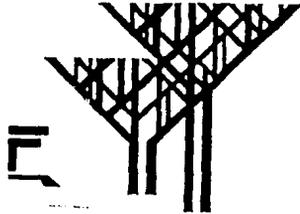


00164



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO



FACULTAD DE ARQUITECTURA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

ARQUITECTURA AUTOSOPORTANTE:
UNA PROPUESTA DE CONCEPTO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN ARQUITECTURA, AREA TECNOLOGIA
PRESENTA EL ARQUITECTO
XAVIER A. MENDOZA -ROLON

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1994



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 está 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.

ARQUITECTURA

AUTOSOPORTANTE:

UNA PROPUESTA DE CONCEPTO

INDICE

	Pág
1	Introducción1
2	Orígenes1
3	Geometría de las estructuras autosoportantes2
4	Antecedentes estructurales
4.1	Introducción11
4.2	Metodología de diseño de una estructura11
4.3	Efectos del sismo en la estructura12
4.4	Forma de la estructura12
4.5	Características mecánico- geométricas de las estructuras15
4.6	Relación de esbeltez16
4.7	Resonancia o acompasamiento de ondas17
4.8	Prevención de la resonancia
4.8.1	Factores de amplificación y amortiguamiento17
4.8.2	Estructuras rígidas, flexibles y mixtas18
4.8.3	Coefficientes sísmicos20
4.9	Simetría, torsión y volteo22
4.10	Simetría en planta23
4.11	Longitud y ancho23
4.12	Simetría en alzado24
4.13	Reducción de secciones, elevadores y apéndices24
4.14	Configuraciones complejas en alzado25
5	Propuesta de un diseño autosoportante
5.1	Introducción26
5.2	Esquema geométrico generador27
5.2.1	Figuras estudiadas: semicircunferencia, triángulo, cuadrilátero e hipérbola27
5.2.2	Arco, bóveda y cúpula29

6	Esquema espacial generador	
6.1	Génesis de la generatriz propuesta	30
7	Aspectos bioclimáticos	
7.1	Introducción	32
7.2	La comodidad térmica	32
7.3	La climatología aplicada al edificio	33
7.4	El viento y la ventilación en la arquitectura	35
7.5	La concepción del proyecto bioclimático	37
7.6	Los elementos arquitectónicos del bioclimatismo	40
7.7	Acoplamiento masa térmica- superficie de captación	43
8	Propuesta de estructuración	
8.1	Introducción	44
8.2	Sistema constructivo	45
8.2.1	Estructuración de un modelo soportante con elementos prefabricados	45
8.3	Planos arquitectónicos generales	47
8.3.1	Conexiones de los elementos	51
8.3.2	Concepto de la planta libre	53
8.4	Montea solar	53
9	Propuesta de acondicionamiento térmico	
9.1	Balace térmico de las plantas críticas	58
9.2	Criterios de diseño de la envolvente	58
10	Desarrollo de la arquitectura autosoportante (conclusiones)	61
11	Bibliografía	64

1 INTRODUCCION

El término **arquitectura autosoportante** se emplea para designar todas aquellas estructuras arquitectónicas que por su geometría de diseño no son susceptibles a colapsarse como resultado de las fuerzas estáticas y sísmicas a las que son solicitadas. Esto es, que por su topología son autoresistentes. El campo de la arquitectura autosoportante comprende las velarias, redes catenarias, antiscatenarias, neumáticas, geodésicas, cascarones, y en un sentido más amplio, las estructuras que no son consideradas dentro de la **arquitectura "convencional"** debido esencialmente a los conceptos de diseño estructural aplicados en su edificación.

La competitividad entre los diseñadores contemporáneos relativo a salvar grandes claros, brindar rapidez, ligereza y resistencia constructiva frente a los eventos dinámicos naturales es un hecho actual relevante que me lleva a plantear la hipótesis *sobre la mayor eficacia que las construcciones realizadas desde la óptica estructural de la fusión orgánica-ortogonal pueden ofrecer frente a tales fenómenos.*

La metodología empleada en la presentación del contenido radica en la concatenación progresiva de los conceptos diseminados en las cinco partes que componen el documento. Así, en la primera parte- capítulos 2 y 3- se describen en forma general los ejemplos clásicos de los conceptos autosoportantes: su origen, generación y características específicas de manera gráfica, citándose algunas de las aplicaciones más frecuentes. Los capítulos 3 y 4 tratan sobre las propiedades y comportamiento propio de los cuerpos al interactuar su geometría, materiales, masa y proporciones. A continuación- capítulos 5 y 6- bajo "Propuesta de un modelo autosoportante" y "Esquema espacial generador" se plasman los principios geométricos que esbozan ya la volumetría de la fusión conceptual; más los aspectos bioclimáticos a guardar- capítulo 7- para mantener la comodidad térmica. Finalmente, la propuesta de vinculación de uno de los conceptos autosoportantes con el concepto rectilíneo de edificios y una alternativa viable de estructuración- capítulos 8 y 9. Las conclusiones y expectativas se encuentran en el capítulo 10.

El alcance de la tesis es ofrecer una visión de las posibilidades *reales* de fusión de conceptos estructurales alternativos y complementarios a la edificación tradicional; y presentar un esquema de modelo en el que converjan las normas constructivas, ambientales y que optimice el comportamiento sísmico.

El documento está dirigido a estudiantes de arquitectura y profesionales del gremio de la edificación con el fin inmediato de sentar precedente que promueva la investigación para la industrialización y el postrer reconocimiento de esta vertiente arquitectónica en los reglamentos de construcción.

2 ORIGENES

Pudiera pensarse que los antecedentes de la denominada arquitectura autosoportante se remontan apenas a décadas recientes donde ciertas técnicas o sistemas constructivos novedosos se aplican. Lo cierto es que esta rama del menester arquitectónico es quizá la más antigua pues ya los sumerios, cretenses, babilonios, fenicios y en general todas las civilizaciones mediterráneas desde el siglo V A.C. concluyeron, adaptaron y edificaron obras de carácter militar, civil y religioso que perduran hasta nuestros días y cuyos materiales y técnicas constructivas siguen siendo empleadas para satisfacer las necesidades de espacio y bienestar ambiental.

En el mundo occidental europeo y americano el auge de esta experiencia arquitectónica no se dió acaso como en el ceracano oriente; sin embargo, ejemplos como el panteón de Agripa, en Roma, constatan que los romanos no sólo conocieron los conceptos elementales de la auto-sustentación sino que además lo asimilaron y perfeccionaron. En América, los ejemplos de esta arquitectura lo encontramos principalmente bajo el común denominador de la vivienda: tipis, chozas unifamiliares y comunales de los indígenas norte, centro y suramericanos respectivamente; cada una de ellas adaptada a los materiales, condiciones atmosféricas prevalecientes del lugar y función del espacio en particular.

Toda la arquitectura autosoportante parte del principio de imitar y asimilar las formas orgánicas de la naturaleza. Así, los ejemplos más socorridos son las formas de los cítricos como la naranja, las conchas de los caracoles y los huevos en general.

El hombre antiguo desconocía el quid de las propiedades geométricas de la forma relativo a un material a emplear; sin embargo, reconocía- por prueba y error- las bondades y beneficios que implicaba el acercarse a las formas naturales, tales como obtener mayor estabilidad, ligereza, espacio interior y la posibilidad, como en el caso de los nómadas del mundo, de desmantelar o desensamblar sus moradas y proseguir sus caminos.

A medida que el hombre fue descubriendo nuevas aplicaciones de los materiales naturales (madera, fierro, tierra, piedra), fue substituyendo las prácticas antiguas por las más recientes; no porque aquéllas le fueran de escaso interés sino, más bien, con el afán de procurar soluciones espaciales a maneras de vivir más apegadas a sus circunstancias históricas y de resolver problemas que le aquejaban con mayor frecuencia; por ejemplo, la concentración de habitantes en un reducido área por un período de tiempo relativamente prolongado.

3 GEOMETRIA DE LAS ESTRUCTURAS AUTOSOPORTANTES *1

Estructura adecuada es aquélla que satisface completamente una función estructural. Si se quisiera determinar entre varias alternativas, se escogería la más ligera, estable y económica.

La calidad de la construcción depende de la forma, fuerza y masa- factores que están íntimamente relacionados-. La construcción adecuada es, pues, aquélla en la que con un mínimo de gasto en material, presenta una mayor resistencia a las cargas que la solicitan o que por su geometría puede transmitir mejor esas cargas a la cimentación.

Las configuraciones que pueden tener las construcciones son infinitas; las fuerzas que actúan sobre ellas se pueden determinar, mientras que los materiales de construcción son limitados en su número.

Para analizar el comportamiento de una construcción es indispensable conocer las relaciones entre forma, fuerza y masa. Por ejemplo, si tenemos una construcción con una carga fija y queremos aumentar su resistencia o disminuir su material, es necesario saber la capacidad que tiene esta construcción para poder transmitir una carga.

* 1 Traducción y adaptación de textos y gráficos de la referencia:
Salvadori, Mario
[Why buildings stand up](#)

Esta capacidad depende en gran parte de su topología. Como veremos, ninguna techumbre de relativa extensión puede ser construida ya sea por medio de materiales naturales o por materiales hechos por el hombre sin dar a la cubierta una forma curva, y éste es el por qué los domos fueron empleados antes que cualquier otro tipo de cubierta para lograr los grandes espacios techados. Aún la madera, un material que puede librar distancias horizontales pequeñas por acción de viga, tiene que estar combinada en formas cónicas, cilíndricas o esféricas siempre que se quiera librar claros grandes.

Sólo después de la invención de los métodos económicos de la producción del acero y el desarrollo reciente del concreto armado los grandes techos planos fueron posible. Estos tienen ventajas sobre los techos-domo: su erección es más simple y no desperdician el espacio superior definido por el domo el cual es, a menudo, superfluo, e innecesariamente calentado o enfriado.

El sistema estructural más sencillo para un techo plano consiste de una serie de vigas paralelas que sostienen un tipo de material de cubierta. Empero, si los cuatro lados del rectángulo a cubrir son usados para apoyar las vigas del techo, es más práctico colocar las vigas en dos direcciones, en ángulo recto a cada cual, creándose una red o retícula.

Este sistema en dos sentidos funciona sólo si las dos dimensiones del rectángulo son más o menos iguales ya que las cargas tienden a desplazarse a su apoyo por el camino más corto y si una dimensión del techo es mucho mayor que la otra, la mayor parte de la carga será cargada por las vigas cortas aún si las vigas están dispuestas en trama ortogonal.

Una **retícula** es un sistema a base de una trama "democrática": Si una carga actúa en una de sus vigas, (fig.1) ésta se flexiona; pero al hacerlo carga con las vigas de la trama alrededor de ésta, interviniendo, pues, la capacidad de carga de las vigas adyacentes. Es interesante apuntar que la dispersión de la carga ocurre en dos sentidos y que las cargas en una red rectangular son recibidas por los apoyos no sólo por la acción de las vigas (cortante y momento) en dos sentidos, sino por un mecanismo de torsión adicional que hace que todo el sistema sea más rígido.

Para obtener esta interacción de torsión las vigas deben estar rígidamente conectadas en su intersección; algo que es inherente en la naturaleza monolítica de las retículas de concreto armado y en las conexiones de las retículas de acero soldado o remachado.

Aún las civilizaciones con conocimientos estructurales elementales sabe o intuye cómo conseguir este efecto de torsión, al entrelazar las vigas de sus techos de manera que cualquier desplazamiento de una viga conlleva el pandeo y la torsión de todas las demás.

Vista en corte

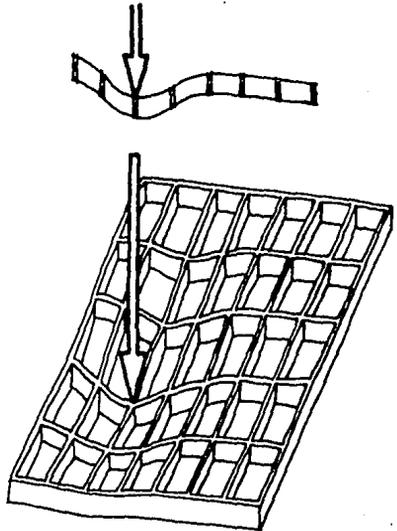


fig. 1

A pesar de que las tramas ortogonales son las más comúnmente usadas, las tramas romboidales tienen, además de las cualidades estéticas, las estructurales y económicas al utilizar vigas de igual longitud aún cuando las dimensiones de la trama son substancialmente diferentes, y así, distribuyen más uniformemente la acción de cargar entre todas las vigas (fig. 2).

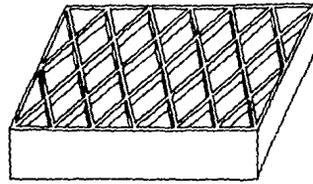


fig. 2

El uso de **retículas de armaduras** más que las vigas, se hace necesario cuando los claros son de decenas de metros de longitud. Así, las **estructuras espaciales** constituyen los techos horizontales y cóncavos más grandes erigidos hasta la fecha y que cubren miles de metros cuadrados sin necesidad de apoyos intermedios (fig. 3).

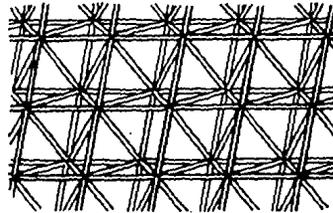


fig. 3

Las **losas planas de concreto armado** son los pisos y techos más usados en el mundo, sean ya con marcos de acero o concreto; sus techos bajos permiten colgar instalaciones múltiples y dispositivos sin tener que evitar trabes. El arreglo de los reforzamientos de la losa sobre tarimas de madera hace que la colocación de las varillas sea sencillo y económico. De hecho, las losas, además de soportar cargas al flexionarse y torcerse como retículas de vigas, tienen una capacidad adicional que les permite ser más rígidas y fuertes que las retículas. Esta capacidad fácilmente entendible deriva de la continuidad de sus superficies.

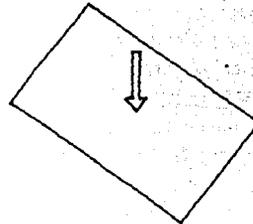
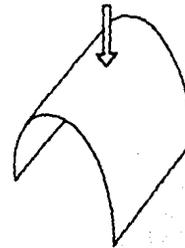


fig. 4a

Si presionamos sobre una hoja curvada intentando allanarla, (fig.4a) dependiendo de su forma, la hoja se aplanará por sí misma o tendrá que ser estirada o rebanada antes de que pueda ser plana. Por ejemplo, una hoja de papel doblada como un medio cilindro y luego liberada se alisa por sí misma. Se dice que es una **superficie desarrollable**; pero si presionamos sobre una pelota de goma partida por la mitad, a manera de un domo semiesférico (fig.4b), ésta no se allanará por sí misma ni aún presionando sobre ella. Sólo se aplanará si cortamos un sin número de gajos radiales, y suponiendo que el domo es muy delgado en su pared, podrá ser explotado en una superficie plana. El domo, y de hecho todas las otras estructuras curvas que en este capítulo se describen- con excepción del cilindro,

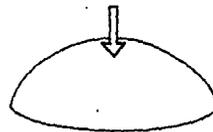


fig. 4b

son superficies **no-desarrollables**; y puesto que son tan difíciles de aplastar, son también más rígidas que las superficies desarrollables. Regresando al comportamiento de las losas planas notamos que, al aumentar las cargas sobre ellas, se "cuelgan": adquieren la forma de una superficie curva, con una curvatura gaussiana negativa, o hacia abajo.

Si está apoyada sólo en dos lados opuestos paralelos (fig.5a), se convierte en un cilindro ligeramente curvado de arriba a abajo; pero si está apoyada en cuatro lados (fig.5b), o de cualquier otra manera, adquiere una forma no-desarrollable. De la misma manera en que la media esfera tiene que ser estirada para que cambie de domo en una superficie plana, la losa tiene que ser alargada para ser transformada de una superficie plana en una pandeada. Así pues, las cargas sobre ellas, además de doblarlas y torcerlas, deben estirarlas; y este inevitable estiramiento hace a las losas aún más rígidas. Cuando las losas tienen que librar más que cinco o seis metros, se vuelve económico rigidizarlas en su cara baja con costillas, las cuales pueden ser orientadas de muchas maneras.

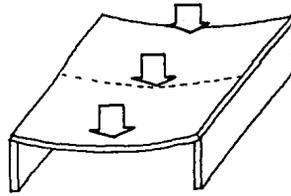


fig. 5a

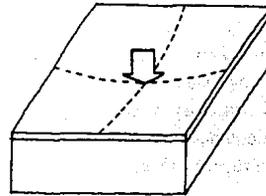


fig. 5b

Pier Luigi Nervi hizo uso del **ferrocemento**, un material que él perfeccionó, para construir formas en las cuales coló losas rigidizadas por nervaduras curvas orientadas en las direcciones más lógicas a fin de transferir las cargas desde las losas a las columnas. La rigidez de las losas planas como la de las vigas deriva de su espesor: si son muy delgadas, se vuelven demasiado flexibles para ser funcionales. Es una de las cualidades del comportamiento estructural el que la rigidez y resistencia de elementos tipo hoja pueda ser logrado no sólo al incrementar su peralte- y la cantidad de material empleado- sino al darles formas curvadas (fig.6). Algunas de las cubiertas más grandes deben su resistencia exclusivamente a su topología. Es por ello que son llamadas **estructuras de forma resistente o autosoportante**. Este principio de resistencia por medio de curvatura puede ser aplicado a paredes delgadas de concreto armado y ha sido eficientemente usado para edificar cubiertas de estadios que pueden librar diez o más metros con un espesor de solo unos centímetros. La forma de tales techos muestran ser no-

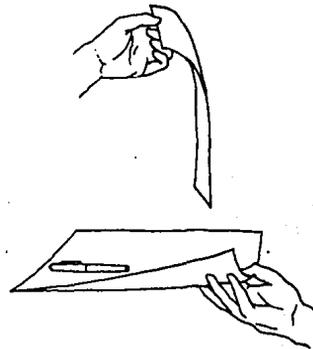


fig. 6

desarrollables y consecuentemente son, más bien rígidos. Sin embargo, superficies desarrollables como el cilindro, muestran suficiente resistencia, lo que les permite ser usados como elementos estructurales.

Le debemos al matemático **Karl Friedrich Gauss (1777 -1855)** el descubrimiento de que la interminable variedad de superficies curvas que podamos encontrar en la naturaleza o que podamos imaginar y realizar tridimensionalmente pertenecen a tres categorías a saber: **forma de domo, forma cilíndrica y forma de montura o troncocónica**. Los domos son techos colgantes con curvaturas siempre en la misma dirección -hacia arriba o hacia abajo- (fig.7a). Constituyen la primera categoría de Gauss; son superficies no- desarrollables y han sido usados por siglos para cubrir grandes superficies. En la tercera categoría, de forma de silla de montar, (fig.7b) la curvatura a lo ancho del caballo está definida por las piernas del jinete y es concava hacia abajo, (**curvatura gaussiana positiva**) mientras que la curvatura a lo largo de la columna vertebral del caballo es concava hacia arriba (**curvatura gaussiana negativa**).

Las cubiertas de este tipo son no- desarrollables y son empleadas como techumbres por su rigidez. El arquitecto **Félix Candela** construyó una de esta categoría para la cubierta del laboratorio de rayos cósmicos en México D.F., y es tal vez la más delgada de todas ya que tiene de espesor tan sólo tres centímetros. Las superficies tipo silla de montar tienen otra propiedad que no es perceptible inmediatamente. Si uno rota los cortes de la silla en la dirección a través de lo largo, la curvatura cambia de abajo hacia arriba, y si uno continúa, cambia de arriba a abajo. De ahí que haya dos direcciones a lo largo de las cuales los cortes no van ni de abajo hacia arriba ni viceversa; no son curvos ya que son dos líneas rectas. Esta propiedad hace de la forma de silla una forma casi ideal para construir techumbres. El cilindro no tiene curvatura en la dirección de uno de sus ejes (fig.7c). Uno puede considerar, entonces, al cilindro como una línea divisora entre el domo y la montura; esta última tiene dos orientaciones sin curvatura; empero, al hacerse estas dos direcciones más y más cortas, las monturas se convierten en cilindros con sólo una dirección de no- curvatura. Si a esta dirección se le da ahora una curvatura hacia abajo, el cilindro se vuelve un domo.

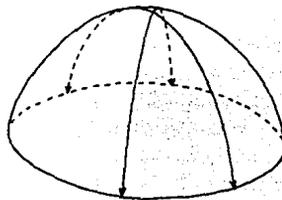


fig. 7a

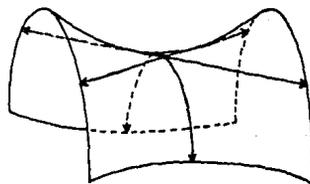


fig. 7b

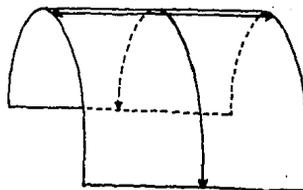


fig. 7c

A pesar de que los cilindros son formas desarrollables, y como tales son menos rígidos que los domos o las monturas, pueden ser usados como techos. De hecho, las **bóvedas de cañón corrido** o **bóvedas dípteras** de concreto armado son comunes y económicas y son edificadas en las plantas industriales usando las mismas cimbras.

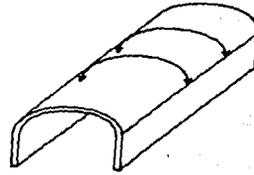


fig. 8a

La forma de apoyar el medio cañón influencia la acción de cargar su peso: si está apoyado a todo lo largo de sus extremos longitudinales (fig.8a), actúa como una serie de arcos construídos uno junto al otro y desarrolla empujes hacia afuera, los cuales deben ser absorbidos por contrafuertes o varillas de sujeción como en cualquier arco; sin embargo, si está soportado sobre sus extremos curvos (fig.8b), se comporta como una viga, desarrollando compresión sobre el eje neutro, y tensión por debajo de éste y no desarrolla coceo.

