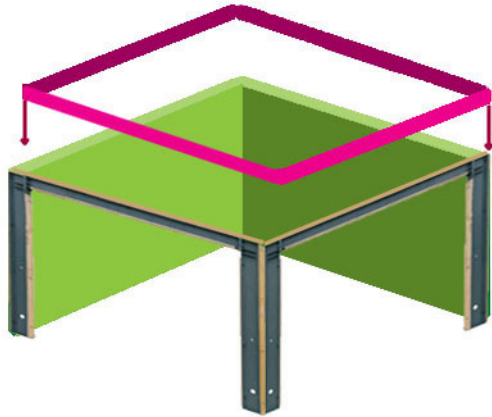
Longitud de planta: Existen dos formas de resolver estos problemas. La primera se basa en considerar los esfuerzos producidos por los movimientos diferenciales durante el diseño y la segunda en permitir los movimientos al incluir juntas.

A menos que haya numerosos elementos interiores resistentes a fuerzas laterales, en edificios donde la planta tiene grandes claros, se recomienda el uso de marcos o muros resistentes a corte, que se encargaran de la transmisión de grandes fuerzas.



PROBLEMÁTICA

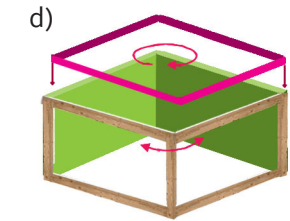
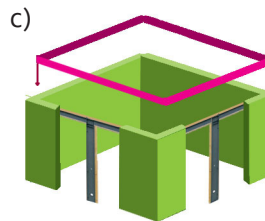
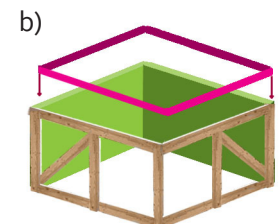
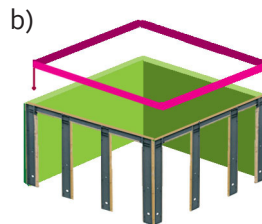
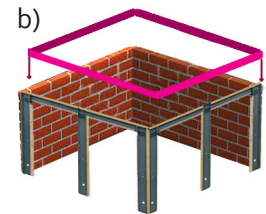
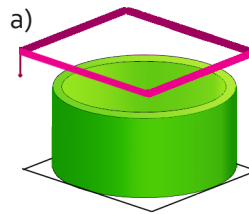
Perimetral: Los muros laterales y/o traseros están sobre los límites de la construcción por lo que no tiene aberturas, mientras la fachada frontal con ventanas hacia la calle es abierta; por lo que el techo tiende a torcerse, generando problemas sobre el edificio.



RECOMENDACIÓN

Perimetral: El objetivo de cualquier solución para este problema consiste en reducir la posibilidad de torsión, para ello se pueden emplear alternativamente cuatro estrategias:

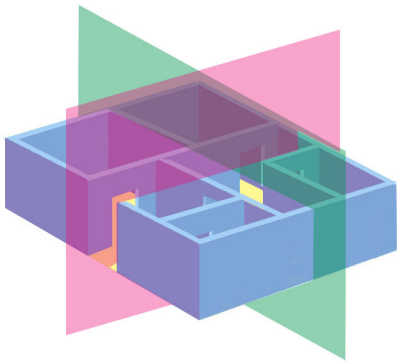
- Tomar en cuenta que la configuración más eficiente es la circular (a).
- Colocar pórticos con resistencia y rigidez aproximadamente iguales para todo el perímetro, valiéndose ya sea de muros, marcos o marcos contra venteados (b).
- Aumentar la rigidez de las fachadas abiertas mediante muros dentro o cerca de la parte abierta (c).
- Aceptar la posibilidad de tener torsión y diseñar la estructura para resistirla (d).



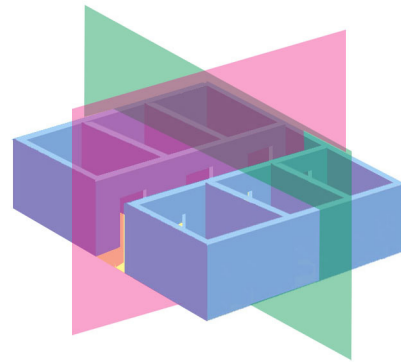
Arnold menciona en su libro que Blume, Newmark y Corning recomiendan que: "Los edificios altos tengan marcos simétricos resistentes a momento, sin tomar en cuenta los muros, y que cada edificio tenga tanta resistencia lateral como sea posible en los soportes estructurales periféricos".

PROBLEMÁTICA

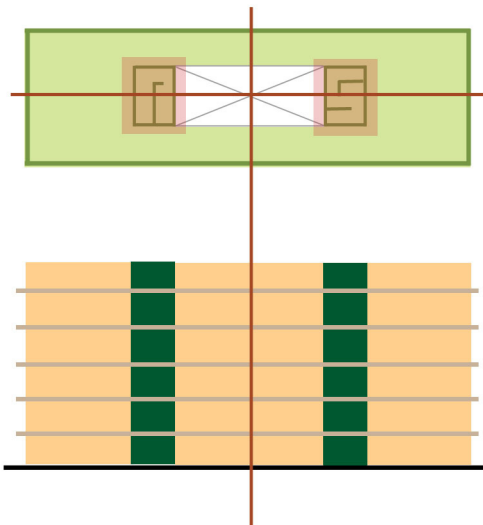
Asimetría: En edificios asimétricos tiene a producirse excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, provocando problemas de torsión además de concentrar esfuerzos en puntos clave como las esquinas interiores (ver el siguiente punto).

**RECOMENDACIÓN**

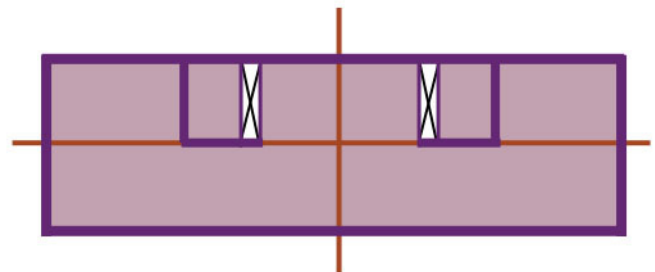
Asimetría: Es importante considerar que a medida que el edificio se vuelve más simétrico, se reducirá su tendencia a sufrir concentraciones de esfuerzos y torsión, y su comportamiento ante cargas sísmicas tenderá a ser menos difícil de analizar y más predecible.

**PROBLEMÁTICA**

Falsa simetría: Edificios que poseen una configuración en apariencia sencilla, regular y simétrica, pero debido a la distribución de la estructura o la masa es asimétrica.

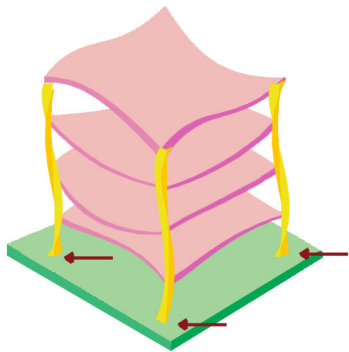
**RECOMENDACIÓN**

Falsa simetría: Ya que los efectos de la simetría no sólo se refieren a la forma de conjunto del edificio, podemos tomar como solución la ubicación simétrica de los elementos resistentes. O bien, si por aspectos de planeación no es posible, se debe agregar algunos elementos resistentes en una parte del edificio que equilibren la distribución de la resistencia de forma que actúe dinámicamente de forma de modo simétrico disminuyendo la excentricidad en planta y la probabilidad de torsión.

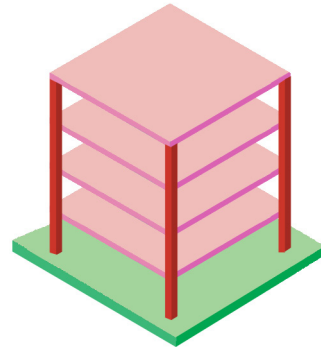


PROBLEMÁTICA

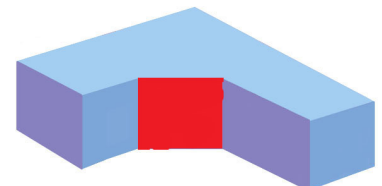
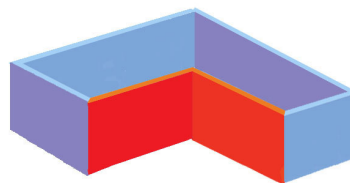
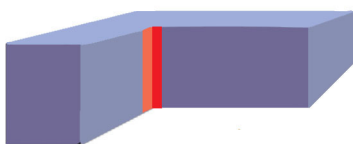
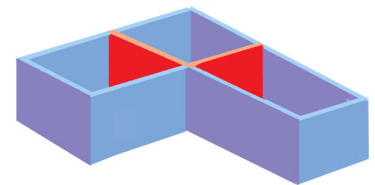
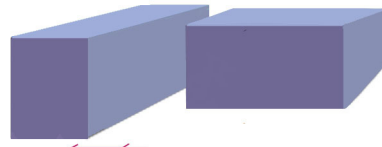
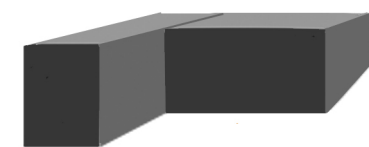
Esquina exterior: Pueden presentar problemas debidos a efectos de ortogonalidad. Un movimiento de tierra orientado en forma diagonal puede esforzar las esquinas en mayor medida que un movimiento a lo largo de los ejes principales.

**RECOMENDACIÓN**

Clarck Pinkham investigador del Engineering Research Institute recomienda que: "se debe dar atención especial a las columnas de esquina de los marcos, tomando en consideración los movimientos simultáneos en dirección vertical como horizontal"

**PROBLEMÁTICA**

Forma interior: Plantas con forma en L, T, U, H, +, o una combinación de estas. Durante un movimiento sísmico cada ala tiene un movimiento diferente y la esquina interior o entrante que es la unión entre las dos alas adyacentes es la parte que más daño va a presentar.

**RECOMENDACIÓN**

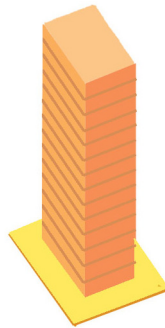
Forma interior: La solución al problema de esquina tiene dos enfoques; dividir estructuralmente el edificio en formas más sencillas o unir con más fuerza la unión de los edificios mediante colectores en la intersección, muros estructurales o usar esquinas entrantes achaflanadas en vez de ángulos rectos, que reduzcan el problema del cambio de sección. (Arnold y Reitherman, 1991)

ELEVACIÓN Y PROPORCIÓN

PLANTEAMIENTO

Las reducciones bruscas de un nivel a otro, tiende a amplificar la vibración en la parte superior y son particularmente críticas. El comportamiento de un edificio ante un sismo es similar a una viga en volado, donde el aumento de la altura implica un cambio en el período de la estructura que incide en el nivel de la respuesta y magnitud de las fuerzas.

La sencillez, regularidad y simetría que se busca en planta también es importante en la elevación del edificio, para evitar que se produzcan concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos o amplificaciones de la vibración en las partes superiores del edificio.

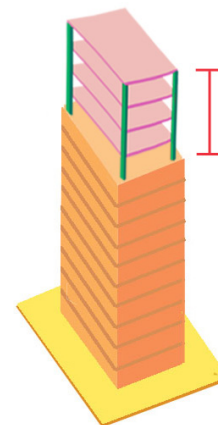
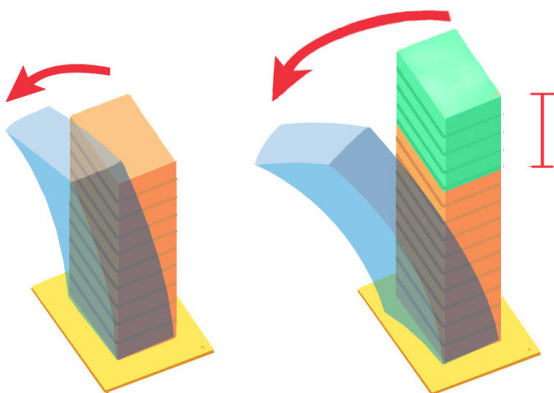


PROBLEMÁTICA

RECOMENDACIÓN

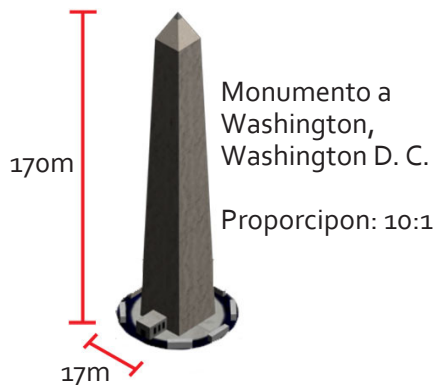
Altura: El cambio de altura de un edificio, que no se contempló desde el inicio, puede traer graves consecuencia, pues a medida que un edificio se hace más alto, por lo general aumenta su período, y un cambio como éste significa una alteración (ya sea hacia arriba o hacia abajo) del nivel de respuesta y magnitud de las fuerzas.

Lo que se recomienda es hacer un análisis del comportamiento sísmico del edificio, que debe calcularse con una altura predeterminada, pues si se cambia la altura del edificio, es probable que al mismo tiempo deban cambiarse variables como la altura de los pisos, los tipos de materiales, el sistema estructural, etc., evitando que aumente el período y por lo tanto el impacto de las fuerzas sísmicas

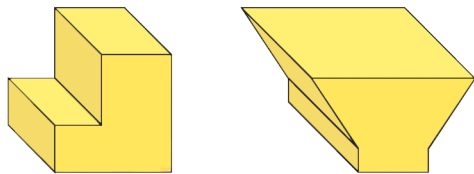


PROBLEMÁTICA

Proporción: Este aspecto puede ser más importante que el tamaño o altura, ya que mientras más esbelto es el edificio mayor es el efecto de voltearse ante un sismo. Pues tendrá un gran peso y tamaño soportados por una pequeña base.

**PROBLEMÁTICA**

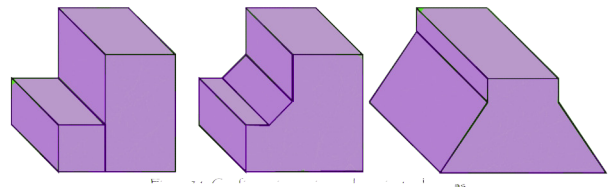
Escalonamiento: Consiste en una o más reducciones abruptas en el tamaño del piso de un nivel con respecto al siguiente. También en hacer el edificio más grande a medida que se eleva, lo que se conoce como escalonamiento invertido.

**RECOMENDACIÓN**

Proporción: Para evitar los problemas de proporción Dowrick (1997) sugiere que se procure limitar la relación altura/anchura a 3 ó 4

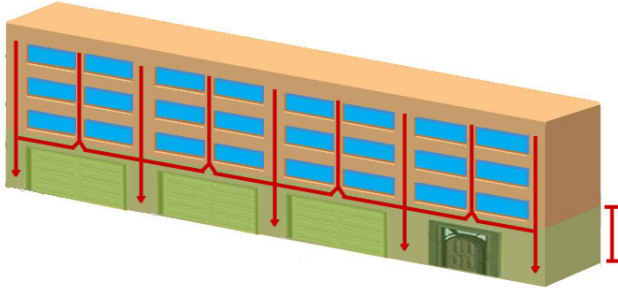
**RECOMENDACIÓN**

Escalonamiento: Como primera estrategia es utilizar cambios de sección en un escalonamiento normal o invertido pequeños. Las soluciones para la configuración escalonada son similares a las de su contraparte en planta con esquinas entrantes. El primer tipo de solución consiste en una separación sísmica en planta. Se debe evitar la discontinuidad vertical de las columnas, un acartelamiento suave evita totalmente el problema del cambio de sección. Por último, en áreas de alto riesgo sísmico se deben evitar las configuraciones escalonadas invertidas.



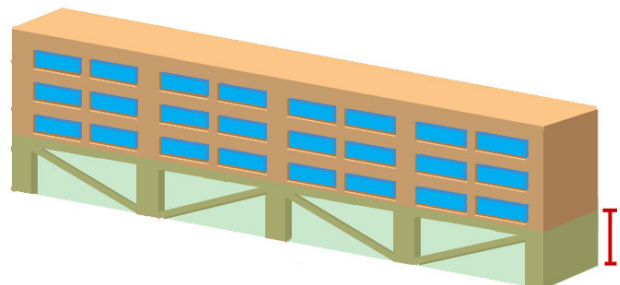
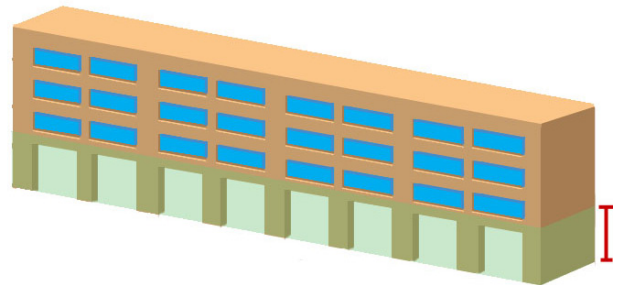
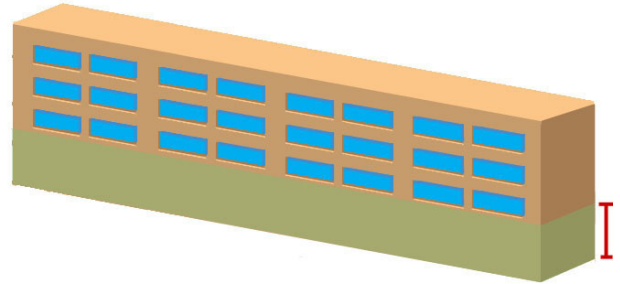
PROBLEMÁTICA

Piso débil: El piso débil se refiere a los edificios donde una planta es más débil que las plantas superiores, causado por la discontinuidad de resistencia y rigidez. Este problema es más grave cuando el piso débil es el primero o segundo, niveles donde las fuerzas sísmicas son mayores.



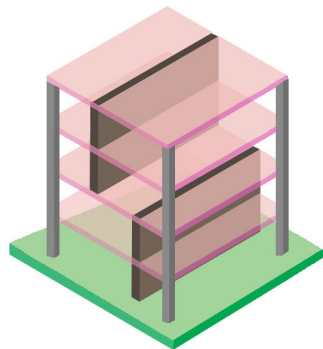
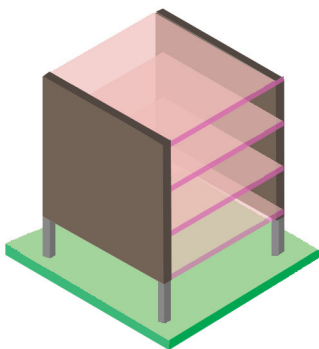
RECOMENDACIÓN

Piso débil: Las soluciones para el problema del piso débil comienzan por utilizarlo lo menos posible en zonas sísmicas, es decir evitar la discontinuidad modificando el diseño arquitectónico. Si esto no es posible, se puede reducir la discontinuidad por otros medios, como aumentando el número de columnas o preferentemente agregando diagonales. Alternativamente, se puede lograr una planta baja con mayor altura eliminando la discontinuidad dinámica mediante un marco vertical que abarque varios pisos, en el cual la estructura tenga uniformidad de rigidez en toda su altura, agregando pisos adicionales ligeros de tal modo que tengan tan poco efecto como sea posible en las características de la estructura principal.



