

00163



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

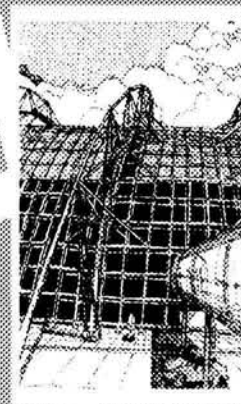
ANÁLISIS DEL

DISEÑO ARQUITECTÓNICO

A TRAVÉS DE SUS

CONCEPTUALIZACIONES

ESTRUCTURALES



Víctor M. Ruelas Cardiel

00163

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura



ANÁLISIS DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO A TRAVÉS DE SUS
CONCEPTUALIZACIONES ESTRUCTURALES.

Arq. Víctor Manuel Ruelas Cardiel

México, D. F., Noviembre del 2004



*ANÁLISIS DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO A TRAVÉS DE SUS
CONCEPTUALIZACIONES ESTRUCTURALES*

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN ARQUITECTURA
Campo **DISEÑO ARQUITECTÓNICO**

Presenta:

Víctor Manuel Ruelas Cardiel

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

México, D.F., Noviembre del 2004.

MESA SINODAL PARA JURADO DE EXAMEN.

PRESIDENTE:

M. Arq. Enrique Sanabria Atilano

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Director de Tesis.

SINODALES TITULARES:

M. Arq. Francisco Reyna Gómez

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

M. Arq. Jan Van Rosmalen

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

SINODALES SUPLENTE:

Dr. Arq. Dulce Maria Barrios y Ramos García

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Arq. Iván San Martín Córdova

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Remodelación del tejado de las oficinas Falkestasse, Viena 1984 – 1989
Coop Himmelblau, Arquitectos

“El prestidigitador conoce su oficio; su sombrero en una gran bolsa donde se esconden multitud de seres y objetos inapreciables: palomas diminutas, pañuelos anudados, bastones plegables, conejos disciplinados.

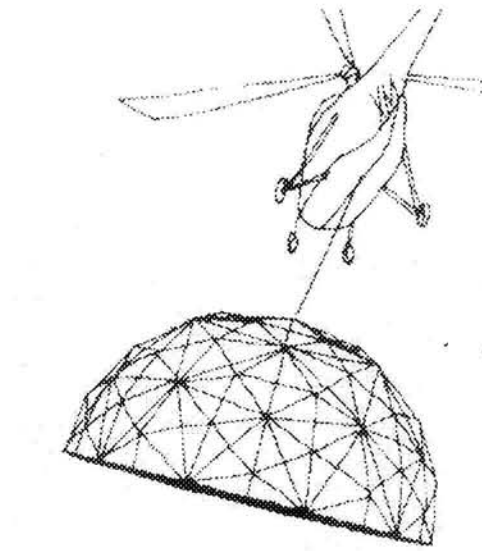
Sabe cuáles son sus instrumentos, maneja la medida con precisión, la distancia,... la proporción”.

Juan Ignacio Mera¹

¹ Mera, Juan Ignacio, *Magia*.- Cadena de cristal.- 1994.

ÍNDICE

	Pagina
PRESENTACION	I al V
RESUMEN / SUMMARY	1
INTRODUCCION	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
HIPÓTESIS	11
FUNDAMENTACION	14
OBJETIVOS	17
Capitulo I	
1.1 DEFINICIONES	20
1.2 TEORIAS	23
1.3 LA NATURALEZA DE LAS ESTRUCTURAS	30
1.3.1 SU CONOCIMIENTO	30
1.3.2 SU CREACION	34
1.3.3 SUS LIMITES DE APLICACION	36
1.3.4 SU DISEÑO	38
1.3.5 SU COMUNICACION	41
1.4 LA ESTRUCTURA EN EL PROCESO DEL DISEÑO	44
1.4.1 PREFIGURACION Y TIPOLOGIA ESTRUCTURAL	45
1.4.2 FUNCION DE LA CONCEPTUALIZACION ESTRUCTURAL	48
Capitulo II	
2.1-CONCEPTOS BÁSICOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	52
2.2 TRANSICION, TENDENCIAS Y RETROCESOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL	53
2.3 LA CONCEPTUALIZACION: SU SITUACIÓN ACTUAL	58
2.4 CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS	62
2.5 CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS Y SUS VARIANTES	65
2.6 ESPACIO Y VARIANTES ESTRUCTURALES	70
2. ESTRUCTURAS FACTIBLES	76
2.8 HACIA UNA SISTEMATIZACION DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	77
Capitulo III	
3.1 EL PAPEL DE LA CONCEPTUALIZACION EN EL DISEÑO	86
3.2 EL BINOMIO PIEL ESQUELETO	88
3.3 LA CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL EN EL POSMODERNO	91
Conclusiones	
CONCLUSIONES	98
ANEXO: LIBROS COMENTADOS	102
BIBLIOGRAFÍA	110
GLOSARIO	111
LISTADO DE ILUSTRACIONES	112



*"Hay algo más importante que los más hermosos descubrimientos:
el conocimiento del método con el cual han sido hechos"*

Leibnitz^{II}

AGRADECIMIENTOS

A todos los maestros de esta unidad de postgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM que impartieron la cátedra y tiempo, demostrando su profesionalismo, conocimientos y entusiasmo

Al M. Arq. Enrique Sanabria Atilano

por su humana y dedicada comprensión a este trabajo.

A mi familia, compañeros y amigos

Les agradezco su apoyo amplio y desinteresado, su amistad, cariño y comprensión demostrados en los momentos difíciles, así como su entrega y paciencia durante el desarrollo de este trabajo. Sé que no lo hubiera logrado sin su guía y su aliento.

A todos y a cada uno de ustedes, mil gracias.

^{II} Matemático alemán (s. XVII) que desarrolló el Cálculo Integral y Diferencial.

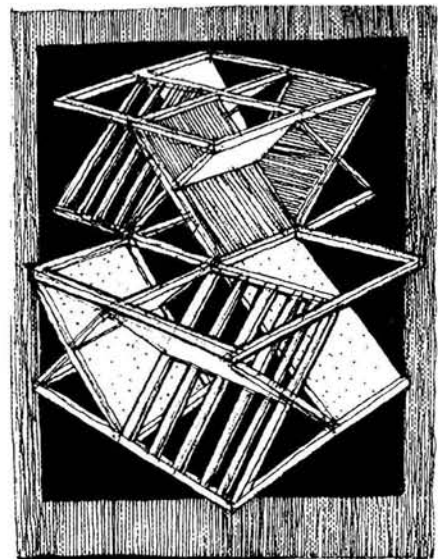
RESUMEN



Maestro de obras

Ingeniero de obra

Arquitecto



DISEÑO ARQUITECTÓNICO y ESTRUCTURA

CONCEPTUALIZACIÓN

RESUMEN

1. El diseño arquitectónico ha sido, desde siempre, una respuesta a las posibilidades estructurales del momento; a partir de ellas y del conocimiento de los materiales, los seres humanos han diseñado los espacios habitables.

Sin embargo, el proceso de diseño que actualmente rige en la arquitectura está relajado, ya que no responde a una lógica estructural y del comportamiento físico-químico de los materiales, sino a conceptualizaciones formales absolutamente subjetivas, en las que la estructura cumple un papel secundario.

Esta tesis plantea, entonces, la necesidad de volver a dar coherencia al proceso de diseño, haciendo que la solución se fundamente en el conocimiento del comportamiento estructural. Por otra parte, la enseñanza de la arquitectura se ha deformado, porque ha perdido un vínculo fundamental: el conocimiento de la conceptualización estructural, que permite dar soporte al espacio arquitectónico y a la aplicación ordenada y sistemática de la concepción espacial. Al perderse la vinculación estrecha entre la enseñanza del diseño estructural y la del arquitectónico, se perdió la posibilidad de hacer una arquitectura verdaderamente creativa. Porque el mejor y más amplio conocimiento estructural es el sustento de soluciones trascendentes y eficientes, como se ha demostrado a todo lo largo de la historia de la Arquitectura, desde la primera bóveda, hasta nuestros días, con arquitectos como Santiago Calatrava.

2. Si el diseño arquitectónico se fundamenta en la conceptualización estructural, se ampliarán las posibilidades de organizar y jerarquizar los elementos que integran el diseño, facilitando la concepción constructiva espacial. Con base en ella, las soluciones de estabilidad pueden ser resueltas como caso único, y cada diagrama estructural será consecuencia de las condiciones físicas de equilibrio del espacio que se esté diseñando.

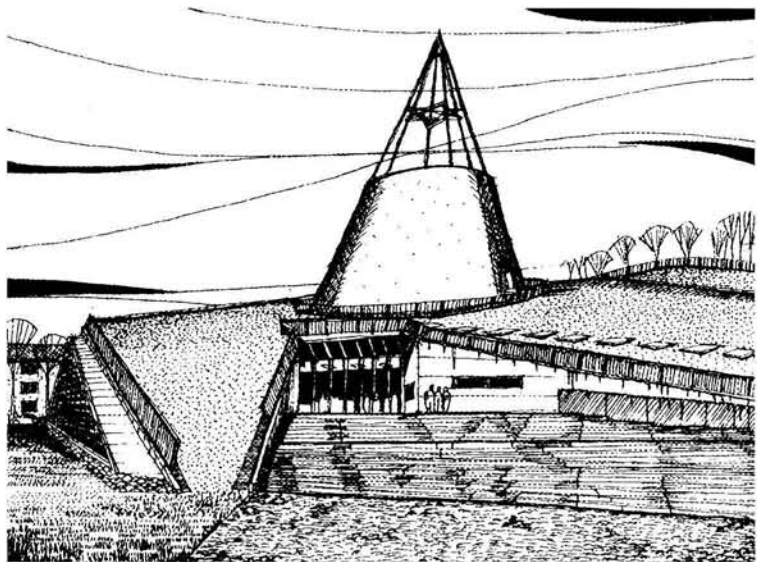
Pero para facilitar el diseño a partir de la conceptualización estructural, será necesario analizar comportamientos estructurales semejantes, que tras su evaluación sirvan al diseño arquitectónico. Este proceso permitirá integrar un esquema mental único y pertinente para dar solución a la organización del espacio en cada problema específico. A la vez, el estudio estructural complementará las opciones para la toma de decisiones, al momento de conceptualizar el espacio arquitectónico.

Además, la concepción espacial tridimensional que aporta el conocimiento del diseño estructural, abre la posibilidad de entender de manera distinta el diseño arquitectónico; el cual se consolida a través del conocimiento del comportamiento que la ley de la gravedad ejerce sobre los materiales, y del comportamiento estructural de los materiales mismos.

3. El diseño arquitectónico debe de ser capaz de expresar sus valores a través de la lectura de las formas y de los elementos estructurales. Para tal efecto, se hace necesario verificar los conceptos y algunas teorías que han permitido identificar en el hacer arquitectónico, la naturaleza de las estructuras que hacen las veces del esqueleto portante; es decir, acceder al conocimiento de la producción y aplicación de los diagramas estructurales surgidos de una conceptualización formal-estructural, a fin de integrarlos en un solo resultado: el binomio esqueleto-piel que dará expresión construable al espacio arquitectónico.

4. El presente trabajo pretende también demostrar que el diseño arquitectónico y el estructural forman una simbiosis y deben conceptualizarse como una integridad, porque sólo así podrá crearse una arquitectura eficiente. Para verificar este supuesto se analizan las soluciones estructurales de las obras de destacados arquitectos que han concebido la conceptualización formal y estructural como un todo integral.

Por último, y como colofón de esta tesis, se analiza la conceptualización estructural en la arquitectura postmoderna, en particular la deconstrucción, porque concibe la arquitectura como un producto integral de la forma y la estructura y propone pautas, incluso filosóficas, para acceder al diseño así concebido.

**Fig.001**

La Biblioteca de la Universidad Técnica de Delft, Holanda. Mecanoo arquitectos. Estructura mixta de concreto y acero.

SUMMARY

1. Architectural design has always been a response to contemporary structural possibilities; from these possibilities and the knowledge about materials, humans have designed habitable spaces throughout history.

However, the current process of architectural design is perverted because it is no longer consistent with structural judgment and the physicochemical behavior of building materials, instead being based on subjective formal conceptualizations, in which structure plays a secondary role.

This thesis proposes the need for restoring coherence to the process of architectural design by deriving solutions from the knowledge of structural behavior.

Besides, the teaching of architecture has been degraded, because of the loss of a fundamental link between the knowledge of the conceptual structure that provides support to the architectural space, and the systematic application of spatial conceptions. The loss of this tight relationship between the teaching of structural and of architectural design hinders the possibilities of achieving a truly creative architecture. This is such because transcendental and efficient architectural answers are essentially based upon a most comprehensive structural knowledge, as history has proven from the first dome to present designs such as those of Santiago Calatrava.

2. If architectural design is founded upon structural conceptualization, the organizational possibilities and the hierarchical value of the elements of design are amplified, facilitating the conceptualization of constructive spaces. Based on this premise, the stability of each individual solution can be found, and each structural diagram will be the result of a balance between the physical conditions and the space that is being designed.