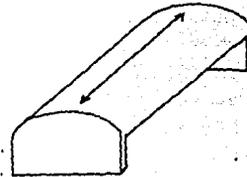


fig. 8b

Uno no debería confundirse por la forma geométrica de una estructura al decidir su mecanismo de sustentar cargas. Las bóvedas de cañón deberían ser apoyadas por muros en sus extremos o arcos rígidos para evitar innecesarios y costosos contrafuertes o barras sujetadoras interferentes.

La **losa plegada** o **prismática** es análoga a una serie de bóvedas de cañón. Consiste de losas de concreto delgadas e inclinadas que presentan un repentino doblez o cambio de nivel a intervalos regulares (fig.9). Su sección transversal es una línea en zig-zag con "crestas" y "valles". Las losas plegadas deben ser apoyadas en sus extremos pues consisten de superficies planas y pliegues y actúan como un acordeón que puede ser estirado o plegado con poco esfuerzo y que no desarrolla empujes hacia afuera.

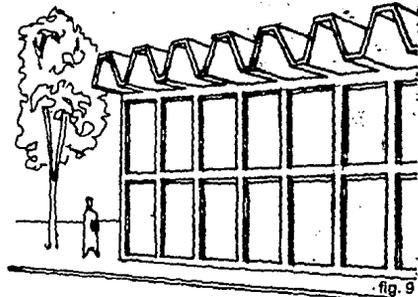


fig. 9

Las superficies tipo silla de montar, soportadas a lo largo de sus extremos curvos perimetrales, tienen una forma peculiar que no hace muy clara la distinción entre estructura y superficie funcional. Sus segmentos generan una superficie curva llamada **hiperboloides de rotación** o **de un manto**, usados para construir las torres de enfriamiento de las plantas químicas (fig.10).

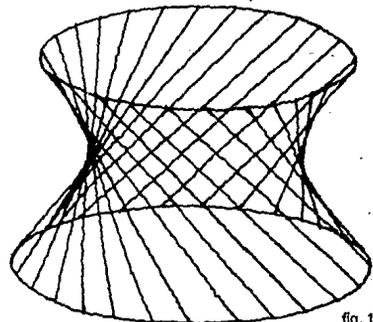


fig. 10

Uno de los techos hiperboloides más sencillos se obtiene al inclinar la silla de montar y apoyarla en dos esquinas opuestas. Ya sea que los puntos de apoyo estén en la tierra o sobre columnas, la techumbre asemeja una mariposa (fig. 11). Su comportamiento estructural está dictado por sus curvaturas: La acción compresiva del arco toma lugar a lo largo de las secciones curvas hacia abajo, mientras que la acción tensil del cable, a lo largo de las secciones curvas hacia arriba. Los dos puntos de apoyo deben estar apuntalados para resistir el empuje de la acción del arco, a la vez que la acción tensil del cable, en los ángulos rectos a éste, deben ser absorbidos por barras reforzadas, si el hiperboloide está hecho de concreto. Tal es la rigidez del hiperboloide que su espesor tiene que ser de pocos centímetros de concreto para salvar claros de diez o más metros. Pero ciertamente, uno pudiera temer que tal estructura tan delgada, actuando a compresión a lo largo de sus direcciones arqueadas, se combara; un temor justificado si no fuera porque la acción del cable en los ángulos rectos de los arcos los jalan hacia arriba y evitan que se pandeen. Además, bajo carga uniforme, como su peso propio o carga debida a nieve, desarrollan la misma tensión y compresión en cualquier parte. De ahí que sus materiales, sean concreto o madera, puedan ser utilizados a su máxima capacidad permitida por todo la techumbre. La bóveda de cañón corrido y los elementos rectangulares hiperbólicos son las partes fundamentales de algunos de los techos curvos más sorprendentes jamás concebidos por el hombre. Las combinaciones de estos eficientes componentes estructurales están limitadas sólo por la imaginación del arquitecto, guiado por un buen sentido estructural.

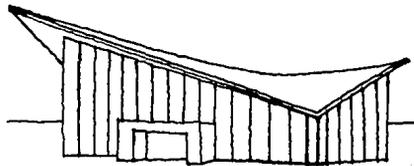


fig. 11

Es lamentable que, salvo algunas notables excepciones, la arquitectura moderna no haya visto superficies curvas tan grandiosas como algunas del pasado y al mismo tiempo tan atrevidas como la tecnología presente las puede hacer. Esta deficiencia de logros es debida al menos a tres causas. Por un lado, se cree que las superficies curvas son más difíciles de diseñar que las estructuras planas a las que estamos acostumbrados, lo cual es a menudo totalmente lo contrario; por otro lado, existe un vacío entre la reciente teoría de estructuras curvas y las recomendaciones contra sismos de los reglamentos de construcción. Por último, debemos agregar que **la razón entre la obra de mano y los costos del material** con frecuencia hace que sea antieconómico en relación a otro tipo de construcción.

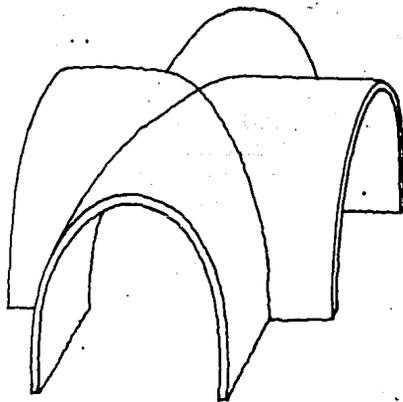


fig. 12

Una de las combinaciones que se encuentran con mayor frecuencia de superficies cilíndricas es la **bóveda de arista** de las catedrales góticas. Esta consiste de la intersección de dos bóvedas cilíndricas en ángulo recto con respecto una de otra (fig. 12), apoyada en cuatro arcos de colindancia e intersectado a

lo largo de pliegues diagonales curvos llamados cruceñas, que terminan en cuatro columnas esquineras que soportan la bóveda. Con frecuencia las cruceñas se enfatizan visualmente y, acaso, estructuralmente, por medio de nervaduras. Éstas pueden ser estéticamente importantes, aunque estructuralmente no lo sean para soportar la bóveda, ya que por sus pliegues y curvaturas son autosoportantes.

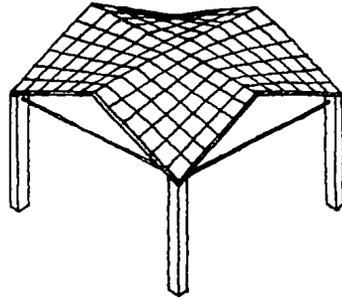


fig. 13

Dentro de la gran variedad de combinaciones de los elementos hiperboloides rectangulares, dos han llegado a ser bastante comunes por su gran utilidad, belleza y economía: **el techo hiperboloide y el paraguas hiperboloide** (figs. 13 y 14 respectivamente).

La mayor aplicación de las cortinas delgadas verticales no ha sido en arquitectura sino, paradójicamente, en la construcción de presas.

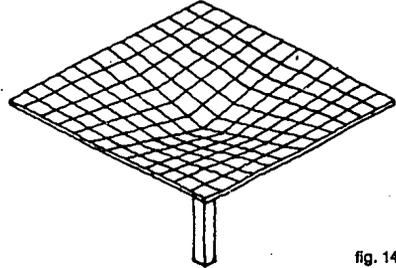


fig. 14

Estas pueden ser construidas erigiendo una pared de tierra pesada al final o extremo de un valle y compactándola para así, hacerlo hermético. Estas presas resisten la presión horizontal del agua por medio de su gran masa, y son llamadas **presas por gravedad** (fig 15a).

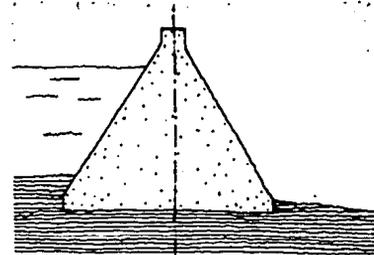


fig. 15a

En los países donde la tecnología del concreto es avanzada, las condiciones geológicas del emplazamiento propicias y los reglamentos locales lo permiten, las cortinas son construidas, a menudo, como superficies curvas delgadas de concreto que resisten la presión del agua por su curvatura.

Algunas de las presas son estructuras monumentales que alcanzan alturas de más de 300 metros y transmiten cientos de toneladas de presión de agua a los lados del valle a través de su curvatura (fig.15b).

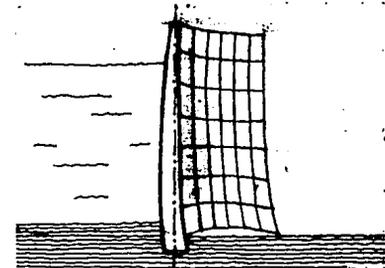


fig.15b

Puede ser irónico pensar que tales estructuras llamadas "delgadas"- cuando su espesor, que aumenta de arriba hacia abajo- alcanzan 10 metros. El espesor, empero, nunca es medido en términos absolutos: lo que cuenta estructuralmente es **la razón del espesor al radio de la superficie curva**, la cual en una presa puede ser tan bajo como 1/500.

Podemos darnos cuenta que tan "delgada" es una cortina de 10 metros de espesor si la comparamos con el cascarón de un huevo, en el cual la razón del espesor al radio es tanto como 1/50. Una cortina típica es, relativamente hablando, diez veces más delgada que un cascarón de huevo.

Una de las preguntas con frecuencia cuestionada al Ingeniero estructurista es si cualquiera de las bellas superficies curvas encontradas en la naturaleza o imaginada por la mente del artista puede ser usada como techo u otras estructuras.

Por ejemplo, una estructura de planta cuadrada semejante a una **vela cuadra** apoyada en sus cuatro esquinas (fig.16) que, aunque no es una superficie geoméricamente definible- como lo es una **superficie por traslación**- es estructuralmente eficiente.

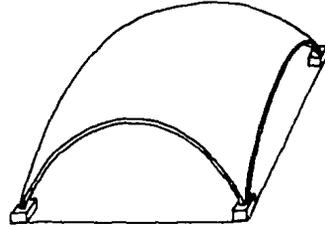


fig. 16

Innumerables procedimientos han sido inventados para tratar de reducir el costo del cimbrado y todo lo que esta relacionado con ello.

Las formas neumáticas se usaron por primera vez en 1940 por **Wallace Neff**, quien roció concreto sobre una de estas estructuras con una pistola a presión. Dante Bini coloca los refuerzos, vacía el concreto sobre globos de plástico desinflados y luego los eleva con presión de aire.

El **procedimiento Bini**, en particular, ha tenido éxito en todo el mundo para edificar domos circulares de gran diámetro (hasta 90 metros) para escuelas, gimnasios y salas. Evidentemente los globos son eficientes cuando se trata de cubiertas redondas, no así cuando las plantas de los cascarones son distintas.

Un método tradicional de construcción originario de la región de Cataluña, España, ha producido, por siglos, toda clase de estructuras delgadas sin usar jamás andamios o cimbras complejas, sino empleando ingeniosamente ladrillo y mortero. Por este procedimiento se construyen escaleras en espiral alrededor de patios interiores, (fig.17) bóvedas dípteras nervadas y cúpulas.

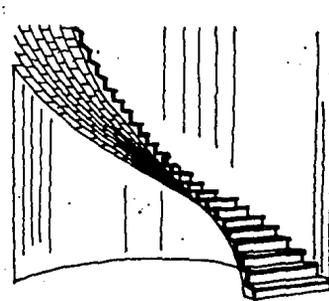


fig. 17

4 ANTECEDENTES ESTRUCTURALES *2

4.1 INTRODUCCION

Al desarrollar un proyecto arquitectónico, desde su concepción inicial hasta la elaboración de los planos ejecutivos, deben tenerse en cuenta todos los factores que en ello pueden intervenir: el contexto urbano de la zona donde se pretende proyectar, conceptos antropométricos distribución de áreas y espacios, funcionalidad, procedimientos constructivos apropiados, reglamentos de construcción, economía de materiales, financiación,...

Uno de estos factores, quizá de los más importantes, es la solución estructural del proyecto. Para dar una buena solución es necesario conocer las diferentes formas y tipos de estructuras, los elementos que pueden componerla y la manera como trabajan. Lo que importa fundamentalmente es **la comunión del proyecto arquitectónico y el proyecto estructural**. La elección adecuada de los tipos de techos, muros, así como la separación entre ejes de columnas y su colocación, los tipos de cimentación, etc.

4.2 METODOLOGIA DEL DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA

Una vez aprobado el anteproyecto arquitectónico se decide la solución estructural y se procede a la realización del proyecto arquitectónico definitivo. En base al proyecto arquitectónico se pueden determinar las cargas del edificio y su influencia en cada elemento de la estructura. Los tipos de fuerza que soporta una estructura son: **fuerzas gravitacionales y fuerzas accidentales**; y de acuerdo a los efectos que éstas ocasionan: **fuerza cortante y fuerza normal**.

Conociendo las cargas de los elementos estructurales se puede entonces diseñar para estas condiciones. A continuación es necesario determinar la intensidad de las cargas accidentales. Una vez determinadas estas fuerzas se calcula el efecto que pueden tener en los elementos de la estructura, diseñándolos para el caso más desfavorable de cargas gravitacionales más las cargas accidentales.

En síntesis, se puede decir que el cálculo de un edificio se reduce a lo siguiente:

- 1.- Determinación del tipo de estructura.
- 2.- Determinación de las cargas de trabajo.
- 3.- Cálculo de fuerzas cortantes y momentos flexionantes producidos por cargas permanentes.
- 4.- Cálculo de fuerzas cortantes y momentos flexionantes producidos por cargas accidentales.
- 5.- Diseño de sistemas de losas.
- 6.- Diseño de traveses y columnas.
- 7.- Diseño de cimentación
- 8.- Diseño de elementos especiales tales como escaleras, traveses de torsión, muros de retención, etc.

*2 Citas y adaptación de textos y gráficos de las referencias:
Rojas Contreras, Alejandro
Importancia de los sistemas en el proyecto arquitectónico
Creixell, M. José
Construcciones antisísmicas
Arnold, Christopher, Reithman, Robert
Configuración y diseño sísmico de edificios

Ahora bien, el diseño de cada elemento en general se hace considerando su forma de trabajo que a continuación se menciona:

- ° 1.- Trabes de flexión y cortante, y en algunos casos a torsión.
- ° 2.- Losas a flexión y cortante.
- ° 3.- Columnas a flexocompresión.
- ° 4.- Zapatas a flexión y cortante.
- ° 5.- Elementos especiales de acuerdo a su trabajo.

4.3 EFECTOS DEL SISMO EN LA ESTRUCTURA

Habrán en la base tres efectos producidos por el sismo: una fuerza cortante igual a la suma de los cortantes en cada masa, un momento torsionante igual al cortante en la masa excéntrica por su propia excentricidad y, un momento de volteo igual al cortante en la masa n por su propia altura, es decir:

$$\begin{aligned} V_b &= V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \\ M_T &= (V_i) (e) \\ M_v &= (V_n) (H_n) \end{aligned}$$

V_b : cortante en la base
 M_T : momento de torsión
 M_v : momento de volteo
 V_n : cortante en la masa n
donde: v_i : cortante en la masa excéntrica
 e : excentricidad de la masa excéntrica
 H_n : altura desde la base hasta la masa n

4.4 FORMA DE LA ESTRUCTURA

Al igual que no hay reglas universales para el proyecto arquitectónico común, tampoco las hay para la forma de las estructuras. Sin embargo, para que su comportamiento sísmico sea lo próximo a lo ideal, ésta deberá:

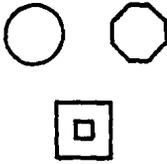
- ° a) Ser conceptualmente sencilla [Cf. secc. 4.10].
- ° b) Ser simétrica [cf. seccs. 4.10, 4.12, 4.14].
- ° c) Guardar la relación largo/ ancho de 1:4 como máximo en planta y elevación [Cf. cuadros 1a, 1b, seccs. 4.6, 4.10, 4.11, 4.12, 4.14].
- ° d) Tener resistencia distribuida en forma uniforme y continua.
- ° e) Tener miembros horizontales en los cuales se formen articulaciones antes que en los elementos verticales.
- ° f) Tener rigideces que tomen en cuenta las propiedades del suelo.

Una consideración importante: existe una relación directa entre la simplicidad de la estructura y su costo; a mayor complejidad corresponde un mayor costo. Los cuadros 1a y 1b esquematizan estos conceptos.

Recomendable

No recomendable

Observaciones de la planta

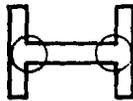
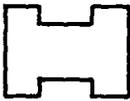


Ideal en comportamiento, análisis laborioso.

Buena simetría, análisis simple, facilidad de detallado estructural.



Estructuras asimétricas que pueden sufrir torsiones importantes y sobrecarga en los elementos estructurales extremos.



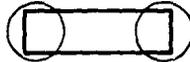
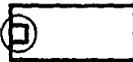
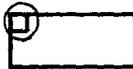
Aunque hay simetría, las alas largas producen torsión y flexión en el cuerpo central.



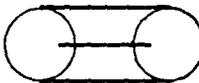
Las torres de acceso adosadas o proyectadas producen problemas en el detallado de las juntas.



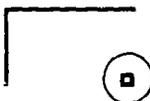
Funcionamiento asimétrico que produce torsiones adicionales y esfuerzos adicionales por excentricidad excesiva del centro de rigideces con respecto al centro de carga.



Una buena forma de solucionar plantas alargadas es la de prever en el proyecto arquitectónico juntas constructivas.



La falta de elementos resistentes en alguna dirección la hace vulnerable en alto grado.



La asimetría de las rigideces produce excentricidades y torsiones fuertes.

cuadro 1a

Recomendable	No recomendable	Observaciones del alzado
		Los desfases en las diferentes plantas complican el análisis y la predicción del comportamiento sísmico.
		Los edificios muy esbeltos tienen deformaciones horizontales muy marcadas; se incrementan los efectos de volteo en la base y de péndulo en los niveles superiores.
		Los rematamientos en fachadas pueden requerir cambios en las dimensiones de los elementos de carga vertical, columnas o momentos de volteo fuertes en las plantas bajas y cimentación. Se dificulta el análisis estructural.
		El piso menos rígido es el más vulnerable a fallar. Se pierde la continuidad de los sistemas resistentes pudiendo resultar inútil la previsión de redundancias estructurales.
		La discontinuidad de las cargas verticales dificulta el análisis y produce estructuras más caras.

cuadro 1b

4.5 CARACTERÍSTICAS MECANICO-GEOMETRICAS DE LAS ESTRUCTURAS

Son las propiedades intrínsecas de la materia. Entre las más importantes para el estudio del comportamiento sísmico tenemos:

El **centro de gravedad** de un cuerpo es el punto en el que todo el sistema de fuerzas, debidas a la atracción de la gravedad, puede contrarrestarse con una sola fuerza de la misma magnitud que la suma de todo el sistema y de sentido contrario a él, dejando al sistema original en equilibrio.

Si el cuerpo del que hablamos es homogéneo en su material constitutivo final, el centro de gravedad coincide exactamente con el **centro de área**.

Dado que la masa y el peso pueden expresarse uno en función del otro, el **centro de masas** corresponde con el centro de gravedad. La diferencia esta únicamente en que se trabajará con las masas del o los cuerpos en vez de trabajar con sus pesos.

El **momento de inercia** de un cuerpo es la medida de la resistencia que tiene éste a ser girado. **Inercia** es la propiedad que tienen los cuerpos para oponerse al movimiento cuando están en reposo o al cambio de velocidad cuando se mueven.

Elasticidad es la propiedad inherente en los cuerpos, en mayor o menor grado, para volver a su forma inicial una vez que cesa la fuerza que los ha deformado temporalmente.

La **constante de resorte** (fig. 18), es la capacidad que tienen los elementos de una estructura de deformarse proporcionalmente y permanecer dentro de los límites de la elasticidad. Tratándose de una estructura, lo ordinario es que la columna se halle empujada en las traveses concurrentes, y al venir la deformación producida por el empuje horizontal, tendrá un desplazamiento con relación a su extremo inferior. La fuerza que lo provoque, dividida entre tal desplazamiento será dicha constante.

Ductilidad se puede definir como la capacidad que tiene un elemento de modificar su forma fuera de los límites de la elasticidad pero sin llegar a romperse.

El **período de vibración** del edificio, es el tiempo en segundos que dura una oscilación completa; que mientras no salga la estructura o construcción de los límites de la elasticidad, tendrá siempre la misma duración y la forma que tome al deformarse dependerá del peso de las masas y de la rigidez de los diferentes tramos de segmentos de las mismas.

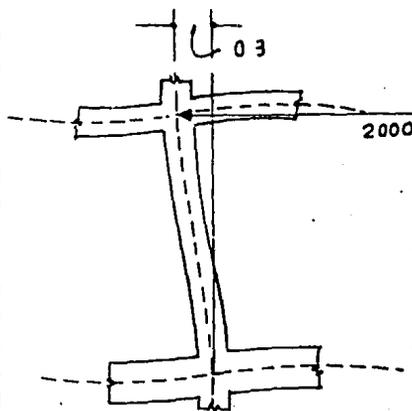


fig. 18

Velocidad angular. En el caso del movimiento pendular, la velocidad de la masa no es uniforme: al cruzar por la normal alcanza su magnitud máxima, y va disminuyendo hasta llegar a cada uno de los extremos del recorrido, donde la masa se detiene totalmente para iniciar su regreso. La proyección horizontal del movimiento del péndulo se puede expresar como la que tendría en el diámetro de un círculo un punto que lo recorriera con velocidad uniforme (fig. 19). Se llama angular porque es la velocidad que la masa emplea para describir con su radio, determinado ángulo, independientemente del tamaño de la circunferencia y de la velocidad lineal que desarrolla al recorrerla, que naturalmente será mayor cuanto más grande sea el círculo. En todos los casos la velocidad angular w es igual a $6.28 / t$, siendo t el período de oscilación.