PROBLEMÁTICA

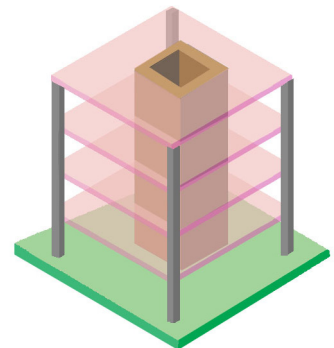
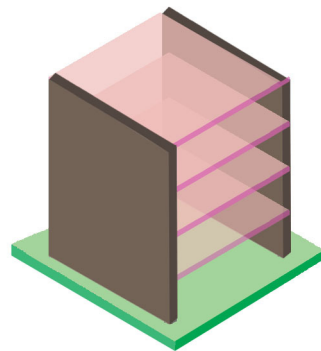
Muro discontinuo: Cuando los muros resistentes a corte no cumplen con los requisitos de diseño se puede considerar que generan un problema como el de piso débil. Por otra parte, un muro de cortante discontinuo es una contradicción fundamental de diseño; el propósito de un muro de cortante es resistir las fuerzas de inercia que se originan en los diafragmas y transmitir las hacia la cimentación en la forma más directa posible, por lo que interrumpir esta trayectoria se convierte en un error y realizarlo en la base es un problema aún mayor, siendo el peor caso de la condición de planta baja débil.



RECOMENDACIÓN

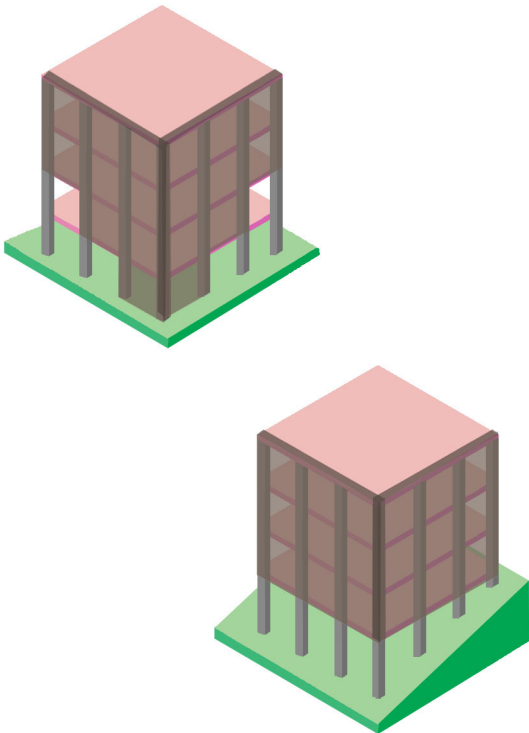
Muro de cortante discontinuo: Cuando se toma la decisión de usar muros de cortante, se tiene que reconocer su presencia desde el principio del diseño esquemático, donde el tamaño y la localización debe ser objeto de una cuidadosa coordinación entre la arquitectura y la ingeniería, pues de lo contrario el querer hacer un muro de cortante discontinuo, resulta completamente incoherente. Es por eso que se recomienda tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Hacer una distribución regular de los muros, estableciendo preferentemente la simetría.
- Procurar que los centros de masas y rigidez estén lo más cerca posibles.
- Para mejor resistencia torsional se deben colocar en la periferia de la planta.
- En edificios de muchos pisos sobre zonas de alto riesgo sísmico, una concentración de toda la fuerza lateral en solamente uno o dos muros implica introducir grandes fuerzas a las cimentaciones, por lo que se requiere una cimentación muy grande.
- Para el diseño, los grandes muros tienden a limitar la flexibilidad en la distribución de los espacios internos, por lo que se recomienda colocar las pantallas limitando las áreas de circulación vertical y de servicios.
- Los sistemas de fachada resistente, si bien condicionan bastante el aspecto externo del edificio, facilitan mucho la organización del espacio interno.



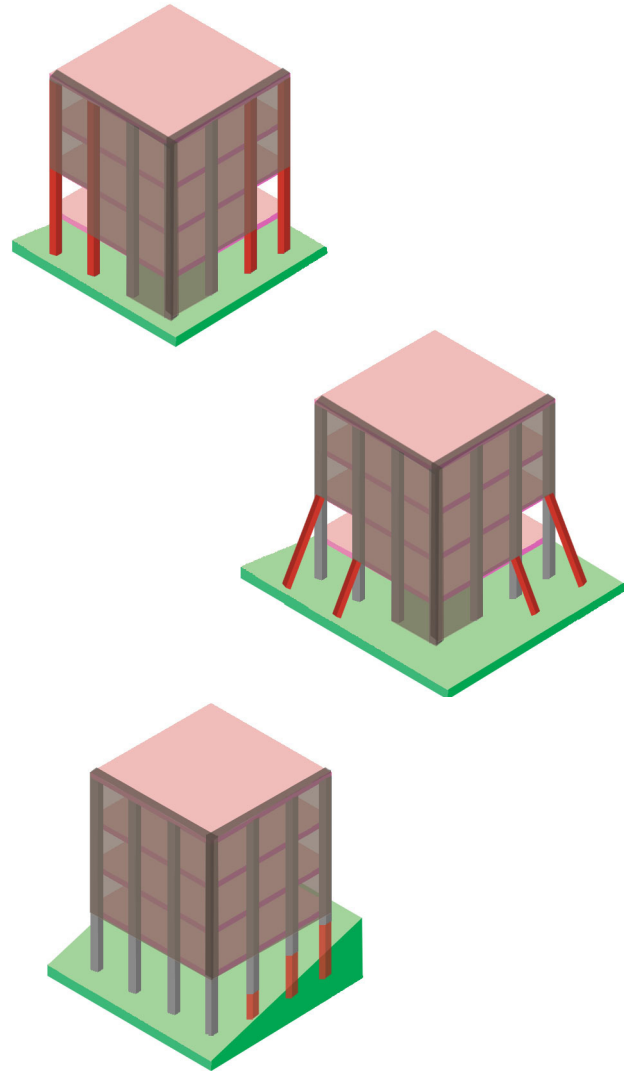
PROBLEMÁTICA

Variación en la rigidez: El origen de este problema por lo general reside en consideraciones arquitectónicas realizadas sobre terrenos en colinas, relleno de porciones con material no estructural pero rigidizante para crear una faja de ventanas altas, elevación de una porción del edificio sobre el nivel del terreno mediante elementos altos, en tanto que otras áreas se apoyan sobre columnas más cortas, o bien, rigidización de algunas columnas con una mezzanina o desván, mientras otras se dejan de doble altura sin rigidizarlas. Estas configuraciones generan una columna corta que es más rígida y bajo cargas laterales, atraerá fuerzas que pueden estar desproporcionadas con su resistencia.



RECOMENDACIÓN

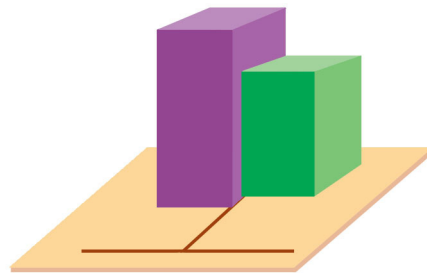
Variación en la rigidez: Si no se puede evitar la situación planteada, una solución consiste en igualar las rigideces de las columnas mediante postes (puntales) que aumenten la rigidez de las columnas más largas o aumentando las dimensiones de los elementos menos rígidos.



SEPARACIÓN

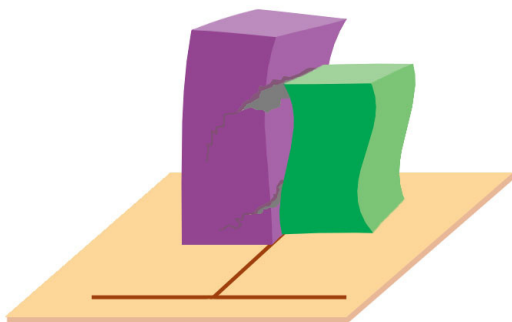
PLANTEAMIENTO

La relación del contorno del proyecto es importante en cuanto a la ubicación del edificio dentro del terreno, es trascendental guardar una separación que sea suficiente con respecto a edificios adyacentes, para evitar que los distintos cuerpos se golpeen al vibrar fuera de fase durante un sismo.



PROBLEMÁTICA

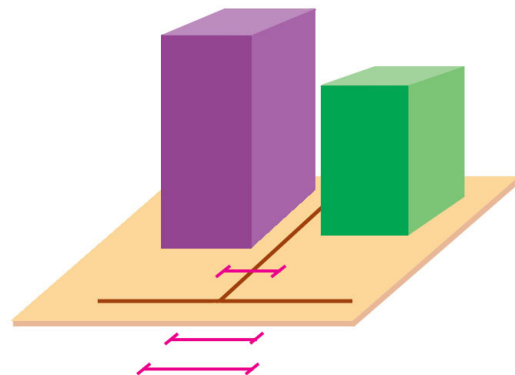
El daño puede ser particularmente grave cuando los pisos de los cuerpos adyacentes no coinciden en las mismas alturas de manera que durante la vibración las losas de piso de un edificio pueden golpear a media altura las columnas del otro. Este choque se denomina golpeteo y está relacionado con las juntas de separación y la rigidez. El estudio del golpeteo entre edificios se relaciona con la localización del edificio en relación con otras estructuras.



RECOMENDACIÓN

La NTC para sismos indica en el punto 1.10 las consideraciones a tomar:

Toda edificación, deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia no menor de 50mm, ni menor que el desplazamiento horizontal, calculado para el nivel de que se trate, aumentado en 0.001, 0.003, ó 0.006 veces la altura de dicho nivel, sobre el terreno, en las zonas I, II, o III, respectivamente.



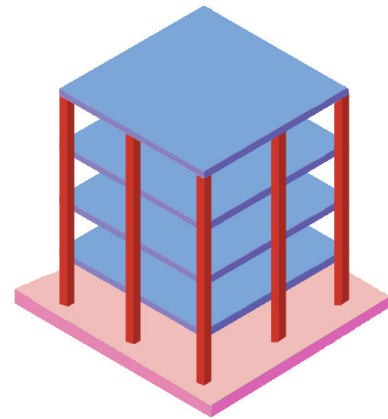
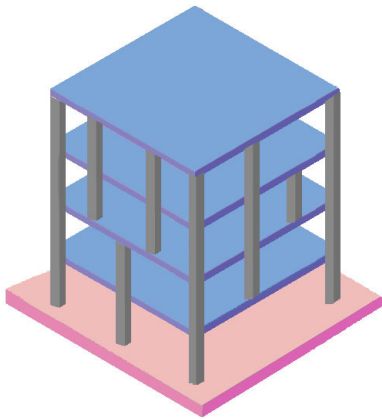
UNIFORMIDAD Y DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

La influencia del sistema estructural en la respuesta sísmica es indiscutible ya que suministra la resistencia y rigidez necesaria para evitar daños no estructurales durante sismos moderados, así como garantiza la integridad del edificio. Por lo tanto, es importante que el arquitecto proponga un sistema adecuado para lo cual debe considerar la simplicidad y simetría, igualmente es conviene tomar en cuenta aspectos tales como: cambios de secciones, redundancia, densidad en planta, diafragma rígido, columna fuerte – viga débil, interacción pórtico – muro.

CAMBIOS DE SECCIONES

Los cambios bruscos de sección en los miembros son un tipo de problema de variación de rigidez que se debe evitar. De igual forma los muros y/o columnas que no siguen una misma línea, no son recomendables por lo que estas líneas de resistencia deben ser continuas.

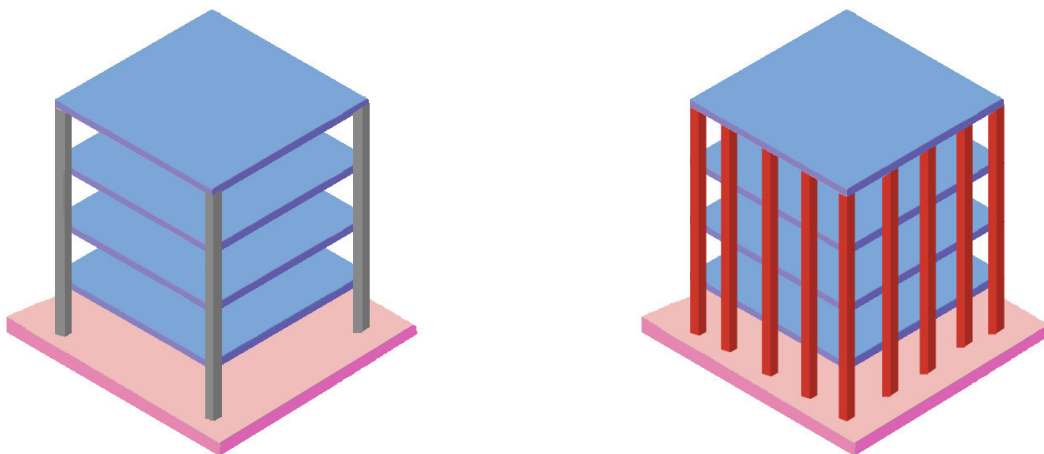


REDUNDANCIA

Los miembros redundantes son elementos que en condiciones normales de diseño no desempeñan una función estructural o están subesforzados con respecto a su resistencia, pero que son capaces de resistir fuerzas laterales de ser necesario, ya que poseen múltiples mecanismos de defensa que garantizan la redistribución de esfuerzos una vez que algunos miembros hayan fallado, esto quiere decir que son capaces de transmitir la carga de un elemento a otro cuando uno de los dos falla.

Esto proporciona un medio útil para obtener un factor adicional de seguridad. Por ello se recomienda tener elementos redundantes en cada una de las direcciones principales de la edificación y salvo que se trate de edificios de dos o tres plantas, es conveniente disponer como mínimo de tres líneas de resistencia. (Grases, López y Hernández, 1987)

Como arquitectos, debemos tener presente este factor de diseño, pues la configuración participa de manera importante, ya que el número y la localización de los elementos resistentes se originan en el diseño arquitectónico y establecen un potencial de redistribución que puede ser efectivo mediante el adecuado detallado estructural.



DENSIDAD EN PLANTA

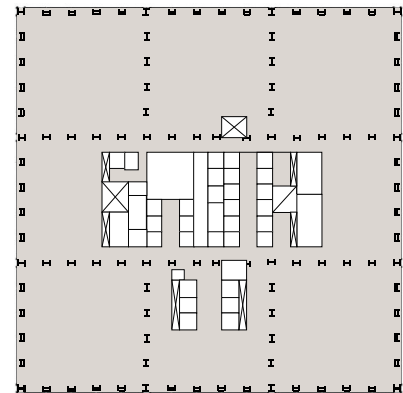
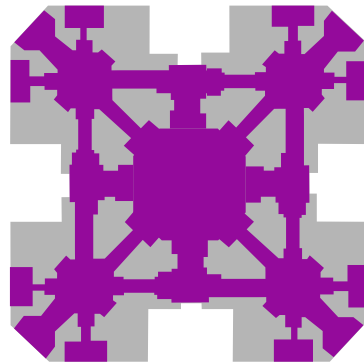
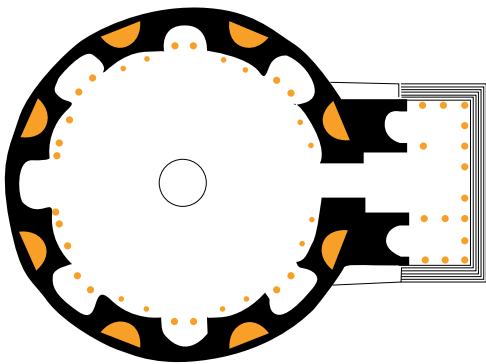
La densidad de la estructura en planta a nivel del terreno, se define como el área total de todos los elementos estructurales verticales (columnas, muros, diagonales) dividida entre el área bruta del piso. En un edificio contemporáneo típico, este porcentaje se reduce al mínimo valor en pórticos.

Por ejemplo, en un edificio típico de 10 a 20 pisos, con pórticos de concreto o acero resistentes a momentos, las columnas ocuparán el 1% o menos del área de su planta y los diseños en que se usa una combinación de pórticos-muros de cortante alcanzarán típicamente una densidad de estructuras en planta a nivel del suelo de cerca del 2%. Incluso para un edificio de oficinas de muchos pisos, que se apoyen solamente en muros de cortante, probablemente la relación llegará sólo al 3%.

Las densidades en planta de edificios construidos antes del siglo XIX presentan un sorprendente contraste, la densidad de la estructura en planta a nivel del suelo puede alcanzar hasta el 50%, como en el caso del templo de Khons en Egipto o el Taj Mahal. La relación para la catedral de San Pedro es de cerca del 25%; para Santa Sofía, el Partenón y el Panteón, el 20%; y para la catedral de Chartres, 15%. Los anteriores ejemplos sugieren que la densidad en planta así como las configuraciones sencillas y estructuralmente lógicas son importantes ya que, edificios que deberían haber colapsado en terremotos pasados han permanecido de pie.

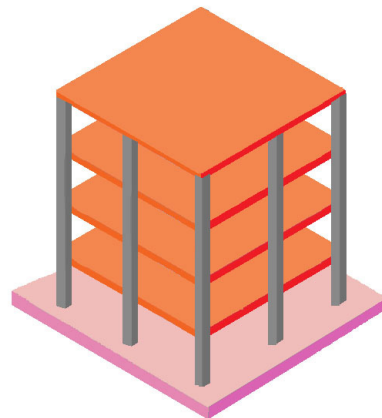
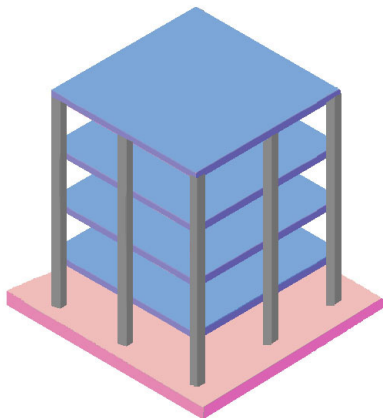
A partir del estudio de edificios de concreto reforzado dañados en el terremoto de 1968 en Tokachi-oki Japón, Toshio Shiga, refinó sus observaciones calculando el promedio nominal de esfuerzos cortantes en columnas y muros de primer piso producidas por un sismo. Para ello supuso que el peso del edificio por encima del nivel del terreno era el área de piso multiplicada por cierto factor de peso ($1,000 \text{ Kg./m}^2 = 200 \text{ lb./pie}^2$); eligió un coeficiente básico de cortante, y sumó el área en planta de las columnas y muros del primer piso. En los edificios de concreto reforzado que no recibieron daño encontró que tenían ya sea un "índice área-muro de más de 30 cm/m^2 (1 pulg.-pie^2) o bien, un esfuerzo cortante promedio de menos de 12 kg/cm^2 (170 lb./pulg^2).