In order to ease the process of design based upon structural conceptualization, similar structural behaviors need to be analyzed, which after being evaluated become useful for architectural design. This process will allow for the integration of a unique and adequate conceptual frame for solving the spatial organization of each particular problem. At the same time, structural analysis adds to the options available for decision making as architectural spaces are being conceptualized.

Also, the three dimensional conception of spaces given by the knowledge of the structural design opens the possibilities of understanding architectural design in a different way, which is consolidated through the knowledge of the effects of the law of gravity over the materials and the structural behavior of these same materials.

3. The architectural design must be able to express its values through the reading of forms and structural elements. To this effect, it is necessary to verify the concepts and some theories that, in the practice of architecture, have made possible to identify the nature of the structures that act as the loading frameworks; in other words, to have access to the knowledge needed for the production and application of structural diagrams from a formal structural conceptualization such as to integrate them in a single end result: the binomial framework-skin that gives constructive expression to architectural spaces.

4. The present thesis also hopes to establish that architectural and structural designs form a moiety that must be conceptualized together, because this is the only way of creating an efficient architecture. In order to substantiate this proposal, an analysis is made of the structural solutions in the works of renowned architects that have conceived the formal and structural conceptualization as an integrated whole.

Finally, as a complement to this thesis, an analysis is presented of the postmodern deconstructive school, a trend that conceives architecture as an integral product of form and structure and that establishes principles, including philosophical, to attain such conceptualized designs.

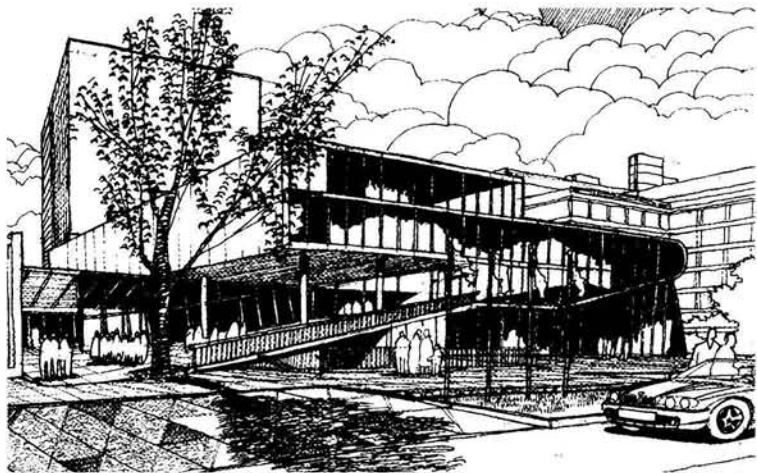
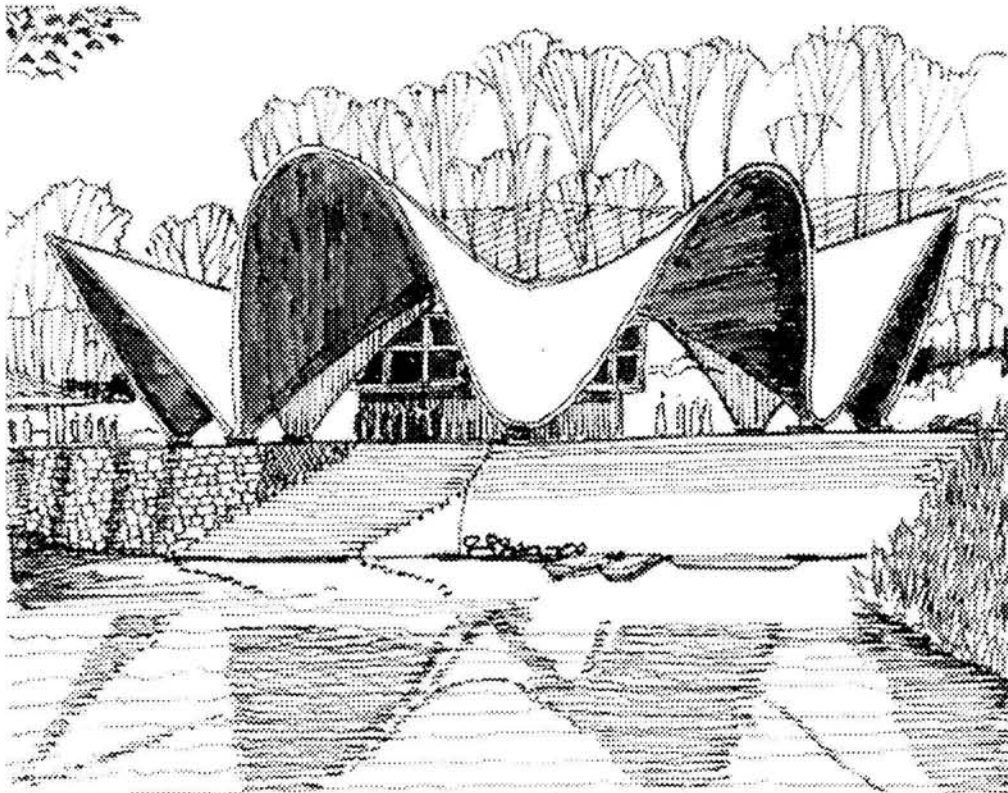


Fig.002
Auditorio de la Universidad de Utrecht, Holanda 1993-1997. Arq. Rem Koolhaas. Estructura mixta de concreto y acero, recubierta de cristal. El "Educaorium " un nombre inventado alusivo a lo que será una fabrica de aprendizaje".



Los Manantiales, Xochimilco . Proyecto : Arqs. Joaquín y Fernando Álvarez Ordóñez ; Estructurista : Arq. e Ing. Félix Candela

"Al enfrentarse a un problema debe ignorarse todo lo que se considere irrelevante, abstrayendo lo esencial. Cuando se descubre lo esencial, todo se vuelve sencillo."

Félix Candela

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

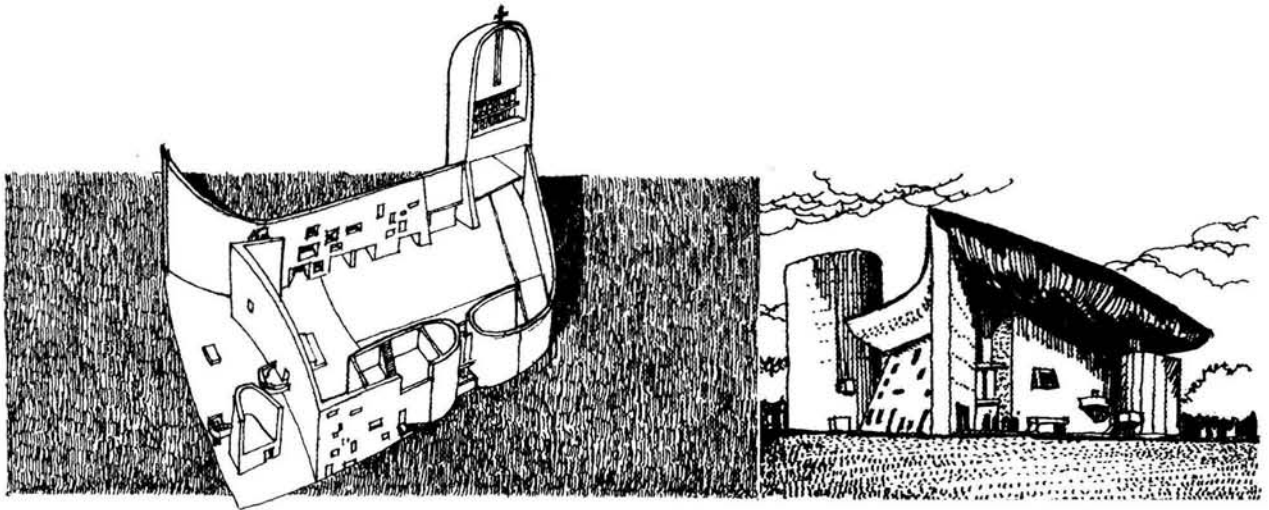


Fig. 1

Espacio que las formas crean: Conceptualización de las formas. Iglesia de Notre Dame du Haut en la Romchamp, Francia 1950; Le Corbusier.

INTRODUCCIÓN

Los grandes cambios que se han dado en la Arquitectura han tenido como base las innovaciones tecnológicas y estructurales. Así ocurrió en su momento en el gótico, en el Renacimiento y en el siglo XX, con el funcionalismo. Ese espíritu renovador que dejaron plasmado los grandes teóricos -como lo fue en su momento Le Corbusier¹- (Fig. 1) nos permite a los arquitectos contemporáneos extender nuestra manera de crear y de diseñar los espacios hasta límites antes inimaginables.

Le Corbusier -al pensar en la pequeña casa que proyectó en 1920- ya planteaba que la arquitectura debería crearse con elementos modulados. Él lo describió así: la "simplificación de la fuente de luz, una abertura a cada lado, dos muros de carga laterales y una losa plana: Una verdadera caja para usarse como casa" (Fig. 2). Pero pudo hacerlo porque ya existían las estructuras de acero.

El presente trabajo pretende conducir a la revaloración de la relación existente entre la línea invisible que nos proporciona la conceptualización estructural del objeto

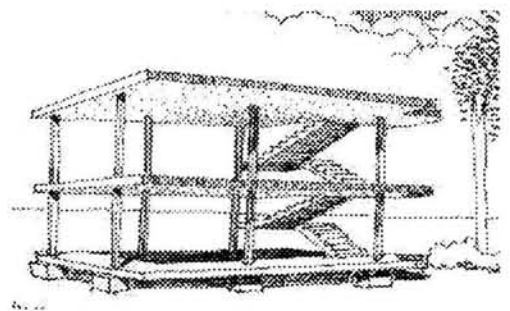


Fig. 2

Esquema estructural de la *Maison dom-ino* (1914), icono de la arquitectura y la construcción contemporánea; Le Corbusier.

¹ **Le Corbusier** o Charles-Edouard Jeanneret nació el 6 de octubre de 1887 en La Chaux-de-Fonds, Suiza. Creó un sistema de modulación antropométrica denominada "*Modular*".

Arquitectónico y su expresión formal, como respuesta a la demanda social, cultural, técnica y estética.

Para lograrlo, será necesario juzgar nuestra participación dentro del hacer actual de la Arquitectura, especialmente ante las soluciones prefabricadas, ante las demandas urgentes de atención a las necesidades sociales de espacios habitable

El camino más conveniente para realizar este juicio, empezaría por jerarquizar los valores principales que deben regir el que hacer arquitectónico. Cabe aquí la reflexión muy profunda sobre la conveniencia de continuar diseñando espacios que por tener como principal parámetro de valor la originalidad formal, se han vuelto carentes de sentido propio. Y esto es debido en parte, a que al realizar el diseño arquitectónico se usa siempre la misma estructura, sólo se cambia la piel. Tal como lo expresó Le Corbusier, la Arquitectura es "luz, espacios libres, volúmenes, integración con el paisaje, abrigo, monumento ideología"² Pero esto se ha olvidado, dígame sino la arquitectura de interés social, una arquitectura tan normalizada, prefabricada e industrializada, que ha perdido su verdadero sentido debemos reconsiderar que en la práctica, el proyecto corresponde a una realidad plasmada en una construcción, y que es el proceso mental que conduce a ella y a su resultado final, lo que constituye y da vida a la Arquitectura

con necesidad de diseñar objetos útiles o espacios bellos para albergar diferentes actividades humanas, es universal. Pero el diseñador puede perfeccionarla hasta llegar a la excelencia estructural como en la silla Barcelona (Fig. 3) de Mies Van der. Rohe); O refinar formas geométricas tradicionales, sustituyendo toscos materiales arquitectónicos por otros muy finos (como en la Pirámide de cristal y acero del Museo de Louvre (Fig. 4) de Ieoh Ming Pei); o aplicar con maestría los principios estructurales y la alta tecnología actual como en el Banco de Shanghai en Hong Kong (Fig. 5) de Ieoh Ming Pei

En todos estos casos, uno de los mayores compromisos que adquirió el diseñador –y que influyó para que su obra trascendiera - fue el dar una importancia capital a la conceptualización estructural

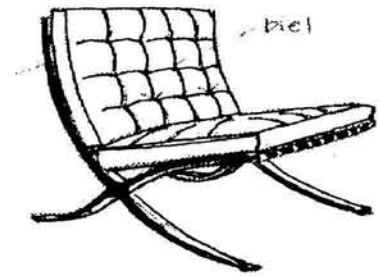


Fig. 3
Perfección en la expresión estructural:
Mies van der Rohe
Silla Barcelona – 1929
Estructura metálica y asiento de piel

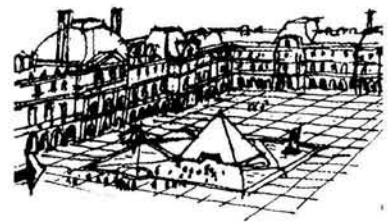


Fig. 4
Refinamiento y alta tecnología:
Pei, Ieoh Ming ;Pirámide de Louvre,
Paris, Francia, 1984 -1986

² Cita tomada de Stroeder, Joao; *Arquitectura y Construcción: Teorías de la Arquitectura*; Editorial Trillas, México, 1994, p. 92.