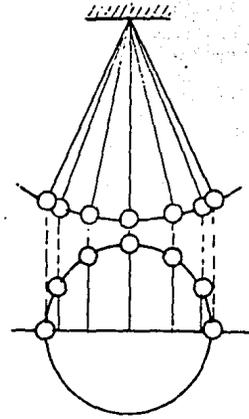
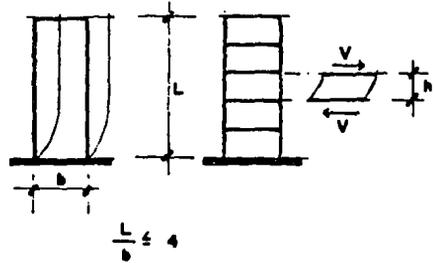


fig. 19

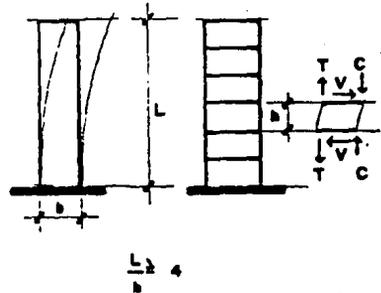
4.6 RELACION DE ESBELTEZ

Para hablar de la altura de un edificio es necesario referirnos a su relación de esbeltez, es decir, a la razón que guarda la altura respecto a la base. De acuerdo a la relación de esbeltez, pueden esperarse dos tipos de comportamiento dinámico en los edificios: como **viga de cortante**, si su relación de esbeltez es menor que cuatro (fig. 20a); y como **viga de flexión** si es mayor que cuatro (fig. 20b). En el primer caso, la principal fuerza inducida a los elementos de carga vertical (columnas o muros) es de cortante. En los edificios que trabajan como vigas flexibles, además de la fuerza cortante, se producen importantes fuerzas axiales de tensión y compresión alternadas sobre todo en los elementos de carga vertical localizados en el perímetro de la planta. Una observación que se relaciona con la altura de los edificios es que, habitualmente por economía constructiva, **se reducen las secciones de los elementos verticales superiores**. Esto repercute directamente en el comportamiento dinámico de la edificación al modificarse las rigideces, particularmente si los cambios de sección de las columnas son repentinos o mayores que $1/30$ de la altura del entreplazo.



$$\frac{L}{b} \leq 4$$

fig. 20a



$$\frac{L}{b} > 4$$

fig. 20 b.

4.7 RESONANCIA O ACOMPASAMIENTO DE ONDAS

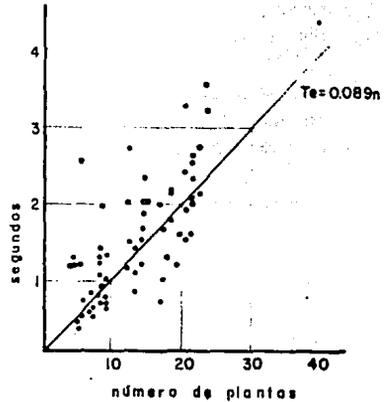
El fenómeno que sucede en la resonancia es que, a la fuerza debida a la **inercia de la masa**, se suma la **fuerza de la excitación de la base**, amplificando el **desplazamiento**. Esto ocurre a las estructuras cuando los **períodos de vibración** del suelo y la estructura son coincidentes o muy aproximados.

Para establecer el período fundamental de vibración de un edificio debe considerarse que durante el sismo pueden producirse fallas en los elementos resistentes: **articulaciones plásticas** en traveses o columnas, o agrietamientos de muros de carga o relleno adosados a la estructura. Esto provocará que la estructura incremente su período natural.

Para efectos de proyecto arquitectónico, este período puede estimarse multiplicando el número de entrepisos por un factor de 0.89 (gráfica 1), o sea:

$$T_e = 0.089 n$$

gráfica 1



donde: T_e es el período fundamental del edificio en segundos, y n el número de entrepisos

4.8 PREVENCIÓN DE LA RESONANCIA

4.8.1 FACTORES DE AMPLIFICACION Y AMORTIGUAMIENTO

La primera recomendación que puede hacerse, y al parecer la más sensata, es que las **estructuras rígidas** deben construirse sobre suelos de alta compresibilidad (baja resistencia) y los **edificios flexibles** sobre suelos de baja compresibilidad (alta resistencia). Esto, de una manera casi efectiva, evitará la amplificación de efectos sísmicos por acompasamiento de ondas.

Sin embargo, los esfuerzos que por inercia se verifican en las masas, al oponerse al movimiento del terreno, pueden aumentar en mayor o menor grado. Para incrementarlos, los multiplicamos por un **factor de amplificación**, que en temblores de apreciable duración han llegado a ser hasta cinco veces mayores a los que se pueden atribuir a la simple aceleración del terreno, y por lo tanto el factor de amplificación se puede tomar igual a cinco. En cambio, cuanto más diferentes sean t_s y t_e , menor probabilidad habrá de que el edificio entre en resonancia.

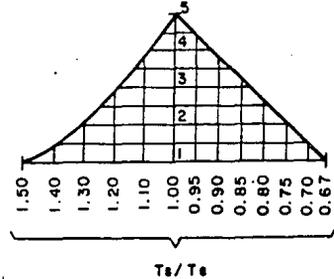
Para este efecto, se estima un rango de seguridad (gráfica 2):

$0.67 > ts/te > 1.5$ donde T_s es el periodo fundamental del suelo, lo que asegura que el factor de amplificación sea igual a 1 y no haya incremento adicional por resonancia.

Por otro lado, la ductilidad amortigua los efectos del sismo en las construcciones, y así los esfuerzos calculados se pueden reducir dividiéndolos por un factor de amortiguamiento o ductilidad [Cf. pp 19].

En resumen, una vez determinados los esfuerzos que recibe la edificación por la aceleración y el desajuste del terreno, se deben incrementar multiplicándolos por el factor de amplificación y disminuirlos, dividiendo entre el factor de amortiguamiento que corresponda al tipo de estructura.

Adicionalmente a estas medidas de carácter de criterio de diseño, existen una serie de mecanismos y artificios de uso práctico para edificaciones que ya se encuentran erigidas y cuyo propósito es modificar sustancialmente el cociente ts/te , variando el período fundamental de la estructura. Por mencionar los más eficaces están los dispositivos aisladores de cimentación, a base de emparedados de placas de acero de alta resistencia y neopreno; y los motores asíncronos de vibraciones sísmicas asistidos por ordenador dispuestos en las azoteas. En todos los casos se pretende apartar a las estructuras del rango donde las amplificaciones dinámicas tienen lugar.



gráfica 2

4.8.2 ESTRUCTURAS RIGIDAS, FLEXIBLES Y MIXTAS

Está comprobado que los esfuerzos provocados por el sismo se reducen bastante debido a la ductilidad de las construcciones, pues definitivamente, tales esfuerzos son con frecuencia bastante menores que los que se pueden calcular basándonos exclusivamente en la elasticidad. En la vida práctica, los esfuerzos del sismo en las construcciones se estiman de acuerdo a los factores de amplificación y amortiguamiento ya descritos.

Si una construcción fuese perfectamente rígida, no podría tener ductilidad y seguiría fielmente los movimientos del terreno. Siendo perfectamente elástica, tampoco la tendría ya que la ductilidad implica apartarse de la elasticidad, de manera que en ambos casos el factor de amortiguamiento valdría 1; pero como es prácticamente imposible que una construcción sea perfectamente rígida o perfectamente elástica, se considera que el factor de amortiguamiento puede ser cuando menos igual a 1.5.

Además, se ha verificado que los esfuerzos derivados directamente de la aceleración se han visto reducidos apreciablemente en construcciones dúctiles, por lo que el rango del factor de amortiguamiento se estima ordinariamente entre 1.5 y 4, con valores intermedios de 2 y 3.

En general, son mas dúctiles, con factor de amortiguamiento de 4: Los edificios que tienen en su estructuración diferentes elementos, con distintos módulos de elasticidad.

- a) Por ejemplo, unas secciones de acero y otras de concreto armado.
- b) Las estructuras de concreto armado o acero y muros de mampostería que contribuyen a su resistencia.
- c) Las estructuras de madera con uniones entre sus miembros articulados que toleran ciertos movimientos entre sí.
- d) Los muros de madera hechos con tablas machihembradas, que admiten movimientos relativos.
- e) Las construcciones de piedra o bloques en las que sus sillares no están ligados con mezclas o morteros resistentes.
- f) Los puentes con juntas de construcción que permiten movimientos relativos pero que además se han puesto para tolerarlos con bastante amplitud.

Son menos dúctiles que las anteriores, con factor de amortiguamiento de 3:

- a) Los edificios de concreto armado, elásticos y flexibles pero con bastante armadura de acero que permite movimientos que salen de los límites de la elasticidad, sin ocasionar roturas apreciables; con columnas bien zunchadas y travesaños con acero en tensión y compresión.
- b) Las estructuras de acero, revestidas de concreto, cuando éste se ha armado con bastantes estribos.
- c) Las cubiertas de armaduras, arcos o bóvedas que están ligadas pero no rígidamente en los elementos que las soportan.
- d) Los techos laminares de concreto armado, que toleran bastante bien movimientos de acomodación.
- e) Las construcciones muy pesadas que descansan en terrenos granulados o suaves.

Son medianamente dúctiles, y su factor de amortiguamiento es de 2:

- a) Las estructuras de concreto armado comunes pero que tienen elementos de distintas rigideces proporcionales.
- b) Los edificios apoyados parte en muros de carga y parte en estructuras.

Son muy poco dúctiles, con factor de amortiguamiento estimado de 1.5:

- a) Las estructuras muy uniformes, sin otros elementos que ayuden a recibir empujes horizontales, como muros resistentes de separación, fachadas poco flexibles o tensores cruzados.
- b) Las construcciones sobre rígidos muros de carga, reforzados con amarres de concreto verticales y horizontales y construidas sobre terrenos rocosos.
- c) Las cubiertas hechas con armaduras peraltadas y perfectamenteadas a sus apoyos.
- d) Los edificios sobre pilotes profundos que se apoyan en capas débiles y pasan a través de terrenos poco resistentes.

Resumiendo, son cuerpos flexibles cuando en su estructura tienen traveses anchos y de poco alfiler, columnas fuertes pero de sección reducida (que si son de concreto armado, pueden ser zunchadas y con bastante acero longitudinal) y con muros, fachadas y elementos secundarios colocados de manera que por sus juntas constructivas puedan conceder cierto desplazamiento .

Son rígidas cuando se apoyan en muros de carga, tienen estructura de alfileres generosos o están rigidizadas por fuertes muros divisorios, fachadas integrales o cruceros en la estructura. Con edificios en zonas intermedias queda siempre el recurso de hacer los edificios resistentes sobre todo a esfuerzos horizontales, de manera que aunque sufran daños menores, no estén expuestos a colapsos.

4.8.3 COEFICIENTES SISMICOS

El **coeficiente sísmico** es un número, fracción de la unidad tomado por criterio de diseño, que multiplicado por el peso del edificio determina la fuerza que de acuerdo con su aceleración, el temblor ejerce en la base, y cuyo valor se asigna dependiendo de la zona donde se edifica.

Cuando se trata del **cálculo dinámico**, la aceleración que se atribuya al terreno, combinada con la velocidad angular que el edificio requiere para moverse de algún modo definido, va determinando los esfuerzos que se producen en cada uno de las plantas y de su suma, que resulta algebraica cuando son de signos contrarios, se obtiene el esfuerzo cortante que el suelo ejerce en la base; por tanto, el coeficiente sísmico es una consecuencia del cálculo y no su punto de partida.

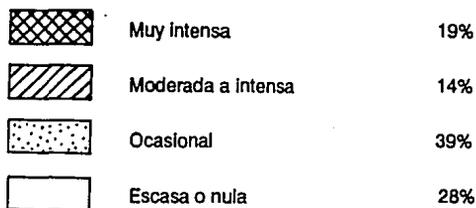
En cambio, en el cálculo estático, como no se habla de aceleraciones ni de deformaciones, es fundamental presuponer dicho coeficiente- siempre mayores que los que se deducen de la simple aceleración -para determinar un esfuerzo del terreno en la base del edificio y de él partir para calcular los esfuerzos que se apliquen en sus diferentes plantas como si se ejercieran en reposo, sin tener en cuenta aumentos o disminuciones resultantes de la resonancia o la ductilidad.

Al realizar el cálculo dinámico se parte de la aceleración que puede tener el suelo del lugar. Esta se obtiene de las que se han registrado durante sismos sucedidos en el área, o en último caso en zonas con características semejantes y más o menos equidistantes de los pasados epicentros.

Es por tanto conveniente contar con una **base de datos actualizada** y promover la instalación de **estaciones sismológicas** como apoyo de diseño en las concentraciones urbanas localizadas en las zonas de mediana y gran actividad sísmica [Cf. cuadro 2].

A manera de ilustración, y partiendo de los daños observados y registrados, se presenta posteriormente la tabla 2 que puede normar un criterio para valorizar los efectos.

En el mapa de la República Mexicana, las zonas representan áreas donde se desarrolla actividad sísmica:



cuadro 2

	períodos de vibración dominantes en el terreno en seg	velocidades angulares al cuadrado, que corresponden a los períodos de vibración en radianes por seg ²	aceleraciones en cm por seg ²
Valle de México suelos compresibles	2.12	8.5	50
Valle de México suelos intermedios	1.25	25	45
Valle de México suelos de baja compresibilidad	0.85	55	40
Sítios cercanos a epicentros	0.50	57	160
Lugares muy cercanos a epicentros de fuertes movimientos	0.30	439	230

Del período del movimiento del suelo (T_s), se obtiene la velocidad angular (w) mediante la relación: $W = 6.28 / T_s$

tabla 2

De la tabla se deduce que, a mayores aceleraciones corresponden menores desplazamientos del terreno. Así, cada construcción vibrará durante el sismo del modo cuyo período se asemeje más al del suelo del lugar. Si una construcción vibra del primer modo con un período de 2.5 seg., del segundo con un período de 0.8 seg., y del tercero con uno de 0.45 seg., ésta se moverá preferentemente del primer modo si se construye en el terreno compresible de la ciudad de México, del segundo si se hace en el de baja compresibilidad del valle de México, y del tercero si se edifica, por ejemplo, en el estado de Guerrero.

4.9 SIMETRÍA, TORSIÓN Y VOLTEO.

El arte del diseño antisísmico no consiste sólo en crear estructuras capaces de resistir un conjunto de cargas laterales, a pesar de que tal capacidad es parte de un buen diseño. Implica, más bien, producir sistemas caracterizados por **una combinación correcta de propiedades tales como resistencia, rigidez y capacidad de absorber energía y de deformarse dúctilmente**. Esto les permitirá responder a sismos frecuentes de intensidad moderada sin sufrir daños serios, y a sismos excepcionales de gran severidad sin poner en peligro su estabilidad, su contenido o sus ocupantes.

Lograr este propósito implica mucho más que la mera aplicación de especificaciones; exige un entendimiento de los factores básicos que determinan **la respuesta sísmica de las estructuras** así como ingenio para crear proyectos con las propiedades requeridas.

Es frecuente en la práctica que la mayor parte del tiempo que se dedica al diseño estructural de un edificio se invierta en los procesos de análisis y diseño, y que se examinen con brevedad **los aspectos de diseño conceptual y de estructuración**.

Desde el punto de vista del diseño sísmico, esta costumbre es particularmente peligrosa puesto que no se puede lograr que un edificio más estructurado se comporte satisfactoriamente ante sismos por mucho que se refinen los procedimientos de análisis y dimensionamiento.

Por el contrario, la experiencia obtenida en varios movimientos telúricos muestra que los edificios bien concebidos desde el proyecto arquitectónico y bien detallados han tenido un comportamiento adecuado aunque no hayan sido objeto de cálculos elaborados y, en ocasiones, no hayan satisfecho rigurosamente los reglamentos de construcción.

Una buena práctica es la de buscar que la estructura del edificio sea sencilla y simétrica. Existen diversas razones para ello: en primer lugar se entiende mejor el comportamiento sísmico global en comparación al de una estructura compleja. En segundo lugar es más fácil preparar, dibujar, entender y construir detalles estructurales; además, la falta de regularidad del proyecto da lugar, generalmente, a falta de simetría, ya sea en masas, rigideces o resistencias y produce efectos de torsión difíciles de evaluar con precisión y, en el caso de sismos intensos, que las deformaciones inelásticas se concentren en ciertas zonas, las más débiles, produciendo daños que pueden ser muy apreciables.

Las ventajas de eliminar la torsión y lograr estructuras sensiblemente simétricas son tanto mayores cuanto más alto sea el edificio. Ello obedece a que las amplificaciones dinámicas de los efectos de torsión son más importantes en estructuras flexibles y existe menor posibilidad de que sean limitadas por absorción de energía en el intervalo inelástico.

Un sismo revelará, inexorablemente, cualquier debilidad estructural reconocida o no previamente. En el cuadro 3 de la secc. 4.14, se describen características recomendables para lograr un comportamiento satisfactorio. Confróntese también con los cuadros 1a y 1b de la sección 4.4.

4.10 SIMETRÍA EN PLANTA

Las disposiciones del reglamento de construcciones para el D.F. restringen la **excentricidad de las configuraciones de las estructuras (en planta y alzado) a no más del 20% de la longitud del lado que se analiza** [Cf. cuadro 1a, secc. 4.4]. Con esto puede asegurarse más fácilmente que el comportamiento del edificio no verá incrementado sus esfuerzos por efectos de torsión. Esto puede conseguirse proyectando plantas simétricas, que se refiere principalmente a tres aspectos:

- ° a) Simetría de las masas.
- ° b) Simetría de las rigideces.
- ° c) Simetría de las resistencias.

Cabe aclarar que el concepto de simetría no sólo se refiere a la geometría y propiedades físicas de los elementos estructurales en los arreglos de planta y alzado, y que el término "**configuración**" es más global. Éste se define como el tamaño y la forma en conjunto de un edificio, junto con las dimensiones, la naturaleza material y ubicación de aquellos elementos que son significativos en su comportamiento sísmico: muros, columnas, pisos, núcleos de servicios, escaleras y la cantidad y tipo de divisiones interiores. Por extensión, comprende también la forma en que los muros exteriores se dejan sólidos o con aberturas para permitir la iluminación y ventilación naturales. Más aún, se ha acuñado el término "**falsa simetría**" para identificar edificios cuya configuración aparenta ser sencilla, regular y simétrica, pero que, debido a la distribución de los elementos resistentes, son estructuralmente asimétricos.

4.11 LONGITUD Y ANCHO

Es recomendable procurar que las plantas no sean muy alargadas; mientras mayor sea la dimensión, mayor es la probabilidad de que ocurran sobre el edificio movimientos que difieran de un extremo al otro, lo cual es opuesto a la suposición usual del análisis sísmico y pueden producir efectos perjudiciales. En casos extremos se sugiere el uso de **juntas de separación sísmica** que dividan al edificio en secciones menos alargadas y lo más simétricas posible [Cf. cuadro 1a y secc. 4.10]. En este caso debe tenerse cuidado en su diseño considerando que pueden existir choques entre los cuerpos contiguos.

Respecto a la separación que deben guardar las construcciones adyacentes, debe cumplirse con la mayor de las siguientes solicitaciones según el reglamento de construcción y las normas complementarias:

- ° a) Mínimo 5 cm.
- ° b) El desplazamiento total acumulado de todos los niveles sobre el nivel de banqueta más el 2 al millar de la altura total, o
- ° c) El 8 al millar de la altura total en el caso de no haberse calculado los desplazamientos horizontales.

Para efectos de proyecto arquitectónico es recomendable tomar como separación a colindancias la mayor de las solicitaciones entre a y c.

4.12 SIMETRIA EN ALZADO.

La sencillez y simetría verticales son deseables por las mismas razones que lo son en planta (cf. cuadro 1b, secc. 4.4). Además, en elevación, es conveniente que no existan cambios bruscos en las dimensiones del edificio ni en la distribución de masas, rigideces y resistencias. **El principal objetivo es evitar que se produzcan concentraciones de esfuerzos en los pisos débiles** (cf. cuadro 3, secc. 4.14).

Tomando en cuenta estos factores, la estructura tendrá mayores probabilidades de soportar un sismo si se apega a los siguientes lineamientos:

- a) Los miembros que soportan las cargas estan distribuidos uniformemente.
- b) Todas las columnas y muros son continuos y sin remetimientos abruptos desde el último nivel hasta la cimentación.
- c) Todas las vigas estan libres de remetimientos.
- d) Todas las vigas y columnas son coaxiales.
- e) Las columnas y vigas de concreto tienen más o menos el mismo ancho.
- f) Los miembros principales no cambian de sección repentinamente.
- g) La estructura es tan continua y monolítica como sea posible.

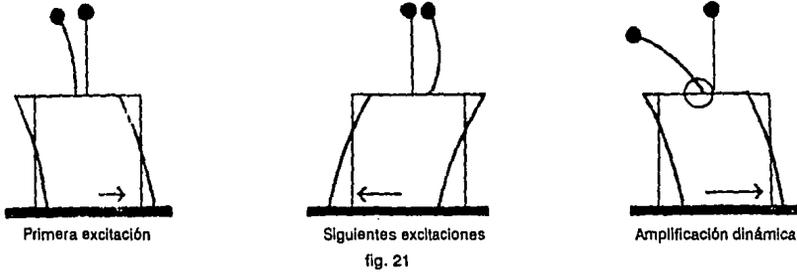
4.13 REDUCCION DE SECCIONES, ELEVADORES Y APENDICES.