La validez de usar una sencilla relación entre longitud de muro y área de piso depende de dos factores generales: el área de piso se debe correlacionar bien con la masa del edificio y por tanto con su carga, y la longitud del muro debe ser un indicador exacto de la resistencia proporcionada por el sistema de contraventeo.



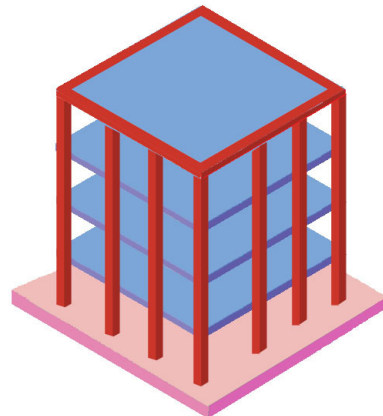
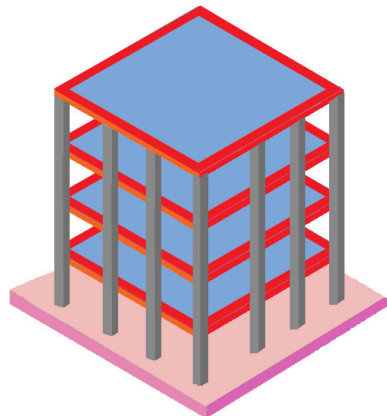
DIAFRAGMAS RÍGIDOS

Los diafragmas de las edificaciones deben ser rígidos en su plano para igualar las deformaciones de los elementos verticales y evitar concentraciones de esfuerzos indeseables en las zonas de unión. Las normas permiten diafragmas flexibles pero se hace difícil estimar la respuesta dinámica de edificaciones con diafragmas flexibles. La utilización de diafragmas rígidos simplifica notablemente el proceso de análisis ya que permite el uso de modelos matemáticos sencillos.



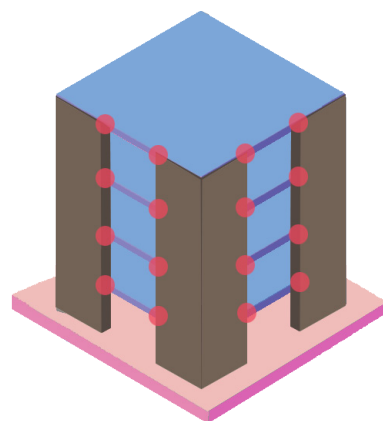
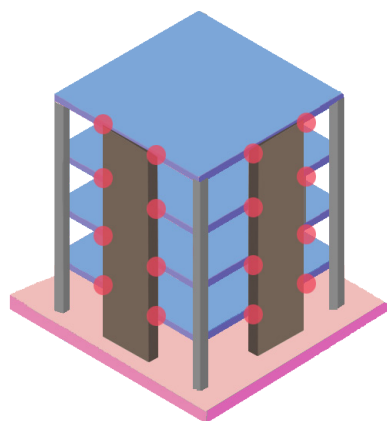
COLUMNA FUERTE – VIGA DÉBIL

En sistemas aporticados es un requisito fundamental para el buen comportamiento de la estructura, que la disipación de energía se inicie en los elementos horizontales, por lo que se debe anteponer los diseños de columnas fuertes y vigas débiles. En fachadas se puede usar elementos no estructurales que se adapten a los requerimientos arquitectónicos, o bien admitir el diseño columna fuerte viga débil en la fachada.



INTERACCIÓN PÓRTICO - MURO

Lo importante de este punto es atender los puntos de unión entre el pórtico y el muro, puesto que el primero es un elemento más flexible y el segundo uno más rígido. Esto podría traducirse en un problema de columna débil y viga fuerte, que puede definirse también como un muro resistente a corte al que se le han hecho grandes aberturas reduciendo severamente la capacidad del dicho muro.



RECOMENDACIÓN FINAL

Se observa que las formas complejas, la carencia de simetría, la distribución al azar de los elementos verticales, la falta de continuidad de los elementos horizontales por las aberturas o techos en varios niveles, los volúmenes agregados que requieren vinculación, las luces grandes y detalles no estructurales son los problemas más comunes en el diseño sísmico. Para lograr una configuración adecuada se debe considerar el tiempo, costo y programación para el análisis sísmico, conjuntamente hay que reconocer el hecho que algunos estilos han sido desarrollados en zonas de bajo riesgo sísmico por lo que en regiones de mucha actividad sísmica no son apropiados.

Uno de los principales errores cometidos en 1985 fue precisamente esto último, pues durante las últimas décadas había proliferado el diseño basado en los principios de Le Corbusiere, y en diseños como el del sketch de la casa Domino que planteara en 1915. Dicho modelo ofrece simplicidad y amplitud, pero resulta totalmente inadecuado para zonas sísmicas, pues su configuración estructural resulta poco adecuada frente al impacto de un temblor. Sus columnas son demasiado débiles para soportar 2 niveles por encima de la cimentación, la ausencia de vigas disminuye la respuesta a momentos, y la escalera de concreto induce torsión en el plano. Desgraciadamente esto ha sido ignorado por la mayoría de los arquitectos que se aferran a seguir ciegamente las teorías del renombrado arquitecto, muchas de las cuales fueron desarrolladas en territorios de sismicidad casi nula.

Finalmente, al momento de diseñar la estructura se recomienda que se tenga en cuenta lo siguiente:

- Todas las columnas y muros deben ser continuos y llevar la misma línea vertical desde el último nivel hasta la fundación.
- La línea horizontal de las vigas no deben tener desalineamientos.
- Las columnas y vigas de concreto armado deben tener aproximadamente el mismo ancho.
- Los elementos principales no deben tener cambios bruscos de sección.
- La estructura debe ser continua y monolítica lo máximo posible. (Dowrick, 1997)

**CASOS DE ESTUDIO. EDIFICIOS QUE SUFRIERON
DAÑOS POR UNA MALA CONFIGURACIÓN**

EDIFICIO MIRAMAR. SISMO DE CARIACO, VENEZUELA, 1997



Imag. 92. Edificio Miramar antes del sismo. El anuncio espectacular que se encuentra en el techo era una carga no contemplada en el cálculo estructural, lo que provoca una distribución irregular de masa.



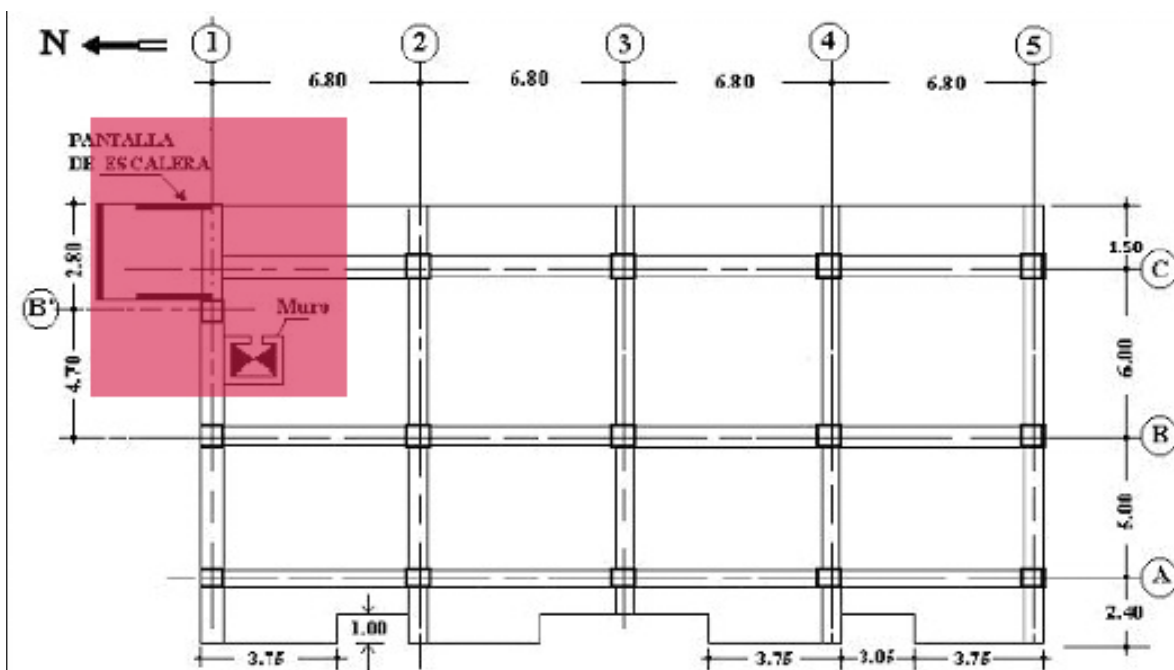
Imag. 93. Edificio Miramar después del sismo de 1997.

Fue inaugurado en 1982 y respondía a un patrón arquitectónico comúnmente utilizado a partir de los años sesenta.

El artículo "El terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997" del Boletín Técnico 2000 del Instituto de Materiales y Modelados Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela, expone un concienzudo análisis sobre algunos de los principales daños sufridos en distintos edificios afectados. En lo referente al edificio Miramar en Caracas, rescató el siguiente fragmento que explica:

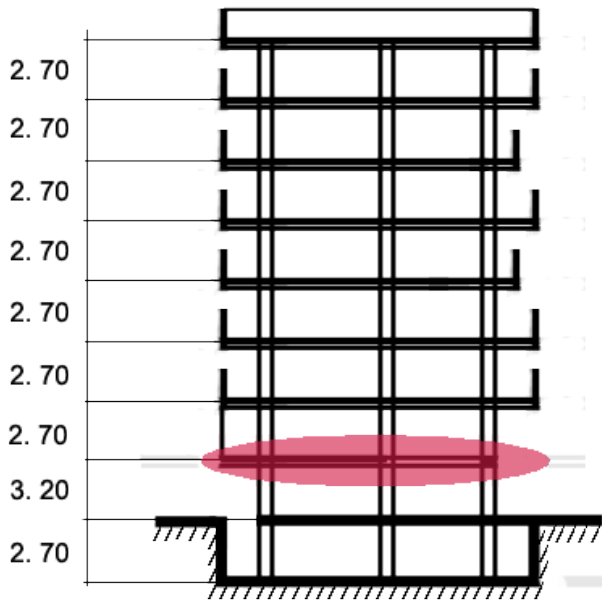
"La estructura tenía un núcleo de escaleras compuesto de tres muros de 15 cm. De espesor, el cual se encontraba ubicado en una de las esquinas del edificio y un núcleo de ascensores compuestos de muros de concreto de 15cm. de espesor cercano al núcleo de escaleras. Adicionalmente, a nivel de mezzanina la losa de piso se encontraba reducida con relación al resto de los niveles, por tal motivo había 3 columnas desconectadas de la losa de piso."⁵⁰

Si leemos esta breve descripción, observamos los planos y tomamos en cuenta los principios de diseño sísmico descritos en los capítulos 3 y 4, resulta evidente que la concentración de rigidez en la esquina noroeste aunado a la discontinuidad del diafragma de la mezzanina y las columnas de doble altura, provocaron las siguientes irregularidades:



Imag. 94. Planta de nivel tipo. Se observa como los muros que envuelven los servicios concentran una mayor rigidez en una sola esquina del edificio.

50. Guevara, Teresa. 1991. *Arquitectura moderna en zonas sísmicas*. Vitelmo V. Bertero. Págs. 185-190



Imag. 95 Corte A-A'. En el mezzanine se ve la discontinuidad de la losa, al igual que en otros niveles donde se ven más reducidas en relación a las losas del resto de los niveles.

1. Distribución irregular de la rigidez en planta, debida a la concentración en la esquina nororiental.
2. Efecto de "Piso débil" generado a partir de una distribución irregular de la rigidez y de la resistencia en vertical, ya que tanto en planta baja como en mezzanine había un número mucho menor de muros no estructurales a los que había a partir del primer piso residencial, generando volúmenes más rígidos apoyados en pisos inferiores más flexibles, donde además la altura de la planta baja era mayor que la del resto de los pisos.
3. Discontinuidad entre los componentes estructurales horizontales y columnas de diferente altura en planta baja, debido a la existencia de una losa de piso parcial para generar una mezzanine y un espacio de doble altura en planta baja.
4. Efecto de "viga fuerte- columna débil" ya que según el informe oficial de IMME menciona:

"En algunos nodos de la planta baja y en la mayoría de las plantas superiores, la resistencia de las vigas concurrentes excede la de las columnas que llegan al nodo. (...) En el proyecto estructural, se subestimaron las cargas de gravedad en varias columnas y se ignoraron las fuerzas axiales por sismo. Esto, aunado a una probable pobre calidad del concreto, limita gravemente la capacidad sismorresistente del edificio."

5. Distribución irregular de la masa reactiva en vertical, debido no solo a las numerosas paredes no estructurales ya mencionadas en el punto 2, sino además a la sala de máquinas del ascensor y al anuncio publicitario ubicados en el techo.

INMOBILIARIA PENTA, EDIFICIO REGINA ORIENTE, SANTIAGO DE CHILE, 2010

El segundo análisis parte de los daños causados en el sismo del 27 de febrero de 2010 en Chile. El Centro de Investigación e Información Periodística (CIPER) constató que en al menos 11 de los 24 edificios más dañados por el terremoto en Santiago se repite la misma falla estructural: armaduras de fierro del concreto que no soportaron la presión. Diversos expertos indican que ello se debe a que en los últimos años han proliferado los edificios con menos muros estructurales en sus plantas bajas porque las inmobiliarias ponen estacionamientos en subterráneos o zócalos para mejorar el negocio. Si bien la norma chilena de construcciones sísmicas adopta las especificaciones de una norma norteamericana para la confección de estos muros, incluyó una excepción que permitió que los armados hicieran de manera distinta, lo que provocó las fallas.

La inmobiliaria Penta encargó a los calculistas de la firma René Lagos y Asociados un informe del estado de su edificio Regina Oriente. El documento bajo la firma del ingeniero Luis de la Fuente Martínez establece que el principal daño es la falla en la base de un muro estructural del primer piso.



Imag. 96 Grieta en edificio Regina Oriente, por falta de confinamiento del concreto

La falla, de una longitud de 70 centímetros con desprendimiento de concreto, dejó a la vista armadura retorcida que se proyecta en una grieta de cuatro metros hacia el interior del muro. Según los cálculos del profesional, este daño le ha restado al edificio un 10% de su capacidad de resistencia a un sismo. En todo caso, el informe establece que eso "es suficiente para resistir un terremoto importante".

La falla local afecta al extremo del muro y se debe a la falta de confinamiento del concreto en dicha zona. Al fisurarse, el concreto se desprende dejando expuestas las armaduras que se pandean por efecto de la compresión. El muro falló porque la constructora no respetó las indicaciones que se hicieron en los planos de cálculo para poner las armaduras de fierro del concreto, que indicaban un confinamiento especificado en los planos de cálculo.

Según diversas fuentes consultadas por CIPER, se trata de una práctica que no es aislada en el mundo de la construcción y que se debe, en primer lugar, a que a los trabajadores que hacen los armados se les paga por kilo de acero instalado, lo que les obliga a "correr" para obtener más dinero en el mes. Y, en segundo término, a la falta de especialización en temas estructurales de los supervisores presentes en las obras. Sin embargo, lo grave es que las inspecciones preliminares a los edificios residenciales que sufrieron daños severos durante el terremoto indican que efectivamente presentan fallas en sus armados.

Cuando una estructura de concreto es sometida a compresión, el hormigón tiende a proyectarse, es decir a partirse en trozos y salir hacia los lados, dejando fierros a la vista. Un temblor hace que el edificio oscile y durante esta oscilación la estructura primero se carga sobre un sector y luego sobre el otro. Entonces hay un momento en que un muro o un pilar recibe más carga de lo habitual, más compresión. Con ayuda de los amarres el hormigón debería permanecer confinado, sin proyectarse —explica Saragoni.

Pero si el hormigón se proyecta, los fierros quedan "desnudos" y, luego, cuando el sismo inclina el edificio sobre el sector contrario, el acero se estira o rompe. Al siguiente ciclo de oscilación, este sector debilitado vuelve a soportar compresión y como las barras ya no están recubiertas, se doblan o "pandean". Hay una mayor probabilidad de que esto ocurra cuando la duración del ciclo de oscilación se acerca o supera un segundo, lo que obviamente se da con más frecuencia en los edificios altos.



Para evitar la proyección del concreto (que se rompe en pedazos) por la compresión que provoca un sismo se usan estribos de confinamiento cerrados.

Imag. 97 Correcto trabajo de estribos para confinamiento.

Los "estribos de cerramiento cerrados," según la norma chilena 430 del año 2008 - traducción de la norma norteamericana ACI 318-, deben terminar en un gancho de 135° para mantener "ammarradas" las barras longitudinales (fig. A). Inspecciones preliminares indican que estribos de 90° (fig B) como se permitían hasta antes de 2008, usados en edificios de "primer piso débil" no resistieron la presión del terremoto.

La solución a lo descrito anteriormente está en el uso del gancho sísmico que se especificaba en la norma chilena (basada en la norma estadounidense) hasta antes del terremoto de 1985. La norma indica que “el refuerzo transversal debe proporcionarse ya sea mediante estribos cerrados de confinamiento sencillos o múltiples. Se pueden usar ganchos suplementarios del mismo diámetro de barra y el mismo espaciamiento que los estribos cerrados de confinamiento”. Los “estribos cerrados” y los “ganchos suplementarios” (Imag. 92) son barras que tienen la particularidad de terminar en un ángulo de 135° , lo que se conoce como “gancho sísmico”, el que virtualmente “amarra” los gruesos fierros longitudinales para que no se doblen a causa de un terremoto.

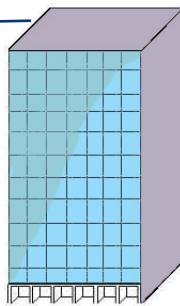
La excepción se debe a que, cuando se revisó la norma chilena (después del terremoto de 1985), se vio que el confinamiento de los muros que se había hecho hasta entonces se había comportado bien. Hubo entonces un consenso entre los colegas que consideraban excesivo el requerimiento de la ACI 318 (la norma estadounidense), que hasta ese momento estaba basado en pruebas teóricas, nunca enfrentado a un terremoto real de las magnitudes que se dan en Chile. Los mismos norteamericanos estaban pensando suavizarla, hasta que vino este terremoto que estaría demostrando que son necesarios en edificios altos con menos muro estructural en la base –dice el ingeniero calculista René Lago.

En particular, fueron los edificios de “primer piso débil” –con menos muros estructurales en sus plantas bajas- los que más sufrieron este tipo de daño (imag 93,94).