Sin embargo, esta conceptualización sin la jerarquización, el orden, la lógica y la relación entre las partes y el todo, puede dar lugar a graves errores. Así, el estructuralismo, a igual que el funcionalismo, fracasaron cuando la quisieron aplicar exclusivamente con fines estéticos"³.

Esto ya lo intuía Alberti⁴ cuando explicaba conceptualización de lo bello: *"Para ser breve como sea posible, definiré belleza como la armonía entre todas las partes, aparezcan donde aparezcan, unidas con tal proporción y conexión que sea imposible añadir nada excluir o alterar cosa alguna"*.

Podremos entonces hablar de estructuras bellas Si logramos conceptualizarlas de manera integrada e integral Y cuando esto se logra, se hacen tangibles de un manera natural, casi fluida, el conjunto de elementos restantes que permitirían materializarlas ideas espaciales, volumétricas, figurativas y por lo tanto, de orden constructivo, que por lo mismo, se integrarán más fácilmente al contexto urbano (Fig.6).Cada uno de los componentes de diseño son importantes, pero todos, absolutamente todos, quedarán afectados invariablemente por la estructura, por la concepción espacial que contiene al objeto arquitectónico.

La percepción de la forma y del espacio deberá ser, por tanto, los elementos conceptuales que establezcan los diagramas estructurales que constituirán la identidad y las características de los espacios arquitectónicos diseñados para ser construidos.

Las nuevas técnicas de producción arquitectónica en serie, que han dado como resultado una arquitectura industrializada,"estandarizada" -diríamos modulada-, ha provocado un nuevo modo de hacer de la arquitectura. Pero sostenemos que el objeto arquitectónico debe



Fig.5

Idea espacial, elegancia formal y eficiencia funcional en una composición estructural trapezoidal con bastidores triangulares. Banco Shanghai en Hong Kong, China, Arq. Ieoh Ming Pei.

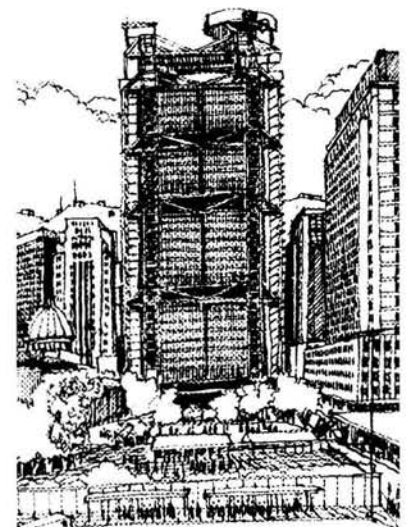


Fig. 6

Estructura que hace parte integrante de medio ambiente al contexto urbano Banco de Hong Kong, Hong Kong, China 1980 – 1986, Arq. Norman Foster

³ STROETER, Joao Rodolfo, « Teorías de la Arquitectura », pag. 50, Editorial Trillas.

⁴ ALBERTI, León Battista, arquitecto renacentista; nació en Venecia en 1404 y murió en 1472.

contemplar algo más que lo industrializado, que lo modulado por la fabricación en serie; algo más que la reproducción repetida hasta el cansancio: la creatividad en arquitectura se fundamenta en el conocimiento de los materiales y sus posibles aplicaciones, no en la inspiración divina

La capacidad de hacer propuestas innovadoras, surge en mucho del conocimiento de las diversas posibilidades estructurales integradas al proceso de diseño arquitectónico como un engranaje único e indisoluble: piel y esqueleto como una sola expresión de la forma arquitectónica. Pero para conocer ese mundo de posibilidades estructurales, y poder a través de ellas conceptualizar espacios que resuelvan integralmente y de manera óptima los diversos requerimientos funcionales, estéticos, de bienestar, psicológicos, culturales, económicos e incluso de integración con el entorno urbano; es necesario saber cómo acceder a dicha conceptualización estructural.

Esta tesis pretende dar los criterios y lineamientos generales para acceder a ella, de modo tal que el arquitecto, con su talento creativo, pueda desarrollar una aproximación propia al problema de conjugar las necesidades del diseño con estructuras realmente eficientes y bellas. (Figs. 6ª, 6b, 6c)

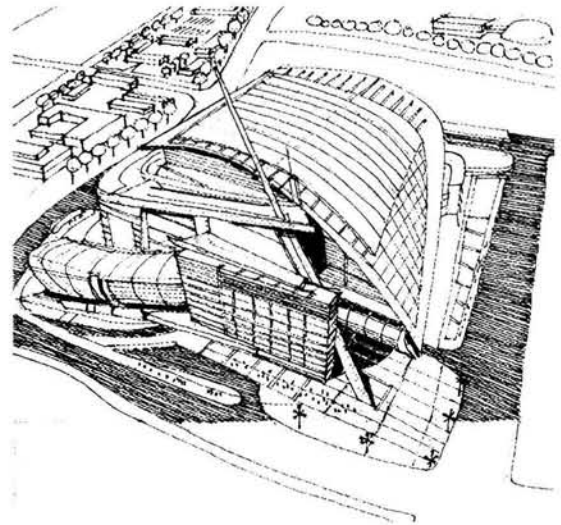


Fig. 6ª
Estadio de béisbol multifuncional 2002 NBBJ: Cúpula de Seúl, Corea Estructura metálica, cubierta metálica curva
Arqs. Jim Jonassen y Peter Pran

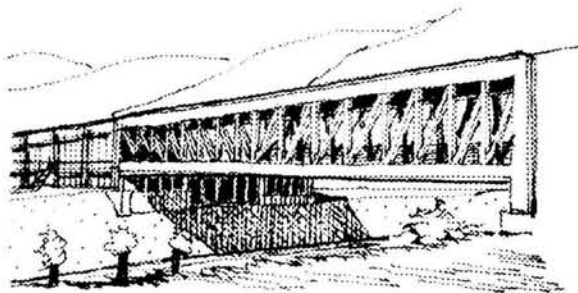


Fig. 6b
Arq. Graig Ellwood Colegio de diseño, Centro de arte: Pasadena California, E.U.A 1970-1975,puente central y ala sur.

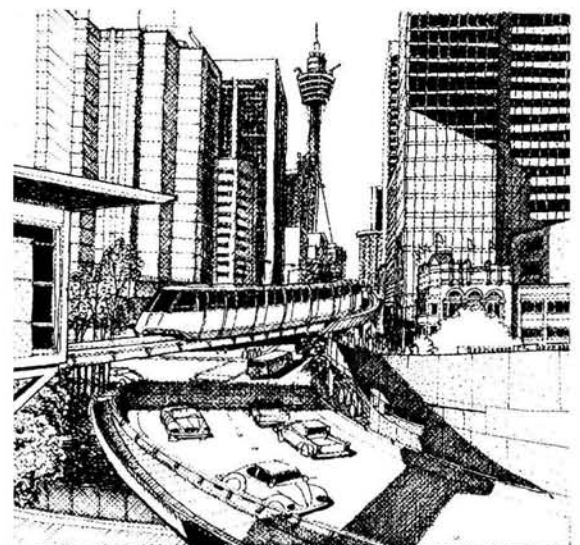


Fig. 6c
Cento de la ciudad de Sydney AustraliaAl fondo estructura monumental del centro de comunicaciones, al frente monorriel aérea e infraestructura vial y arquitectura contemporánea

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia, la Arquitectura ha manifestado cambios radicales en su concepción espacial, y éstos han tenido siempre como base, el desarrollo de la tecnología, de los materiales y de los métodos constructivos; EL mejor y más amplio conocimiento estructural es el sustento de mejores y eficientes soluciones del diseño arquitectónico

A partir de conocer las propiedades físicas y químicas de los materiales y sus posibilidades tecnológicas, se han conformado nuevas formas estructurales, que han permitido a la Arquitectura adquirir lenguajes propios para cada época y cada demanda (Fig. 7)

Pero si lo anterior es cierto, entonces ¿Sólo puede haber una nueva expresión formal en el diseño arquitectónico a partir de una nueva posibilidad estructural?

La respuesta da fundamento a este trabajo y queda expresada en el planteamiento siguiente:

Los principales cambios en la Arquitectura, se originan a través de innovaciones tecnológicas que responden a las demandas de movilidad y de adaptabilidad de los espacios, de sus relaciones y funciones. Estos cambios están supeditados a la conceptualización estructural que, integrada en paralelo con todos los demás aspectos que influyen en el diseño, permiten formar un binomio de organización entre la estructura que porta y carga el cuerpo, y la *piel* que cubre la obra arquitectónica (Fig. 8)

Entendemos que la conceptualización estructural es una parte inherente al proceso de diseño arquitectónico y que desde los tiempos más remotos el cuerpo soportante (esqueleto) y la configuración formal del espacio (piel) ha formado un binomio indisoluble. Ligadas a la configuración de espacios, las estructuras se han hecho presentes en la Arquitectura, determinando las formas exteriores a través del soporte interno que las genera.

Los seres humanos han ido poco a poco entendiendo y dominando las fuerzas de la Naturaleza.



Fig. 7
Dolmen, Poulhabrone, Irlanda. Piedra caliza 3800-3200 a.C. Columnas y techumbre megalíticas (Megalitos)

En lo que respecta a la Arquitectura, han logrado desafiar los retos de la gravedad, arribando a edificaciones de dimensiones y proporciones capaces de retar al espacio en que se ubican; Audaces esqueletos producto de originales conceptualizaciones estructurales.

La ciencia ha tenido una influencia fundamental en el desarrollo de estos cambios: el estudio de los materiales, la innovación y el mejoramiento de los mismos, ha permitido trabajar con elementos variados casi indestructibles. Ha puesto al alcance de la mano, los recursos técnicos necesarios para el cálculo de sus componentes y sus resistencias, de las condiciones de trabajo a tensión y compresión, de sus posibilidades de durabilidad y de desgaste.

Todos estos conocimientos han dado un sentido de movilidad tal a la conceptualización formal - estructural, que se ha abierto un abanico de posibilidades formales, prácticamente inagotable.

Por tanto, la conceptualización estructural, como un sistema integrado e integrador del diseño arquitectónico, posibilita propuestas formales coherentes e inagotables, permitiendo prever y seleccionar las técnicas más adecuadas para estructurar los espacios y desarrollar la creatividad (Fig. 7a)

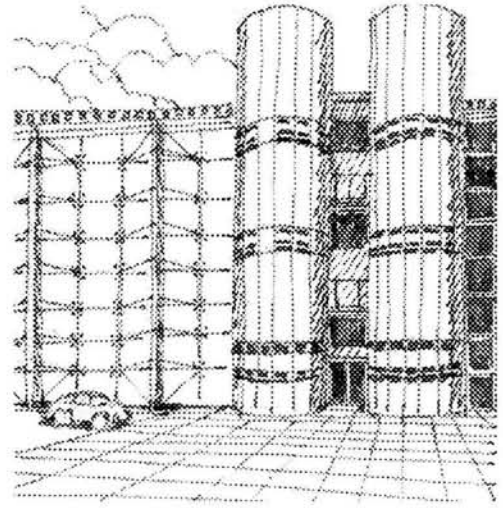


Fig. 7a

La concepción estructural posibilita propuestas formales coherentes e inagotables, Conocimiento y experiencia en el diseño de estructuras; Cuerpo de cristal con aluminio (fachada) Arq. Nicholas Grimshaw, Financial Times Printing Works 1987-1988 Londres, Gran Bretaña

HIPÓTESIS

: Si la obra arquitectónica ha sido desde siempre una respuesta a las posibilidades estructurales, y a partir de ellas se trazó; el proceso de diseño que actualmente rige en la arquitectura está degenerado, ya que no responde a una lógica estructural, sino a conceptualizaciones formales absolutamente subjetivas, en las que la estructura cumple un papel secundario.

Este trabajo plantea y pretende demostrar que **la correcta concepción del espacio arquitectónico es el resultado de una elección adecuada de la estructura que le da soporte.**

Si esto es cierto, se hace necesario volver a dar coherencia al proceso de diseño, haciendo que desde su concepción se incluya el diseño estructural.

Para demostrar esta hipótesis se sugieren las siguientes variables:

- Los sistemas estructurales como elementos inherentes al diseño arquitectónico, se constituyen en la variable dependiente de la hipótesis de trabajo; esto queda referido a la presencia de las estructuras como el elemento sustentante del espacio arquitectónico.
- Las formas específicas que tome el espacio arquitectónico y sus valores de diseño, identificados como dimensión, proporción, escala y función, dependen de la elección del sistema estructural, pero no son inherentes a él; son por tanto, la variable independiente de esta propuesta.
- La correcta concepción del espacio arquitectónico es el resultado de una elección adecuada de la estructura que le da soporte. Los avances tecnológicos y sus posibilidades de aplicación en la solución de los espacios, entendidos como herramientas del diseño arquitectónico, son la variable interventora sobre la cual se estructura la hipótesis.
- El diseño del espacio arquitectónico adecuado a la actividad para la que se ha previsto, será la variable consecuente; en este caso entendido como la elección de las formas estructurales, resultantes entre otras cosas, del conocimiento de las propiedades
- De los materiales y técnicas constructivas y del entorno urbano - ambiental.