Se desea que en el diseño sísmico de una estructura se eviten las reducciones de secciones de los elementos principales dentro de lo posible, o al menos, **evitar cambios muy bruscos**. Restringiendo esto, es posible que no se presenten amplificaciones dinámicas y concentraciones de esfuerzos en dichos elementos. El caso extremo de este comportamiento se presenta cuando se empotra, sobre una estructura rígida, una muy flexible.

Al someterse el sistema a excitaciones vibratorias en la base puede esperarse que el comportamiento lleve la siguiente secuencia:

- a) Al inicio del movimiento cíclico las dos masas oscilen uniformemente.
- b) Despues de un número suficiente de ciclos las masas se desplazan disformemente y;
- c) Si continúa el movimiento cíclico se produce el "chicoteo" o "efecto catapulta" de la estructura más flexible, es decir, se amplifican los efectos dinámicos y la base de ésta se ve sujeta a esfuerzos muy grandes, produciéndose el colapso.

Este mismo efecto puede presentarse en **apéndices de azoteas y fachadas** tales como depósitos o tanques elevados, anuncios publicitarios, cuartos de máquinas, de elevadores, etc. La fig.21 representa un esquema de los efectos de las ampliaciones en dichos elementos.



4.14 CONFIGURACIONES COMPLEJAS EN ALZADO

Este tipo de configuraciones genera concentraciones de esfuerzos en los pisos débiles o asimétricos y **amplificaciones dinámicas**, en cierto modo, de igual manera que el caso de reducción súbita de secciones [Cf. secc. 4.4]. Por otro lado, prever su comportamiento dinámico y aún el estático puede resultar sumamente complejo, incluyendo el correspondiente a la cimentación. El cuadro 3 esquematiza estos conceptos.

Recomendable	No recomendable	Observaciones
		<p>Durante el comportamiento dinámico se prevee el desplazamiento de las losas superiores debido al efecto P-delta por excentricidad de cargas gravitacionales.</p>
		<p>El esquema no presenta continuidad de los elementos de carga perimetrales lo cual convierte la planta de acceso en entrepiso débil.</p>
		<p>Esta disposición anticipa un efecto de amplificación dinámica luego que el apéndice superior tiene una ancha base apoyada en un elemento de reducida sección.</p>
		<p>Esta práctica, durante un sismo puede llegar a ser de fatales consecuencias, pues la parte intermedia del edificio se comporta como cuerpo rígido y puede provocar mecanismos de falla en las columnas extremas debido a que se ven sujetas a deformaciones mayores.</p>

cuadro 3

5 PROPUESTA DE UN DISEÑO AUTOSOPORTANTE

5.1 INTRODUCCION

La siguiente propuesta ha sido ideada, concebida y realizada a partir de la observación de los efectos que conllevan los movimientos telúricos, independientemente de la causa que los origina, y apoyada por los conocimientos sísmicos actuales.

En efecto, cada temblor o perturbación de tierra es un evento único e induplicable. Las variables que en ello intervienen varían según la locación propia de cada edificación con respecto al epicentro e hipercentro, a saber:

- ° 1.- La distancia a la fuente de excitación.
- ° 2.- La composición del subsuelo.
- ° 3.- La resistencia del terreno.
- ° 4.- El período de vibración natural del terreno.
- ° 5.- La configuración tridimensional o topología del edificio.
- ° 6.- La masa del edificio.
- ° 7.- El tipo de cimentación.
- ° 8.- El tipo de estructura (rígida, flexible o mixta).
- ° 9.- El período de vibración fundamental de la estructura.
- ° 10.- Los desplazamientos producidos por el "efecto de péndulo invertido" y sus consecuencias tanto en la estructura aislada como en las edificaciones colindantes.

La respuesta inmediata a estas variantes varía según sea el origen de su procedencia (natural o artificial). Así, en el inciso:

- ° 1.- Es impredecible.
- ° 2.- Es del orden natural aunque se la puede conocer mediante el análisis de estratimetría del subsuelo.
- ° 3-4.- Pertenecen al orden natural y son susceptibles de ser modificados con el ingenio del hombre. Se cuantifican mediante estudios de mecánica de suelos.
- ° 5-10.- Están primordialmente regidos por el programa arquitectónico por lo que en cada uno de ellos podemos influir y manipular las variables a fin de lograr una prevención adecuada durante el intercambio sísmico.

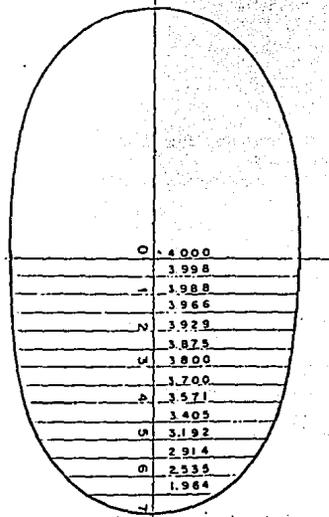
5.2. ESQUEMA GEOMETRICO GENERADOR

Una de las figuras geométricas más estudiadas en la geometría plana es la elipse, que al contar, a diferencia de otras figuras con dos variables (x,y) y dos focos, permite dimensionar en un área regular dada y ocupar un gran porcentaje de ella.

Al tabular y graficar hipérbolas comprobamos, sin embargo, que éstas ocupan para un área rectangular dada, mayor superficie que las elipses de ecuaciones iguales.

Las hipérbolas que constituyen los elementos del conjunto $(y/7)^n + (x/4)^n = 1$ cuyos exponentes (n) varían entre 2.5 y n-1 tienen la particularidad de ocupar la mayor área de un rectángulo cuyos lados están en proporción 1: 1.75.

La gráfica resultante corresponde a los cuatro cuadrantes, simétricamente relejados en los ejes cartesianos, de la figura plana regular de dicha ecuación, cuyos miembros están elevados a la 2.5 (fig.22).



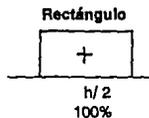
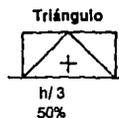
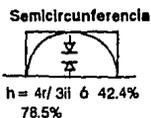
fig, 22

5.2.1 FIGURAS ESTUDIADAS: SEMICIRCUNFERENCIA, TRIANGULO CUADRILATERO E HIPERBOLA.

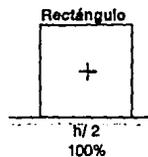
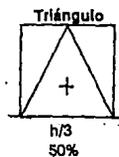
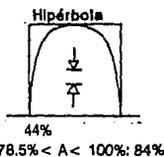
En los cuadros 4, 5 y textos que los describen, se puntualizan una serie de observaciones relativas a los perfiles más frecuentes de edificios; conceptos que están intrínsecamente asociados a la geometría de sus alzados y que en más de una manera influyen en cuanto a estabilidad, porcentaje de área/volumen, tendencias de deformación estática y dinámica a medida que la relación de esbeltez varía [Cf. secc.4.6].

Así, por ejemplo, tomemos del cuadro 4 el triángulo, la forma más rígida y elemental de cuantas existen. Ciertamente, si este fuese el perfil sintético de una edificación cuya relación base-altura fuese 1/n, notaríamos que su centro de figura se localizaría a un tercio de la altura, y si se tratase de un paralelogramo, éste se localizaría en el cruce de sus diagonales. Nótese, sin embargo, cómo el porcentaje de área ocupada por la envolvente y el centro de figura varían drásticamente en la circunferencia- de 78.5% del área y 42.2% de la altura en el primer renglón, a 84% del área y 44% de la altura cuando la relación de esbeltez de la hipérbola es 1:1, y finalmente a 88.2% del área y 45.6% de la altura cuando el exponente de la función es igual a 2.5 y la proporción base-altura de la envolvente es 1:1.618 (cuadro 4).

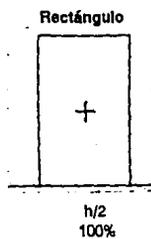
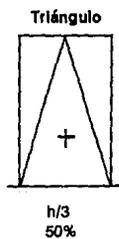
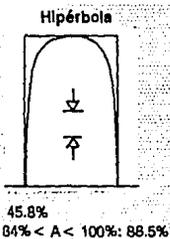
Proporción base altura 1: 0.5
 Centro de figura
 Ocupación del rectángulo envolvente



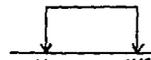
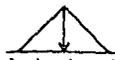
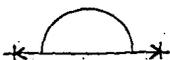
Proporción base altura 1: 1
 Centro de figura
 Ocupación del rectángulo envolvente



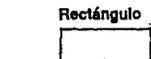
Proporción base altura 1: 1.618
 Centro de figura
 Ocupación del rectángulo envolvente



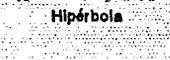
Desplazamientos horizontales
 para la relación de esbeltez 1: 0.5



Desplazamientos horizontales
 para la relación de esbeltez 1: 1



Desplazamientos horizontales
 para la relación de esbeltez 1: 1.618

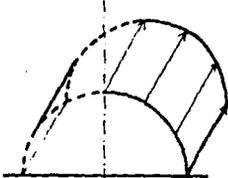
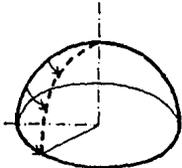


cuadro 4

En resumen: mientras los porcentajes de las áreas y los centros de área del rectángulo y del triángulo permanecen constantes, la semicircunferencia y sus posteriores transformaciones tienden a ocupar un área mayor de la envolvente- siempre mayor que el triángulo y siempre menor que el rectángulo; e inversamente en el caso del centro de figura, que se sitúa entre la mitad y un tercio de la altura, dependiendo de la razón base-altura. Respecto a las tendencias de los desplazamientos horizontales como resultado de la razón base- altura, los perfiles cuadrilongos transfieren las cargas estáticas a lo largo de las pendientes sin producirse deformaciones horizontales más allá de las líneas de base; no así en el triángulo, la semicircunferencia y transformaciones elípticas e hiperbólicas que producen mayor coceo cuando las relaciones base-altura son reducidas, y viceversa.

5.2.2 ARCO, BOVEDA Y CUPULA

Al mencionar arco, bóveda y cúpula pretendo comprimir gráficamente las conformaciones básicas de medio punto y a la vez las abstracciones de los desdoblamientos más frecuentes que de ellos se derivan: arco apuntado, elíptico e hiperbólico; bóveda elíptica e hiperbólica; cúpula elíptica e hiperbólica. Esta fracción esquematiza y sintetiza los puntos favorables y desfavorables de cada uno de los cuerpos ya por disposición, estabilidad o bajo la acción de la fuerza de gravedad.

Síntesis gráfica	Disposición	Obtención	Estabilidad	Resultante de los empujes laterales bajo la acción de g	Deformación en el plano/ corte
	Estática aislada	(A): Duplicación de la generatriz sobre el mismo plano por (C)	Planar en el eje de las "x"	Desplazamiento horizontal simétrico sobre los dos puntos de apoyos	En todos los casos el mecanismo de falla en los "rifones" al cambiar los esfuerzos de compresión a tensión
<p style="text-align: center;">Arco</p>					
	Dinámica en serie	(A) + (B): Extensión del plano frontal	Planar en "x"; en "y" es función de la abscisa	Desplazamientos simétricos a lo largo de los apoyos	
<p style="text-align: center;">Bóveda</p>					
	Dinámica en serie	(C): Rotación de la generatriz sobre el eje de la "z" (directriz)	Radial	Desplazamiento simétrico sobre cada uno de los puntos de apoyo	
<p style="text-align: center;">Cúpula</p>					

cuadro 5

Del cuadro anterior se asimila que tanto por disposición radial y uniformidad en los desplazamientos horizontales -proporcionales al peso propio de la estructura-, la conformación semiesférica es la más estable; y mejor aún al aumentar la relación de esbeltez. Siendo así, el coceco disminuye hasta que, idealmente, el perfil tiende a la forma catenaria, donde los esfuerzos por tensión se anulan [cf.secc.5.2.1].

6 ESQUEMA ESPACIAL GENERADOR

6.1 GENESIS DE LA GENERATRIZ PROPUESTA

En la sección 4.11 se ha mencionado que las estructuras colindantes son susceptibles de interactuar como consecuencia del desajustamiento del terreno y del efecto de péndulo, por lo que se ha dispuesto una separación crítica entre las edificaciones. Sin embargo, debemos tomar en consideración que cada construcción que se dispone en un **sebrado no planificado en conjunto** tiene un período fundamental de vibración propio; por lo tanto, tenemos la certeza que durante un temblor los edificios colindantes colisionan unos contra otros y, dependiendo de la manera de esta interacción es el grado de daño que un edificio o un conjunto de edificios sufre. Este rango es muy amplio y va desde los imperceptibles o leves hasta el colapso parcial o total.

Como regla un edificio oscila más si su estructura es más flexible; en cambio, si es rígida, el período de oscilación disminuye y aumenta la frecuencia de oscilación. Luego, nos encontramos frente a un dilema: **hemos de idear estructuras de perfil continuo que desarrollen un reducido desplazamiento en su extremo superior para evitar daños propios, a otras estructuras colindantes, y a la vez lo suficientemente flexible para absorber y disipar la fuerza sísmica proveyendo a la edificación un período fundamental de oscilación suficientemente distinto a aquél del terreno.**

La volumetría de un edificio, su relación de esbeltez y el tipo de estructura están íntimamente relacionadas con el grado de amortiguamiento o amplificación de la fuerza sísmica.

La envolvente de los edificios contemporáneos, por regla general, es **prismática regular- no oblicua**, cuyos centros de gravedad, masa y área, en el mejor de los casos se ubica en el cruce de sus dos diagonales principales, que se localiza a la mitad de la altura del edificio (fig. 23).

Si analizamos los cuadros 4, y 5 de las secciones 5.2.1 y 5.2.2, es posible vislumbrar cuál de todos los perfiles es el más adecuado para evitar los mayores desplazamientos horizontales tanto en el nivel de desplante como en cada uno de los puntos que constituyen el perímetro y que están por encima de dicha línea; asimismo, distinguir cuál de todos los perfiles es más estable en función del área que ocupa.

Los espacios arquitectónicos pueden ser generados por planos remetidos, añadidos, sustraídos, intersectados, proyectados, trasladados y por la amplia combinación de todos ellos; adicionalmente, los espacios se crean como resultado de la **rotación de una generatriz**.

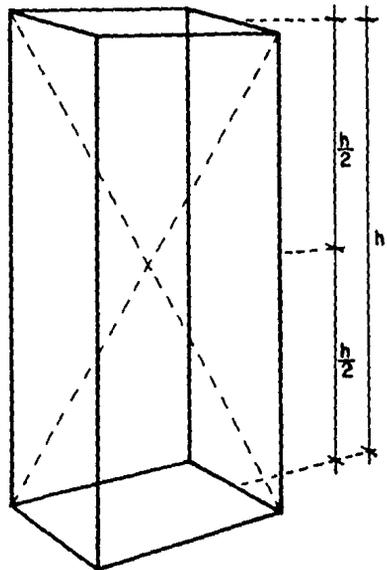


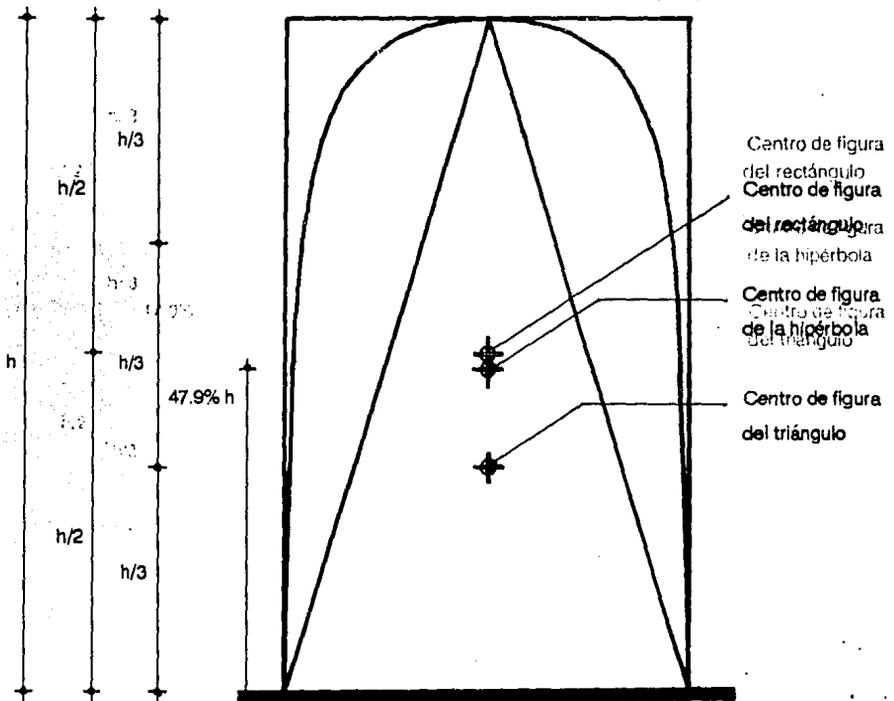
fig. 23

Tal es el caso presente: el conjunto de puntos que delimitan las hipérbolas descritas en la fracción 5.2 constituyen las generatrices de la envolvente propuesta en este estudio.

Tomemos por ejemplo la gráfica de la fig. 22 , la sección comprendida entre el punto y y el punto x en el sentido de las manecillas del reloj. Haciendo centro en o y girando en torno al eje y (directriz) sobre el plano x , obtenemos una envolvente, superficie por revolución de una generatriz que asemeja a un "medio huevo", cuyas características tridimensionales sobrepasan aquéllas de los cuerpos piramidales y prismáticos, de iguales abscisa y ordenada, relativas a obtener:

- ° a) El mayor volumen con menor superficie contenedora.
- ° b) Mejor desempeño dinámico con menor desplazamiento horizontal que los prismas.
- ° c) El centro de gravedad de mayor ordenada que el volúmen piramidal inscrito.
- ° d) El centro de gravedad de menor ordenada que el volumen prismático circunscriviente

Dicho perfil se observa comparativamente superpuesto a los perfiles ya mencionados (cuadro 6) y posteriormente en la sección 8.3 bajo "planos arquitectónicos generales" y es, en síntesis, la generatriz resultante y objeto del presente caso de estudio como fusión de conceptos arquitectónicos y estructurales.



cuadro 8

7 ASPECTOS BIOCLIMATICOS *3

7.1 INTRODUCCION

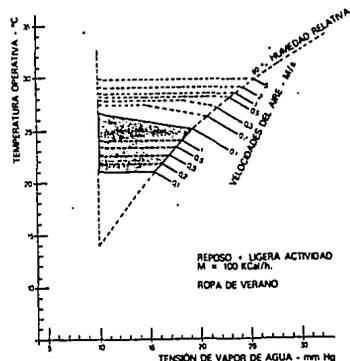
El enfoque bioclimático en arquitectura que hoy se considera como una novedad, en realidad no es más que el prolongamiento de ciertos "saber-hacer" que se transmitían antiguamente personas que no eran propiamente arquitectos y que se basaban en un conocimiento intuitivo del medio y del clima. Actualmente estas nociones han perdido actualidad y los arquitectos construyen la mayoría de las veces para otros, a veces en otras latitudes y en otros climas, y solamente han de preocuparse por elegir las técnicas y los materiales. Para conseguir un resultado fijado de antemano, ya no es válido la simple imitación de modelos experimentados localmente o contar con el azar; el quehacer arquitectónico actual no se puede concebir sin un mínimo conocimiento de los fenómenos relativos a las exigencias humanas en materia de comodidad térmica y al comportamiento térmico de las estructuras y de los materiales bajo los efectos de los factores climáticos.

7.2 LA COMODIDAD TERMICA

La primera cuestión que hay que evocar es la determinación de la comodidad térmica del hombre. Varios autores han intentado responder a estas preguntas de la manera más práctica, entre ellos **Vogt** y **Miller-Chagas**, cuyo método propone un enfoque sobre la definición de la **comodidad térmica** y dan siete condiciones base que hay que cumplir:

- 1.- Realización de la condición de homeotermia central, o equilibrio de la temperatura del cuerpo.
- 2.- Temperatura cutánea media óptima de 33 °C.
- 3.- Sudoración máxima limitada a 100 g/h.
- 4.- Realización de la condición de desecación cutánea, o piel seca.
- 5.- Mantenimiento del metabolismo.
- 6.- No desecación de las mucosas de la boca y de la garganta (la tensión parcial de vapor debe ser superior a 10 mm. de Hg).
- 7.- La humedad relativa del ambiente interior no debe sobre pasar del 75 al 80% (condición puramente física para reducir los riesgos de condensación de los objetos más fríos).

Estas condiciones pueden traducirse de forma gráfica sobre un diagrama psicrométrico invertido. La gráfica 3 muestra un **polígono de comodidad** para una persona en reposo o en actividad ligera y vestida de verano. Se puede observar la influencia de la velocidad del aire interior sobre los límites del polígono. La **temperatura operativa** es un carácter ficticio que integra la temperatura del aire, la temperatura radiante del medio así como la velocidad del aire en la proximidad de la persona.



* 3 Citas y adaptación de textos y gráficos de la referencia:
Izard Jean, et al
Arquitectura Bioclimática

gráfica 3

De todas estas representaciones de las condiciones de bienestar fisiológico pueden establecerse varias conclusiones:

-La noción de comodidad hace intervenir a muchos factores que son relativos ya sea a la persona misma: actividad, vestimenta, hábitos culturales, o al ambiente climático: temperatura del aire, radiación del medio ambiente, humedad del aire y velocidad del aire.