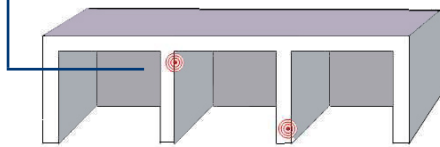
En los últimos años han proliferado estas construcciones con un diseño que privilegia el uso intensivo del suelo para maximizar el negocio de la inmobiliaria. Ello obliga a poner los estacionamientos en subterráneos o zócalos. Eso significa que las plantas bajas, para permitir la circulación de vehículos, tienen más muros discontinuos o machones. En síntesis, para soportar el peso propio de la estructura y las cargas adicionales provocadas por un sismo, tienen menos elementos estructurales –muros, columnas o pilares- que los edificios tradicionales.⁵¹

El problema fue que hubo un exceso de confianza en este tipo de diseños, basada únicamente en el mal criterio de los arquitectos y en los avances e innovaciones que se habían presentado en la calidad de los materiales.

Los edificios con menos muros estructurales en la base, presentaron más fallas por compresión durante el sismo.



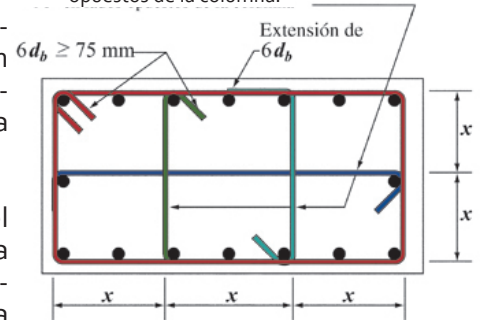
La revisión preliminar de algunos edificios dañados indica que en muros discontinuos o machones (los típicos muros degados de estacionamientos) se presentaron más fallas por compresión en sus zonas de unión con las losas de pisos superiores o inferiores.



Imag 99. Problema del piso débil y los muros discontinuos.

Ejemplo de refuerzo transversal en columnas

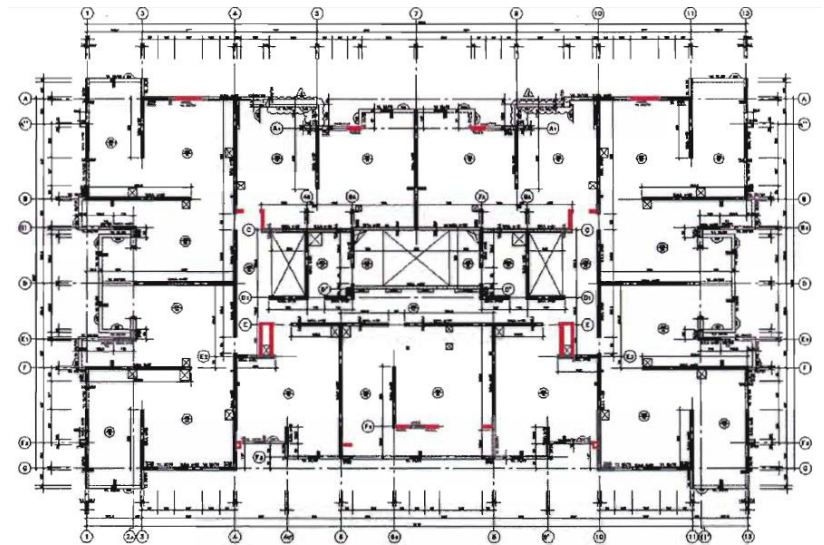
Los ganchos suplementarios consecutivos que enlazan la misma barra longitudinal deben tener sus ganchos a 90° en lados opuestos de la columna.



Note: $x \leq 350 \text{ mm}$

h_x = valor máximo de x para todas las caras de la columna

Imag 98. Gancho sísmico según la norma norteamericana.



Imag 100. Platna tipo. Indica en rojo los muros no estructurales que causaron algunos de los daños en la estructura.

51. Ramírez, Avendaño, Schüler. 07.04.2010. Artículo *Estudio de edificio de Penta revela falla que se repite en modernas torres afectadas por el terremoto*. sitio del CIPER: <http://ciperchile.cl/2010/04/07/estudio-de-edificio-de-penta-revela-la-falla-estructural-que-se-repite-en-las-modernas-torres-afectadas-por-el-terremoto/>

CAPÍTULO

5

ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO

Banco De China.
Taipei 101
Los Manantiales, Xochimilco
Celanese Mexicana.
Suiss Re
Torre Cocoon.
Cruz Del Sur.
Basílica De Santa María De Guadalupe.
Taller De Agustín Hernández
Construcciones En Superadobe

Una vez desarrollados a detalle los conceptos básicos de todo aquello que influye sobre una estructura al momento de un sismo, y de haber detallado los problemas de configuración más frecuentes, así como sus respectivas soluciones, a lo largo de este capítulo se realiza el análisis de 10 casos de estudio, aplicando los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores.



BANCO DE CHINA. HONG KONG, CHINA

La torre cuenta con 70 plantas, mide 315 metros de altura y fue construida en 1989 junto a la estación Central MTR. Fue el edificio más alto de Hong Kong y Asia desde 1989 hasta 1992, y fue el primer rascacielos fuera de Estados Unidos.

Su configuración consta de cuatro torres triangulares de cristal y aluminio, con alturas variadas, que emergen de un pedestal hecho de granito. Los cambios geométricos que ocurren en las subidas del edificio hacia el cielo son el aspecto más intrigante de la torre. Los ángulos y los puntos agudos aportan una estética interesante, siendo éste un contraste de la arquitectura llana que domina la ciudad con la propia geometría de la estructura en cuestión.

BANCO DE CHINA. HONG KONG CHINA

52. Discovery Channel. 2003. Documental *Banco de China*. Producción Discovery Channel

**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**



MATERIALES

El concreto reforzado es el elemento principal en la estructura vertical de las 5 columnas que soportan el edificio, mientras que otros elementos orgánicos de su construcción como los miembros horizontales son de acero estructural de alta resistencia.

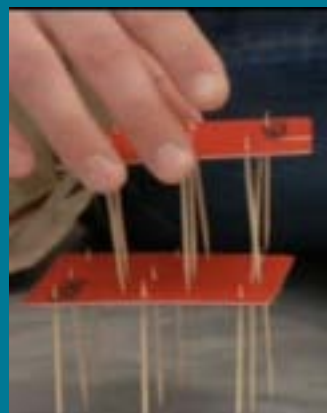
En cuanto a su piel, el cristal reflexivo de plata crea distintos reflejos de los espacios que rodean la torre, haciendo lo mismo por las noches con las luces de la ciudad.



DISEÑO ESTRUCTURAL

Tomando en cuenta la limitante económica del proyecto, la estructura y la geometría del Banco de China es sencilla pero muy inteligente, por lo que el Arquitecto Pei innovó en la forma de construir rascacielos hasta ese momento.

Normalmente los rascacielos se construyen con suelos que son planchas de concreto con una serie de columnas, y se levantan colocando unas sobre otras, como se ve en la figura. Esto significa que hay columnas que descansan sobre las planchas de cada nivel teniendo como consecuencia, estructuras más pesadas, más caras y espacios menos libres.



Lo que el arquitecto Pei hizo, fue construir una estructura tubular simétrica donde la carga no reposa sobre columnas si no en las paredes, evitando así la necesidad de una gran cantidad de columnas en el centro de las plantas. Para ello, trabajó sobre una maqueta muy sencilla: Un tubo cuadrado dividido en cuatro partes en diagonal, originando a su vez cuatro tubos que le permitían jugar con la forma para la creación del diseño.

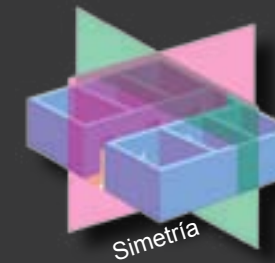
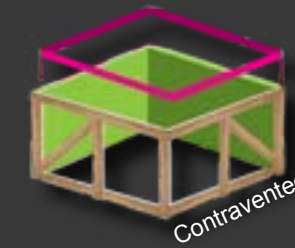
Con el trabajo sobre la maqueta surgió la idea de formar el edificio a partir de 4 triángulos dentro de un cuadrado, lo que geoméricamente generaría 5 soportes importantes: 4 esquinas y 1 núcleo.

El núcleo resultaba ser el más importante pues sería una gran columna en el centro que tendría que unirse con las cuatro esquinas, permitiendo una eficiente transmisión de las cargas de la columna central hacia las otras cuatro. Gracias al diseño de este sistema, se obtuvo una estructura más ligera y el ahorro en la parte estructural resultó ser de un 60% más económico de lo que habría costado un edificio convencional de esa altura.

Finalmente, el Arquitecto Pei levantó cuatro tubos triangulares juntos, formando una planta cuadrada en la base del edificio, para posteriormente colocar los tubos a diferentes alturas y cortar en ángulos de 60 grados las puntas de cada uno, consiguiendo así la forma del edificio y dotándolo tanto de estabilidad estructural, como de elegancia en el diseño.



PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



FLEXIBILIDAD

La disposición flexible de la estructura tridimensional se logra gracias a las uniones en el espacio interior, formando una planta libre que permite los cambios y/o modificaciones futuras en la disposición y construcción de la oficina.



VIABILIDAD

La intención era que el edificio se convirtiera en el más alto de mundo en su momento, pero aun más importante que funcionara como un símbolo del poderío económico y político de China en Hong Kong, superando al edificio del Banco HSBC de Sir Norman Foster, que representaba el dominio de Gran Bretaña. El problema fue que el presupuesto era de unos 2 mil millones para los años 90, y al calcular el costo, el arquitecto Pei se percató de lo difícil de la situación, pues el edificio debía salir en unos 60 dólares el metro cuadrado, cuando el presupuesto arrojaba un costo de 600 dólares por metro cuadrado.



Esto llevó a que la cuestión económica influyera de manera drástica en el diseño, buscando la solución más sencilla, menos cara y eficiente.

SUSTENTABILIDAD Y AHORRO ENERGÉTICO

En el concepto de iluminación natural las azoteas inclinadas permiten una iluminación más natural, y por lo tanto; se requiere de menos energía para la iluminación artificial, gracias a los cristales reflexivos de los que el edificio entero está cubierto, de un tono plata-azulado; y enmarcados en aluminio.

Tal piel no sólo refleja las imágenes del cielo y de la ciudad que cambian, sino que también absorbe la luz del sol, de modo que el consumo de energía para iluminación y calefacción se reduce.





**TAIPEI 101,
TAIPÉI, TAIWAN**

Con su construcción se buscaba un símbolo del ingreso de Taiwán al nuevo milenio, un expresivo simbolismo propio de la cultura china, rica en tradición y legibilidad para el ciudadano común. El responsable de cumplir con esta tarea fue el arquitecto Taiwanés C. Y. Lee, que evoca estructuras de la naturaleza como la abertura de los pétalos de una flor así como la forma de las ramas de bambú. Mientras que de su historia retoma el ritmo impreso en las pagodas asiáticas, el cual se refleja en los segmentos repetidos simultáneamente a lo largo del edificio. En palabras del arquitecto C. Y. Lee: "No es sólo una geometría moderna, sus raíces son chinas. Uniendo la expresión de la historia y la filosofía, intenté encontrar una alusión y mostrar la esencia de las culturas chinas"

Pero la complejidad del diseño va mucho más lejos pues la construcción se sitúa en Taiwán, cuyo territorio se ubica entre las placas Euroasiática y Filipina, una de las zonas sísmicas más activas del mundo ya que la placa Filipina se mueve un aproximado de 7 cm. al año en dirección a la placa Euroasiática. Es así que este edificio de 529 m, construido entre 1997 y 2004 y de un costo aproximado de 800 mdd, está diseñado para soportar terremotos hasta de 7 grados y vientos huracanados de más de 450 km/hr.

53. Discovery Channel. 2003. Documental *Taipei 101*. Producción Discovery Channel

**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**



DISEÑO ESTRUCTURAL

Tiene un total de 106 pisos encontrándose 5 por debajo del nivel de suelo y 101 por encima. La parte circular del edificio está formada por "mega columnas y mega vigas", que se unen a cada ocho pisos, entrecruzando las columnas centrales con las laterales a través de las vigas, para unir el corazón del edificio con su estructura exterior.

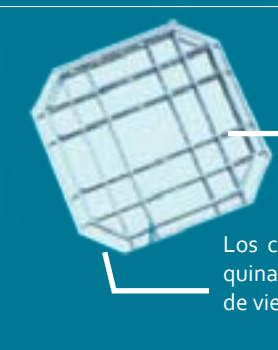
Su diseño brinda fuerza, flexibilidad y alta resistencia al rascacielos a través de una estructura de acero de alto desempeño, que se basa en 8 columnas laterales, y 16 columnas centrales, de las cuales las últimas forman la mega estructura por donde pasa el ascensor. Las mismas son un híbrido que logra mayor resistencia gracias a que el cuerpo metálico de las columnas fue llenado con concreto armado.

Para las uniones entre las "mega columnas y mega vigas" se realizan unos cortes en las vigas, lo que permite estabilizar mejor el peso y disipar la energía en casos de derrumbes, para evitar que las paredes se agrieten.

Con las medidas preventivas que se toman en construcción, el ingeniero Shi Ying Kahn afirma que, sólo en unos 250 años un terremoto podría causar daños considerables en la estructura pero que la misma no va a colapsar. Afirma también que en caso de la embestida de un avión, como ocurrió con las torres gemelas, este no colapsará, debido al tipo de construcción que se realizó. Además, porque el peso de un avión sólo sería el 0.5 por ciento del peso del edificio, lo que equivale a una mosca que choca a toda velocidad con un árbol.



Una enorme y compleja malla de acero y concreto refuerzan la estructura, mitigando posibles movimientos, provocados por vientos o sismos.



Entramado en forma de círculo
Los cortes realizados en las esquinas disminuyen los impactos de vientos y fuerzas sísmicas.

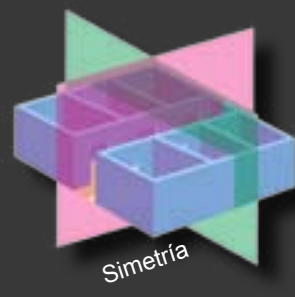
DISEÑO ARQUITECTÓNICO

En su geometría básica, el edificio está formado por once cubos, imitando el diseño de las antiguas pagodas, de los cuales, ocho, son secciones piramidales invertidas, que para fines estructurales están rodeadas por anillos exteriores que distribuyen las cargas del edificio hacia el centro del mismo.

En cada módulo, el primer piso se reserva a los equipos y maquinarias de mantenimiento, favoreciendo el comportamiento de la masa.



PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



DISEÑO DEL AMORTIGUADOR

Para la resistencia a las embestidas del viento y de los sismos, se diseñó una bola de acero y concreto de 680 toneladas y 1.5 metros de diámetro que está colocada entre los pisos 88 y 92, sujeta por cuerdas de acero y ocho amortiguadores. Si una fuerza sísmica embiste la estructura, ésta se balancea y la bola toma una dirección contraria a la del edificio, ayudándolo a volver a su nivel original y funcionando como contrapeso.

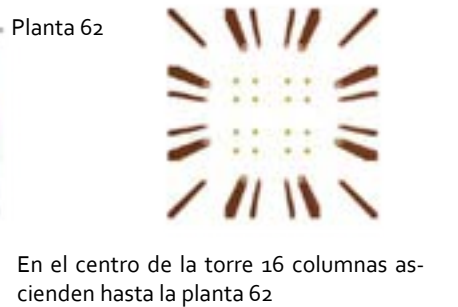


CIMENTACIÓN

El problema resulta complicado pues además de tener el riesgo sísmico, el suelo es blando y arenoso, es por ello que, para su cimentación, se realizó una excavación equivalente al peso del Taipei 101, y como cimientos se clavaron 550 pilares a una profundidad de 80 metros perfectamente anclados al lecho rocoso, siendo capaces de soportar 1000 toneladas métricas. Además, para distribuir mejor la carga del edificio, se construyó una plataforma de concreto en la parte central donde están apoyadas las columnas.



Cerca de los muros exteriores, 8 "super columnas" de concreto armado y acero están diseñadas para amortiguar terremotos y fuertes vientos.



Planta 62
En el centro de la torre 16 columnas ascienden hasta la planta 62

Estas características combinadas hacen del Taipei 101 uno de los rascacielos más estables construidos a la fecha. La estabilidad de su diseño se puso a prueba durante su construcción cuando, el 31 de Marzo 2002, un temblor de magnitud 6.8 grados sacudió a Taipei.



Este edificio se encuentra en Xochimilco, sitio prehispánico de importante significado para la ciudad de México.

En este lugar se plantea la creación de un local para mil personas con una sala de restaurante, substituyendo a uno anterior que fuera destruido por el fuego años atrás. El resultado que se obtiene es un restaurante con un amplio y magnífico salón donde se encuentran las mesas que rodean una gran pista de baile, todo esto, bajo una enorme y poco común cubierta formada por una serie de gajos que se alzan dejando grandes ventanales.

A un costado, el restaurante tiene muros independientes que albergan los servicios, como la cocina, los sanitarios, el vestíbulo de acceso, etc; Mientras que en la parte del acceso se cuenta con un estacionamiento para aproximadamente veinte automóviles.

Félix Candela experimento con todo tipo de combinaciones triangulares, cuadradas, pentagonales, hexagonales, octogonales, siendo este restaurante una de sus principales obras. De planta Octogonal formado por la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos, Los manantiales se ha convertido en un magnífico ejemplo de la unión entre análisis estructural y diseño arquitectónico.

LOS MANANTIALES, XOCHIMILCO CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

LOS MANANTIALES, XOCHIMILCO. CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

54. Solís Ávila, Luis Fernando. 2010. *Principios Estructurales en la Arquitectura Mexicana*. Editorial Trillas. Págs.94-97

**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**

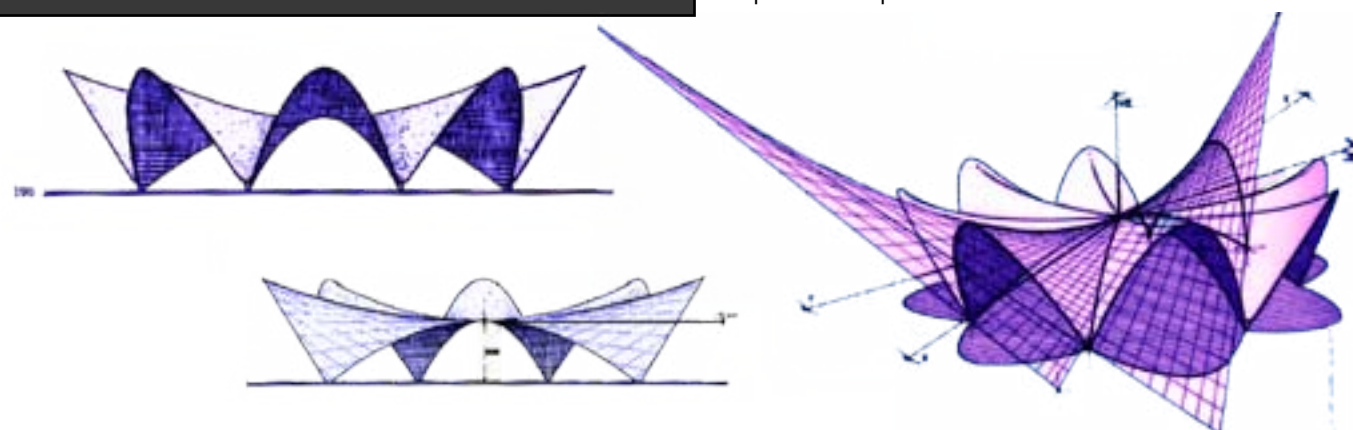


**FUNCIONAMIENTO
GEOMÉTRICO**

La innovación que aportara Candela con su obra, consiste en el detallado análisis matemático y estructural que hace sobre el comportamiento de la geometría simple, enfocándose especialmente en la construcción de cascarones, como es el caso de los manantiales, donde decidió diseñar una bóveda de planta circular, formada por la intersección de ocho gajos provenientes del encuentro de cuatro paraboloides hiperbólicos.