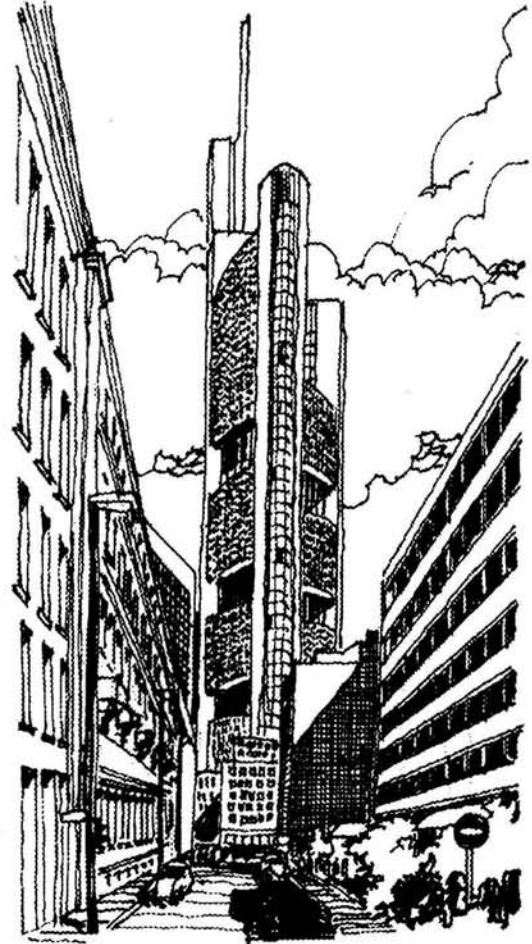
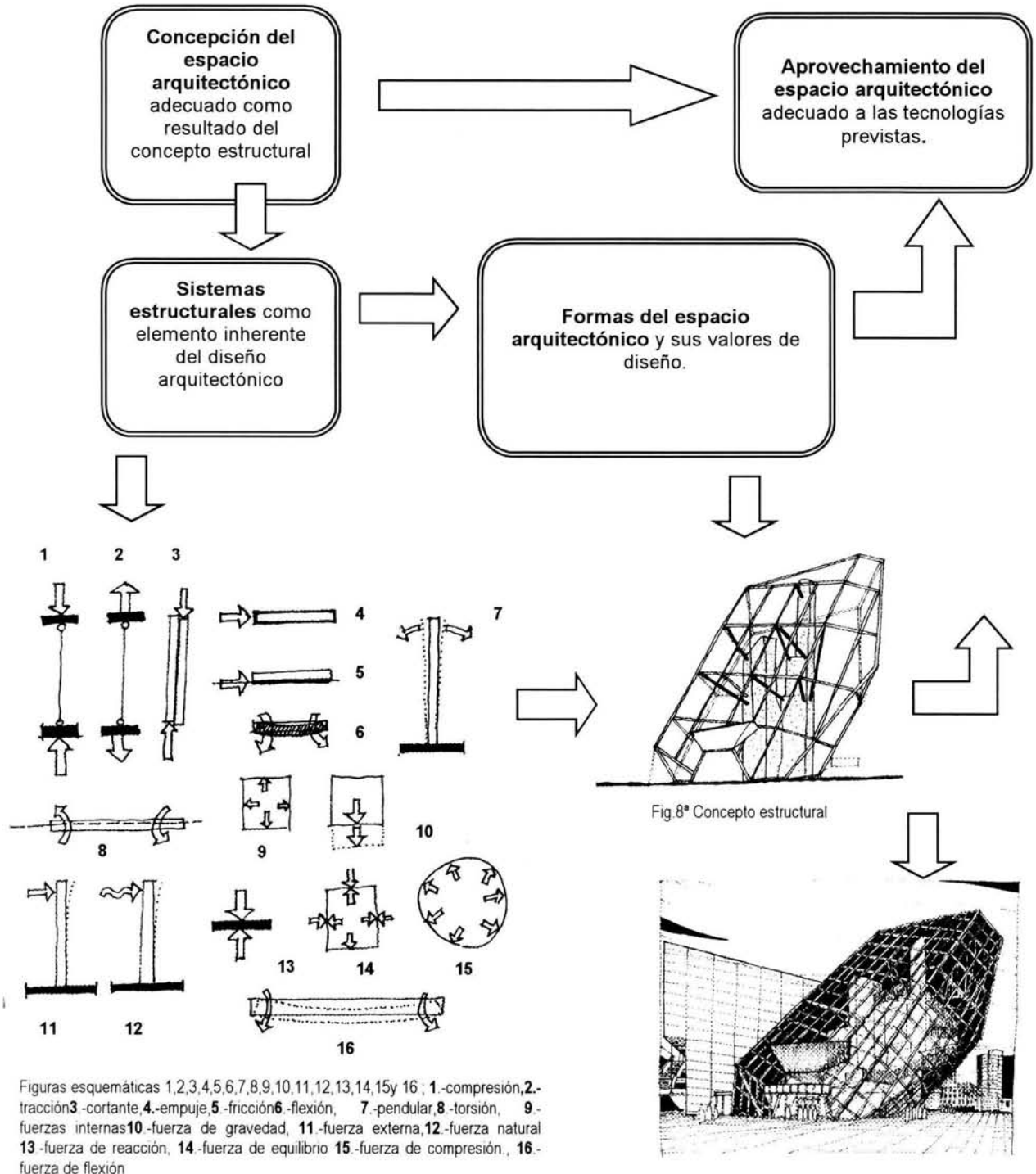


Fig. 8
La correcta concepción del espacio arquitectónico es el resultado de una adecuada elección de la estructura que le da soporte. Commerzbank, Frankfurt, Alemania, 1997. Arq. Norman Foster.

Operatividad de las variables

La relación gráfica entre estas variables queda entendida en el siguiente cuadro:



Figuras esquemáticas 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15y 16 ; 1.-compresión,2.-tracción,3.-cortante,4.-empuje,5.-fricción,6.-flexión, 7.-pendular,8.-torsión, 9.-fuerzas internas,10.-fuerza de gravedad, 11.-fuerza externa,12.-fuerza natural,13.-fuerza de reacción, 14.-fuerza de equilibrio, 15.-fuerza de compresión, 16.-fuerza de flexión

FUNDAMENTACIÓN

1. El por qué es fundamental la conceptualización estructural en el diseño arquitectónico, lo han demostrado muchos grandes arquitectos que también han sido grandes estructuristas.

Así, Frei Otto⁴ abrió un nuevo campo hacia el diseño estructural, auxiliado en una muy original concepción del espacio: "los materiales se conceptualizan en la esencia del espíritu del diseño arquitectónico, al transformar los espacios en habitabilidad y libertad". Su quehacer se encaminó hacia la posibilidad de construir cubiertas ligeras que pudieran cubrir grandes claros mediante estructuras geométricas auto-sustentantes, las cuales llevó al nivel de arte.

Sus diseños parten de estructuras naturales que él vuelve factibles utilizando tecnología de vanguardia. Fue pionero en el uso de sistemas computarizados para determinar la forma y comportamiento de las estructuras y creó pabellones compuestos por membranas primarias en series aditivas, desarrollando cubiertas convertibles con geometría variable (Fig. 13).

A su vez, Félix Candela⁵ conjugó en sus diseños la idea estructura-forma a la solución conceptual. El concreto y la cimbra de madera se combinan en formas que dan vida al espacio y que enriquecen la expresión formal de la obra. Sus profundos conocimientos en diseño estructural y la capacidad-producto de la experiencia de crear nuevas concepciones formales, le permitieron crear diseños versátiles y audaces, únicos en su género (Fig. 9).

Las ideas transmitidas a través de la propuesta y construcción de los cascarones de concreto, comprenden una formalización en la percepción de formas espaciales, que integran la tecnología a los conocimientos científicos en el orden

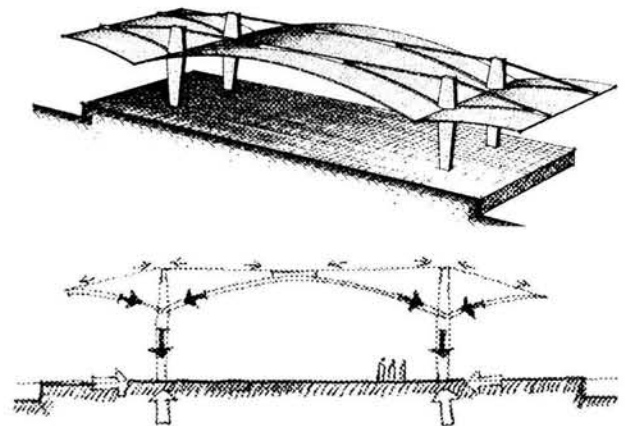


Fig. 9
La idea estructural genera el concepto formal. Conceptualización estructural, Bodega para las aduanas, Vallejo, México D.F. Arq. Carlos Recamier, Estructurista: Arq. Félix Candela.

⁴ **FREI OTTO**, estructurista alemán del siglo XX que tuvo la inteligencia e imaginación suficientes para transformar formas constructivas de la naturaleza en formas artificiales.

⁵ **FELIX CANDELA**, arquitecto y estructurista español del siglo XX, que realizó parte de su obra en México.

del cálculo estructural. Comunican que el diseño arquitectónico, más exactamente, las propuestas del concepto formal, se inician en un conocimiento profundo de las estructuras de concreto; conocimiento que está dado por los conceptos de tensiones y compresiones que por su misma naturaleza tiene el concreto armado.

Y precisamente gracias a este conocimiento, Santiago Calatrava⁶ ha creado obras absolutamente extraordinarias utilizando acero y hormigón armado, e incluso acero y hormigón combinados (Figura. 10) y (Figura 11)

Interrelacionadas por un alto grado de conocimiento del equilibrio estructural y la economía de materiales, sus estructuras vencen la gravedad y se adaptan a todas las formas y funciones: Puentes, espacios abiertos o cerrados, e incluso estructuras *kinéticas*.

Norman Foster, representante de la corriente *High Tech*, es otro extraordinario arquitecto que ha sabido crear espacios vanguardistas a través de estructuras de vidrio y acero, materiales fundamentales en su obra. (Fig. 12)

2. La conceptualización estructural, entendida como la conjugación del cálculo estructural con las posibilidades estéticas, permite la integración de las formas estructurales y los conceptos arquitectónicos, de manera tal, que pueden surgir conceptos formales coherentes y absolutamente estéticos (Fig. 13) y (Fig. 14) con un alto grado de libertad formal

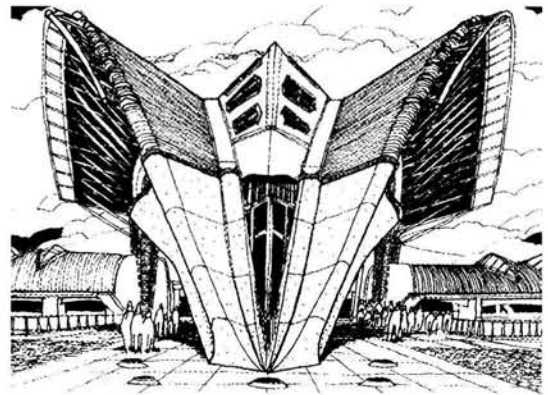


Fig. 10
Arq. Santiago Calatrava; Estación para pasajeros en Lyon, Francia.

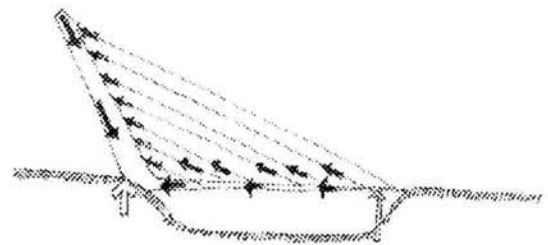


Fig. 11
Cubierta colgante con estructura de concreto y cuerdas tensionadas. **conceptualización estructural-formal.** Puente "Sevilla 92", Arq. Santiago Calatrava.

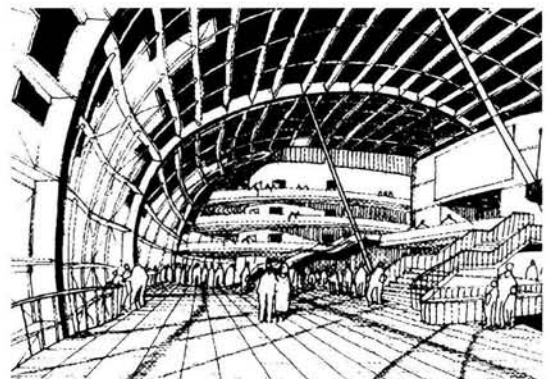


Fig. 12
Music Center Gates Head, New Castel, Inglaterra.
Norman Foster

⁶ SANTIAGO CALATRAVA, destacado arquitecto y estructurista español contemporáneo.

La naturaleza marca los principios que rigen la construcción humana. Todos los elementos que conforman los espacios construidos están regidos

Por la gravedad, la tensión y la compresión de los materiales: leyes físicas que son comunes y de las que no es posible abstraerse (Fig. 15)

Partiendo de una concepción estructural, el diseño de los espacios se resuelve de manera fluida, posibilitando grandes claros y concepciones volumétricas de formas prácticamente ilimitadas que se manifiestan mediante membranas, cuerdas, redes y otros dispositivos a tensión o compresión (Fig. 16).