- Los factores de ambiente que actúan sobre el comodidad térmica corresponden también a los principales parámetros climáticos que son **la temperatura del aire, la radiación solar y las radiaciones atmosférica y terrestre, la humedad del aire y el viento.**

Esto nos conduce de una forma natural a que nos interese por los elementos meteorológicos y por la climatología aplicada al edificio.

7.3 LA CLIMATOLOGIA APLICADA AL EDIFICIO

La arquitectura, desde que se considera bajo el ángulo bioclimático, exige a su vez un tratamiento específico de los elementos meteorológicos ya descritos.

El número de combinaciones entre los regímenes de las cuatro variables básicas teóricamente es elevado porque todos los factores climáticos actúan simultáneamente sobre el edificio y no separadamente; pero en la práctica lo es menos, incluso para un **clima de tipo aleatorio**. Esta acción combinada es la que provocará las respuestas térmicas del edificio.

Es de importancia capital, entonces, conocer el comportamiento de la envoltura y de la estructura de los edificios sometidos a un clima dado.

La concepción bioclimática de régimen variable tiene en cuenta el hecho de que los valores de los parámetros climáticos activos varían durante el día según una sinusoides, aproximadamente. En esta hipótesis las características de los materiales y de las estructuras que actúan son la capacidad calorífica y la inercia térmica. Su efecto consiste en regular la salida de los flujos de calor exteriores cuyo caudal varía entre la noche y el día, a fin de que en el interior se perciban unas variaciones muy débiles.

En el método afinado por **F. M. Camia**, el primer factor característico intrínseco de una pared, es la **constante de tiempo relativa**. Esta consiste en la relación de la constante de tiempo sobre el período de la sinusoides (24 horas en la mayoría de los casos). Este valor carece de dimensión porque representa el cociente de dos tiempos. Es fácil entender que si el **tiempo de respuesta de la pared** es mayor que el período de la onda de calor, significa que la pared ofrecera un **desfasaje** y una amortiguación importantes, en otras palabras, que presentará una **inercia térmica**. A partir de la constante de tiempo relativa se puede hallar la respuesta intrínseca de la pared, expresada por el desfasaje: el tiempo que separa los momentos

de las amplitudes de la onda exterior y de la onda transmitidas por la pared, o la fracción de la amplitud de la onda exterior que finalmente se transmite. La constante de tiempo relativa, el desfase y el aporte pueden ser calculados a partir de las fórmulas:

$$\text{constante de tiempo relativa} = \frac{\text{resistencia} \times \text{capacidad}}{\text{período de la onda}}$$

$$\text{resistencia } r = \frac{e}{l}$$

$$\text{capacidad de superficie} = y e$$

en donde: e = espesor de la pared (metros)
 l = conducción térmica ($\text{wh} / \text{m}^3 \text{°C}$)
 y = calor de la masa ($\text{wh} / \text{m}^3 \text{°C}$)

$$\text{constante de tiempo} = \frac{e^2 y}{l}$$

$$\text{constante de tiempo relativa} = \frac{e^2 y}{l \times 24}$$

$$\text{desfase: } = 1.772 \text{ ct (en radianes)}$$

$$\text{aporte: } g = 2 \exp(- \text{ct})$$

Tabla 3

El **aporte** representa una fracción de la amplitud de la onda térmica exterior.

El **desfase** se expresa en radianes. Para obtener su valor en horas, hay que multiplicar el resultado por $24/2$.

Estas fórmulas sólo son válidas para paredes homogéneas y para valores de constante de tiempo superiores a 1.

El aporte y el desfase determinan una pared cuando ésta está sometida a un régimen térmico de forma sinusoidal. Toda construcción posee en principio varias paredes; y la respuesta global de la construcción con respecto a los únicos fenómenos de conducción térmica será la síntesis de las respuestas de cada una de sus paredes. En la fig. 24 está definida la amplitud de la onda incidente así como del aporte o del desfase de la onda transmitida por una pared homogénea.

A características térmicas iguales las respuestas de las paredes dependerán de los perfiles de las ondas térmicas a las que están sometidas. Dado que la onda térmica está constituida en gran parte por la **potencia de la radiación solar** recibida, otra característica importante de las paredes será su orientación e inclinación.

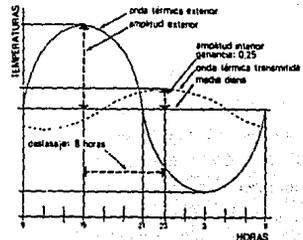


fig. 24

A este juego de las orientaciones/ inclinaciones hay que añadir el factor color de los acabados que hará que la pared sea más o menos absorbente o reflejante de la radiación solar y que aumentará o disminuirá la importancia de la respuesta. Existen también otras variables que intervienen en estos intercambios entre el edificio y el clima: los desplazamientos de aire y los fenómenos puramente radiantes. los balances de cada uno de estos sistemas térmicos citados se combinarán para dar un balance global del edificio.

7.4 EL VIENTO Y LA VENTILACION EN LA ARQUITECTURA

El viento es un factor climático que no se puede ignorar; se define como un desplazamiento de aire generado por las diferencias de presión entre las masas de aire, que se mueven de las zonas de altas presiones a las zonas bajas presiones; su movimiento no es rectilíneo a causa de la fuerza de coriolis. Sus manifestaciones son numerosas en nuestro medio ambiente, particularmente:

- o a) La molestia que produce en las circulaciones peatonales.
- o b) El polvo transportado.
- o c) Los ruidos provocados por las vibraciones de ciertos objetos.
- o d) Los fenómenos vibratorios y ondulatorios (oleaje) que causan roturas.
- o e) Los efectos mecánicos directos sobre la construcción.
- o f) La amplificación de las consecuencias de la polución atmosférica.
- o g) El menor rendimiento de los cultivos

Los aspectos importantes en las relaciones del viento y la arquitectura son:

- o 1.- Estabilidad de las estructuras bajo los efectos mecánicos del viento.
- o 2.- Polución atmosférica y planificación urbana.
- o 3.- Ventilación natural de las viviendas.
- o 4.- Comodidad de los espacios exteriores con respecto a los efectos mecánicos del viento.

La estructura del viento hace que por debajo de los 3000 m., las fuerzas de frotación contra la superficie terrestre aminoren el desplazamiento del aire provocando una turbulencia de los estratos de aire unos contra otros. Estos movimientos turbulentos varían según la naturaleza de la superficie en una zona llamada **capa límite de la atmósfera**.

El espesor de la capa crece con la rugosidad del suelo y las velocidades en un movimiento aumentan con la altitud. Para una misma altitud, la velocidad disminuye cuando la rugosidad del suelo aumenta, mientras que las turbulencias disminuyen con la altitud (fig. 25).

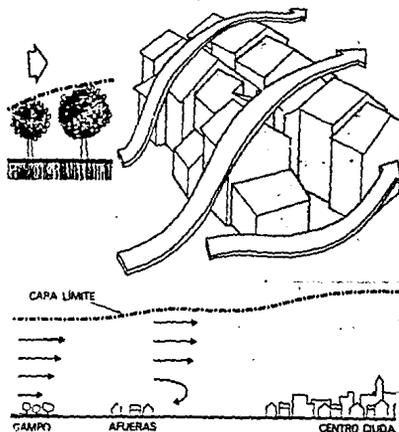


fig. 25

Finalmente, los efectos del viento sobre el hombre son de dos ordenes: acción mecánica y acción térmica. A título indicativo podemos retener que:

- $v < 4$ m/s : sensación débil
- $5 < v < 10$ m/s : no hay perjuicio grave
- $10 < v < 15$ m/s : perjuicio grave
- $v > 15$ m/s : peligroso para los peatones

Tabla 4

Desde el punto de vista de la acción térmica, los desplazamientos de aire aceleran los intercambios de dos formas: por convección entre la superficie de la piel y el medio ambiente, y por evaporación del sudor. El aumento de la velocidad de aire desplaza la zona de comodidad térmica hacia unas condiciones más cálidas y más húmedas, para una actividad y una indumentaria dadas. La disposición de las construcciones y su forma pueden provocar localmente o sobre extensiones importantes, fenómenos de aceleración con bruscas ráfagas que ocasionan una falta de comodidad o incluso un cierto peligro para los usuarios. Algunos casos frecuentes son:

a) **Efecto de esquina:** se producen en las aristas vivas del perímetro de un edificio de gran altura. Las aceleraciones pueden ser elevadas (fig. 26 a).

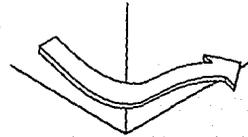


fig. 26a

b) **Efecto de venturi:** cuando dos edificios o muros altos se hayan implantados de manera que formen un colector, se crea una aceleración al nivel del suelo (fig. 26 b).

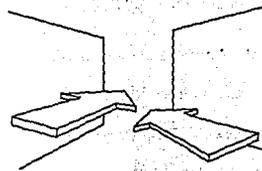


fig. 26b

c) **Efecto de pilotes:** el viento rodea el obstáculo y es guiado por los pilotes, luego vuelve a salir más abajo en forma de chorro de aire (fig. 26 c).

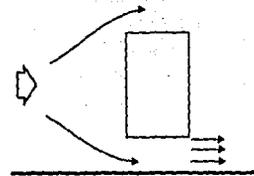


fig. 26c

d) **Efecto de rodillo:** sobre la fachada expuesta al viento de un edificio, este efecto repercute en la parte descendente del flujo que se organiza en rodillo remolnante de eje horizontal (fig. 26 d).

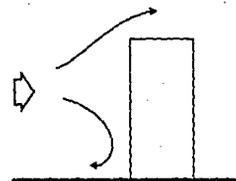


fig. 26d

Existen por lo menos tres razones para ventilar los locales habitados:

- a) Mantenimiento de las condiciones de higiene, que hay que asegurar bajo cualquier condición climática.
- b) Aportar la comodidad térmica.
- c) Enfriar las estructuras internas del edificio por intercambio térmico entre el aire y las paredes.

Estas funciones no se traducen en el mismo nivel de exigencias: la permeabilidad al aire de las aberturas bajo un viento medio basta en general para proporcionar el volumen de aire necesario para la higiene, mientras que para el bienestar, **la velocidad de aire en el interior del local** será el criterio pertinente, así como la distribución de esta velocidad. para el enfriamiento de las estructuras, la diferencia de temperatura entre el interior y el aire exterior es la que actuará con mayor eficacia.

La ventilación se puede provocar explotando las diferencias de temperatura y de presión entre dos puntos del edificio o utilizando el viento y los campos de presión que se establecen en torno al edificio. estas diferencias pueden establecerse in situ bajo el efecto de la radiación solar (entre zona soleada y zona a la sombra). El aire caliente, al ser más ligero, tiene tendencia a elevarse creando una pequeña depresión en el suelo.

Cuando sopla el viento, las partes del edificio directamente expuestas son sometidas por una superpresión, mientras que las partes que se hallan bajo el dominio del viento son sometidas a una depresión. En la fig. 27 se aprecia la repartición del **campo de presiones** en torno a un prisma rectangular recto bajo el efecto del viento al nivel del suelo. La diferencia de presión entre dos fachadas opuestas depende de la velocidad del aire y siempre es suficiente para generar una ventilación por pocas aberturas que se hagan en dichas fachadas. Estos principios tan simples pueden utilizarse en climatización natural, pero el rendimiento de la ventilación puede ser mejorado acondicionando también los accesos del edificio.

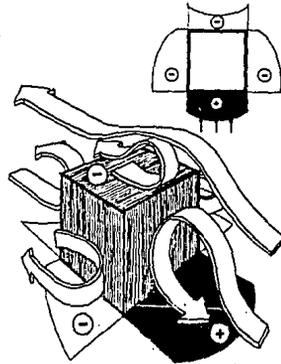


fig. 27

7.5 LA CONCEPCIÓN DEL PROYECTO BIOCLIMÁTICO

Los instrumentos de simulación del rumbo solar conducen a la opción de las orientaciones, y son los **diagramas solares energéticos**. Los diagramas bioclimáticos son un instrumento de ayuda a la concepción térmica proplamente dicha.

Los diagramas solares energéticos están formados por la superposición de dos representaciones: la representación de la trayectoria aparente del sol, que no depende más que de la latitud, y la representación de los **conos de visibilidad** y de los ángulos de incidencia para una superficie de recepción, que es característica de su inclinación con relación al plano horizontal.

La traslación del diagrama de visibilidad y de isoincidencia a lo largo de los diagramas solares sirve para introducir la noción de orientación, siendo esta última igual al valor del **acimut** sobre el cual está marcada la perpendicular al plano de recepción elegido. La fig. 28 representa la definición de los conos de visibilidad y de isoincidencia para un plano cualquiera, donde la visibilidad total corresponde a un cono de medio ángulo en el vertice de 90.

Para rematar la constitución de estos diagramas, señalemos que a cada orientación e inclinación del plano de recepción le corresponde un perfil energético solar para todo el año expresado en $Wh \text{ por } m^2$.

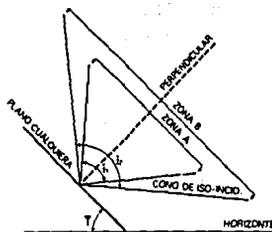
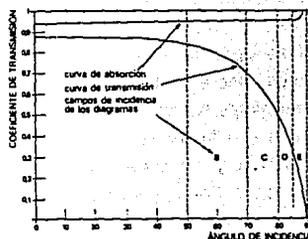


fig. 28

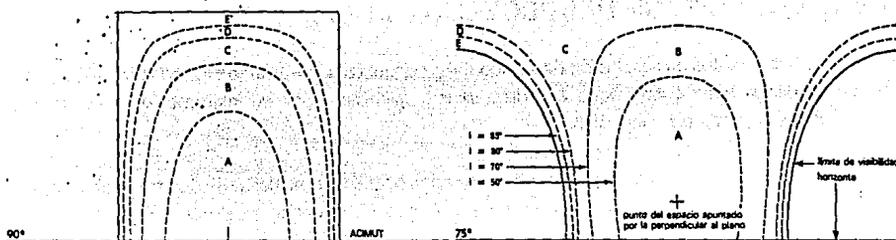
Los valores de ángulo de incidencia: 50, 70, 80 y 85 corresponden a la **ley de variación de la transmisión de la vidriera** con el ángulo de incidencia y se visualizan para varias inclinaciones en la gráfica 4.

Las **curvas de isoincidencia** determinan unos campos de isoincidencia marcados por las letras a, b, c, d, e (cuadro 7) y corresponden a unos valores y factores de transmisión de diversas vidrieras.

Los valores de la radiación difusa se calculan a partir de la **hipótesis de la isotropía** de esta radiación.



cuadro 7



gráfica 4

Además de las informaciones brutas aportadas por el diagrama es posible conocer la influencia del medio ambiente sobre la energía disponible, así como la eficiencia de sistemas de ocultamiento solar. Partiendo de las horas en que la energía recibida es más fuerte en una orientación de fachada dada, es posible determinar las características angulares de la ocultación deseada.

El principio de los diagramas bioclimáticos consiste en dar para un edificio determinado, las condiciones exteriores en las cuales la respuesta de la envoltura y de la estructura llevará a unos ambientes interiores comprendidos en el interior de un rango de comodidad previamente definida. Al ser intrínseca la respuesta del edificio, los elementos meteorológicos, utilizados en entradas del diagrama, son los que permiten decir si determinada solución arquitectónica es correcta o no con relación al clima del lugar, y qué precauciones deberán tomarse para devolver las condiciones de bienestar si se tercia el caso.

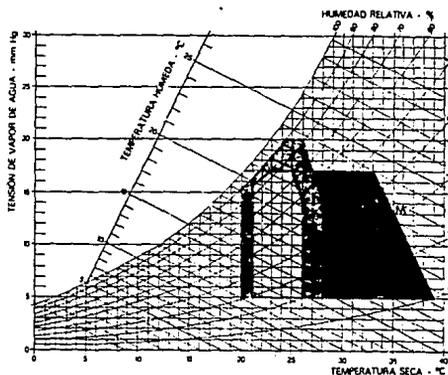
Cuando la amplitud del rango de temperaturas es muy grande durante el día, es posible atenuar estas variaciones hasta el punto de hacerlas apenas perceptibles en el interior, mediante la elección de una envoltura determinada y también de una estructura interna.

La característica física que se pone en juego para lograr este resultado es **la capacidad térmica de los materiales** que forman las paredes del edificio.

Cuando se consigue este resultado, si no se manipula el ambiente interior del local, si no es admitida ninguna radiación solar, si la renovación del aire es débil, la temperatura de superficie interna de estas paredes se acerca a la temperatura de aire media exterior durante el período considerado.

La diferencia que pudiera haber se debe a la absorción de la radiación solar por la superficie externa de las paredes y a la transmisión de los flujos de calor que se derivan de la misma. En la visión de la comodidad térmica de primavera, en el caso específico del altiplano mexicano, el factor de absorción de estas paredes debiera ser débil (colores claros), la ocultación solar de los vanos eficaz y la ventilación limitada a la renovación de los volúmenes de aire necesario para la higiene.

Mediante estas precauciones, la gráfica 5 muestra el conjunto de las condiciones higro-térmicas exteriores para las cuales el bienestar térmico interior puede ser mantenido únicamente gracias a la inercia térmica del edificio (**zonas M, M'**). La zona de condiciones reversibles por la inercia del edificio es limitada hacia la humedad por una tensión de vapor de agua de 17 mm de mercurio, para la cual debe ponerse en marcha la ventilación y así hacer desaparecer la sensación de falta de comodidad debida a la humedad de la piel.

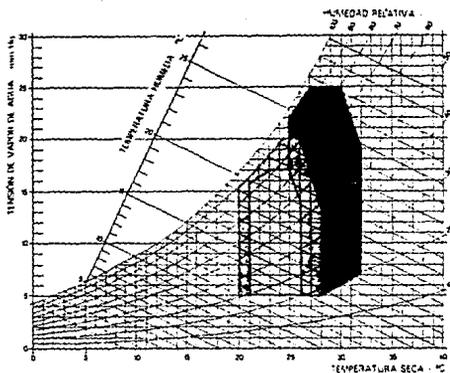


gráfica 5

La ventilación tiene un doble efecto sobre la comodidad térmica: activa los intercambios convectivos y mejora la eficacia de la transpiración. Por lo tanto, las condiciones higrotérmicas de comodidad en unas condiciones de velocidad de aire más elevadas son más cálidas y más húmedas, y se visualiza en la gráfica 6, zonas V, V'.

La ventilación, así, ayuda a reducir la temperatura de las capas de aire cercano a la superficie, y el criterio que se ha de tener en cuenta es la velocidad del aire.

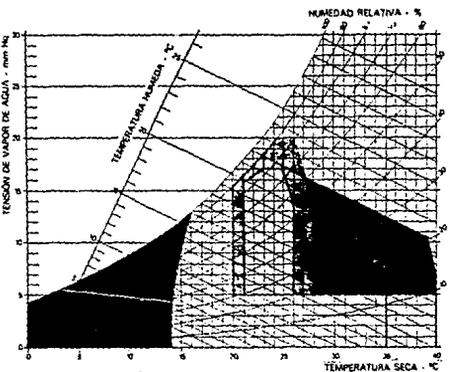
Sin embargo, existen implicaciones arquitectónicas en la elección de las orientaciones, de las dimensiones de los vanos y de la forma de su funcionamiento que permite captar los vientos y las brisas en el momento deseado, lo que influencía directamente sobre la comodidad térmica, al igual que sobre el enfriamiento de las estructuras internas del edificio (caso de ventilación nocturna).



gráfica 6

En la gráfica 7 se observan las zonas de condiciones exteriores para las cuales el humedecimiento del aire es eficaz para la climatización natural (EC, EC').

Condiciones límites exteriores para las cuales comienza a ser necesaria la calefacción de los locales para respetar la zona de comodidad según dos inercias (límites H, H'). Este límite muestra las condiciones a partir de las cuales se hace necesario captar la energía solar.



gráfica 7

7.6 LOS ELEMENTOS ARQUITECTONICOS DEL BIOCLIMATISMO

En el momento de concebir los edificios, el diseñador debe decidirse por determinadas opciones que conducirán a una forma cuyo diseño y descripción serán cada vez más detalladas y cuya justificación puede hallarse en los tipos de ambientes interiores deseados.

El arquitecto debe conocer las posibilidades que ofrecen ciertos elementos tradicionales de la arquitectura en la gestión térmica de los edificios. Estos elementos son todos relativos a la piel exterior de las edificaciones, al lugar donde se manifiestan los intercambios térmicos entre el edificio y su medio ambiente, y comprenden:

- Los ventanales y su equipo
- Los invernaderos
- Los muros selectivos de la conductancia variable

Todos estos elementos tienen una función de suministro de calorías tomadas del exterior con vistas a la disminución de la demanda de calorías sin perjudicar la comodidad térmica.

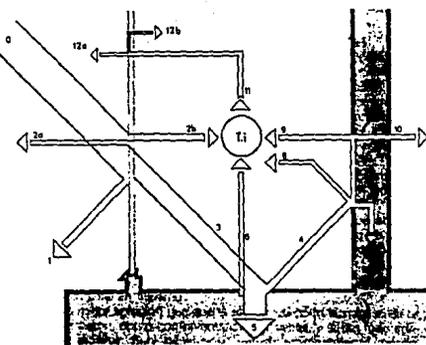
La ventana es un elemento muy extendido por la idea de la abertura a la naturaleza o a un ambiente urbano, produciéndose intercambios en ambos sentidos con el exterior. Con respecto a la radiación solar funcionará como un colector habitado.