En palabras del arquitecto:

“Los cascarones debe ser estables y de formas que permitan trabajar fácilmente con ellos. Deben ser tan simétricos como sea posible porque eso simplificará su comportamiento. Si queremos tener bordes libres debemos tener algunos bordes interiores o aristas que lleguen al suelo por líneas inclinadas, o bien, todos lo otros bordes rígidamente fijos a elementos estructurales capaces de resistir fuerzas en cualquier dirección, como aquellas producidas por los sismos.”



DISEÑO ESTRUCTURAL

El cascaron está constituido por superficies no desarrollables, lo que le brinda mayor rigidez y permite construirlo con espesores mínimos.

De los ocho lados de la cubierta, salen planos ligeramente inclinados que cortan los paraboloides, dando como resultado en sus ocho fachadas, arcos en forma de parábola.

Su encofrado es más simple que el de una bóveda formada para la intersección de cilindros, por tener dos sistemas de generatrices rectas.

La madurez del diseño permitió eliminar la viga del borde y concentrar la descarga del peso de la estructura en los apoyos de arranque que se encuentran rematados en el

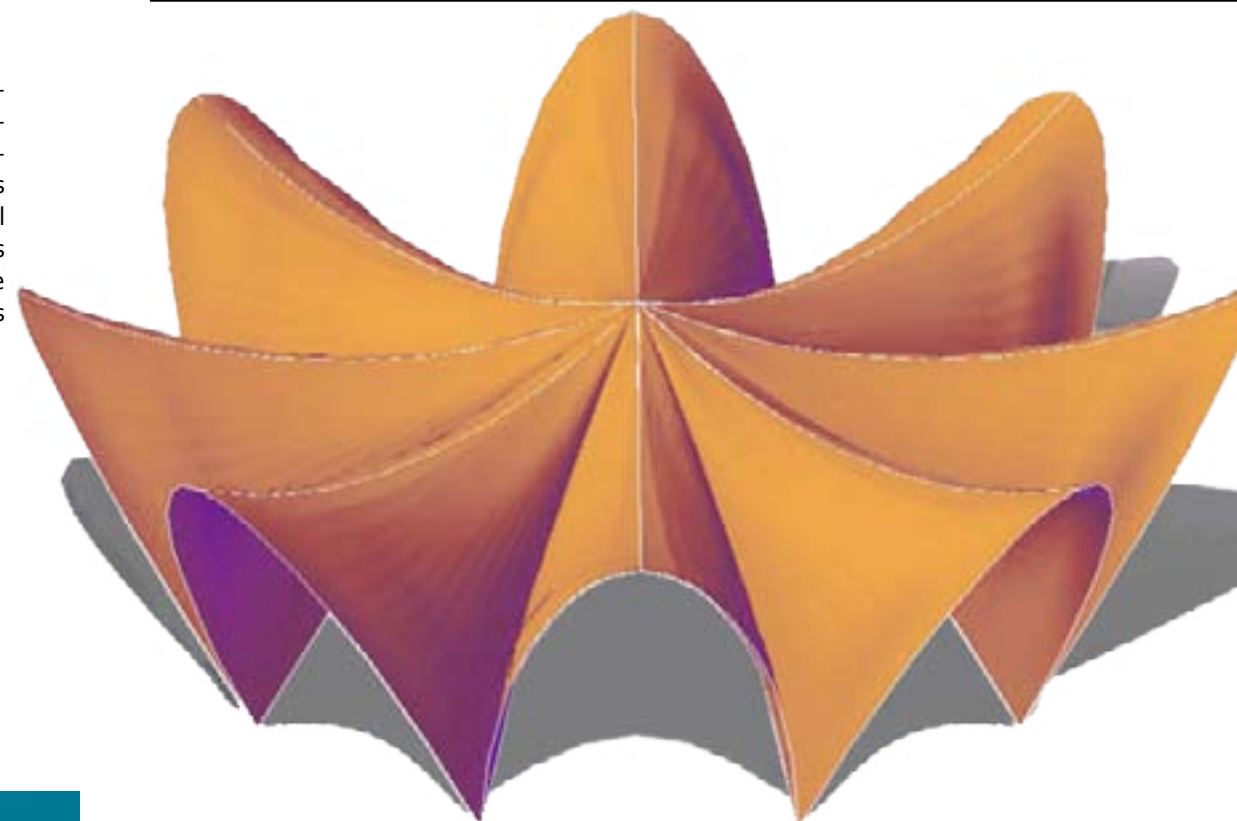
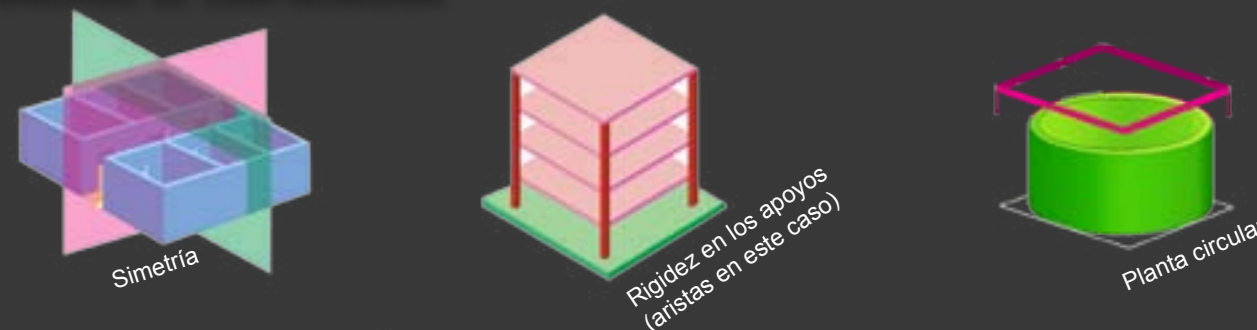
borde externo de los paraboloides. A primera vista se ve el labio de concreto que nunca toca la tierra y que mantiene el vuelo.

En los bordes de las parábolas frontales podemos apreciar cómo se cierra el espacio a partir de placas de cristal con maniguitería metálica de 2.40 X 2.40 metros.

Esta manera de estructurar se explica a partir de que los esfuerzos tangenciales a lo largo de un borde curvo pueden anularse, a condición de que sean transferidos, a través de generatrices, a miembros rígidos - que pueden ser las aristas de unión o los apoyos -. Son bóvedas creadas por la intersección de dos segmentos de hyper en forma de silla de montar.

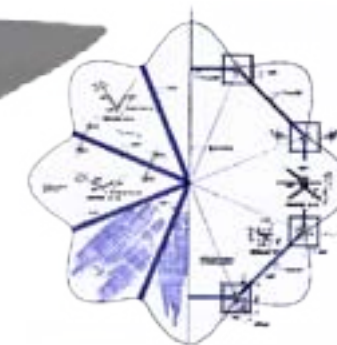


PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



CIMENTACIÓN

La construcción de su cimbra es relativamente sencilla por tener dos sistemas de generatrices rectas, en las cuáles, como ya se dijo, no se utilizan vigas o nervaduras de borde, por lo que pueden mantener un espesor constante en toda la losa - llegando a ser tan delgada como el material y el sistema constructivo lo permita-, lo que les confiere gran ligereza.



ESPACIOS INTERIORES

Por su forma estructural, se consiguió un gran claro, fundamental para un restaurante. Siendo una planta libre de apoyos, la disposición de la cubierta permitió en el interior un espacio amplio con vistas que se integran al paisaje lleno de color por la vegetación, el agua de los canales y las trajineras que circulan y llegan a este lugar.

Es una muestra de la arquitectura sencilla, bella y ligera, en donde siendo una membrana de concreto logra cubrir un claro con superficie de 900 m²



VIABILIDAD

Para la época la mano de obra aportaba una calidad de primera a cambio de una baja remuneración - resultado de los flujos migratorios que llegaban del campo a la ciudad - lo que hacía de México el lugar ideal para experimentar con estas formas ya que la clave de los cascarones recaía en la complicada elaboración de la cimbra que requería la participación de muchos peones. Esto fue hasta 1964, cuando Gustavo Díaz Ordaz estableciera un nuevo salario mínimo.

SENCILLEZ

La eficacia de estas estructuras viene dada no por elementos singulares sino por la sencillez de su propia forma, que gracias a la doble curvatura, encuentra un camino fácil por el que transmitir las cargas, sin necesidad alguna del uso de otro tipo de elementos. Su eficiencia ha sido probada al soportar la gran cantidad de terremotos superiores a los 4.5 grados en la escala de Richter que se han presentado en la región de México D. F., de los cuales seis fueron superiores al grado 7.5, entre ellos el correspondiente a septiembre de 1985. Ante esto, Los Manantiales como otras obras de Candela han demostrado una considerable resistencia.



Como una obra de excepción, el edificio de Celanese Mexicana, ubicado en Ave. Revolución, al sur de la ciudad de México, construido en 1966 y diseñado por el Arquitecto Ricardo Legorreta, da cuenta de una estructura colgada que recuerda conceptualmente el comportamiento del tronco y fronda de los árboles.

La singularidad del Edificio Celanese -proyecto sumamente innovador en la época en la que fue construido- es además de su moderno lenguaje formal, una inteligente solución estructural que resultó determinante para la distribución de espacios y funcionamiento del interior.

Por su calidad constructiva y plástica, así como por su solución estructural, es un referente urbano obligado del sur de la Ciudad de México.

CELANESE MEXICANA. CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

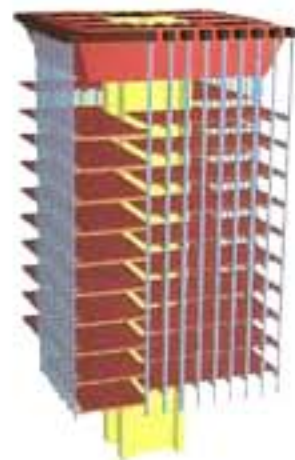
**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**



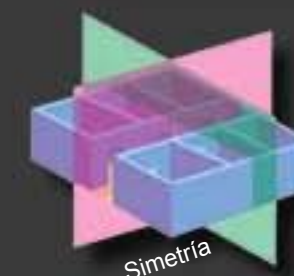
DISEÑO FLEXIBLE

Una de las limitantes principales fue el tamaño del terreno, pues el programa requería un espacio flexible que se adecuara con la transformación o crecimiento que pudiera tener la empresa.

El resultado derivó en el proyecto de un edificio alto de planta libre, que propone un esquema de núcleo donde el soporte principal es el núcleo de circulaciones dispuesto en la parte central.



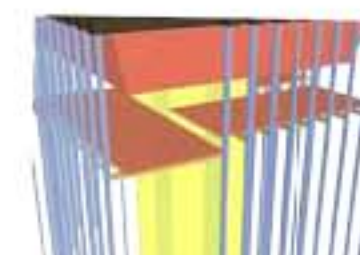
PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS

La disposición del espacio interior se resuelve a partir de cuatro plataformas rectangulares dispuestas radialmente simulando un rehilete, alrededor del núcleo de servicios. Dichas plataformas se colocaron de forma escalonada con una diferencia de 90 cm entre cada una de ellas.

El edificio se desplanta en una plaza de acceso al exterior, un nivel por debajo de la banqueta, dejando un vestíbulo de doble altura; sobre éste se ubica una planta mezzanine que se puede observar desde nivel de banqueta. Más arriba se encuentra el área de oficinas dispuesta en 10 niveles desfasados. En un volumen anexo se concentra el área de laboratorios y un estacionamiento en el nivel del sótano.



DISEÑO ESTRUCTURAL

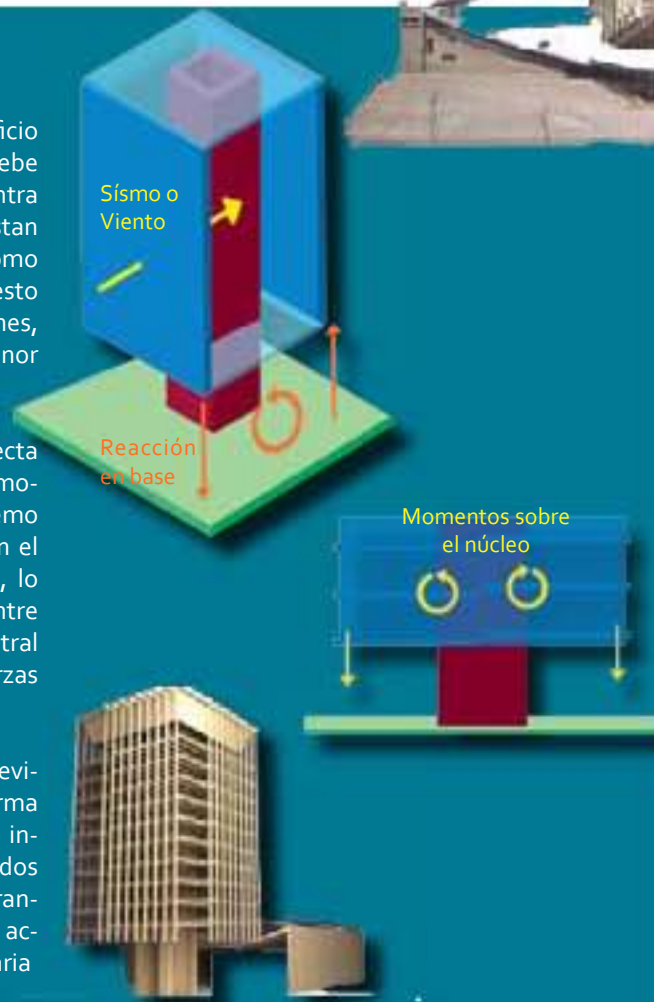
El programa arquitectónico del edificio se desarrolló alrededor de un núcleo o poste central de concreto armado, del cual se desprenden una serie de tensores de acero que literalmente quedan suspendidos en el paño exterior del edificio, estos son sostenidos por una retícula de nueve cuadrados, con vigas secundarias dentro de cada uno, que van del centro del núcleo al paño exterior del edificio.

Esta solución estructural, le permitió al arquitecto Legorreta crear una serie de entresijos que permitieron un mejor aprovechamiento de los flujos de oficinas, consiguiendo plantas de 400 m² libres de muros. Para ello cada nivel tiene 4 losas ordenadas de forma radial y escalonada. Dichas losas están respectivamente formadas por una parrilla de nueve vigas secundarias, colocadas de manera que coincidan con los nueve cables portantes a cada lado del edificio. Este proceso se repite hasta completar los 10 niveles desfasados del edificio.

En cuanto a la resistencia del edificio frente a vientos y sismos esto se debe a que las fuerzas que impactan contra el centro de masa, se contrarrestan por una reacción que tiene como apoyo la base del edificio, siendo esto el porqué de sus grandes dimensiones, pues entre mayor sea la base, menor será la fuerza ejercida sobre ella.

Otro factor importante es la perfecta simetría de la torre, ya que los momentos que se generan en un extremo son los mismos que se generan en el otro pero con dirección contraria, lo que permite que se nulifiquen entre ellos. Mientras que la columna central es la encargada de soportar las fuerzas cortantes perpendiculares.

En cuanto a los laboratorios, para evitar el coceo provocado por la forma estructural, se colocaron hacia el interior del edificio dos arcos en los dos tercios medios del laboratorio, logrando equilibrar la estructura con una acción contraria al coceo de la catenaria



MATERIALES

El volumen es un edificio de forma simple, un prisma de planta cuadrada con un tratamiento de fachadas modulado de manera sencilla, lo que permitió la combinación del concreto aparente, el acero y el cristal. Finalmente hace uso de la plástica, con el peculiar diseño de su celosía, característico de la época.

CIMENTACIÓN

Ubicado en la zona de lomas, formada por suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que existen, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos, la dimensión de la base se diseñó de acuerdo a los esfuerzos generados en la superestructura. Siendo la razón por la que el edificio parece tener una base enorme, de tal manera que al momento de haber un tambaleo, la cimentación pueda soportar sin dañarse.





El edificio situado en el 30 St Mary Axe de la city, el corazón financiero de Londres, es un rascacielos de 40 plantas. Tiene 180 metros de altura, lo que le sitúa como el segundo edificio más alto de la ciudad de Londres, después de la Torre 42, y el sexto más alto del área metropolitana de Londres.

El edificio fue diseñado por Norman Foster, su antiguo socio Ken Shuttleworth y por el grupo de ingenieros de Arup. Fue construido por la empresa sueca Skanska entre 2001 y 2003, y se inauguró oficialmente el 25 de mayo de 2004.

SUISS RE.
LONDRES, INGLATERRA

56. Von Arx, Mirjam. 2003. Documental *Building de Gherkin*. Producción Ican Films

SUISS RE. LONDRES, INGLATERRA

**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**

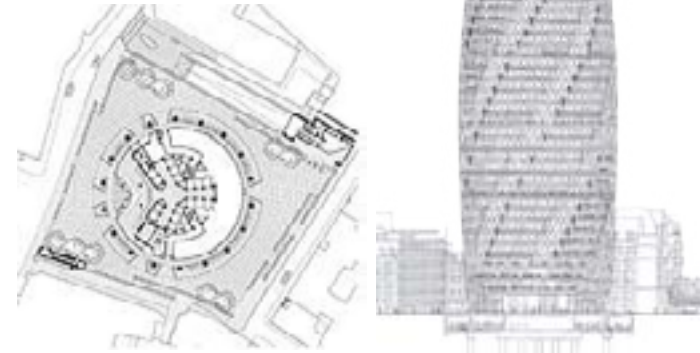


EFFECTO VISUAL Y ESPACIAL

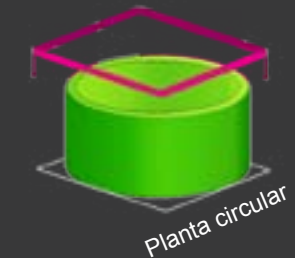
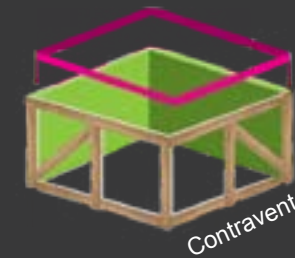
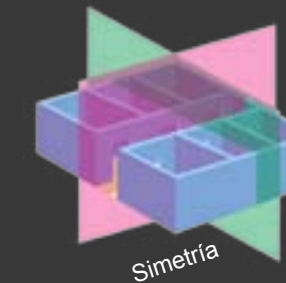
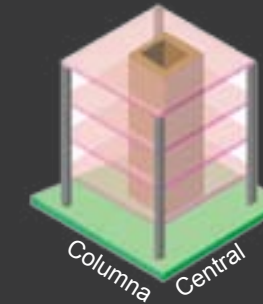
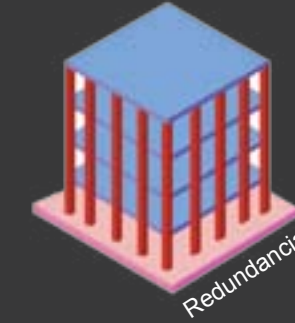
El Edificio Swiss Re no ocupa la totalidad del perímetro del terreno sino que tiene una planta circular que se ensancha conforme la torre se eleva y luego vuelve a estrecharse hasta la punta. Curiosamente la circunferencia máxima del edificio es apenas 2 metros menor de su altura total, haciéndolo un edificio mucho más denso de lo que aparenta.