El diseño estructural no solamente habilita al arquitecto para concebir espacios inimaginables, sino que le permite desarrollar un pensamiento tridimensional. El desarrollo creativo que se alcanza al conceptualizar estructuralmente, permite materializar formas únicas, inusitadas. Como prueba de ello están las obras de Frei Otto, Félix Candela, Pier Luigi. Nervi, Santiago Calatrava y Norman Foster, entre otros.

La arquitectura reclama el derecho de antigüedad en el uso de las cubiertas colgantes. Las cuevas siguen un perfil de piedras dispuestas en un arco estructuralmente constituido por materiales en compresión y nos dan la clave para imaginar la evolución en el concepto espacial de la morada humana.

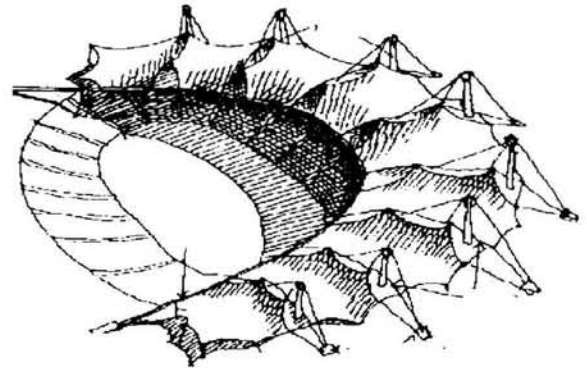


Fig. 13
Estructura de Frei Otto para el estadio olímpico de Munich, 1972

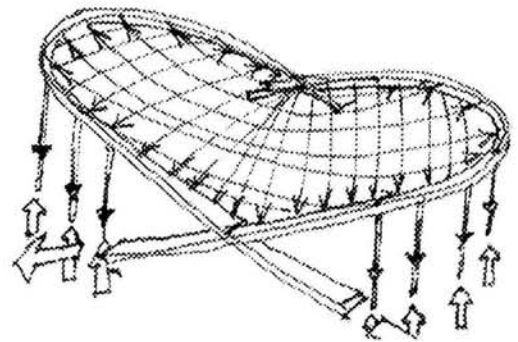


Fig. 14
Los materiales se transforman y logran que se alcance un alto grado de libertad. Estructura de redes mediante cuerdas pretensadas entre dos arcos inclinados. La arena Raleigh, Berlín Alemania, 1953 Arq. William Hendry Detrick Estructurista. Ing. Fred Severo

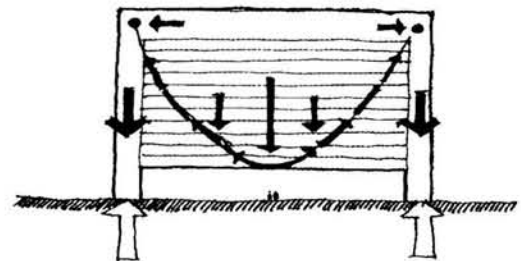


Fig. 15
Leyes físicas de las que no se puede abstraer la arquitectura. Diagrama de tensiones y compresiones de los materiales; Conceptualización estructural del edificio del banco de la reserva federal E.U.A. Arq. G. Birkerts, Ing. Estructurista Skillin Helle Cristiensen y Robertson.

OBJETIVOS

Tres son los objetivos fundamentales de esta tesis, los cuales a su vez, quedan establecidos dentro de tres distintos campos específicos de análisis:

- La identificación de las características estructurales que gobiernan el diseño arquitectónico, para conocer en qué radica la eficiencia de las estructuras;
- El conocimiento de la importancia que tiene la estructura como el esqueleto que sustenta la forma y por tanto la de su conceptualización;
- La necesidad de que exista la enseñanza teórico-práctica del diseño estructural, como un fundamento que permita identificar, analizar y elegir la opción más adecuada para el diseño conceptual de los espacios arquitectónicos.

De manera más específica esta tesis busca:

- Definir y sistematizar la conceptualización estructural.
- Analizar la producción de formas estructuralmente racionales, que permitan la economía de los materiales.
- Estudiar los enfoques sistemáticos del diseño estructural, de manera tal que puedan ser integrados en el proceso proyectual
- Comunicar la importancia del diseño estructural como la materia que da forma y sustento a la arquitectura.
- Propiciar la integración creativa de la conceptualización estructural en el diseño arquitectónico;
- Entender que las estructuras son los elementos que soportan los espacios, y que son los espacios la parte medular del diseño

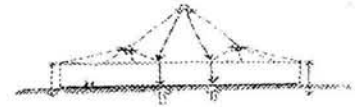
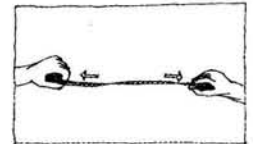


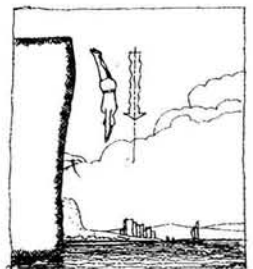
Fig. 16
Grandes claros, La materia conformada en membranas, cuerdas, redes y dispositivos a tensión y compresión. Diagrama conceptual estructural proyecto: Complejo de la Renault en el Reino Unido Arq. Norman Foster



1



2



3

Enseñanza teórico-práctica:
Planteamiento de problemas estructurales a partir de la observación de casos: las fuerzas de 1 tensión 2 compresión, y de 3 gravedad

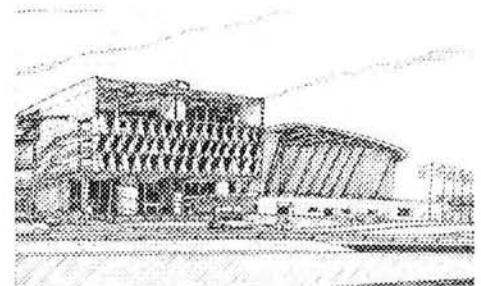


Fig. 18
Estructura que soporta el espacio, espacio que modula el diseño, Congrexpo en Lille, Francia 1990 – 1994, Arq. Rem Koolhaas. Diseño arquitectónico. Ovr Arup. Diseño estructural. Estructura híbrida

Los objetivos generales de este trabajo (la tipificación de las características estructurales de los diferentes espacios que conforman la arquitectura; la importancia de la estructura en el diseño arquitectónico; la necesidad de sistematizar la enseñanza de la conceptualización estructural) tienen su razón en las siguientes causas:

- **CAUSA MATERIAL:** Las formas diseñadas mediante una conceptualizaciones estructurales se materializan con coherencia y economía (Fig. 19) Ver Fig. 19 mediante la conceptualización estructural se materializan formas coherentes
- **CAUSA TECNOLÓGICA:** El diseño estructural es el soporte físico del diseño arquitectónico. (Fig.20) Ver Fig. 20 el diseño estructural es el soporte físico del diseño arquitectónico
- **CAUSA ARTÍSTICA:** La estructura se concibe en términos estéticos a través de sus componentes rítmicos (Fig. 21) Ver Fig. 21 Estructura de arquería articulada. Mezquita de Córdoba, 870 d. Cabd al-Rahman I.
- **CAUSA TEÓRICA:** La conceptualización estructural se relaciona con el diseño arquitectónico a través de la fusión de dos conceptos: diseño arquitectónico y diseño estructural; Que darán la idea conceptual al proyecto arquitectónico.(Fig. 22) Ver Fig. 22 espacios que han sido creados mediante la conceptualizacion estructural. Yasufumi Kwima, Santuario Matsuo; Kumamoto, Japón(dibujo conceptual, 1977).
- **CAUSA DIDÁCTICA CULTURAL:**
- En la enseñanza de la Arquitectura ha perdido valor el diseño estructural. Se ha minimizado la importancia de la relación entre la piel y el esqueleto, conceptos que deben entenderse integralmente. Su desvinculación pervierte la esencia de la Arquitectura, porque aleja el soporte físico, de la envoltura. (Fig. 23) Ver Fig. 23 El diseño estructural ha perdido valor en la enseñanza de la arquitectura. (protoestructura típica de la arquitectura moderna causas formales) Los conocimientos estructurales han conformado una nueva generación de arquitectos con una perspectiva distinta respecto del diseño arquitectónico, creando espacios audaces, estéticos y formalmente coherentes (Fig. 24)

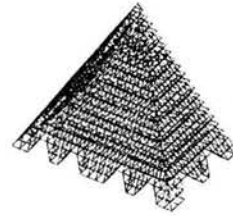


Fig. 19

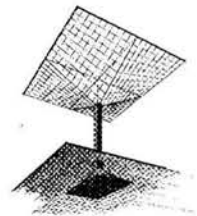


Fig. 20

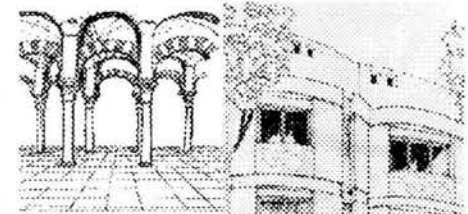


Fig. 21

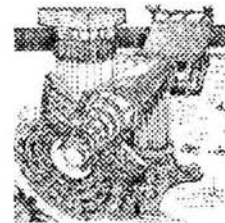


Fig. 22

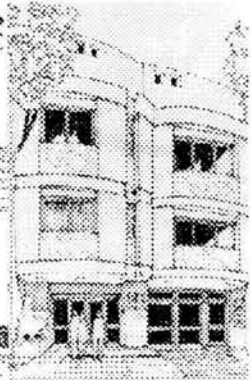


Fig. 23

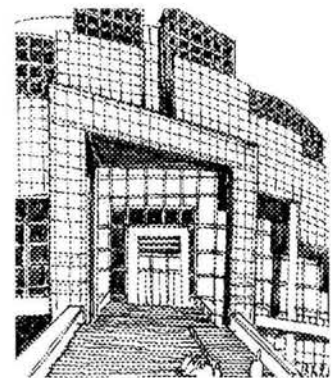
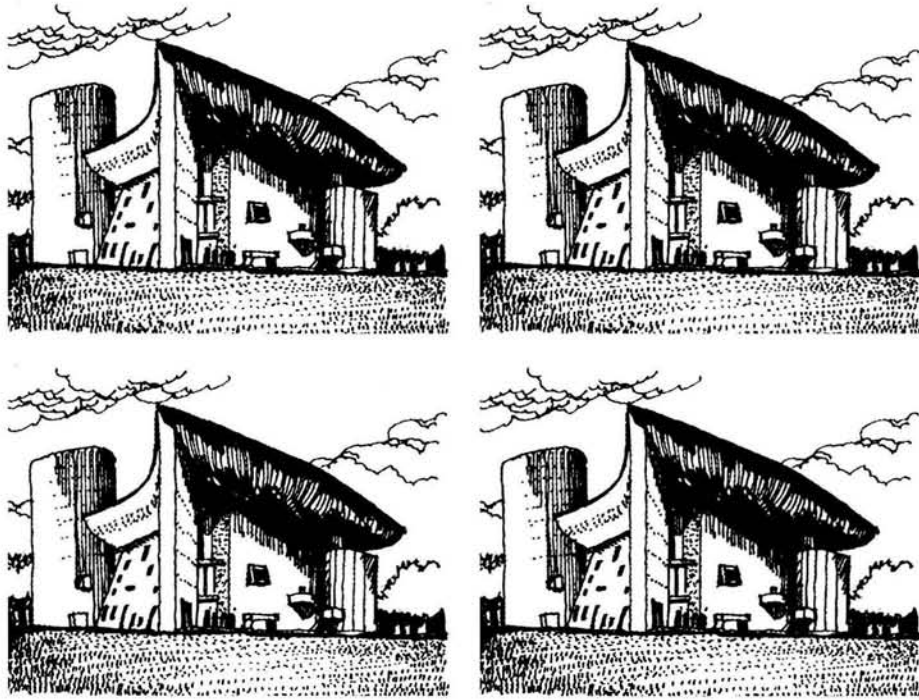


Fig. 24

El espíritu del proyecto, condicionante fundamental en las nuevas generaciones de arquitectos. Carlos Ott, Opera de la Bastille 1985-1989, Paris, Francia. arquitectura moderna, formalista, estética, polivalente y pragmática



Iglesia de Notre Dame Du Haut en La Ronchamp , Francia 1950. Arq. Le Corbusier +1965

“La Arquitectura es un hecho artístico, un fenómeno emocional sin relación con los problemas de la construcción.

La construcción es para sostener, la arquitectura es para emocionar”.

Le Corbusier.

CAPÍTULO I

LA CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL: SU SUSTENTO TEÓRICO

1.1 DEFINICIONES

Definiciones

Para poder hacer el análisis del diseño arquitectónico a través de sus conceptualizaciones estructurales, título de este trabajo, es necesario primero definir qué es el diseño arquitectónico y qué es la conceptualización estructural, así como dar algunos ejemplos de ésta última.