El **balance radiativo** de una ventana mide la eficacia de los dispositivos por el factor de protección, que es la relación de la energía transmitida y de la energía incidente. Para una latitud dada y las características que se refieren al aspecto geométrico de la trayectoria aparente del sol, la cantidad de energía que atraviesa una ventana depende de:

- a) El medio ambiente, pues impone la duración real de sol útil de la ventana: montañas, colinas, árboles de hojas persistentes, otros inmuebles,...
- b) La exposición de la ventana, porque determina la duración de la incidencia de sol pero también la distribución diurna y anual de la energía incidente y de la energía transmitida según el tipo de acristalamiento [cf.secc. 9.2]
- c) El tipo de acristalamiento utilizado, que influye sobre la cantidad de energía transmitida al interior a través de la proporción de la radiación incidente reflejada que depende del ángulo de incidencia.
- d) La envolvente del edificio que contiene la ventana comprende ciertos obstáculos que sirven también para regular la captación de sol en el transcurso del año o incluso impediría. El cuadro 8, a continuación es un resumen de las soluciones más propicias y de las que se han de evitar.

	Captación solar de invierno		Protección solar de verano	
	A intentar	A evitar	A intentar	A evitar
Medio ambiente exterior	Que no hayan obstáculos entre el Este-Sudeste y el Oeste-Sudoeste	Obstáculos del Este-Sudeste al Oeste-Sudoeste	Obstáculos del Este-Noroeste al Este-Sudoeste	Las superficies reflejantes
Exposición de la ventana	Entre Sudeste y Sudoeste	De Norte a Sudeste. De Norte a Sudoeste	Norte. Entre Sudeste y Sudoeste (facilidad de protección)	De Noroeste a Sudeste. De Noroeste a Sudoeste
Tipo de acristalamiento	Acristalamiento simple ordinario	Acristalamiento reflector Acristalamiento absorbente. Acristalamiento múltiple	Acristalamiento reflector	Acristalamiento absorbente
Obstáculos arquitectónicos		Salientes de paredes divisoria en exposición Sudeste o Sudoeste. Retranqueos en fachadas Sudeste a Sudoeste	Salientes o rebordes de elementos horizontales en exposición Sur	Salientes o rebordes de elementos horizontales en exposiciones Noroeste a Sudeste y Noroeste a Sudoeste.
Sistemas de protección		Sistemas de dosificación exteriores (persianas venecianas no regulables)	Sistemas móviles situados al exterior del vano.	Sistemas móviles situados en el interior de la construcción

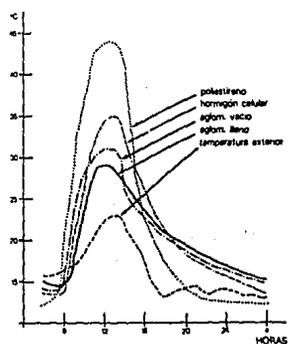
El balance térmico de una ventana que forma un colector se establece en función de las características de las paredes situadas en el interior del local ubicadas detrás de la ventana: la capacidad calorífica y la resistencia térmica de las paredes inmediatamente en contacto con el ambiente interior del local donde penetra la radiación solar. La fig. 29 visualiza los trayectos y efectos de los flujos térmicos radiantes a través de un ventanal para un colector. Es de esperarse que los calentamientos serán más importantes cuanto que las paredes internas posean una gran resistencia térmica y a la inversa.



- 0 FLUJO SOLAR INCIDENTE
- 1 FLUJO SOLAR REFLEJADO POR LA VIDRIERA
- 2 FLUJO SOLAR ABSORBIDO
- 3 REEMITIDO HACIA EL INTERIOR
- 4 REEMITIDO HACIA EL EXTERIOR
- 5 REEMITIDO HACIA EL INTERIOR
- 6 FLUJO SOLAR TRANSMITIDO
- 7 FLUJO SOLAR REFLEJADO POR EL SUELO
- 8 CALOR ABSORBIDO Y ALMACENADO POR EL SUELO
- 9 CALOR REEMITIDO POR EL SUELO HACIA LA HABITACION
- 10 CALOR REEMITIDO POR EL MURO HACIA LA PARTE DE ATRÁS
- 11 CALOR RESULTANTE
- 12 CALOR RESULTANTE ABSORBIDO POR LA VIDRIERA
- 13 REEMITIDO HACIA EL EXTERIOR
- 14 REEMITIDO HACIA EL INTERIOR

fig. 29

Estos fenómenos aparecen ilustrados en la gráfica 8 que muestra los resultados de las experimentaciones de B. Givoni: los calentamientos diurnos e instantáneos disminuyen cuando la capacidad de las paredes aumenta, yendo del poliestireno al concreto monolítico; pero demuestran también que estos calentamientos son más importantes y más duraderos durante las horas de la noche, apreciándose así el efecto de acumulación de las paredes pesadas.



gráfica 8

Otro factor que entra en la definición de comodidad térmica es la temperatura aire-sol de las paredes del local que conlleva a la determinación de la temperatura resultante seca. Esto significa que en un espacio habitado concebido como un colector (ventana + paredes internas pesadas), fig. 30, la zona de iluminación directa por el sol no deberá considerarse como zona térmicamente confortable porque la potencia solar actúa directamente sobre la persona y provoca la falta de bienestar aún cuando la temperatura de aire leída en un termómetro se mantenga en el rango de la comodidad térmica. En conclusión y de acuerdo a la tabla debemos evitar para el caso específico la exposición directa al interior durante los meses cálidos.

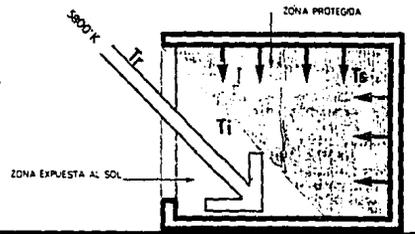


fig. 30

Los invernaderos hicieron su aparición en la arquitectura para templar las condiciones diurnas dominando sobre ciertos espacios exteriores que prolongaban la vivienda (balcones, galerías, terrazas) durante ciertas horas. Hoy recurrimos a los invernaderos para hacer de ellos unos espacios-tapones que proporcionan calorías de origen solar al resto de la

vivienda. Sin embargo, el Invernadero es un sistema que hay que emplear con prudencia porque actúa de forma opuesta durante el día y durante la noche, por un lado, y en invierno y en verano por otro.

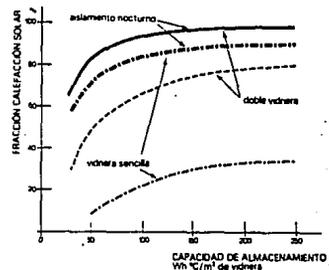
El vidrio de una ventana al estar expuesta al sol, hace la función de **película transparente selectiva**: deja pasar la radiación solar íntegramente e intercepta la radiación de gran longitud de onda emitida por las superficies absorbentes (alrededor de 10 micrómetros).

La capacidad calorífica que es característica de los **muros masivos de acumulación**, puede estimarse a partir del calor específico de los materiales utilizados, de su densidad y del calentamiento que sufren. Desde el punto de vista de su funcionamiento térmico, deben asociarse a unos ventanales que les aseguren aportaciones instantáneas con aberturas hacia el sur. La exigencia de masa térmica asociada a la ventana persiste y el resultado se traduce por una arquitectura de paredes pesadas y por tanto portadoras, para la cual el concreto resulta adecuado. Este tipo de construcción favorece también un buen aislamiento acústico. Pueden utilizarse otros materiales como la piedra, la tierra según las disponibilidades de los materiales y las tradiciones en la forma de construir; a este respecto la tierra proporciona incluso resistencia térmica superior al del hormigón, sobre todo en período de calor, gracias a su mejor capacidad calorífica y a la posibilidad de emplear espesores más importantes, como en el caso del adobe, hasta llegar a la vivienda semienterrada. Esta inercia se adapta sobre todo a los edificios de ocupación permanente o intermitente regular y en los climas que se caracterizan por diferencias de temperatura marcadas. Para los climas de diferencias débiles, por tanto húmedos, la inercia térmica no es aconsejable.

7.7 ACOPLAMIENTO MASA TERMICA- SUPERFICIE DE CAPTACION

El problema de la dosificación entre la capacidad térmica total de la construcción y la superficie de captación se plantea permanentemente cualquiera que sea el sistema elegido: ventana, muro colector, Invernadero, y cuya solución tiene una relación segura con el clima del situ. Para el hemisferio norte, la solución consiste en tomar el porcentaje máximo de invierno y en ocultar según los porcentajes requeridos en verano y en estación intermedia.

En el estudio de la capacidad térmica de la estructura, el laboratorio de los Alamos, Nuevo México, propone una representación cuyo criterio es la "**capacidad de almacenamiento reducida al m² de acristalamiento**". En ella puede verse que hay una capacidad óptima debido a que el aporte sobre los consumos sigue una asíntota horizontal cuando la capacidad por unidad de superficie de acristalamiento aumenta, aunque este aumento de la capacidad de almacenamiento no tiene influencia más allá de ciertos valores de la capacidad reducida a la unidad de superficie de vidriera (gráfica 9). También puede verse en ella la influencia del doble acristalamiento y de la protección nocturna de las ventanas en un clima (como el de los Alamos) donde las radiaciones son intensas debido a la altitud y al escaso contenido de agua en el aire.



gráfica 9

8 PROPUESTA DE ESTRUCTURACION

8.1 INTRODUCCION

Una construcción será tanto más fuerte ante los sismos cuanto más resistencia tenga para soportar esfuerzos horizontales y esto se logra mediante el cálculo estático, que es recomendable por su simplicidad. Sin embargo, el cálculo dinámico es mucho más apegado a la realidad y se puede lograr mucho en favor de la realización de buenas estructuras. Para efectuar el cálculo dinámico, con frecuencia, los calculistas y reglamentos empiezan por suponer un coeficiente sísmico, pero es más correcto tomar como punto de partida directamente la aceleración y el período de movimiento del terreno [Cf. secc. 4.8.1]. Realmente la única base que tenemos para clasificar, valorar y prever dichos movimientos es la estadística de los sucesos en el lugar y en sitios vecinos o de suelos semejantes. De ellos y de los datos más técnicamente registrados a últimas fechas, podemos presuponer los futuros movimientos probables.

8.1.1 MATRIZ DE CONDICIONANTES Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO PARA EDIFICIOS

El objetivo de la matriz, a continuación, es simplificar de manera conceptual la toma de decisiones a priori al concebir un anteproyecto arquitectónico, dada una zona o región sísmica en particular.

Para el caso específico del planteamiento del concepto de fusión autosoportante, he considerado una edificación ubicada dentro de la zona tres, en el valle de México. De acuerdo a las restricciones que se desprenden de la tabla 4, los parámetros de diseño del edificio se hallan sombreados sobre la matriz.

ZONA	CONDICIONANTES		RECOMENDACIONES DE DISEÑO				
	Período fundamental de vibración del terreno en seg.	resistencia del terreno en t/m^2	tipo de estructura	relación de esbeltez h/b	tipo de construcción	materiales de la estructura	cimentación superficial
Valle de México Zona 3	2.12	R.T. < 3	Rígida	$h/b < 4$	Tradicional Prefabricada Mixta	Concreto armado y acero	Losa de cimentación Cajón de cimentación
Valle de México Zona 2	1.25	$3 < RT < 10$	Mixta	$h/b < 4$	Tradicional Prefabricada Mixta	Concreto armado so- bre acero	Zapatas corridas
Valle de México Zona 1	0.85	R.T. > 10	Flexible	$h/b > 4$	Tradicional Prefabricada Mixta	acero	Zapatas aisladas

tabla 4

8.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO

Es por tal razón que el concepto autosoportante propuesto pretende fusionar, además de las consideraciones anteriormente citadas, conceptos relativos a varias áreas del menester arquitectónico, a saber:

- a) De diseño arquitectónico, pues combina las concepciones arquitectónicas tradicionales- de volúmenes prismáticos multiplantas- y una de las formas geométricas autosoportantes- cubierta tipo domo semieférico; la planta libre, sus ventajas funcionales e influencia en la percepción [6.2]; sistema de proporcionalidad por sección áurea, en base al Sistema Internacional de Medidas.
- b) De diseño antisísmico, que incluye las mencionadas en la introducción [8.1], la relación de esbeltez apropiada para que el modelo trabaje como viga de cortante, de simetría en planta y alzado, así como los períodos de vibración del suelo y de la estructura.
- c) De logística estructural, ya que al tratar con las características intrínsecas del núcleo central, entrepisos y estructura periférica, se desprende la forma en que van a trabajar los elementos resistentes, facilitándose el postrer cálculo y dimensionamiento
- d) De aspectos bioclimáticos, pues toma en consideración al sol, su movimiento por la esfera celeste, sus ángulos de incidencia críticos, los efectos de calentamiento sobre la envolvente del edificio, de reflexión y disipación de la radiación solar gracias a la geometría y materiales de la superficie envolvente auxiliada por la acción de los vientos.

A la pregunta del por qué de la forma, de su comportamiento bioclimático o del cómo trabaja estructuralmente, la respuesta, como puede entenderse no es única: es la suma de todos y cada uno de los incisos descritos y su relación mutua.

8.2.1 ESTRUCTURACION DE UN MODELO AUTOSOPORTANTE CON ELEMENTOS PREFABRICADOS

Es importante hacer notar que la ciudad de México, dada su situación geográfica y climática, ha propiciado, entre otros fenómenos, la centralización política histórica asociada con la migración desmesurada del último medio siglo, que se ha reflejado en una sobrevaluación del suelo y en el desplazamiento de las tierras de labor y reserva ecológica por la mancha urbana.

Así, tanto la gran demanda de servicios como los altos costos de los predios en las zonas residenciales, comerciales/ financieras, han forzado a los diseñadores y constructores a optimizar las áreas de trabajo, convivio, esparcimiento y descanso- multiplicando la plusvalía de los terrenos-, edificando verticalmente.

Si a éste panorama urbano, de encarnizadas disputas por la posesión y/o especulación de la tierra, altas densidades de población, donde se persiguen grandes márgenes de ganancia por unidad de tiempo y superficie construída, sumamos el factor por riesgo sísmico, obtenemos una perspectiva

abrumadoramente desfavorable si nos desenvolvemos dentro de la construcción absolutamente tradicional. Sin embargo, existen alternativas de planteamiento financiero, de diseño-construcción y de planeación que podemos emplear sensatamente para satisfacer dichas condicionantes.

Tal es el caso de la edificación a base de elementos prefabricados industrialmente. Este tipo de construcción, en general, de la cual los elementos preesforzados son parte fundamental, requiere de una detallada planeación de las actividades a fin de lograr la coordinación perfecta entre el diseño, costeo, financiación, producción, traslado y montaje en la obra.

En efecto, dadas las condicionantes de costo-tiempo versus altas tasas internas de retorno planteadas y deseadas, la construcción 100% tradicional poco tiene de ventajas que ofrecer si se la compara (cuadro 9**) con los planteamientos y beneficios de la construcción a base de elementos prefabricados conjugados o asistidos por la construcción convencional.

	Tradicional	Construcción en sistema	Prefabricados
Velocidad al construir	+ -	+	++
Ahorro de obra de mano en sitio hr/ hombre	+ -	+	++
Ahorro obra de mano total	+ -	+	++
Pequeña inversión (\$)	++	+	+ -
Tamaño de serie chico	+ -	++	++
Tamaño de serie grande	+ -	++	++
Tamaño mínimo de sitio	+ -	+	++
Limitación de transporte	++	++	+ -
Sensibilidad al intemperismo	++	+ -	+ -
Interferencia en la continuidad de momentos	++	+	+ -
Apropiada para : tipo casa habitación	++	+ -	+ -
3 - 8 plantas	+	++	+
8 + plantas	+ -	++	++
Diseños complejos	++	+ -	+ -

Léase para + - : poco favorable; + : favorable; ++ : muy favorable

cuadro 9 **

En este caso de estudio, tratándose de un edificio único, esto es, de alta tecnología conceptual estructural-bioclimática ejecutado parcialmente de manera artesanal, el planteamiento del proyecto tomará el siguiente desarrollo: Obras preliminares, cimentación, núcleo central de circulación vertical y de servicios, a base de elementos y construcción convencional con cimbra deslizante; sistema de entrepiso consistente en cables y postes telescópicos portantes en suspensión y losa aligerada modular prefabricada*; columnas periféricas-trabes de borde prefabricadas para ser conectadas in situ. El sistema de conexión entre columnas periféricas involucra los elementos antes descritos y elementos apemados y soldados en obra, es decir, un sistema mixto. Posterior a la presentación de las vistas arquitectónicas generales e isométrico de la estructura periférica [cf. secc. 8.3], se presenta la propuesta del sistema de entrepiso y de unión de columnas y trabes, destacando los detalles constructivos más relevantes.

* Proyecto de investigación y derechos reservados al autor

** Tomado de los apuntes del curso de Prefabricación Industrializada del M. en Dis. Jan van Rosmalen, U.N.A.M., 1993

abrumadoramente desfavorable si nos desenvolvemos dentro de la construcción absolutamente tradicional. Sin embargo, existen alternativas de planteamiento financiero, de diseño-construcción y de planeación que podemos emplear sensatamente para satisfacer dichas condicionantes.

Tal es el caso de la edificación a base de elementos prefabricados industrialmente. Este tipo de construcción, en general, de la cual los elementos preesforzados son parte fundamental, requiere de una detallada planeación de las actividades a fin de lograr la coordinación perfecta entre el diseño, costo-tiempo, financiación, producción, traslado y montaje en la obra.

En efecto, dadas las condicionantes de costo-tiempo versus altas tasas internas de retorno planteadas y deseadas, la construcción 100% tradicional poco tiene de ventajas que ofrecer si se la compara (cuadro 9**) con los planteamientos y beneficios de la construcción a base de elementos prefabricados conjugados o asistidos por la construcción convencional.

	Tradicional	Construcción en sistema	Prefabricados
Velocidad al construir	+ -	+	++
Ahorro de obra de mano en sitio hr/ hombre	+ -	+	++
Ahorro obra de mano total	+ -	+	++
Pequeña inversión (\$)	++	+	+ -
Tamaño de serie chico	+ -	++	++
Tamaño de serie grande	+ -	++	++
Tamaño mínimo de sitio	+ -	+	++
Limitación de transporte	++	++	+ -
Sensibilidad al intemperismo	++	+ -	+ -
Interferencia en la continuidad de momentos	++	+	+ -
Apropiada para : tipo casa habitación	++	+ -	+ -
3 - 8 plantas	+	++	+
8 ⁺ plantas	+ -	++	++
Diseños complejos	++	+ -	+ -

Léase para + - : poco favorable; + : favorable; ++ : muy favorable

cuadro 9 **

En este caso de estudio, tratándose de un edificio único, esto es, de alta tecnología conceptual estructural- bioclimática ejecutado parcialmente de manera artesanal, el planteamiento del proyecto tomará el siguiente derrotero: Obras preliminares, cimentación, núcleo central de circulación vertical y de servicios, a base de elementos y construcción convencional con cimbra deslizante; sistema de entrepiso consistente en cables y postes telescópicos portantes en suspensión y losa aligerada modular prefabricada*; columnas periféricas-trabes de borde prefabricadas para ser conectadas in situ. El sistema de conexión entre columnas periféricas involucra los elementos antes descritos y elementos apemados y soldados en obra, es decir, un sistema mixto. Posterior a la presentación de las vistas arquitectónicas generales e isométrico de la estructura periférica [cf. secc. 8.3], se presenta la propuesta del sistema de entrepiso y de unión de columnas y trabes, destacando los detalles constructivos más relevantes.

* Proyecto de investigación y derechos reservados al autor

** Tomado de los apuntes del curso de Prefabricación Industrializada del M. en Dis. Jan van Rossmalen, U.N.A.M., 1983

8.3 PLANOS ARQUITECTONICOS GENERALES

Siguiendo con el análisis de los incisos anteriores, es aquí donde se han de reflejar gráficamente la mayoría de los puntos relativos a los aspectos de diseño arquitectónico y de diseño antisísmico asimilados de las normas constructivas y sintetizadas en la propuesta del concepto-modelo.

Conservando los lineamientos del reglamento y las normas complementarias de construcción, el modelo de edificio se desarrolla y guarda:

- a) Idealmente, simetría en planta(s), con el objeto de evitar torsiones adicionales.
- b) La excentricidad máxima del centro de rigideces menor al 5%, y se localiza al centro de la planta.
- c) La relación del lado menor al lado mayor menor de 1: 5, pues al tener simetría radial en planta, cumple con este parámetro.
- d) La relación de esbeltez menor que cuatro (1: 1.618), lo cual hace que el edificio se comporte como viga de cortante, y el cálculo se simplifique.
- e) La eliminación de los apéndices (cuarto de máquinas de elevadores, núcleo de circulación peatonal, vertical y servicios) excéntricos, otorgando a la estructura de acceso central rigidez constante,
- f) Concediendo a la estructura simetría en alzado.
- g) La reducción de secciones, en las columnas, a razón de 1: 10 de la altura del entrepiso como máximo.
- h) De rematamientos súbitos en las fachadas y desfasamientos en las diferentes plantas, simplificando el análisis y la predicción del comportamiento sísmico.
- i) Continuidad de los sistemas resistentes verticales, central y periférico
- j) La altura de los entrepisos constante.