De esta manera su forma cumple con tres intenciones:

- No ocupar la totalidad del perímetro debido a su reducido tamaño.
- Conseguir que el edificio resulte menos corpulento que uno rectangular de similar área, y
- Busca liberar el espacio en la base para dejar lugar a una plaza de uso público, equipada con tiendas y cafés.



PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



SUSTENTABILIDAD Y AHORRO ENERGÉTICO

La forma aerodinámica favorece que el viento fluya por su superficie, lo cual minimiza las cargas de viento y optimiza la estructura además de generar diferencias de presión superficiales que son usadas para favorecer la ventilación natural en el edificio, de modo que durante el 40% del año este sistema sustituye al aire acondicionado, reduciendo el consumo de energía y las emisiones de CO2.

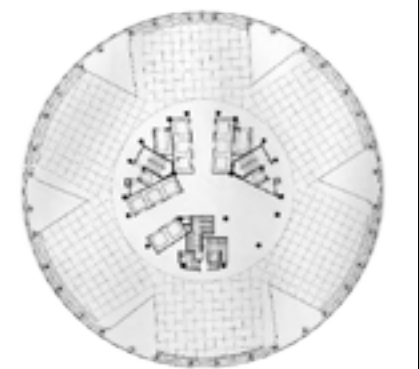
El aire circula a través de unos patios que recorren el Swiss Re en espiral por la fachada e introducen luz natural al edificio, reduciendo la dependencia de la iluminación artificial. Estos patios, en torno a los cuales se sitúan las dependencias de uso común, se cierran cada seis plantas mediante jardines que mejoran la calidad del aire.

Toda la piel del edificio se compone de un doble acristalamiento con cámara, ventilada por el aire que recircula de las oficinas. En los patios en espiral el vidrio está tintado y tiene un recubrimiento que reduce la radiación solar.



ESPACIOS INTERIORES

El diseño busca favorecer también el interior, pues mantiene los servicios al centro del volumen, ofrece una disposición ortogonal en las áreas de oficinas que suman un total de 76400 m2; su forma permite que la mayoría de las salas cuenten con vista al exterior dejando cerrado sólo un 3% del espacio total del edificio, y finalmente remata en la punta con una vista de 360°, única en la ciudad de Londres



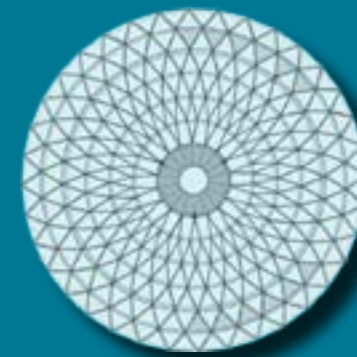
DISEÑO ESTRUCTURAL

Su característica forma surge a partir de una planta circular dividida en seis alas que parten de la columna central la cual contiene los elevadores junto con algunos otros servicios. Cada piso se roto 5 grados uno sobre el otro con una distancia del centro al perímetro que va de los 6.4m a los 13.1m, logrando un efecto de espiral.

La estructura de 180 metros se compone de un núcleo central y una malla diagonal perimetral de acero que absorbe las cargas horizontales; siendo esto lo que diferencia al edificio de otros, pues la mayoría consigue la totalidad de su estabilidad lateral por una estructura central o mástil, de un perímetro, o bien de la combinación de ambos. Esto implica que normalmente están diseñados para soportar vientos fuertes, pero son demasiado flexibles para garantizar la comodidad de los ocupantes.

Con la ayuda de los ingenieros estructurales de Arup, Swiss Re, consiguió una eficiente estructura de entramado triangular, cubierta con 5500 paneles de vidrio, que rodea el perímetro del edificio y le da la suficiente rigidez sin ningún tipo de refuerzos adicionales, minimizando el uso del acero hasta 11000 toneladas

De esta manera, lograron aplicar el principal método para controlar el impacto de las fuerzas horizontales provocadas por la desviación del viento - o bien, aplicado a zonas sísmicas, los embates de un terremoto - que consiste en aumentar la estabilidad de la construcción a través del uso de una estructura que por su geometría le da la rigidez necesaria al mismo tiempo que ligereza.





TORRE COCOON.
TOKIO, JAPÓN

Muchos rascacielos han sido construidos en lugares de alta sismicidad, en las últimas décadas, pero en su mayoría son cajas con columnas verticales. La forma propuesta por el arquitecto en el diseño de este edificio, favorece los requerimientos del cliente, además de permitirle aplicar su propia expresión y creatividad como profesional. Es así que el compromiso y empeño puesto en la creación y construcción de este diseño, consiguieron darle esta forma tan característica al edificio.

La majestuosa torre de color blanco denominada « Cocoon Tower », como su propio nombre indica, simula un enorme « capullo » incubador que dispone de 50 plantas con una altura estructural de 204 metros en el que se alojan tres escuelas de formación profesional; moda, información y tecnología, y medicina. El nuevo edificio diseñado por el arquitecto Paul Noritaka Tange, de la firma Tange Associates e hijo del prestigioso arquitecto Kenzo Tange, ha sido imaginado por su creador como un auténtico Campus vertical para acoger a unos 10.000 estudiantes.

57. Tange, Minami. 2009. Artículo *Case Study: Mode Gakuen Cocoon Tower*. CTBUH Journal

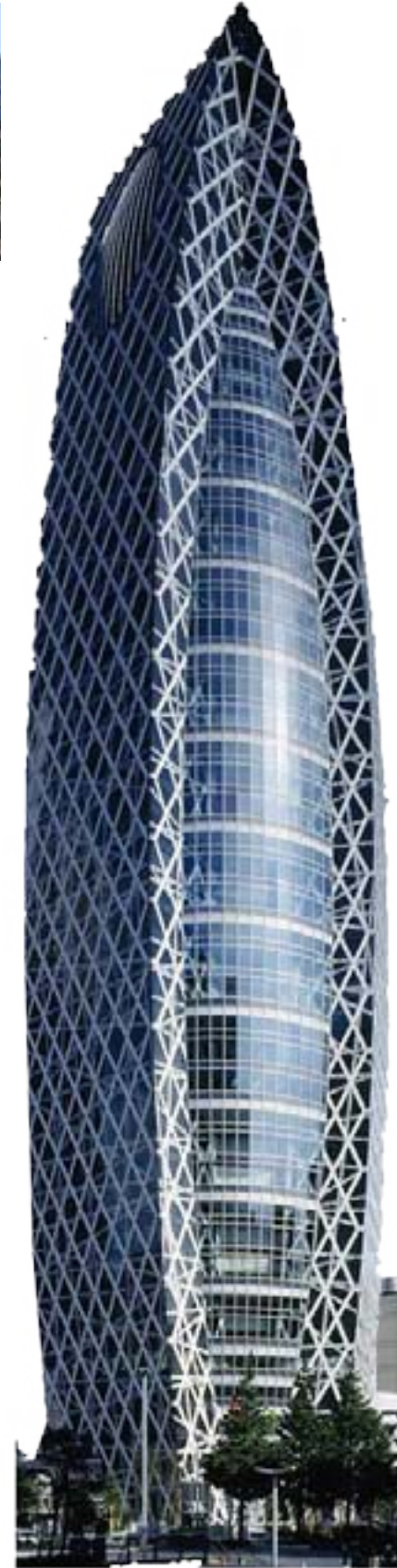
**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**



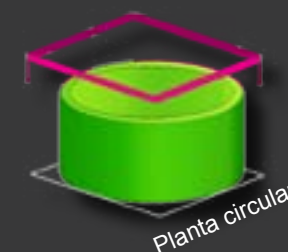
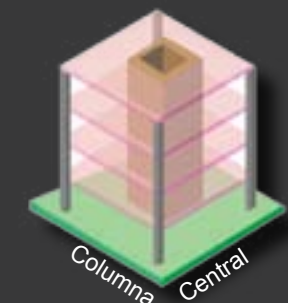
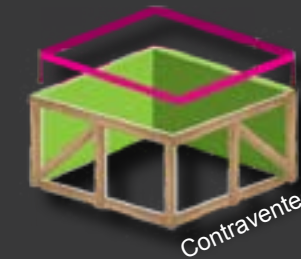
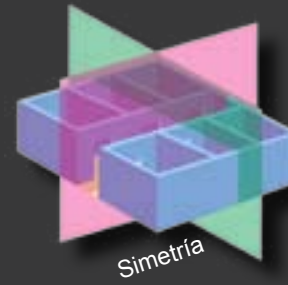
ENTRAMADO

Los entramados están ubicados en el perímetro, dotando al edificio de una gran rigidez. Es, por lo tanto, capaz de transferir de manera eficiente hacia la cimentación las fuerzas laterales y el momento de vuelco producido por un terremoto o por vientos, además de maximizar el espacio interior del edificio.

Cada sistema tiene 24 m de ancho con intersecciones que van de 4 en 4 metros en todos los niveles, y sus curvas van formando una elipse vertical. La altura de 3.7m a cada nivel está determinada por la distancia entre las líneas elípticas para permitir que los elementos del entramado intersecten en un mismo ángulo, produciendo una serie de patrones que suaviza la fachada exterior.



PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



ESPACIOS INTERIORES

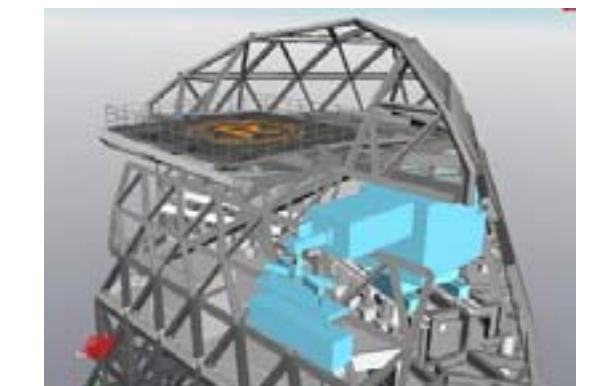
En niveles intermitentes encontramos espacios de 3 niveles, utilizados por los estudiantes como espacios de descanso. El gran ventanal de esta área, tiene la altura de 3 pisos y un ancho máximo de 20 m. Por nivel encontramos una doble viga de alma abierta curva que carga el peso de los paneles de vidrio y resiste la presión ejercida por los vientos. La viga de alma abierta cuelga de las vigas que se encuentran arriba de tal manera que no haya elementos estructurales que resulten estorbosos para apreciar la magnífica vista que se presenta en cada uno de estos niveles.



HELIPUERTO

Finalmente, a diferencia de la mayoría de los edificios altos, este edificio no cuenta con una superficie plana en la punta, dándole prioridad en la forma a la intención arquitectónica. Sin embargo, la normatividad japonesa, exige que haya un helipuerto en todos los edificios altos. Por ello, para dotar al edificio con un área de aterrizaje de 10 m2, un techo rectangular fue diseñado.

La mitad del piso está unido a un techo retráctil, y como requerimiento del Departamento de bomberos de la ciudad de Tokio este techo debe abrirse en un tiempo máximo de 8 minutos con la ayuda de un par de gatos hidráulicos, formando así un helipuerto.



DISEÑO ESTRUCTURAL

Su configuración consiste en 3 sistemas de entramado (diagrid) y una estructura interna como núcleo. Estos sistemas están conectados de manera rígida los unos con los otros sólo en la base y en la punta, sufriendo flexiones que provocan deformaciones por fuerza cortante relativamente grandes en los niveles del medio del edificio.

Viéndolo de otro modo, estructura se entiende como un esqueleto que sufre grandes rotaciones a la mitad y pequeñas rotaciones en la base y en la punta.

Las vigas sobre las que descansan las losas de cada nivel, además de aumentar la rigidez de los planos para evitar movimientos bruscos durante un sismo, sirven de conexión entre la envolvente entramada del edificio y el núcleo central. Hacen un quiebre al llegar

a la división de los salones y los pasillos para lograr una visual más ordenada, cumpliendo así con una función de diseño arquitectónico, pues en la mayoría de los salones de clases, se pueden ver las vigas expuestas en los techos al igual que los ductos de servicio.

El entramado de la estructura perimetral que está unido al borde exterior de cada planta permite que resistan el momento de flexión, mientras que el núcleo central, unido al borde interior ayuda a resistir las fuerzas cortantes.

Amortiguadores suaves de aceite han sido utilizados para aprovechar la deformación cortante del núcleo para disipar la energía sísmica que se extiende por el edificio, lo que reduce la fuerza sísmica que debe resistir la estructura.





El proyecto consiste en una torre de oficinas con placa comercial ubicada en el cruce de Avda. Apoquindo, eje principal de Santiago, y Avda. Américo Vespucio, anillo de circunvalación de la ciudad. A pesar de su importancia urbana, el lugar está mal conformado por un cruce vial en desnivel y por distintos edificios de diversa altura y calidad. Dada su ubicación, la torre enfrenta el eje de Avda. Apoquindo, desde un par de kilómetros de distancia, como remate visual del subcentro de oficinas a lo largo de dicha avenida.

La normativa aplicable permitía la construcción de una torre de un máximo de 21 pisos, con una superficie edificable de 18.738 m², con plantas de forma cuadrada de aproximadamente 1.000 m² de superficie promedio para cada una y con un núcleo de circulaciones verticales que contuviera ocho ascensores más dos cajas de escaleras dobles y servicios, ocupando un área de aproximadamente 15 x 15 m. Además la norma requería un área comercial de dos pisos de alto, con edificación continua levantada en la línea de edificación frente a las tres calles en el perímetro del terreno, cuya cabida edificable, descontados los accesos a la torre y a los estacionamientos, fuera de aproximadamente 4.000 m². Por último, exigía también una dotación de casi 600 estacionamientos, equivalentes a una superficie total de 18.000 m², la cual, dividida por el área disponible de terreno, da cinco pisos subterráneos.

Como se ve, la volumetría del edificio queda bastante acotada por la aplicación de la norma.

58. Izquierdo Lehmann. 2009. *Edificio Cruz del Sur*. Portafolio Arq., pags.8-12

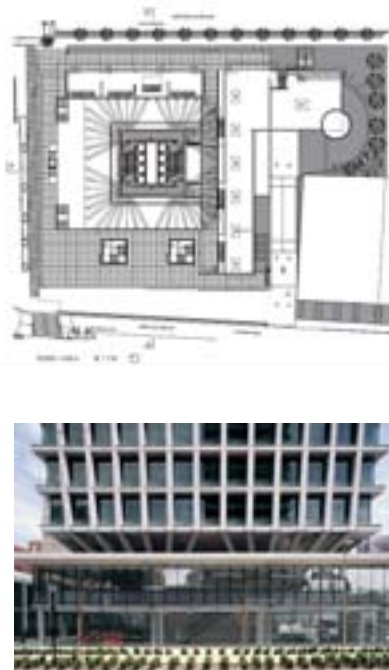
CRUZ DEL SUR. SANTIAGO, CHILE

UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS



ÁREA PÚBLICA

Dada la alta densidad peatonal y la pobreza de espacio público en el sector, la primera decisión para el proyecto fue despejar todo lo posible el nivel de suelo para liberar el interior del terreno como extensión del espacio público. Esto era factible soterrando gran parte de la superficie comercial del programa y retirando el resto a los bordes de fondo del terreno, para conformar una esquina de plaza interior accesible en tres de sus frentes.



DISEÑO ESTRUCTURAL

El punto más importante para la creación del espacio público en la planta baja, se da en la estructura, pues se consigue que al suelo caiga únicamente el fuste con las circulaciones verticales. Para ello se consideraron la proporción de la altura y la base del volumen edificable, además de buscar que el núcleo quedar centrado en plantas cuadradas, evitando así torsiones producidas por fuerzas sísmicas en la estructura.



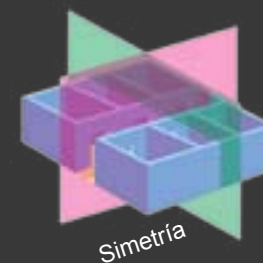
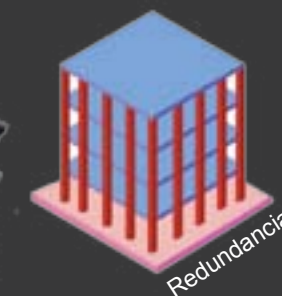
Un primer análisis estructural ratificó la posibilidad de un diseño donde el fuste tomara por sí solo el corte basal y el momento volcante de la masa estimada del volumen. Además, al quedar la estructura portante de los pisos resumida al fuste y a la serie de columnas del perímetro externo, las plantas quedan libres de pilares interiores, sin perder resistencia estructural.

Por otra parte, al caer en los niveles subterráneos sólo con este fuste de circulaciones indispensable, se prescinde de otras columnas que comprometan una distribución de los estacionamientos estrictamente ajustada a sus modulaciones, logrando así en estas plantas un rendimiento óptimo, de 27 m² por estacionamiento.

La reducción en la base del volumen —a la altura del cuarto piso— es compensada por la ampliación incremental en los pisos superiores a fin de conservar la superficie total edificada. Esto permite: disminuir el área sombreada por la base suspendida de la torre, mejorando la proporción del espacio exterior cubierto, cerrar el ángulo del apuntalamiento diagonal que descarga la estructura perimetral soportante de la serie de losas superpuestas, aumentar la superficie vendible en pisos altos —cuyo precio es mayor— y definir la silueta del edificio.



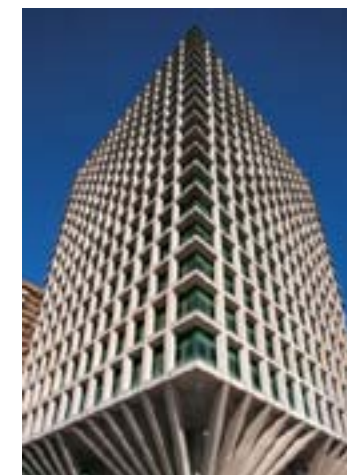
PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



EFEECTO VISUAL Y ESPACIAL

La forma trapezoidal de las fachadas y la retícula distorsionada de columnas extraplomadas, que apoyan los cantos perimetrales de las losas, buscan realzar la condición sustancial de la arquitectura en cuanto objeto inmueble, estático: La asimilación mental a un orden ortogonal de esta forma distorsionada induce a un ajuste equívoco de la percepción del aplome y varía según cambia el punto de vista del observador en su aproximación al edificio.