Por **diseño arquitectónico** se entiende el proceso creativo mediante el cual se integran ordenadamente los valores del conocimiento del espacio (comprendido éste como la adecuación de la segunda dimensión con la tercera). Esta adecuación tiene sentido sólo cuando se ha relacionado con aspectos estéticos, formales, de proporción, estructurales, culturales y sociales, climáticos, de funcionalidad, antropométricos y ergonómicos (Fig. 24)

Por **conceptualización estructural** debe entenderse el conocimiento físico del comportamiento de los materiales que integrarán una estructura: su peso específico, resistencia, comportamiento a la tensión, a la compresión y fricción y todas las variantes expresadas en la p.13, de las figuras esquemáticas de la 1 a la 16.

Para la enseñanza de la conceptualización estructural se utilizan los diagramas de fuerzas y reacciones, los cuales es conveniente que sean hechos tridimensionalmente, para facilitar su comprensión (ver Figs. 25, 26, 27 y 28)

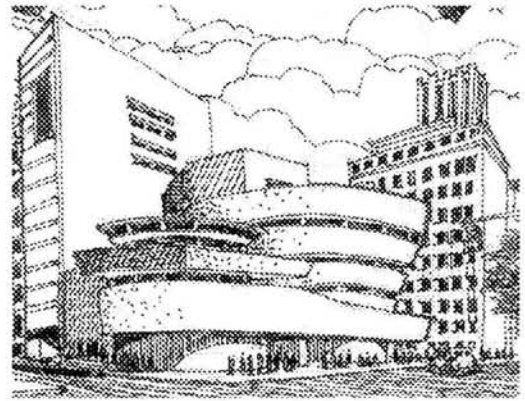


Fig. 24

Diseño arquitectónico que sintetiza los conceptos bidimensionales y tridimensionales al concepto estructural y plástico, integrando los aspectos de funcionalidad, de proporción, etc. Museo Guggenheim, New York, 1959. Frank Lloyd Wright Estructura de bloques de hormigón, Edificio helicoidal

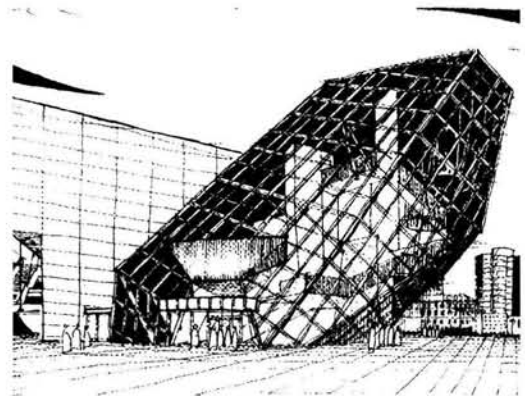


Fig. 25

Acceso a una unidad de cines en Dresden, Alemania, Arqs. Coop Himmelblau, La lógica estructural que rigió por siglos la arquitectura, fue modificada radicalmente por el deconstructivismo.

Una nueva conceptualización estructural que se originó con el deconstructivismo, modificó radicalmente la lógica estructural y por tanto, el diseño formal, rompiendo con las estructuras lineales y rígidas de la arquitectura funcionalista".

Así, al comparar las estructuras rígidas y lineales (en sentido horizontal-vertical) del connotado arquitecto Mies van der Rohe (Figs. 29 y 29a) con las estructuras discontinuas del arquitecto posmoderno Arq. Santiago Calatrava Vals (Fig. 30) se observan conceptualizaciones estructurales radicalmente distintas: Una protoestructura contra una

estructura descentralizada que genera formas muy originales y dinámicas

Algo muy interesante de señalar es que en el deconstructivismo los complejos cálculos estructurales se transformaron en conceptos lógicos sobre el comportamiento de los materiales. Esta nueva conceptualización estructural permitió diseñar con más flexibilidad y permitió a los arquitectos incursionar en una nueva plasticidad volu-métrica,

en nuevos conceptos plásticos, encontrando así, otros lenguajes arquitectónicos,(Figs 30^a, 32^a) sin el temor que trae implícito el diseño estructural (Fig. 31)

Algo similar ocurrió con algunos exponentes de otras corrientes posmodernas (Figs.

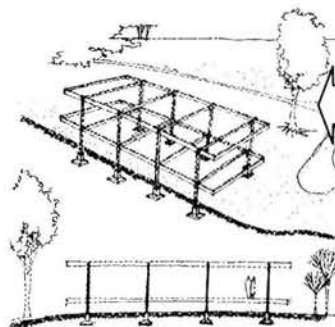


Fig. 29^a
Conceptualización estructural de la Casa Fransworth, Illinois, E.U. 1946-1951 Caja estructurada con ocho pilastras y columnas metálicas

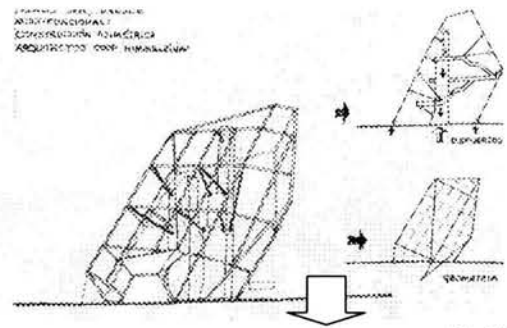
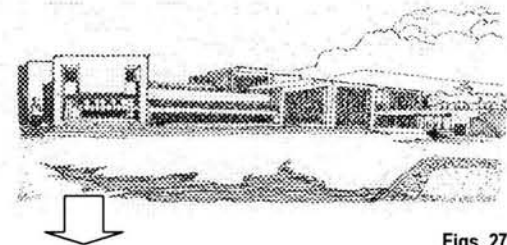


Fig. 26
Conceptualización estructural bidimensional y tridimensional del acceso a la unidad de cines en Dresden, Alemania



Figs. 27
Museo de Artes Visuales en Gumma, Japón y su conceptualización formal Arq. Arata Isozaki

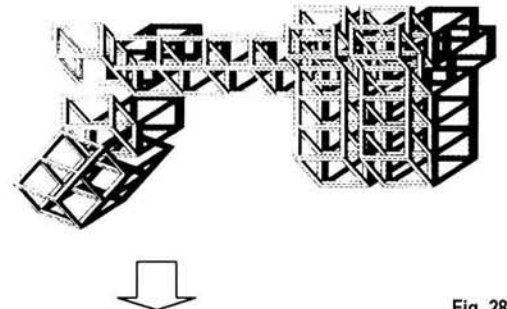


Fig. 28
Conceptualización estructural, Museo Gumma, Japón. Arq. Arata Isozaki

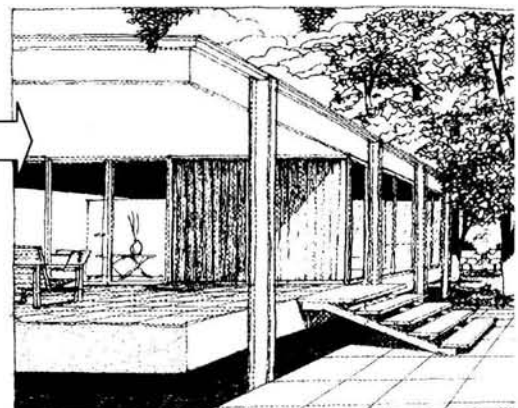


Fig. 29
Casa Fransworth, Illinois, E.U., 1946-1951, Conceptualización formal Ludwig Mies Van Der Rohe

32 y 33)

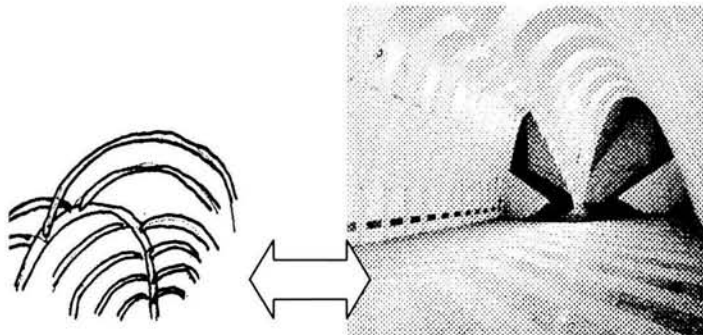


Fig. 30
Plaza de Alcoy, España, Arq. Santiago Calatrava vals diseño estructural descentralizado y discontinuo y biofórmico.

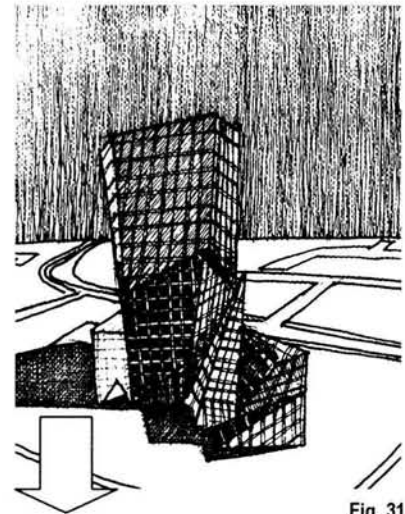


Fig. 31
Nuevos lenguajes arquitectónicos: Disgregación intencionada de elementos, que se consolidan creando un nudo tridimensional de paneles de vidrio. Peter Eisenman, rascacielos Alteka, Tokio, Japón, 1990- 1992.

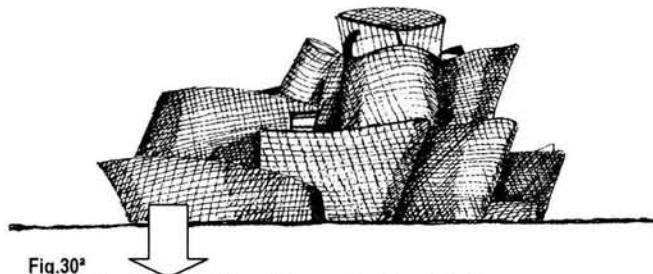


Fig.30a
Museo Guggenheim, Bilbao, España. Arq. Frank O. Gehry , estructura compleja ,arquitectura deconstructiva

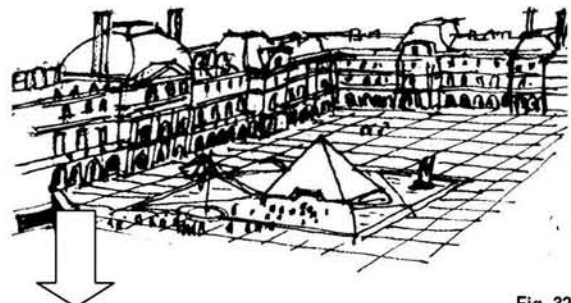


Fig. 32
Nueva plasticidad volumétrica: estructura con elementos en tensión, para soportar una superficie acristalada de varianteimperceptibles en su exterior profundo contraste con el entorno,Arq. leoh Ming Pei ,Pirámide de acceso al Museo del Louvre, Paris, Francia.

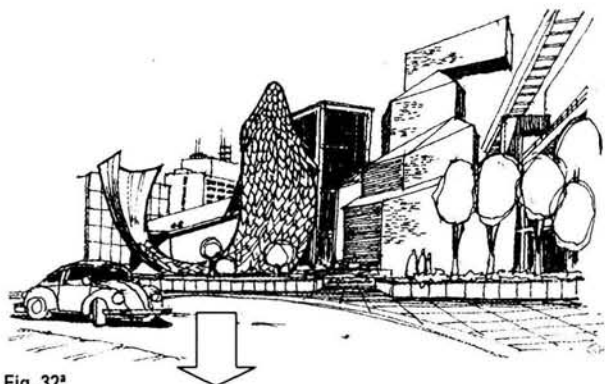


Fig. 32a
Restaurante de productos del mar, Kobe, Japón Arq. Frank O. Gehry diseño estructural descentralizado y discontinuo



Fig. 33
Otras concepciones volumétricas: Bóveda del horno de fundición hecha con una estructura metálica con atiezamientos laterales, recubierta con concreto lanzado; Forma exterior cónico. Museo del vidrio soplado, Tacoma, Washington, E.U.

1.2 TEORIAS

Existen muy pocos teóricos que han incursionado en la conceptualización estructural, y que al mismo tiempo han comprendido que el caos que vive la arquitectura -y por ende el urbanismo- tiene relación con la conceptualización fragmentada, muchas veces absolutamente formalista, del proceso de diseño

En este capitulado se analizarán tres de ellos, contemporáneos todos, que de distinta manera han entendido la importancia que juega la conceptualización estructural en el diseño arquitectónico y han criticado su abandono: Christian Norberg – Schultz, Vittorio Gregotti y Jacques Derrida

NORBERG-SCHULTZ, en su libro *Intenciones en Arquitectura*¹, comenta la crisis de la arquitectura y la afectación que esto causa sobre las otras artes y los demás valores humanos; "el hombre vive un espacio en caos y las ciudades lo reflejan a manera de manifestación física", asegura.

Se interpreta en esta afirmación un tácito desacuerdo entre el arquitecto y la sociedad; es tal vez un intento explicativo de la disociación entre el usuario y la arquitectura; el primero no logra hacerse entender, la obra no responde al planteamiento de las demandas específicas (Fig. 34).