Los planos generales del modelo, en seguida, respaldan gráficamente las recomendaciones anteriormente descritas y mejoran el comportamiento sísmico al:

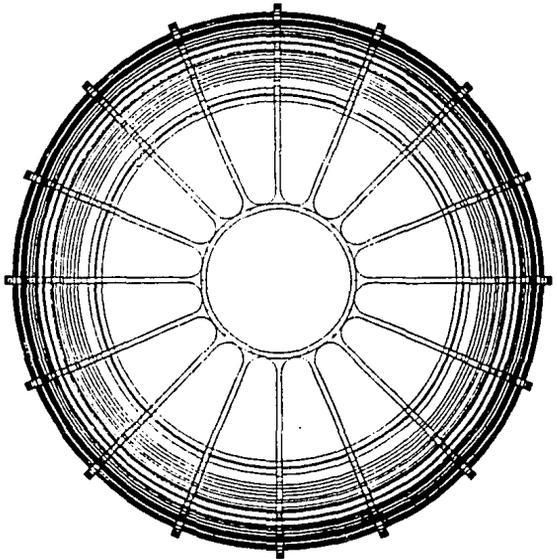
- Mantener el centro de gravedad de la estructura por debajo del 50% (47.9% de la altura a partir del nivel de desplante).
- Conservar la continuidad y correspondencia radial de las columnas.
- Distribuir uniformemente los esfuerzos axiales y de compresión de las columnas por medio de anillos de compresión.
- Disminuir las cargas muertas- y por tanto los desplazamientos y las fuerzas sísmicas- en las plantas superiores.
- Establecer una estructura rígida contenedora en torno a una central flexible disipadora de energía sísmica.

La estructura periférica presentará dos fases de comportamiento: antes y después del postensado. En la primera etapa, las traveses tenderán a flexionarse por su propio peso bajo la acción de la gravedad. Una vez tensadas hacia los anillos interiores de tensión, trabajarán a compresión, al igual que toda la estructura contenedora, convirtiéndose en una pieza rígida monolítica, cuya función será transmitir hacia el núcleo las perturbaciones sísmicas.

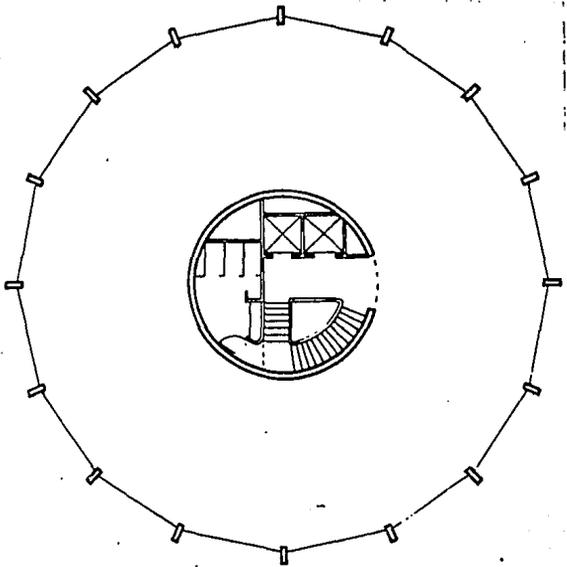
En el proceso de captar la energía sísmica se involucra la cimentación como elemento por el cual se reciben las ondas de cortante, y las columnas como conductoras de tales vibraciones, de los niveles inferiores a los superiores y hacia el núcleo central.

Al ser la torre de circulación vertical una estructura tubular- y por tanto una superficie desarrollable- es susceptible de permitir cierta deformación. Sin embargo, y contrariamente a las estructuras *cimentadas*, cuya manera de des prender la energía sísmica es oscilando como péndulo invertido, la *referente*, al estar suspendida libera las perturbaciones dinámicas oscilando *verticalmente*, tal como lo hace un puente *suspendido* o un amortiguador helicoidal de automóvil, manteniendo su axialidad ortogonal planar y radial.

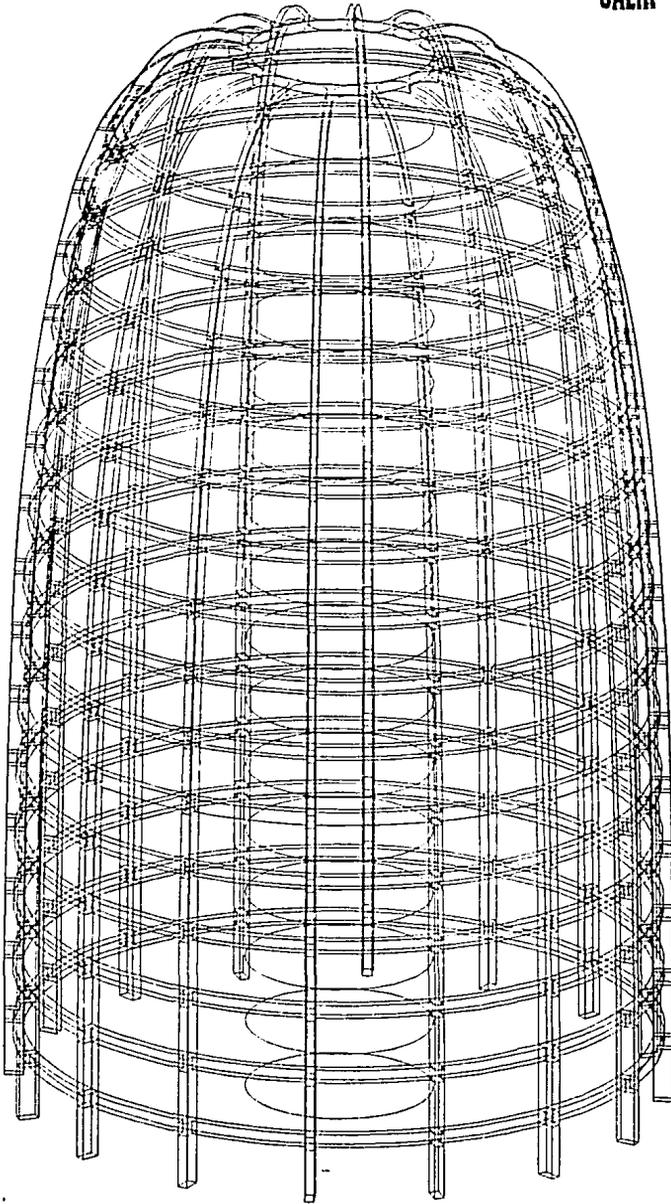
La respuesta conjunta de los subsistemas verticales interior- exterior, al interactuar dos movimientos oscilatorios producirá, *teóricamente*, un atenuamiento de las vibraciones. Es decir, si los desplazamientos tienen direcciones perpendiculares uno del otro y los períodos de oscilación de éstos son marcadamente distintos, entonces ambos subsistemas menguarán la amplitud de sus desplazamientos recíprocamente.



Vista de conjunto

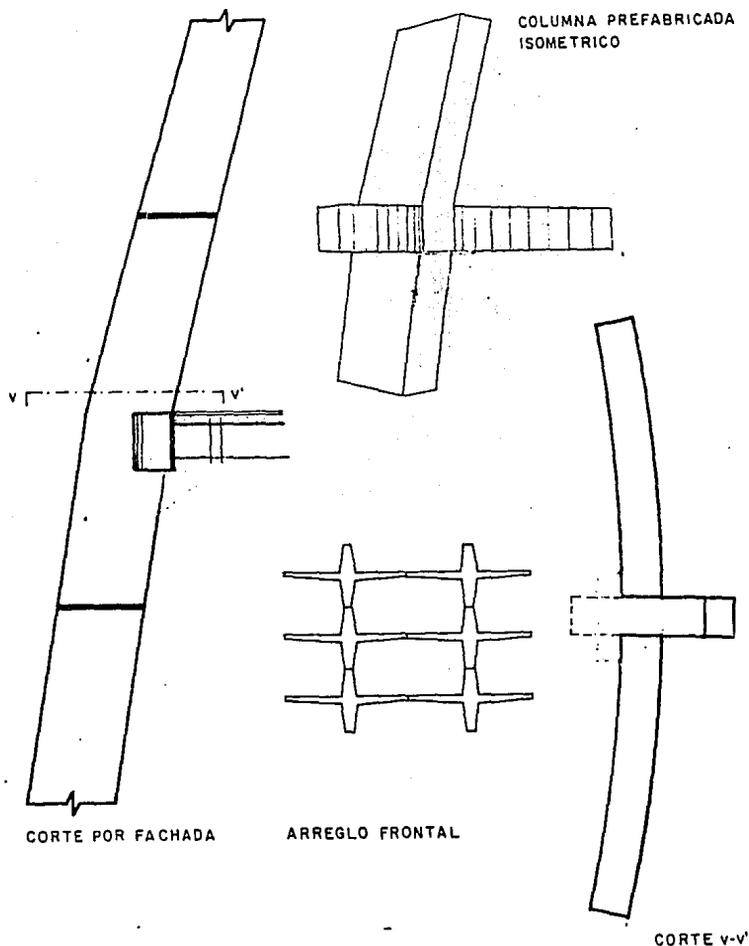


Planta de acceso $n= 0,00$



isométrico de la estructura periférica

El sistema de entepiso, considerado dentro de la categoría de las estructuras espaciales, consiste de armaduras radiales suspendidas cuyos componentes discontinuos a compresión (postes) interactúan con los elementos continuos a tensión (cables). Sobre estas estructuras portantes se apoyan y fijan secciones de losa prefabricada. Estas secciones han de estar diseñadas con ductos para permitir el paso de las distintas instalaciones. A continuación se esquematizan los cortes y detalles de conexiones de los sistemas estructurales periférico y de entepiso*.



Detalles de los sistemas constructivos

* Cf. proyecto de investigación del autor:
Sistema constructivo para entepiso por
compresión flotante

8.3.1 CONEXIONES DE LOS ELEMENTOS *3

Las conexiones de bases de columnas experimentan dos fases de carga crítica: una al montaje y la otra relativa a la carga completa de diseño. Diversos tipos de conexiones de base de columna utilizan placas de acero, pudiendo ser más grandes, iguales o menores que la sección transversal de la columna.

El procedimiento de doble tuerca e inyección de lechada es el procedimiento usual que se emplea para conectar la columna a la zapata (fig. 31).

Las condiciones de control para el espesor de la placa de base pueden ser las mismas que para el montaje, como resultado de las cargas, ya sean de tensión o de compresión sobre los pernos de anclaje. Además, los esfuerzos de aplastamiento en la superficie de contacto de la placa de base y la inyección de lechada pueden controlar el espesor de la placa. Para el caso en que el espesor de la placa se controle por esfuerzos uniformes de aplastamiento, el espesor t de la placa puede determinarse de:

$$t = X_o / O (2fbu / fy)^{0.5} \text{ en donde } O = 0.90.$$

El diámetro y la longitud de los pernos de anclaje dependen generalmente de las cargas de montaje que se les imponga. Bajo ciertas condiciones, las cargas finales en el lugar pueden ser críticas para determinar el tamaño del perno de anclaje.

El diámetro del perno de anclaje deberá seleccionarse para satisfacer las condiciones de todas las cargas axiales y el pandeo del perno de anclaje antes de aplicar la soldadura.

Al considerar las condiciones de carga axial, generalmente ejerce control el área neta de las roscas.

La función de una conexión para resistir momentos, que es el caso de propuesta de estructuración de las columnas periféricas, es proporcionar momentos resistentes dentro de ésta por medio de un par de tensión y compresión, un par de cortante u otro par de fuerzas.

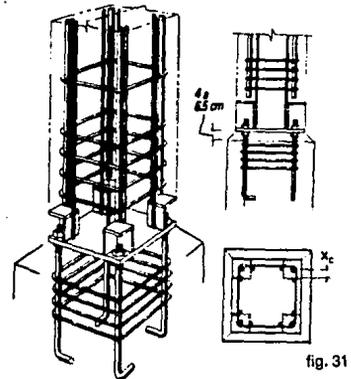


fig. 31

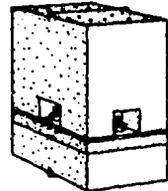


fig. 32

*3 Citas y adaptación de textos y gráficos de la referencia:
I.M.C.Y.C., A.C.
Diseño de conexiones de elementos prefabricados de concreto

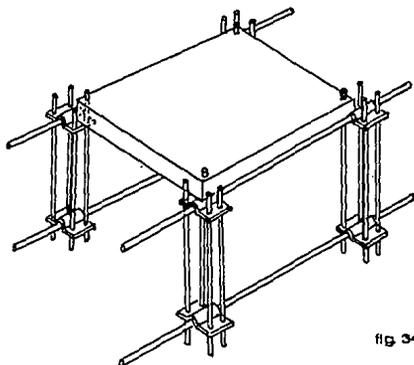
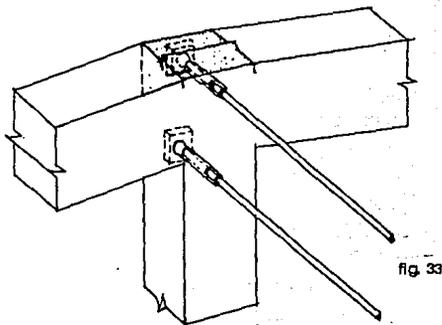
Otros aspectos del diseño de conexiones para momento, son las consideraciones secundarias para proporcionar refuerzo de confinamiento y revisar el apoyo del anclaje.

Los pernos de anclaje están colocados, ya sea en las esquinas y/o a la mitad de los lados, dependiendo de los requisitos de montaje. Los refuerzos de la columna están soldados a la placa de base.

El detalle de conexión columna-columna, zuncho-zuncho (fig. 32), conocido como de placa de base interna, tiene una placa que es menor que la sección transversal de la columna y tiene huecos para los pernos de anclaje; usa el sistema de doble tuerca y unión soldada del refuerzo de la columna a la placa.

El detalle de la junta constructiva columna-armadura en compresión flotante (fig. 33), presenta dos ductos en el nodo para que, luego de tensar los cables, la estructura en conjunto trabaje a continuidad de momentos.

Finalmente, la fig. 34 visualiza el detalle de apoyo de segmentos de losa prefabricada y armadura portante de celosía pretensada como parte integral de la propuesta de concepto autoportante.



El armazón reticular periférico, integrado por elementos prefabricados de concreto conectados para transmitir momentos, trabajará idealmente a compresión tanto por el material constitutivo como por la topología, análoga a un conjunto de arcos concéntricos radiales zunchados.

8.3.2 CONCEPTO DE LA PLANTA LIBRE

La manera de describir y percibir el espacio "bajo el mismo techo" ha sido y es uno de los temas de tesis favoritos de los antropólogos, sociólogos, psicólogos, historiadores del arte y teóricos del diseño arquitectónico.

Ciertamente cada cual tiene un caudal de información al respecto desde el momento en que concebimos al **Homo sapiens** y su obra como punto de partida de la historia, algo así como 7500 años, donde el espacio común se ha significado e interpretado de tantas formas como civilizaciones han existido.

Los occidentales del siglo xx hemos aprendido por nuestras necesidades y experiencias cotidianas a enfrentar y manejar cada vez a más personas en envolventes cada vez más amplias y sofisticadas: nos congregamos para orar o para presenciar un espectáculo o evento social en pabellones o edificaciones bajo esta característica; también lo hacemos con mayor frecuencia en nuestras horas de labor.

El espacio unificado y los conceptos asociados a éste como son lugar de reunión, volumen común, "donde se deambula desde y hacia", de participación del entorno no- jerárquico per se, son algunos de los términos con los que el hombre común contemporáneo describe el ambiente democrático de la planta libre de obstáculos.

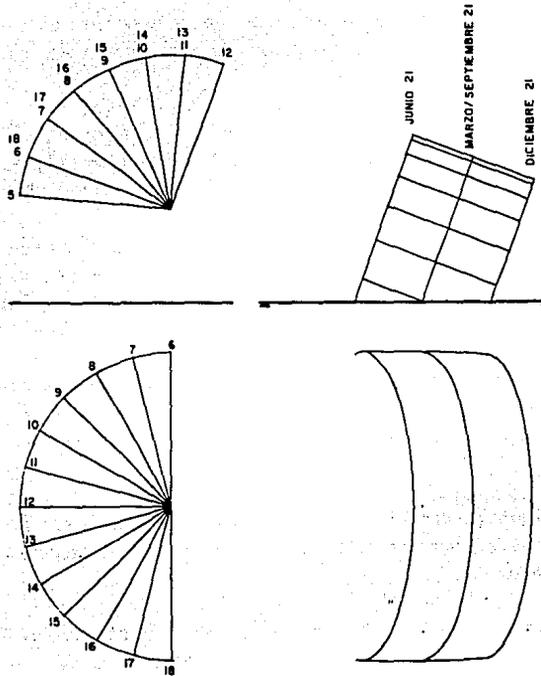
El hombre ordinario lo percibe como más amplio, de mayor contacto visual y físico, que ofrece la ocasión de una mayor circulación peatonal; el hombre educado en estos menesteres amplía la visión y el sentir anteriormente citado.

En verdad que el diseñador lo vislumbra como "una hoja en blanco", con posibilidad casi ilimitada para dar rienda suelta a la imaginación creativa; de la no-enclaustración ya que se promueve un mejor movimiento del aire y, subsecuentemente, un ambiente más sano y apegado al rango de confort o bienestar térmico. Además, ofrece una mayor y mejor difusión de la luz natural .

8.4 MONTEA SOLAR

La ciudad de México se localiza a los 19°, 24' de latitud norte y 99°, 09' de longitud oeste; a 2243 m. de elevación sobre el nivel medio del mar; goza de un clima templado con veranos húmedos e inviernos secos; la temperatura media anual es de 19°C, con máximas extremas de 29 y 4°C.

La montea solar es un auxiliar gráfico para calcular los ángulos de incidencia solar en una edificación, tanto en planta como en alzado, para cualquier día y hora del año. El procedimiento aquí incluido es la versión simplificada del método; sin embargo, es empleado vástamente para visualizar de una manera práctica las proyecciones solares internas de un local y a partir de éstas, considerar o rechazar los conceptos arquitectónicos y los bosquejos del proyecto bioclimático sin la necesidad de ahondar en ganancias o pérdidas de energía.

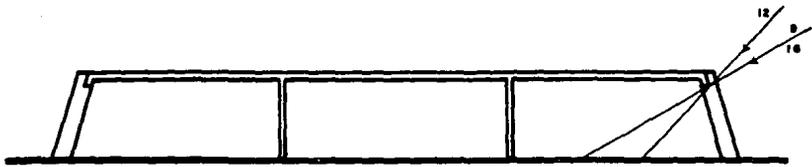


Montea solar para latitud 19° norte

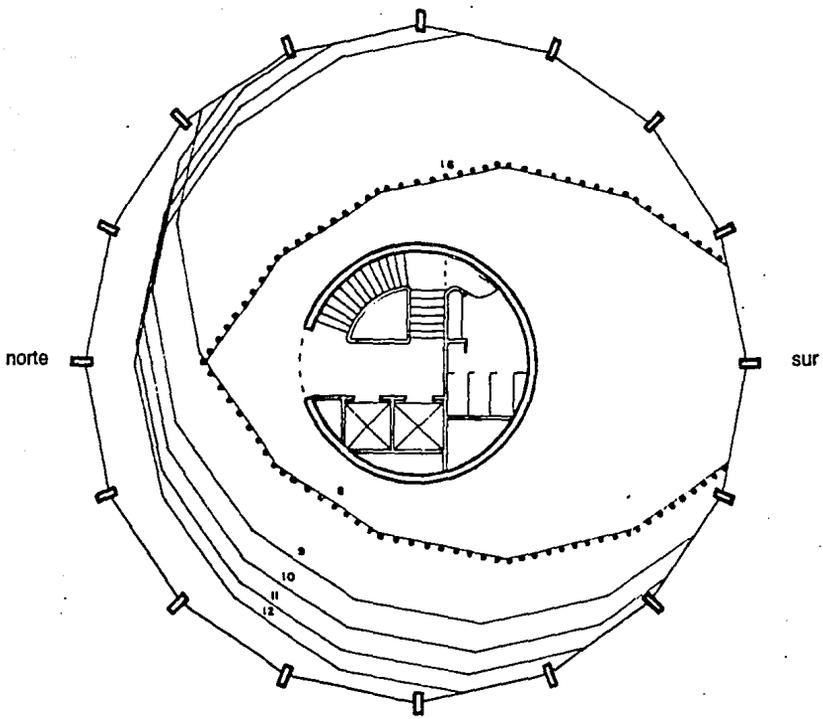
8.5 ASOLEAMIENTO DE LA PLANTA CRITICA

El reglamento de construcción del D.F., en el capítulo V, referente a los requerimientos de integración al contexto e imagen urbana, en particular en los artículos 147 y 148 dispone que se deberá acompañar a la solicitud de licencia de construcción el estudio de proyección de sombras, a fin de demostrar que la nueva edificación no bloquea de manera significativa la incidencia de los rayos solares a las construcciones vecinas; además, que el reflejo de la radiación solar de las vidrieras no es perjudicial para los edificios colindantes, y que la acumulación térmica en el interior del inmueble no produce malestar a los usuarios.