En este proyecto se buscó conjugar sintéticamente la ponderación gravitatoria de la masa con la condición perspectivada del espacio percibido, ambas determinantes de la experiencia arquitectónica.



SUSTENTABILIDAD Y AHORRO ENERGÉTICO

Los ventanales, de piso a cielo, se colocaron en posición vertical retirados 90 cm respecto del borde de losas, quedando sombreados por un alero continuo y por la trama de pilares, y dejando la estructura manifiesta en el exterior del volumen. Esta disposición hundida de las superficies vidriadas, más la especificación de cristales con serigrafías y reflejos diferenciados de acuerdo a las necesidades térmicas y lumínicas de cada tramo de fachada, dió como resultado un ahorro en el consumo de energía de aproximadamente un 25% respecto a edificios de similar categoría de la zona.



VIABILIDAD

El costo de construcción del edificio, resultó inferior al estimado inicialmente en relación a edificios de similares características. Esto resulta importante para el despacho, pues dicho en palabras de sus diseñadores: "Creemos que la economía con que un diseño logra sus cometidos demuestra su ingenio y purifica la retórica arquitectónica; en definitiva, que la eficacia con que se ajustan los medios es condición infalible de la belleza".



Cada 12 de diciembre llegan peregrinaciones de hasta 3 500 000 personas a la Basílica de Guadalupe. Esta es una de las causas que influyeron en la concepción del recinto religioso católico más importante de México. El resultado fue un edificio con características especiales, pues debía considerarse el acceso y desalojo de las peregrinaciones de manera rápida y eficiente del recinto.

Por otro lado los cambios en la liturgia, a partir del concilio ecuménico de Juan XXIII, en la que se regresaba a la asamblea cristiana y en la que el sacerdote oficia de frente buscando mayor participación de los creyentes, requería de una planta libre de apoyos y de forma de abanico, en donde los fieles tuvieran una mayor cercanía con el sacerdote. Esto derivó en el diseño del recinto que actualmente se encuentra sobre la Calzada de los Misterios en la Ciudad de México.

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DE GUADALUPE. CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DE GUADALUPE. CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

59. Solís Ávila, Luis Fernando. 2010. *Principios Estructurales en la Arquitectura Mexicana*. Editorial Trillas. pags.42-45

**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**



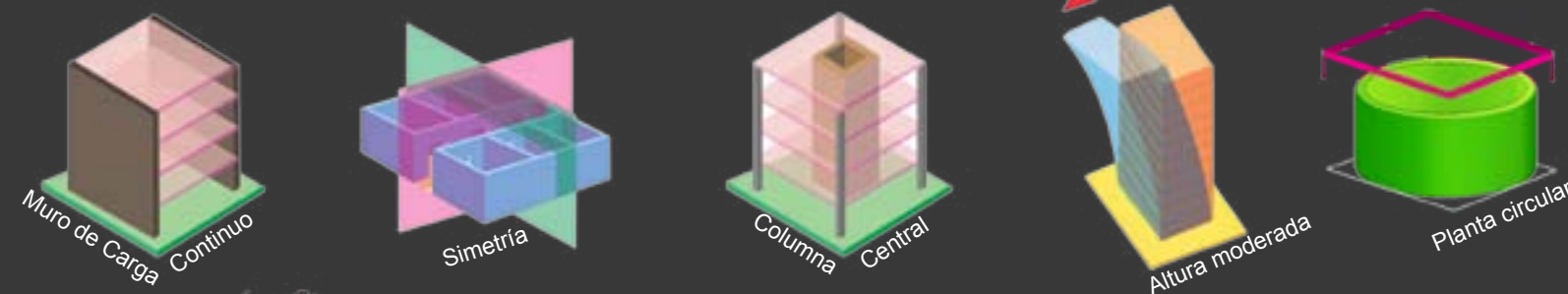
ESPACIOS INTERIORES

La estratégica ubicación del mástil que trabaja como principal soporte del edificio, le permite no sólo cumplir con su función estructural, sino además fungir como nicho de la imagen de la Virgen de Guadalupe, la cual puede observarse prácticamente desde cualquier punto dentro del recinto.



De la corona del mástil nace la armadura radial que conforma por un lado las capillas-palco, y por otro, en la parte posterior, oficinas, habitaciones, talleres, capillas, salones, biblioteca, bodegas y un depósito de agua. Todo distribuido en varios niveles.

PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



MATERIALES

Los materiales que se usaron en la capilla son tan sencillos como su concepto estructural.

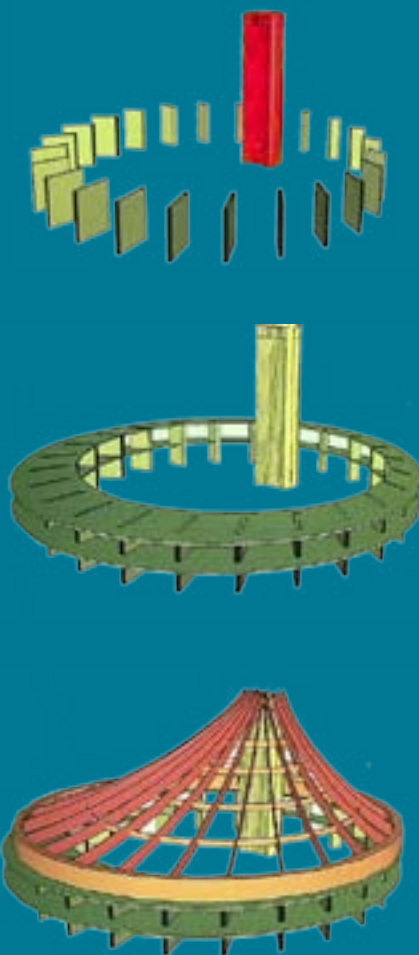
Inicialmente la estructura de la cubierta se había pensado con cables, pero la problemática de instalaciones requería de cierto espacio que sería más efectivo usando armaduras de acero. Su recubrimiento es a base de tejas de cobre asentadas en un mortero armado e impermeabilizado.

Se construyó un plafón de madera canadiense, que es parte del diseño acústico realizado por el arquitecto Eduardo Saad Eljure.

Los pisos se hicieron con piedra basáltica negra y las superficies de concreto se dejaron aparentes. El área de ventana se cerró con vitrales de cristal de plomo, cuyo diseño consta de volúmenes desfasados que inundan la capilla con luz azul, roja, y dorada.

DISEÑO ESTRUCTURAL

El concepto básico nace a partir del diseño de una planta circular que desplaza su centro hacia el poniente, consiguiendo un esquema radial con excentricidad, ubicando en este punto el altar. Aquí se desplanta un cilindro con forma de mástil de donde, en forma radial, aparece la estructura de la cubierta. En la planta principal el orden de los muros de carga de las capillas-palco forman un cilindro, el cual envuelve al mástil en forma excéntrica, funcionando como un tambor o un anillo de compresión. Del mástil cuelgan 24 armaduras de acero radialmente, con un peralte de 1.60 m, cada una, apoyándose en el perímetro del anillo de compresión. Partiendo del centro del mástil se dispusieron de forma concéntrica largueros, que sirven como sustento a la cubierta.



El recubrimiento de la cubierta es a base de tejas de cobre asentadas en un mortero armado e impermeabilizado. Toda el agua se conduce a un canal perimetral, ubicado en el tambor o anillo de compresión, de allí pasa a una cisterna perimetral y posteriormente se inyecta al subsuelo, la pendiente y el material dan una adecuada impermeabilización a la cubierta.



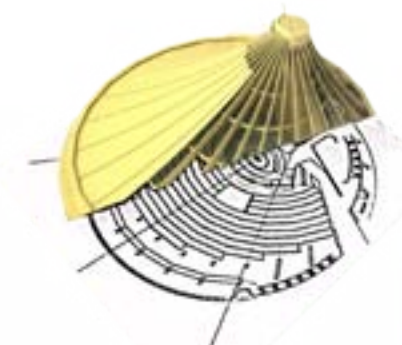
VENTILACIÓN NATURAL

Tomando en cuenta el gran número de personas que debe albergar el recinto en todo momento, la geometría simple del diseño consigue que el flujo de aire sea altamente favorable, ya que la cubierta va de menor a mayor altura partiendo de los accesos hasta apoyarse en la punta del mástil, propiciando la evacuación natural del aire viciado, el cual sube a la parte más alta del mástil, donde existe una linternilla abierta, y sale logrando que la ventilación sea constante.



CIIMENTACIÓN

Se realiza una cimentación a base de pilotes de control con capacidad de carga de 20 toneladas cada uno apoyándose a 52 m directamente sobre la capa resistente.





Ubicado en Bosques de las Lomas, una de las zonas residenciales más importantes de la Ciudad de México, el taller de arquitectura de Agustín Hernández es uno de los edificios más peculiares del mundo gracias a su forma.

El taller y hogar de del arquitecto, diseñado por él mismo en el año 1975, surgió en una zona boscosa como un árbol más, escondido en el follaje. Como si levitara sobre este barranco de 40 metros de altura, aparece esta inusual composición, desafiando a la geometría y gravedad, convirtiéndose en una de las obras más importantes de este renombrado arquitecto mexicano.

TALLER DE AGUSTÍN HERNÁNDEZ

CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

TALLER DE AGUSTÍN HERNÁNDEZ. CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

60. Solís Ávila, Luis Fernando. 2010. *Principios Estructurales en la Arquitectura Mexicana*. Editorial Trillas. pags.118-121

61. Duque, Karina. 28 de febrero 2012. *Clásicos de Arquitectura: Taller de Arquitectura / Agustín Hernández*. Sitio Plataforma Arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2012/02/28/clasicos-de-arquitectura-taller-de-arquitectura-agustin-herandez/>

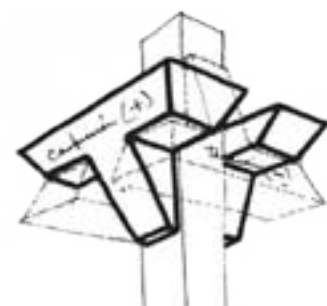
**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**



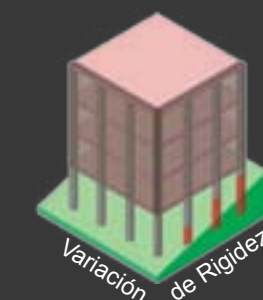
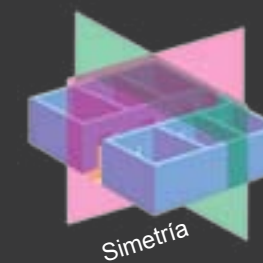
FUNCIONAMIENTO GEOMÉTRICO

Su taller es un desafío a la geometría y a la gravedad. Conjuga cuatro prismas de concreto con agregados de mármol -dos a compresión y dos a presión, dos pulidos y dos martelinados en pro de un equilibrio estructural y de una coherencia en sus espacios interiores.

Las dos pirámides que lo caracterizan generan una tensión y dinamismo importante, pero al mismo tiempo transmiten un sentido de equilibrio basado en su dualidad.



PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



ESPACIOS INTERIORES

El tronco alberga los servicios y las circulaciones verticales, el área de diseño del taller se encuentra en la parte que forma el coronamiento del árbol. En este volumen se alberga también una sala de proyecciones, interiormente la disposición de los espacios termina siendo dinámica, respondiendo al juego de volúmenes que se aprecia en el exterior. El acceso se hace por un puente de forma rectangular que arranca del área de diseño al nivel de calle.



MATERIALES

Para la construcción de esta obra tan fuera de lo común, se utilizó concreto aparente con agregados de mármol, así como cristales para las ventanas que permiten una iluminación natural y en algunos casos cenital.



DISEÑO ESTRUCTURAL

Para responder a la problemática topográfica del terreno, como elemento central de la estructura, se desplantó en una pequeña porción del predio un núcleo central de planta cuadrada, de forma prismática. Como estabilizador de este núcleo el arquitecto hace un segundo cuerpo que se intersecta al volumen en los niveles seis y siete, sirviendo como un ancla hacia el terreno. Para evitar la variación de rigidez entre los dos volúmenes, ambos cuentan con amplias dimensiones y se encuentran perfectamente anclados a la capa firme del terreno, garantizando una mayor eficiencia frente a un impacto sísmico.



En los niveles noveno y décimo crea un tercer cuerpo compuesto por dos pirámides truncadas e intersectadas por el núcleo. Cada pirámide se ve seccionada en dos cuerpos a causa de la intersección del núcleo.

Los dos cuerpos de la primera pirámide, en donde el entrepiso corresponde a la base de ésta, están sujetos por cables que nacen de núcleo hacia el exterior del edificio a 60° y en el otro extremo se anclan al mismo núcleo; estos cuerpos trabajan a tensión. Los cuerpos de la segunda pirámide, invertida y girada respecto a la primera trabajan a compresión, ya que se apoyan en el núcleo en el nivel de acceso, creciendo a 60° hasta el noveno y décimo niveles, en este punto la forma de la pirámide invertida funciona de manera estructural como un apoyo diagonal sujeto horizontalmente por el entrepiso del décimo piso. En la azotea se remata con la terminación de prisma cuadrado que corresponde al núcleo central.

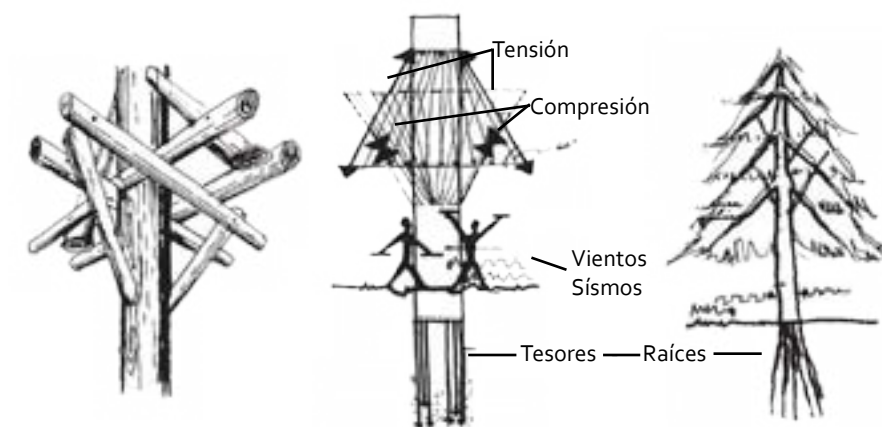


FUNCIONAMIENTO GEOMÉTRICO

De manera formal y estructural el edificio responde a las características del terreno, ubicado en la zona de lomerío, formada por suelos firmes. Se desplanta en un terreno arbolado con una pendiente de 45°, condicionante crucial para el proyecto, pues tenía que integrarse al paisaje y resolver los problemas topográficos al mismo tiempo, por lo que dispone entonces un volumen de forma arbórea que se integra casi en su totalidad.

El esquema del edificio es muy básico: simula la forma de un árbol, el tronco o fuste del mismo tiene una cimentación por anclaje a manera de las raíces del árbol, dotándolo de grandes cualidades antisísmicas. El follaje está formado por cuatro cuerpos poliédricos depuestos en forma horizontal.

En palabras del arquitecto: "Este taller llena todo lo que he buscado en la arquitectura, que estructura, forma y función sean una unidad."





El arquitecto Nader Khalili de origen iraní, vivió en California y desarrolló una técnica de construcción que utiliza "superadobes", un material que utiliza sacos de tierra bastante largos - con la forma de un cordón umbilical) en combinación con alambre de púas para crear viviendas ecológicas. El proyecto apunta a brindar nuevos materiales de construcción para las zonas rurales de países pobres, al mismo tiempo que se logra el mínimo impacto ambiental en zonas de pobreza extrema.

El instituto Cal-Earth, promotor del superadobe, ha diseñado los eco-domos "Moon Cocoon". De acuerdo a los creadores de este método de construcción, la ventaja de estas obras radica en que pueden ser construidos por pequeños equipos de tres a cinco personas, no utiliza árboles y permite construir muebles al interior de la casa utilizando el mismo material de los muros.

Esta técnica surge a partir de años de meditación, investigaciones, desarrollo y búsqueda de una forma sencilla para construir en tierra.

CONSTRUCCIONES EN SUPERADOBE CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS AMERICANOS

CONSTRUCCIONES EN SUPERADOBE. CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS AMERICANOS

62. Sitio del Instituto del California Institute of Earth Art and Architecture: www.calearth.org

63. Blog de autoconstrucción: www.tienestierratienescasa.com/

**UBICACIÓN
INFLUENCIA DE PLACAS TECTÓNICAS**



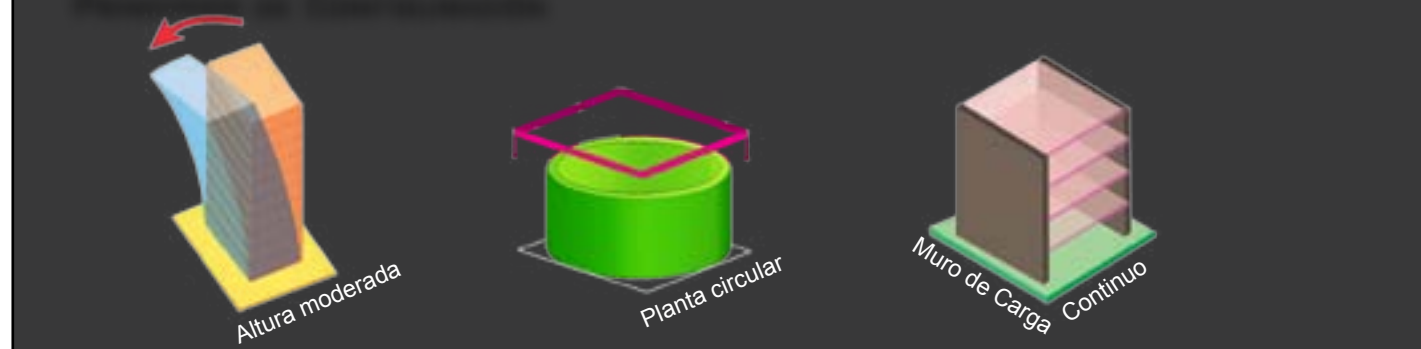
MATERIALES

Se trata de sacos llenos de tierra, del lugar, superpuestos entre sí - creando compresión - y unidos por alambre de espino, para dar consistencia a la estructura (creando tensión).



Estos materiales de construcción causan un mínimo impacto ambiental, porque solo se utiliza la tierra que rodea la zona de construcción, la cual puede ser estabilizada con arcilla o cemento.

PRINCIPIOS DE CONFIGURACIÓN



MÁXIMA RESISTENCIA

Su forma aerodinámica le garantiza estabilidad frente a fuertes huracanes y la novedad en el uso de los sacos de arena le añade resistencia contra las inundaciones, mientras que la tierra que contienen le proporciona por sí misma aislamiento térmico y la convierte en una construcción a prueba de fuego.