Según Norberg-Schultz, la labor del arquitecto se ha visto limitada por los modelos educativos y la formación profesional se ha visto enclaustrada dentro de conceptos

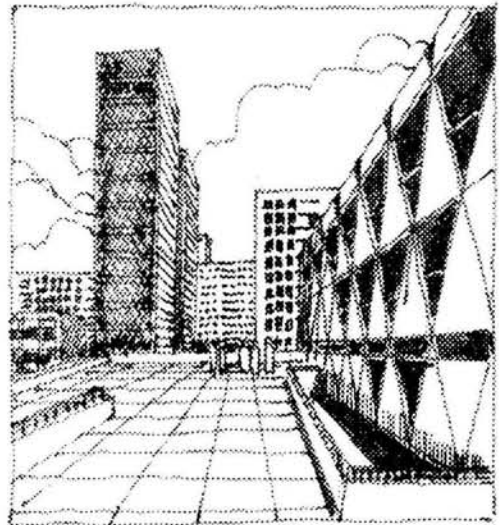


Fig. 34
Entorno urbano incoherente provocado por el fachadismo. Decoración como el mayor valor de la arquitectura. **Mario Pani**, Unidad habitacional Nonoalco-Tlatelolco, México 1964. Estructura de hormigón

¹ **NORBERG-SCHULTZ, Christian.**- *Intenciones en Arquitectura.*- Ed. Gustavo Gili, S.A.- Colección G.G. REPRINTS.- Barcelona, 1998.

antiguos ante necesidades modernas; diferentes en tiempo y espacio en sus contenidos. Se hace necesario entonces, romper los viejos esquemas integrando a profesionales con capacitación adecuada para enfrentarse al mundo actual.

Afirma que actualmente la forma específica de edificio ha perdido identidad con sus funciones y es necesario rescatar las características propias de cada espacio y revalorar sus conceptos a fin de solucionar el conflicto urbano (Fig. 35). El arquitecto se ha alejado de su quehacer conjunto: la eficiencia de los edificios y del medio urbano, buscando la modernidad. Los valores estéticos han sido sustituidos por soluciones escenográficas, de máscara, al intentar hacer una arquitectura que parezca de vanguardia. Ha olvidado la importancia de tener el conocimiento interno de la forma, la conceptualización estructural, que le permitiría la autenticidad entre el fondo y el exterior.

El caos urbano-arquitectónico expresado por Norberg Schultz, es en gran medida, una manifestación de las formas desorganizadas, sin valores internos propios; copias sin conceptos, estructuras sin orden

Para este teórico, la percepción juega en el diseño un papel importante porque establece la conexión entre el individuo y su medio; los fenómenos se encadenan en series de causas y efectos y permiten a la vez establecer una correspondencia entre ambos, atribuyendo características de significado y orden a las cosas. Los seres humanos pueden tener expectativas con respecto a su realidad y a las relaciones de sus objetos, pero es necesario establecer que los parámetros de la cultura y de los valores son relativos, por lo que para crear entornos urbanos coherentes, el hombre deberá tener actitudes lógicas y ordenadas.

Al enfrentarse a nuevas situaciones, el hombre modifica sus esquemas para poder responder ante ellas; son las similitudes entre fenómenos los que permiten relacionar las respuestas ante situaciones nuevas, pero éstas siempre estarán referidas a la manera en que el individuo ha aprendido a integrarse a su medio, a ciertos esquemas. En lo referente a la percepción de la arquitectura, Norberg-Schultz considera que existen en los individuos ciertos esquemas primarios: la continuidad de las cosas y la esquemización vertical-horizontal. Los objetos

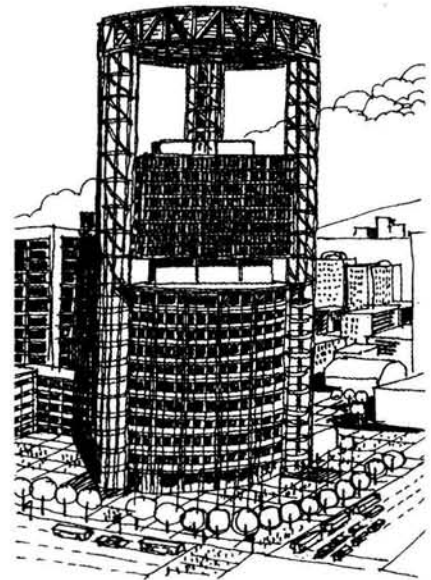


Fig. 35
Perdida de identidad entre la forma y la función
Samsung Cultural Education and Entertainment
Center Seúl, Corea, Autor: Rafael Viñol

permanecen en la mente aunque su percepción cambie por haber modificado el color o la textura. Y eso que permanece no es sino el **esqueleto estructural**

Esta permanencia siempre guardará relación con la posición, forma o tamaño de los objetos

Quien percibe un objeto arquitectónico le otorga sus experiencias psicológicas; cambia el simbolismo de acuerdo a su percepción individual, y el arquitecto deberá tomarlo en consideración; Las variables que se interrelacionan cuando percibimos tienen mucho que ver con el ambiente y nuestras experiencias, de ahí que una percepción que para alguien es definitiva, para otro pueda ser superficial, porque cada persona tiene una interpretación personal de la realidad y ésta es subjetiva.

Al percibir asignamos valores de diferente manera; los objetos están relacionados en el tiempo y el espacio por la manera en que le otorgamos esos valores

Para Norberg-Schultz ciencia y percepción son interpretaciones de un mismo mundo, sólo que la primera busca la verdad, es objetiva; la otra, en cambio, tiene relación con la manera en que el individuo se interpreta a sí mismo; es, por tanto, subjetiva. Y para crear espacios coherentes, es necesario que la conceptualización estructural se genere a partir de la conjugación de estas dos interpretaciones (Fig. 36)

Este autor afirma que en Arquitectura, como en el resto de las artes, la simbolización busca establecer un orden donde la forma sea el común denominador entre la ciencia y el arte; busca establecer parámetros filosóficos donde la percepción sea fundamental, y sistemas que puedan medir las posibilidades de los estilos y tendencias. Los valores culturales quedan, por tanto,

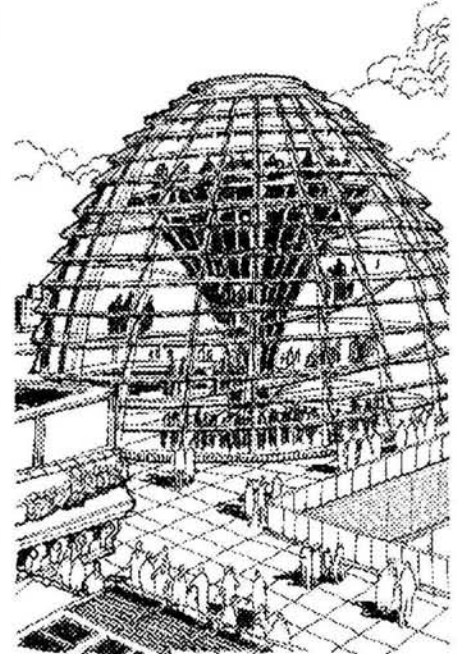


FIG. 36

Extraordinaria solución del esqueleto estructural: Conjunción de lo subjetivo y lo objetivo. Bundesrepublik Deutschland Berlin, Alemania 1999. Foster & Partners

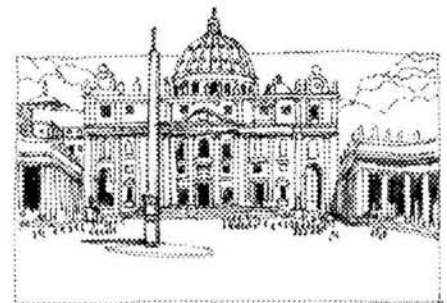


Fig. 37

Símbolos, elementos esenciales para el arte. Reestructuración de nuevas formas, Basilica de San Pedro, Roma 1506; Dónatelo Bramante – Miguel Ángel Símbolo: la cruz griega.

referidos al simbolismo que le otorguemos a cada uno de ellos.

La Arquitectura, como producto humano es un fenómeno de símbolos, fenómenos y creencias que se manifiestan paralelamente (Fig. 37). La percepción es una reproducción del mundo y su interpretación es fundamental para la creación artística. Pero la Arquitectura, por crear espacios habitables, tiene requerimientos distintos y más complejos que los de las demás manifestaciones artísticas. Uno de ellos, absolutamente fundamental, es la conceptualización estructural, ya que permite que la arquitectura tenga **un principio de orden** y, por tanto, se convierta en una respuesta coherente a las expectativas del creador y del usuario.

Así entonces, la correcta concepción de los espacios arquitectónicos parte necesariamente de una adecuada elección del concepto estructural, concebido éste como una integridad entre lo subjetivo y lo objetivo: entre la percepción, los valores culturales y los símbolos, y los principios físicos que rigen la estructura y su funcionamiento (Fig. 36)

VITTORIO GREGOTTI, en su obra *El Territorio de la Arquitectura*,² define el concepto de *proyecto* como punto de partida para fijar las bases de la actividad de creación, que abarca desde la concepción de una idea –intención– hasta el establecimiento de relaciones con el nuevo objeto.

Hace una semblanza general sobre las cualidades y las fases del proyecto, relacionados primordialmente con los materiales de la arquitectura; es decir, expresa la idea de un proceso completo dentro del hacer en la arquitectura, simbolizado por medio de un sistema de signos y señales perfectamente identificables (Fig. 38).

Son catorce los puntos básicos que él trata a manera de metodología para que el arquitecto desarrolle un proyecto ejecutivo completo, con resultados óptimos en eficiencia y calidad. Considera que es

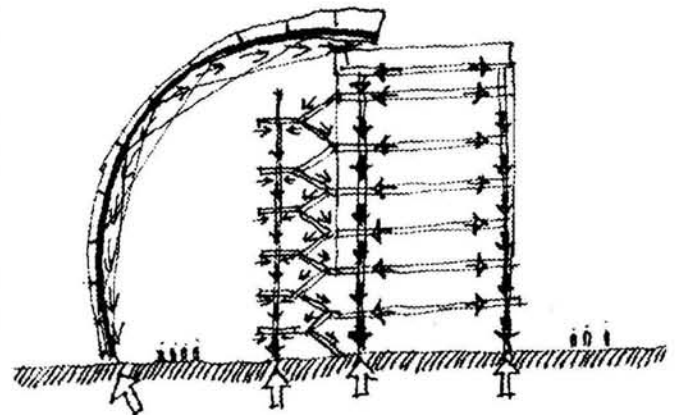


Fig. 38
Signos y señales perfectamente identificables: Estructura de arco. Centro Nacional de las Artes Arq. Enrique Norton

² **GREGOTTI, Vittorio.**- Teórico contemporáneo. Nació en Novara, Italia en 1927. Se graduó del Instituto Politécnico de Milán y ha trabajado en Composición Arquitectónica en el Instituto Universitario de Arquitectura de Venecia. Su obra *El Territorio de la Arquitectura*, publicada por Feltrinelli Editore, Milán, se encuentra traducida al español por Editorial Gustavo Gili, Barcelona

el proyecto la manera con la que intentamos satisfacer una necesidad expresa, fijando los elementos de los problemas hasta establecer un nuevo objeto a través de su ejecución en el tiempo; estos elementos incluyen la satisfacción de las demandas del usuario de espacios bellos, confortables y novedosos. y para ello el arquitecto hace uso de la tecnología, la cual define el soporte estructural y viceversa Sin embargo, el arquitecto analiza la realidad dándole a la arquitectura un valor de arte en primer lugar, y en segundo a la estructura que lo forma; Identificándolas como disciplinas autónomas. Y en ello radica el error, ya que sí es posible identificar y analizar de manera paralela las variables tipológicas, morfológicas y tecnológicas, racionalizando y creando sistemas de conexión y proponiendo solución a los problemas (Fig. 39).

Gregotti afirma que debemos buscar que los modelos arquitectónicos tengan la autenticidad del comportamiento y del deseo de transformación de las autenticidades nuevas.

Para la elaboración y la transmisión del proyecto dependemos conceptualmente del registro histórico de las imágenes de la Arquitectura y a partir de la organización de estas imágenes –en bocetos y anotaciones- buscamos fijar la imagen prefigurada, precisando en concepto gráfico (Fig. 40), acentuando la materia arquitectónica e instrumentando el diseño arquitectónico implícito

La actividad de creación de la obra arquitectónica contiene, por tanto, el valor conceptual del proyecto arquitectónico, que se alcanza a partir del diseño de cada uno de los componentes de la obra total. Es decir, en el proceso de creación se deben especificar racionalmente los detalles que integran lo edificado.