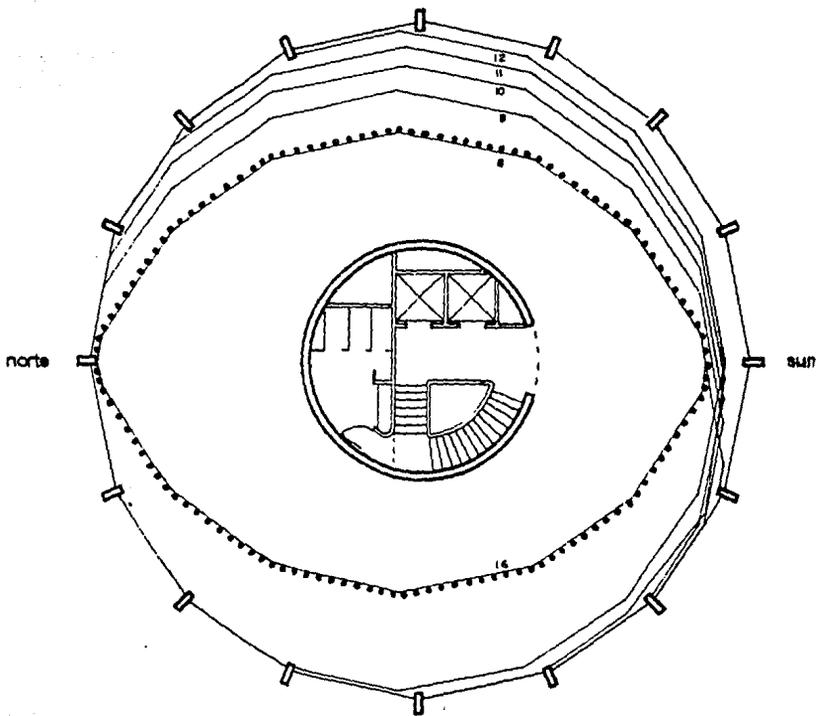
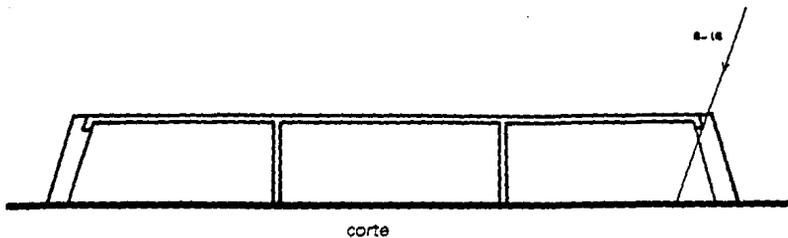
Los asealamientos totales y horarios proyectados sobre la planta libre última se presentan para los períodos comprendidos entre las 8 y las 16 hrs., y 8 a 12 hrs. respectivamente. Asimismo, se incluyen los ángulos de incidencia solar de dichos períodos para el solsticio de invierno, equinoccios y solsticio de verano. Las proyecciones horarias se acompañan de las marcas horarias correspondientes, en línea continua, y el asealamiento total se ilustra delimitado con línea punteada.



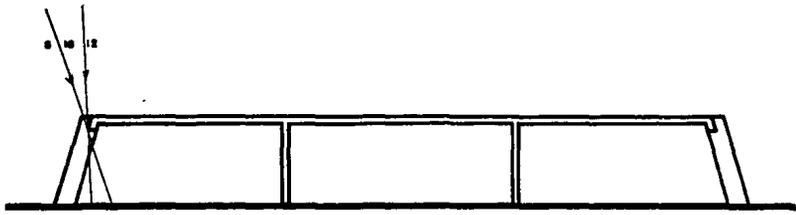
corte



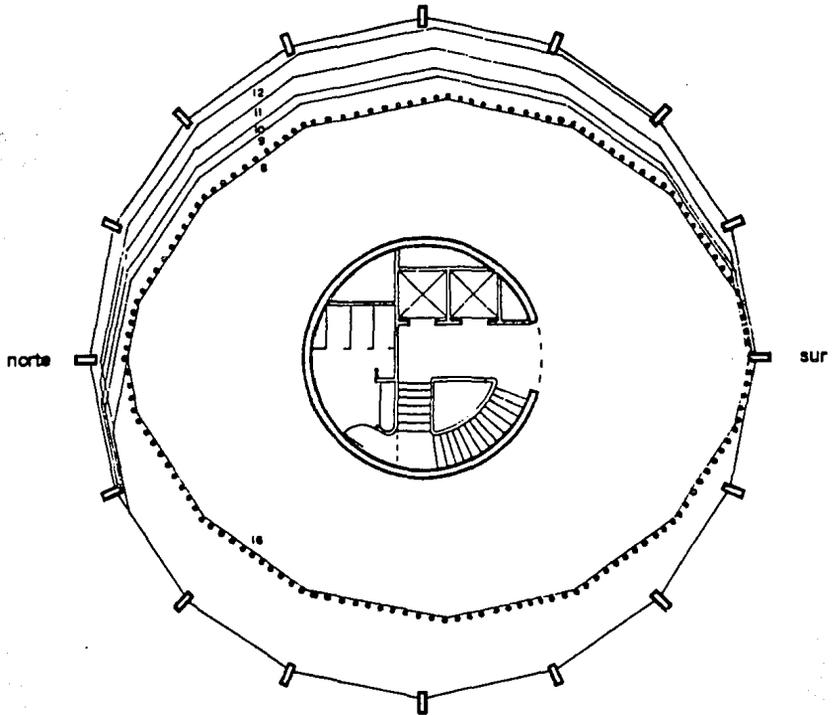
Asoleamiento para el 21 de Diciembre



Asoleamiento para el 21 de Marzo / Septiembre



corte



Asoleamiento para el 21 de Junio

9 PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO TERMICO

9.1 BALANCE TERMICO DE LAS PLANTAS CRITICAS

Lo primero que hemos de tomar como rango, dada la geometría del modelo son las plantas extremas, o sea, la primera y la última. Dentro de estos límites se establecen las ganancias y las pérdidas máximas de calor. Por tal motivo, se vislumbra la necesidad de hacer los cálculos relativos al balance térmico de las mencionadas plantas. Una vez establecidos, se procede a acondicionar por medios pasivos, primeramente, y en caso remoto, por medios mecánicos la planta cuya variación térmica sea mayor.

Es de esperarse que la última planta refleje grandes variaciones térmicas dada la geometría de la envolvente, en especial a consecuencia del flujo solar absorbido a través de la vidriera; y la primera planta experimente las mínimas fluctuaciones debido a la perpendicularidad de las columnas con respecto a la primera losa de entreplazo.

9.2 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA ENVOLVENTE

En la sección 7.6 se hizo referencia a la toma de decisiones por parte del diseñador en lo relativo a la forma del edificio y su envolvente, con el objeto de conceptualizar desde sus inicios la forma de captar, radiar, transferir o evitar la energía radiante del sol por parte de la estructura y su piel.

En el presente estudio, por razones de fusión de los conceptos arquitectónicos y bioclimáticos se concluye por simple observación que :

- ° a) Las primeras plantas tendrán una captación de energía menor que las últimas plantas.
- ° b) Las primeras plantas necesitan de estudios de asoleamiento más que de ganancias por calor, como las últimas plantas; requiriéndose tomar en consideración las distancias a colindancias de las edificaciones adyacentes para hacer valederos los supuestos de las proyecciones solares, las ganancias térmicas y la comodidad de los usuarios de acuerdo al clima y reglamento específico.
- ° c) Es viable el empleo materiales sustitutos del vidrio en algunas de las plantas y algunas de las fachadas para lograr el balance térmico deseado.

El análisis preliminar del balance térmico de la última planta estima que con materiales convencionales de vidriera sencilla, es difícil lograr el acondicionamiento térmico- que no sea por ventilación-, a consecuencia de la incidencia solar directa [cf. fig. 30, pp. 42] y máxima en el edificio promovida por el perfil estructural mismo. Empero, existen subterfugios ampliamente extendidos para reflejar, bloquear o reducir la captación solar que se han de emplear en la estrategia de ocultamiento de la radiación directa. Adicionalmente, existen en el mercado materiales sustitutos del vidrio que complementan a los artificios tradicionales para lograr la comodidad térmica.

Tal es el caso específico de las láminas de policarbonato de presentación monolítica, perfilada y laminada, de las cuales la segunda opción, en forma de emparedado de grosores variables, satisface el requerimiento para aislamiento acústico y térmico. A continuación, las tablas 5-10 muestran comparativos entre este material alternativo y el vidrio convencional, en los que visiblemente supera las propiedades físico- mecánicas- térmicas del vidrio sencillo:

Comparación del valor "U" (Coeficiente de transmisión del calor) Ganancia de calor de primavera

Temperatura	LEXAN (Sheet)	Lexan (Cast)	% Ganancia
080°	1.30	1.04	4
093°	1.05	1.04	4
118°	0.97	1.04	7
177°	0.93	1.04	11
238°	0.92	1.04	14
375°	0.82	1.03	18
500°	.77	1.03	25
Double Glazed	.45	.58	20

Pérdidas de calor de invierno

Temperatura	Lexan (Sheet)	Lexan (Cast)	% Pérdida
080°	1.10	1.18	5
093°	1.08	1.18	7
118°	1.05	1.18	10
177°	1.01	1.15	12
238°	0.98	1.14	16
375°	.88	1.11	21
500°	.82	1.08	25
Double Glazed	.42	.49	12

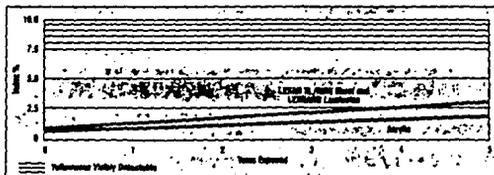
BTU/Hr sq. ft °F x 4.88 = KCal/Hr m² °C
tabla 5

peso

Temperatura	Lexan (Sheet)	Lexan (Cast)
080°	.50	1.02
093°	.58	1.29
118°	.78	1.98
177°	1.17	2.48
238°	1.58	3.28
375°	2.34	4.88
500°	3.12	6.48

lbs /ft² x 4.882427 = Kg /m²
tabla 8

Índice de amarillamiento



gráfica 11

Transmisión del sonido

Temperatura	Lexan (Sheet)	Lexan (Cast)
118°	25	23
177°	28	27
238°	31	27
375°	34	27
500°	34	27
118°	28	27
1.25"	42	—

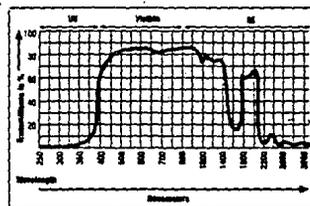
ln x 2.54 = cm
tabla 6

Coeficiente de expansión térmica

Glass	0.000030
Aluminum	0.000128
LEXAN sheet	0.000375
Acrylic	0.000410
Steel	0.0000630

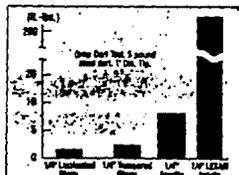
tabla 7

Transmisión de la luz ultravioleta



gráfica 10

Resistencia al impacto



ft-lb x 0.138225 = Kg-m
gráfica 12

El emparedado de lámina de polycarbonato puede ser doblado en frío para obtener la forma deseada desde un radio de curvatura de 1: 100; es altamente resistente al impacto- más que 60 veces la capacidad del vidrio del mismo espesor; es susceptible de ser recubierto con películas que aumentan la protección a los rayos ultravioleta, pues es básicamente opaco a las longitudes de onda por debajo de los 385 nanómetros y, por lo tanto lo convierte en un material excelente para proteger objetos de arte, exponer mercancías y tela, evitando su decoloración, y con un índice de amarillamiento- al paso del tiempo, menor al 3%- visualmente imperceptible.

De lo anterior podemos concluir que la forma de la cubierta envolvente propuesta permite:

- ° La captación de energía por flujo solar constante y moderada durante las horas diurnas.
- ° La radiación de energía por flujo solar constante y moderada a lo largo del día.
- ° La repartición del campo de presiones edáficas uniforme en torno al edificio.
- ° El enfriamiento de la piel del edificio de una manera constante.
- ° Evitar los efectos de esquina, venturi, de rodillo por sobrepresión de viento.
- ° La ventilación cruzada efectiva, independientemente de la orientación.

10 DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA AUTOSOPORTANTE (CONCLUSIONES).

Los últimos 10000 años abarcan 300 generaciones, pero nosotros, quienes hemos atestiguado los sorprendentes cambios traídos a nuestra cultura por la revolución industrial, podemos observar que la arquitectura no ha cambiado mucho, al menos en los últimos dos milenios.

Esta constancia en el entorno construido no debe sorprendernos si nos percatamos que la arquitectura satisface necesidades fisiológicas, intelectuales y espirituales básicas que no han cambiado desde que el **homo sapiens** existe. La arquitectura es la más conservadora de las ciencias y artes humanas pues provee a los requerimientos inmutables del hombre; aún nuestras necesidades espirituales, que pudieron haber cambiado de alguna manera y producido diferentes rituales, son tan esenciales hoy como fueron en la prehistoria.

Los cambios que se han experimentado en la arquitectura, más cuantitativos que cualitativos han sido motivados principalmente por la conglomeración de la gente. La ciudad es promotora de la arquitectura, y fue ésta la que propició que erigiéramos edificios cada vez más altos y contuviéramos espacios más amplios respaldándonos en la ciencia y la tecnología que, en su mejor expresión, son motivadas para satisfacer genuinas necesidades humanas; y si bien la arquitectura no ha cambiado tanto, sí ha llevado a cabo una gran revolución técnica. Luego ya, las necesidades de la ciudad se satisfarán y la tecnología, acicateada por los descubrimientos e inventos de la revolución industrial y científica, ha llegado para ayudar.

El fin de una edificación es realizar una función definida. Ésta, en la mayoría de los edificios es proteger a los usuarios de las inclemencias meteorológicas creando espacios cubiertos interconectados; los espacios pueden ser muchos y pequeños como en las casas- departamentos, o pocos, quizá sólo un espacio predominante como en una iglesia o en un teatro. La función del edificio se cumple al construir las superficies como los muros y los techos, que separan el interior del exterior.

Los componentes estructurales de un edificio aseguran que los elementos requeridos para guardar su función, permanezcan de pie. La estructura- columnas, vigas y entrepisos- hace posible la función arquitectónica; y es precisamente en el desarrollo de las estructuras que la arquitectura ha pasado por una transformación.

Los rascacielos con alturas de casi 500 metros y los estadios cubiertos, con claros de hasta 200 metros, requieren estructuras incomparablemente complejas y fuertes que aquéllas del pasado. Su desarrollo ha requerido de nuevos conocimientos teóricos para el diseño así como de nuevos materiales para la construcción. Adicionalmente, la teoría matemática de las estructuras es una parte esencial de la física y ha hecho posible las estructuras rompe- marca de nuestra era. Estos triunfos en el diseño estructural han sido logrados a través del uso de ordenadores; los diseños así concebidos eran inconseguidables hasta mediados de la década de los años setenta, no por falta de conocimiento teórico sino porque hubieran requerido años o quizá décadas de cálculos hechos a mano.

Por otro lado, el desarrollo del material estructural no ha mantenido el paso con las necesidades para la realización de conceptos teóricos avanzados. A excepción del concreto pretensado y postensado, más el acero de alta resistencia, los materiales que usamos son similares a aquéllos usados por nuestros abuelos.

Efectivamente, la madera, la piedra, la mampostería y el tabique aún dominan la construcción y deben ser empleados de manera compatible con sus propiedades, las que ha permanecido prácticamente iguales por siglos. La superioridad de los materiales modernos, empero, es de naturaleza sorprendente, económicamente sí no es que dimensionalmente. Nuestros edificios son extremadamente ligeros y baratos a construir que los del pasado.

Uno pudiese suponer, entonces, que la forma y tamaño de los edificios estuvieran determinados esencialmente por la disponibilidad de los materiales estructurales. Aunque ésto es mayormente cierto en los tiempos modernos, es sorprendente percatarnos cómo los dogmas religiosos y espirituales han tenido una enorme influencia en la construcción tradicional.

Puesto que en la mayoría de los edificios los propósitos funcionales y estructurales son logrados por medio de componentes diferentes, éstos son usualmente hechos de diferentes materiales. Ambos, en la arquitectura tradicional y en los diseños de avanzada, particularmente en los salones excepcionalmente grandes, la estructura ha llegado a ser lo más importante como para desplazar a las demandas funcionales

La construcción contemporánea de punta ha obtenido sus grandes éxitos, ahí, donde el recibir una carga no está comprometido por un requerimiento funcional. Si nos preguntamos si hay esperanza de llegar más lejos que los mencionados alcances, tomando en cuenta factores económicos y limitándonos al acero, la única forma de llegar más lejos de los límites presentes es incrementar la resistencia del acero. Ésto es posible, pero dentro de los límites de la atracción molecular del material. En la construcción, como en todas las actividades de la vida, los esfuerzos están circunscritos a las leyes de la naturaleza.

Aún cuando los componentes funcionales y estructurales de la arquitectura son en su mayoría distintos, la estructura ha tenido siempre una influencia decisiva en la arquitectura. En primer lugar es inevitable; en segundo, la estructura debe obedecer las leyes de la naturaleza y no siempre puede realizar el deseo cabal del arquitecto; en tercer lugar, la estructura, siempre que sea necesario y con frecuencia, se oculta y parece no contribuir a la arquitectura que soporta: es un mal necesario. Finalmente, la estructura es relativamente costosa, aunque si la comparamos con el monto del resto del edificio, el costo de la estructura es de 1/4 a 1/5 de la obra en la mayoría de los inmuebles; y en algunas obras, como en los puentes, o una sala muy grande, es el componente de mayor costo.

La arquitectura, además de satisfacer una función, envía un mensaje a los observadores a través de sus variadas y significantes formas. Ningún transeunte confunde una iglesia con una cárcel, por ejemplo. Acaso no es tan obvio que la estructura también radia un mensaje propio, que puede ser de robustez o elegancia, de despilfarro o economía, de belleza o fealdad, pero sin este mensaje oculto la arquitectura no existiría. Así, además de hablarnos de su utilidad, economía, energía y seguridad, la estructura nos pide apreciar la creatividad del diseñador y su belleza no-revelada.

Al aseverar que la arquitectura es el último reflejo cultural de una civilización, es de esperarse por tal motivo cierta resistencia humana al cambio; no tanto, por ventura, en el aspecto funcional como desde el punto de vista formal-estructural. Así lo interpretaban, acertadamente, los diseñadores y constructores líderes de la primera mitad del presente siglo, pues a un "estilo" arquitectónico correspondía hasta entonces una evolución de la tecnológica en la práctica de la edificación. En la actualidad esto no ocurre: los proyectos de "vanguardia", en la mayoría de los casos, son producto de mezclas ambiguas que fluctúan entre el eclecticismo académico, conceptos formales personalmente concebidos y efectos visuales que colectivamente poco o nada aportan al legado evolutivo de las estructuras.

Este estancamiento, crisis de valores o decadencia arquitectónica- como se conoció en su (breve) tiempo de vigencia al "estilo tardo moderno" y posteriormente al "deconstructivismo" obedece, en gran medida, a que la arquitectura convencional se ha limitado en sus formas [Cf. cap. 3]. Éstas, propiciadas por las tramas rígidas de diseño, y en especial por la retícula ortogonal en planta y el ángulo de 90° en elevación, coadyuvan a la estrechez de la creatividad formal-estructural.

Ciertamente, la ortogonalidad tridimensional tiene la gran ventaja de crecimiento o anulación de espacios exteriores, ya en alzado como entrepisos añadidos o restados (caso de demolición), ya en planta como ampliación perimetral o adición lateral. No obstante tal capacidad de desdoblamiento, la ortogonalidad espacial sólo engendra estructuras "abiertas" -desarrollables- donde los perfiles, en particular los remates de los apéndices superiores, adolecen de continuidad en rigideces, dimensiones, tipo de esfuerzos y función, promoviendo esfuerzos extra innecesarios para cualquier género de edificio.

Las propiedades exclusivas de las estructuras de forma resistente han sido explotadas usualmente como techumbres- aunque rara vez como elementos estructurales, entrepisos y envolventes funcionales- conservando medularmente la función que desde sus orígenes se las ha asignado: cubiertas. Este encasillamiento ancestral, debido más a causas tecnológicas que a motivos formales o funcionales, repercute en el presente restringiendo su implementación y desarrollo en la construcción contemporánea.

La arquitectura autosoportante, y en particular el vastísimo repertorio de estructuras que surge a raíz de la fusión de los conceptos geométricos prismáticos y orgánicos genera primordialmente estructuras "cerradas" - no-desarrollables; entidades concluidas y rematadas a priori, que satisfacen cabalmente programas arquitectónicos definidos, de solicitaciones de cargas y, por supuesto, fines específicos según el uso del suelo predestinado. Ha emergido, así, una rama del devenir arquitectónico con fundamentos y aporte al comportamiento estructural y creatividad en la propuesta de la forma.

Sirva pues este testimonio impreso como una inspiración y exhortación al seguimiento en la investigación y construcción en este campo, y a la vez, como una aportación al creciente acervo documentado de la arquitectura de todos los tiempos y de todas las civilizaciones.

11 BIBLIOGRAFIA

Rojas contreras, Alejandro

Importancia de los sismos en el proyecto arquitectónico

Tesis #31, Maestría en arquitectura, tecnología, U.N.A.M., 1987

Salvadori, Mario

Why buildings stand up

W. W. Norton, New York

Traducción y adaptación del capítulo "Form resisting structures".

Izard, Jean- Louis

Arquitectura bioclimática

Gustavo Gilí, 1983

Balcomb, J. D.; Mc Farland, R. D.

Passive solar heating of buildings

Ed. Paper Lab. UR, 77, 1162, Los Alamos scientific laboratories
Los Alamos, N.M., 1987

Creixell, M. José

Construcciones antisísmicas

C.E.C.S.A., México, 1989

Bazán Zurita et al.

Manual de diseño sísmico de edificios

Limusa, México, 1989

Christopher, Arnold; Reitherman, Robert

Configuración y diseño sísmico de edificios

LIMUSA, MEXICO 1987

I.M.C.Y.C., A.C.

Diseño de conexiones de elementos prefabricados de concreto

México, 1992

(ACI- ASCE 442) I.M.C.Y.C, A.C.

Respuesta de los edificios de concreto a las fuerzas horizontales

México, 1992

García Díaz, Rafael

Sistema Internacional de Unidades

Limusa, México, 1984

Moisset de Espanés, Daniel

Intuición y razonamiento en el diseño estructural

Escala, Bogotá, 1992

Centro de investigaciones en arquitectura y urbanismo

Cuadernos del laboratorio de estructuras laminares: Estructuras espaciales

División de estudios de posgrado e investigación,

Facultad de arquitectura, U.N.A.M.,1993