DISEÑO ESTRUCTURAL

Las construcciones realizadas con estructuras de superadobe han conseguido rebasar algunos de los códigos de resistencia sísmica más estrictos, como el de California en los Estados Unidos Americanos, lugar donde naciera esta técnica constructiva. Además, el mismo método puede construir clínicas, escuelas, elementos paisajísticos o infraestructura como represas, cisternas, carreteras, puentes, etc.

Su diseño estructural se basa en los principios ancestrales de las cúpulas, bóvedas, arcos y ábsides, cuyas formas simples y de doble curvatura que trabajan a compresión ofrecen eficiencia y máxima resistencia a terremotos, huracanes, inundaciones, incendios, aunado a un diseño estético.

De igual manera utiliza conceptos modernos de ingeniería como la base de aislamiento y el postensado, al mismo tiempo que innova con el uso de alambre de púas que se agrega a la construcción tradicional en barro como elemento de tensión, logrando así una alta resistencia sísmica a pesar de los fuertes movimientos terrestres.

El proceso de construcción resulta bastante simple. La tierra se deposita en bolsas tubulares, las cuales se disponen en círculos, levantando las paredes en forma de cúpula. Conforme se van acomodando en los muros, los sacos se van rellenando en el mismo lugar, con ayuda de pequeños recipientes como latas de café o bien utensilios de cocina, y se van uniendo en capas con ayuda del alambre de púas.

El tamaño de las casas varía desde una sola habitación, hasta varias habitaciones, incluso pueden construirse de varios pisos.



VIABILIDAD

El superadobe sirve para cualquier tipo de vivienda, y su costo es ínfimo, pues es una técnica flexible, de fácil construcción y que además evita el uso de materiales pesados y costosa maquinaria. Una casa pequeña puede construirse en uno o dos días, y para ello requiere a penas de tres personas inexpertas, lo que hace simple y sencilla la participación de toda una familia en la construcción.

Su aplicación más frecuente es en los campamentos de refugiados para afectados por movimientos sísmicos.



SUSTENTABILIDAD

Su diseño permite contar con iluminación natural, garantiza que el flujo de aire sea constante y la masa de la estructura otorga propiedades térmicas que hacen estas construcciones altamente confortables para los usuarios.

Incluso permite disminuir el gasto de materiales en muebles pues es posible construirlos directamente en el interior de la casa a partir del mismo material.

Hasta ahora se ha experimentado con esta técnica en lugares como EUA, Colombia, España, México, resultando 100% viable para el resto del mundo.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Durante toda la carrera mis maestros repitieron las mismas preguntas ¿Qué es la arquitectura? ¿Cuál es la labor de un arquitecto? Haciendo honor a la verdad creo que como alumnos nunca encontramos la respuesta concreta que esperamos ni en las clases ni en los libros. Sin embargo, algo que aprendí y que a mi parecer es muy claro es que más allá de lo que estipulen los distintos tratados, corrientes, arquitectos, e incluso los profesores, lo importante es preguntarse uno mismo ¿Qué es la arquitectura para mí? ¿Cuál es mi labor como arquitecto? Y ¿Cuál es mi compromiso? Aunque sé que me falta un largo camino por recorrer, y que 5 años de carrera y esta tesis son apenas el principio, creo que mi postura frente a dichas preguntas la dejo clara en el desarrollo de este documento.

La hipótesis planteada al inicio afirma que habiendo analizado la información presentada en el documento, se tendría un panorama más claro para tomar conciencia de la integración del diseño estructural a la expresión arquitectónica y se contaría con herramientas suficientes para cumplir con esta tarea. Creo que después de haber cumplido con los objetivos planteados, la hipótesis ha quedado comprobada favorablemente ya que:

1. A lo largo del documento se detallan sencillos principios clave para la configuración de un proyecto que cumpla con los requerimientos de seguridad establecidos no sólo por el Reglamento de Construcción y Normas Técnicas Mexicanas para sismos, sino también las establecidas en cualquier otro país.
2. A partir de la revisión de algunos de los sistemas estructurales más antiguos y de casos de estudio más recientes tanto Nacionales como Internacionales, queda comprobado que la estética no está necesariamente peleada con la funcionalidad. Desde el principio de la historia los arquitectos más destacados han procurado no sólo diseñar la forma de templos, palacios, rascacielos, casas, etc. sino buscar la expresión de un lenguaje viendo sus obras como un todo, como la interacción entre forma, estructura, materiales, funcionalidad, arte, orden del espacio, despertar de sensaciones, e incluso reflejo histórico, económico y social. Todo lo que para ellos implica la labor y el compromiso del Arquitecto.



Imagen 101. Torre Mayor en Paseo de la Reforma, México D. F.



Imagen 102. Daños en casas de la Costa de Oaxaca después del sismo del 20 de marzo del 2012

Otro punto importante dentro de la conclusión de esta tesis deriva del sismo del 20 de marzo de 2012, que demostró que las ciudades más desarrolladas de la República Mexicana aprendieron de los errores cometidos en el terremoto de 1985 y que la norma técnica de construcción ha funcionado para garantizar eficiencia ante el impacto de éstos eventos naturales. El edificio de Torre Mayor construido en la Avenida Reforma en la Ciudad de México, superó su primera prueba y se ha convertido en un ícono mundial de eficiencia antisísmica, pues es capaz de resistir sismos de hasta 9 grados en la escala de Richter (más de lo que exige la norma técnica para sismos en cualquier lugar) y aunque es una obra de la que podemos sentirnos orgullosos, desgraciadamente no fue diseñado por arquitectos mexicanos y su rendimiento radica más en la inversión económica y tecnológica utilizada para su construcción, que en una verdadera reflexión arquitectónica sobre su configuración para resistir sismos; esto lo pone en un fuerte contraste con edificaciones como el Banco de China en Hong Kong o el Taller de Agustín Hernández en la Ciudad de México, que además de conseguir un excelente diálogo con su entorno y satisfacer las necesidades de clientes y usuarios, basan su funcionamiento estructural, en el desarrollo de una configuración sencilla partiendo de principios físicos y geométricos que logren por sí solos el equilibrio necesario entre las fuerzas que afectan los edificios.

Sin embargo, lo anterior nos lleva a reflexionar más profundamente sobre lo ocurrido en algunas de las zonas más pobres del país como la región de la Costa Chica de Oaxaca y Guerrero donde más de 32 mil viviendas fueron afectadas por el sismo, y de las cuales 800 fueron declaradas pérdida total. El gobierno ofreció a los 800 damnificados la construcción de nuevas viviendas, lo que obligó a varios propietarios a terminar de demoler sus casas, algunas con más de 100 años de antigüedad e incluso valor patrimonial en la región; en su lugar, las propiedades fueron sustituidas por verdaderas chosas de 60 m² con 25 años de garantía, donde la mitad de la "construcción" es un corredor cubierto para colgar hamacas.

El principal problema es que ésta es una zona de frecuentes epicentros sísmicos donde los recursos son escasos y la tradición constructiva se basa en el uso del adobe, consiguiendo que el riesgo de daños y pérdida de vidas resulte verdaderamente alto. Es claro que dado la cantidad de damnificados es imposible construir una casa de amplio presupuesto para cada uno, pero es aquí donde entra la tarea del arquitecto, debemos contar con los conocimientos necesarios tanto de configuración como estructurales para apoyar en la creación de viviendas más seguras y más dignas para los que menos tienen. Debemos plantear otro tipo de propuestas como, por ejemplo en este caso, que el dinero que el gobierno destinó para 800 pseudo "casas" se invirtiese en la enseñanza de técnicas de refuerzo para la construcción en adobe, como el "superadobe" (capítulo 5) donde, con apoyo de los arquitectos, los mismos habitantes pueden levantar de nuevo sus casas usando el material de la región, garantizando resistencia sísmica y otorgándoles más de 25 años de permanencia.



Imagen 103. Torre Mayor en Paseo de la Reforma, México D. F.

Al final de este trabajo, estoy convencida que como Arquitectos estamos obligados a comprometernos con nuestra carrera, con la sociedad y sobre todo con nosotros mismos. Debemos ampliar nuestros horizontes, no conformarnos y participar en la síntesis de todos los elementos que hacen de un proyecto una unidad, buscando que cada obra supere la anterior.

"Hay que entender el diseño estructural como: la creación de la estructura desde un punto de vista artístico"

Felix Candela

"Mi taller llena todo lo que he buscado en la arquitectura, que es que estructura, forma y función sean una unidad."

Agustín Hernández

"... Ningún detalle debe de considerarse muy pequeño... usamos la tecnología, pero no sólo por su naturaleza. Creo que la mejor arquitectura viene de la síntesis de todos los elementos que conforman un edificio"

Sir Norman Foster

ANEXO

FOTOGRAFÍCO

- Imagen 1.
Imagen tomada del sitio La República: http://e.larepublica.pe/image/2010/marzo/14/RESO140310_26GR.jpg
- Imagen 2.
Imagen tomada del sitio wordpress: <http://javilopeztc.files.wordpress.com>
- Imagen 3.
© 1999 John Wiley and Sons. Inc. Imagen tomada del sitio blogspot: <http://cmcris.blogspot.com/2010/11/1.html>
- Imagen 4.
Imagen tomada del sitio Biología y Geología: <http://almez.pntic.mec.es/~jremoooo/dpbj/4eso/4eso.htm> Apartado Procesos geológicos endógenos
- Imagen 5.
Imagen modificada del trabajo del profesor Jorge O. Medina M. *Elementos de Arquitectura en el Diseño de Edificaciones Sismorresistentes*
- Imagen 6.
Imagen tomada del sitio skyscrapercity: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=234142&page=5&langid=6>
- Imagen 7, 15.
Imagen tomada del sitio Altech: <http://www2.alltech.com/es/involvement/philanthropy/haitfund/Pages/default.aspx>
- Imagen 8.
Imagen tomada del sitio de Agencia Brasil: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/ultimasimagens>
- Imagen 9.
Imagen tomada del sitio Bomberos en acción 132: <http://bomberosenaccion132.blogspot.mx/2010/04/bomberos-de-tijuana-concurren-en.html>
- Imagen 10.
Imagen tomada del blog Ventana al mundo: <http://ventana-almundo.blogspot.mx/2011/02/terremoto-en-nueva-zelanda.html>
- Imagen 11.
Mapa tomado del sitio Global Seismic Hazard Assessment Program: <http://www.seismo.ethz.ch/static/gshap/>
- Imagen 12.
Imagen tomada del blog gratis blog: http://www.gratisblog.com/zao8/i137999-epicentro_del_terremoto.htm
- Imagen 13.
Imagen modificada del sitio arqui.com: <http://www.arqui.com/arquitienda/articulo.asp?pad=1&id=1396>
- Imagen 14.
Infografía modificada del sitio noticias 24: <http://www.noticias24.com/actualidad/noticia/212804/en-infografia-riesgo-sismico-en-america-latina/>
- Imagen 16
Mapa tomado del blog kalipedia: http://mx.kalipedia.com/geografia-mexico/tema/mexico/zonas-volcanicashtml?x=20080507klpgeogmx_22.Kes&ap=0
- Imagen 18, 20, 21
Imágenes tomadas del sitio Imagen Política de México y del Mundo: <http://imagenpoliticadotcom.wordpress.com/2011/09/19/1985-mexico-terremoto-de-8-1-en-la-escala-de-richter-en-la-ciudad-de-mexico-mas-de-5000-muertes-y-danos-materiales-incalculables/>
- Imagen 19
Imagen tomada del artículo Paraísos perdidos, 1985. Sitio adefesio.com: <http://www.adesio.com/?p=13751>
- Imagen 22
Portada del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal
- Imagen 23, 24, 25
Imagen tomada del Artículo *El número de Oro – La Razon Aurea*. julio 2008. sitio web: http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%A1ureo
- Imagen 26
Portada de Vitruvio Polion Marco. *De Arquitectura*
- Imagen 27
Imagen tomada del Artículo *El origen de la Arquitectura*. 2006. Sitio Web Calarín: <http://edant.clarin.com/suplementos/arquitectura/2006/01/17/a-01125436>.
- Imagen 28, 29
Imagen tomada del sitio Web Wordpress: <http://cjaronu.wordpress.com/2011/04/11/monte-alban-oaxaca/>
- Imagen 30
Imagen tomada del sitio Web Wordpress: <http://mgna19.wordpress.com/2010/02/11/la-ciudad-de-los-muertos-mitla/>
- Imagen 31
Imagen tomada del sitio Web Cetys: <http://www.mx1.cetys.mx/Expos/Mesoamerica/>
- Imagen 32
Imagen tomada del sitio Web Homines: http://www.homines.com/arte/cultura_zapoteca/index.htm
- Imagen 33
Imagen tomada del blog bellezas de México: <http://bellezas-demexico.blogspot.mx/2008/04/mitla-oaxaca.html>

Imagen 34, 35, 37

Imagen tomada del sitio National Geographic: <http://science.nationalgeographic.com/science/archaeology/machu-picchu-mystery/>

Imagen 36

Imagen realizada por la autora de la tesis.

Imagen 38

Imagen tomada del sitio Cultura Japonesa: http://culturajaponesa.blogspot.mx/2007_01_01_archive.html

Imagen 39

Imagen tomada del Blog *¿Por qué las pagodas no se caen con los terremotos?*. 9 de marzo 2012. Blog Internet: <http://www.volver.asia/2012/03/pagodas-resisten-terremotos.html>

Imagen 40.

Imagen modificada del Nipponia: sitio <http://web-japan.org/nipponia/nipponia33/es/topic/index.html>

Imagen 41

Imagen tomada del blog Mauro Blog: <http://arqtakachi.blogspot.mx/2011/07/arquitectura-gotica-arte-sublime.html>

Imagen 42.

Imagen tomada del blog El puente: elpuentedelosmolinos.blogspot.com

Imagen 43, 44.

Imagen modificada del blog de Ramos, María Cristina: <http://cristina-todoarte.blogspot.mx/2010/08/breve-descripcion-de-arquitectura.html>

Imagen 45, 46, 47.

Imagen tomada de Daniel Giralat-Miracle. "Gaudí: La búsqueda de la forma". 2002. Lunwerg Editores S. A. Barcelona

Imagen 48.

Imagen tomada del sitio google: www.google.com

Imagen 49.

Imagen del sitio designholic: <http://www.designaholic.mx/2010/09/conociendo-el-muac.html>

Imagen 50.

Imagen tomada del blog Decora: <http://www.decorablog.com/casa-con-estilo-chic-industrial/>

Imagen 51.

Archivo de la autora de la tesis

Imagen 52.

Imagen tomada del sitio Petervaldivia: <http://www.petervaldivia.com/ejercicios/materiales/index.php>

Imagen 53.

Imagen tomada del sitio MUAC: www.muac.unam.mx/

Imagen 54, 59.

Imagen tomada del sitio servicios de pintura: <http://serviciospintura.blogspot.mx/p/trabajos.html>

Imagen 55, 56, 58.

Imagen tomada del sitio La red de la industria Maderera: <http://www.ihb.de/madera/srvAuctionView.html?AucTlid=651127>

Imagen 57.

Imagen realizada por la autora de la tesis.

Imagen 60.

Imagen tomada del sitio quhist: <http://quhist.com/bluehenge-el-stonehenge-azul/>

Imagen 61.

Imagen tomada del sitio Decoración de interiores: <http://decoracion-interiores.net/category/fotos-casas-prefabricadas>

Imagen 62.

Imagen tomada del sitio Inmobiliaria Viale: <http://inmobiliariaviale.com/393/>

Imagen 63 a, 64

Imagen tomada de Chuquimia, Haider y Quiunn. *Abstract Construcción Sismo Resistente en Adobe. Una Alternativa para Edificaciones Públicas* pags 1

Imagen 63 b.

Archivo de la autora de la tesis

Imagen 65.

Imagen modificada de Chuquimia E, GTZ, COPASA, PUCP, 2005. "Manual de construcciones sismo resistentes en adobe", Arequipa, Perú. pags 1-26

Imagen 66, 67

Imagen tomada del sitio ceresis: <http://www.ceresis.org/proyect/adobe.htm>

Imagen 68

Imagen tomada del sitio arquitectura sustentable: <http://www.arquitecturasustentable.com.mx/proyectos/casa-ahuatepec> Imagen 69, 70, 71, 72, 73
Imagen realizada por la autora de la tesis.

Imagen 74

Imagen tomado del sitio Seismic Protectio Technologies: <http://sirve.cl/>

Imagen 75

Imagen modificada del sitio civil geeks: <http://civilgeeks.com/2010/11/05/%C2%BFque-es-la-ductilidad/>

Imagen 76.

Imagen modificada de Arnold, C. y Reitherman, R. 1991. *Manual de configuración y diseño sísmico de edificios*. México, D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.

Imagen 77.

Imagen modificada de Balboa Blanco, Carolina Elena. Documento final de Servicio Social *Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después. 2006.*

Imagen 78.

Imagen realizada por la autora de la tesis

Imagen 79, 80.

Imagen modificada de google: www.google.com

Imagen 81, 82, 83.

Imagen realizada por la autora de la tesis

Imagen 84.

Imagen modificada de Balboa Blanco, Carolina Elena. Documento final de Servicio Social *Ciudad en Movimiento, Ciudad de México 20 años después. 2006.*

Imagen 85.

Imagen tomada del sitio 23rf: http://es.123rf.com/photo_518575_el-rascacielos--close-up--john-hancock-centro-de-cuarto-en-el-rascacielos-mas-alto-de-estados-unidos.html

Imagen 86, 87, 89.

Imagen realizada por la autora de la tesis

Imagen 88.

Imagen tomada del sitio construalia: <http://construalia.blogspot.mx/2011/08/loop-en-orcas-island-wa.html>

Imagen 90, 81.

Imagen modificada del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Imagen 92, 93.

Imagen tomada del sitio scielo: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2007000300002&script=sci_arttext

Imagen 94, 95.

Planos del edificio Miramar en Cumuná Venezuela

Imagen 96, 97, 99.

imagenes modificadas de Ramírez, Avendaño, Schüler. 07.04.2010. Artículo *Estudio de edificio de Penta revela falla que se repite en modernas torres afectadas por el terremoto*. sitio del CIPER: <http://ciperchile.cl/2010/04/07/estudio-de-edificio-de-penta-revela-la-falla-estructural-que-se-repite-en-las-modernas-torres-afectadas-por-el-terremoto/>

Imagen 98

Especificación de gancho sísmico según la norma técnica estadounidense ACI 318

Imagen 100

Plano del Edificio Regina Oriente en Santiago, Chile

Imagen 101

Imagen tomada del sitio skyscraper life: <http://www.skyscraperlife.com/city-versus-city/27298-rascacielos-torre-mayor-mex-vs-costanera-chi-3.html>

Imagen 102

Archivo de la autora de la tesis

Imagen 103

Imagen tomada del sitio oficial del gobierno de Oaxaca: <http://www.oaxaca.gob.mx/?p=19219>