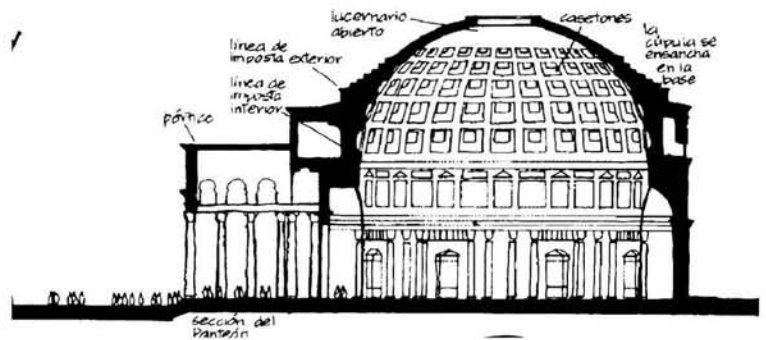


Fig. 39
Belleza y científicidad proyectual en una Estructura auto soportante.: El Panteón de Roma (118-128 d.C.) Dibujo de Bill Risebro

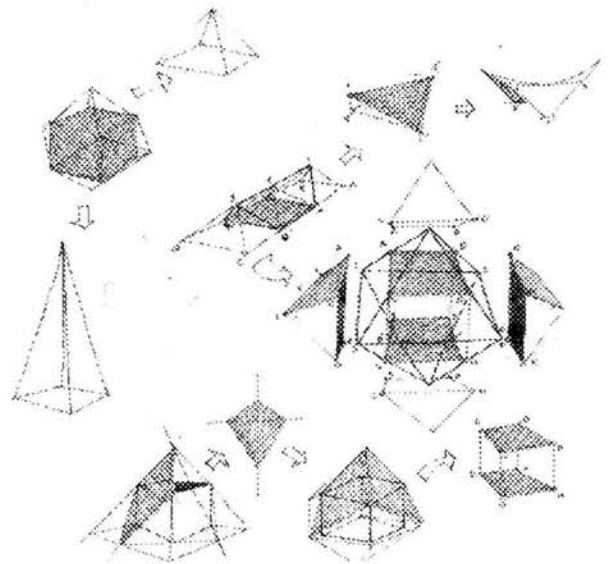


Fig. 40
Bocetos y anotaciones: imagen prefigurada acentuando el diseño estructural

Por ello, la creación de un proyecto a partir de una científicidad proyectual –la cual incluye la conceptualización estructural- dará un sentido crítico a la labor proyectual, porque al basarnos en conceptos e hipótesis de trabajo, se podrá formar, proponer y relacionar la información. De esta manera, el significado quedará constituido como la estructura de la operación proyectual haciendo nuestra la arquitectura con el mundo, al expresarla en un lenguaje que le es propio, encontrando la ideología y lenguaje de la obra (espíritu y materia) dándole así sentido y utilidad (Fig. 41)

Para Gregotti, la comunicación de los datos para la correcta ejecución de la obra se hará por medio del proyecto ejecutivo, expresando en él los vínculos con la estructura del espacio y su representación geométrica, comunicando cabalmente el proceso - por medio del mensaje gráfico - a quien lo recibe

Para este autor, los mejores instrumentos de control proyectual son la experiencia y la práctica de construir, así como la de teorizar el trabajo; ligado todo esto con el conocimiento estructural, de las formas, de las tipologías, las técnicas constructivas y los factores culturales.

Como puede observarse, Gregotti critica que se dé un valor secundario a la estructura y se le identifique como una disciplina autónoma al proceso de diseño. Es más, sostiene lo que este trabajo pretende demostrar: que en el proceso de creación, son el soporte y la cubierta (esqueleto y piel) conjuntamente diseñados, los que habrán de darle a la obra arquitectónica una forma reconocible y única(Fig.41^a)

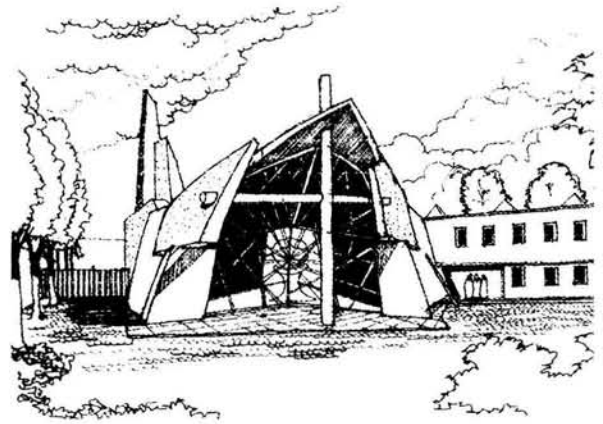


Fig. 41
Los datos basados en conceptos científicos, se transforman Con lenguaje estructural propio. Casa Madre Ercilla, Morelia, Mich., 1999. Arq. Víctor Manuel Ruelas Cardiel.

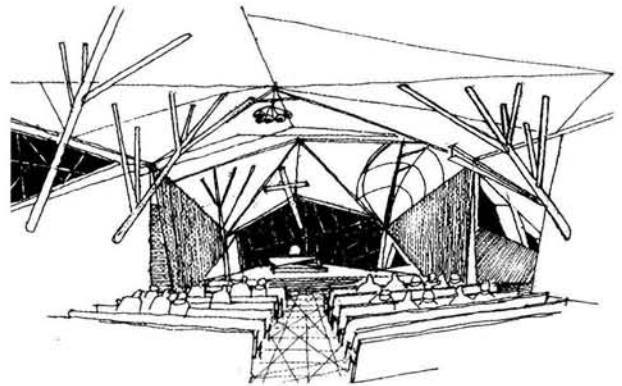


Fig.41ª
Interior y exterior de la capilla; Observando la piel y el esqueleto. "Se dé un valor secundario a la estructura y se le identifique como una disciplina autónoma al proceso de diseño"(Gregotti). Casa Madre Ercilla, Morelia, Mich., 1999, Arq. Víctor Manuel Ruelas Cardiel.

JACQUES DERRIDA³ considera que "la estructura es un conjunto de articulaciones establecidas de acuerdo con elementos específicos, dotados de una potencialidad de combinación estable, pero transformables dinámicamente".

Para él, la composición a partir de formas geométricas irregulares rompe con el diseño estructural tradicional, creando una fuerza generadora lógica y racional completamente distinta.

La calidad de una obra se hace patente en la percepción que el usuario tiene de ella, entendida esta percepción como la comunicación de un mensaje por medio de sus formas y esquemas estructurales, la distribución de espacios y las propuestas técnicas y tecnológicas; las cuales tienen como fin satisfacer las demandas de cada uno de los elementos que conforman el proyecto.

Los diagramas estructurales adquieren relevancia en cuanto a las cualidades expresivas que pueden otorgar a la obra arquitectónica (Figs. 41, 41^a, 41b y 42). Son los esqueletos que soportan la forma exterior de la arquitectura –la piel–; son las formas que la ciudad adopta y que el usuario interpreta e integra a sus vivencias, y son, por supuesto, la causa principal de la presente tesis.

Extrapolando lo que Derrida afirma en este último párrafo, en el sentido de que las estructuras adquieren relevancia en la medida que otorgan cualidades expresivas a la obra arquitectónica, diremos e intentaremos demostrarlo que un diseño coherente y por lo tanto bello, es en mucho el resultado de una

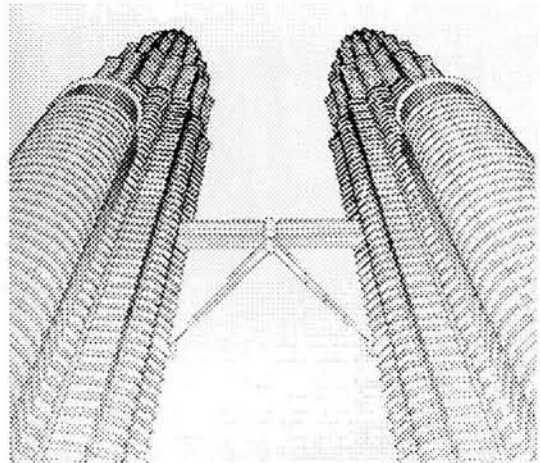


Fig. 41 b

"Son el esqueleto y la piel conjuntamente diseñados, los que habrán de darle a la obra arquitectónica, una forma reconocible y única" Torres gemelas petronas, Kuala Lumpur, Malasia, 1997; Cesar Pelli & Associates. **El Arq. Cesar Pelli** concibió el sentido formal-estructural de las torres a partir de las edificaciones tradicionales malayas y más exactamente de Kek-Kok, el templo budista más grande del país. (ver 1.3.5 Diseño Analítico)

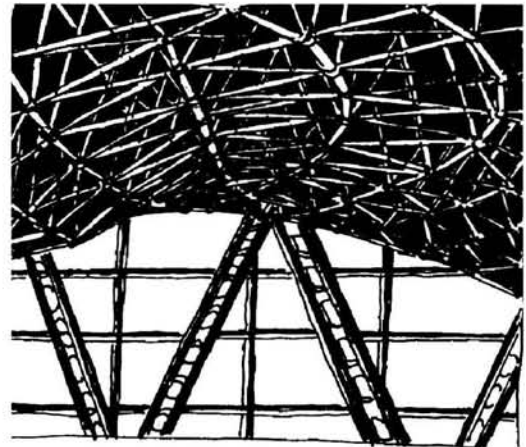


Fig. 42

"Las estructuras adquieren relevancia en la medida que otorgan cualidades expresivas a la obra arquitectónica" lenguaje estructural reconocible y único, Arata Isozaki, el Palauet, Palaifolls, 1996. Estructura elástica y figurativa; techumbre con diseño previo de piezas, utilizando tecnología de alta precisión. Estructura metálica

³ **DERRIDA, Jacques.** - Filósofo francés contemporáneo (1930-2004) cuyas obras *Márgenes de la Filosofía* y *De la Gramatología* (1967), sentaron las bases y definieron los inicios de la deconstrucción. Esta estrategia de análisis (denominada *deconstructivismo*) se ha aplicado a la literatura, la lingüística, la arquitectura y otros campos del conocimiento.

elección adecuada del concepto estructural que le da soporte; Podremos entonces hablar de un lenguaje estructural reconocible y único en la obra arquitectónica.

1.3 LA NATURALEZA DE LAS ESTRUCTURAS

1.3.1 SU CONOCIMIENTO

Para los fines de comprende con precisión qué es la conceptualización estructural, deberemos primero entender el diseño arquitectónico como un conjunto de ideas organizadas que rigen la estructura de componentes, sub. Componentes, sistemas y subsistemas que dan forma a una edificación(Fig.43)

Así entendido, el acto de diseñar no es sino la aplicación lógica y responsable de un repertorio de ideas, imágenes y nociones que dan la posibilidad de estructurar las formas.

La originalidad que sugiere el conocimiento de las estructuras, abre la posibilidad de entender el comportamiento físico de la materia. En contraste, el formalismo arquitectónico las formas preconcebidas- constituye en alto grado una descomposición, ya que sin un fundamento que permita ejercer el dominio de la conceptualización estructural, sólo puede ocurrir la anarquía del sistema (Fig. 44). Por ello, al diseñar, habrá que conceptualizar la estructura propuesta y el posible comportamiento de los espacios. Por Heidegger ⁴ nos refiere los modos en que éste se conforma: el espacio dentro del cuál la presencia

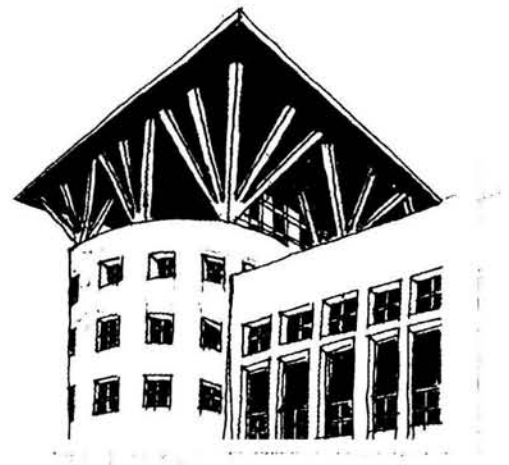


Fig. 43
Organización de ideas para estructurar la forma.
Arq. Michael Graves Biblioteca de Denver Colorado



Fig.44
Las formas preconcebidas llevan a la anarquía. Modelo formalita y ostentoso: Centro urbano de la ciudad de Filadelfia, 1958 Arq. Louis Khan. Estructura de concreto prefabricado. (Torre para oficinas, viviendas, comercios y hoteles)

⁴ **Heidegger, Martín.**- Filósofo alemán, (1884-1976)que influyo mucho en el movimiento filosófico moderno de la fenomenología y el existencialismo."La humanidad ha entrado en crisis por tener un enfoque limitado y tecnológico del mundo e ignorar la gran cuestión de las personas"

La teoría del diseño del espacio arquitectónico concebida plástica puede ser entendida como objeto, el espacio que rodea los volúmenes de las formas, el espacio existente como vacío entre los volúmenes y la utilización de diagramas estructurales al momento de diseñar, nos facilita la conformación de dichos espacios (Fig. 45) Dicho a la manera de Heidegger: "No hablo del espacio que está fuera de la forma, que rodea al volumen, en el cual viven las formas; hablo del espacio que las formas crean, que vive en ellas y que es tanto más activo cuánto más oculto actúa"⁵. Y son las estructuras ocultas las que crean tanto el espacio en el cual viven las formas, como el espacio que las formas crean; consiguiendo que se ponga en movimiento la materia que lo configura, determinando sus proporciones, midiendo y ordenando sus ritmos.

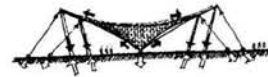


Fig. 44

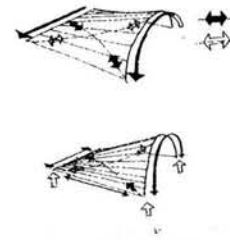
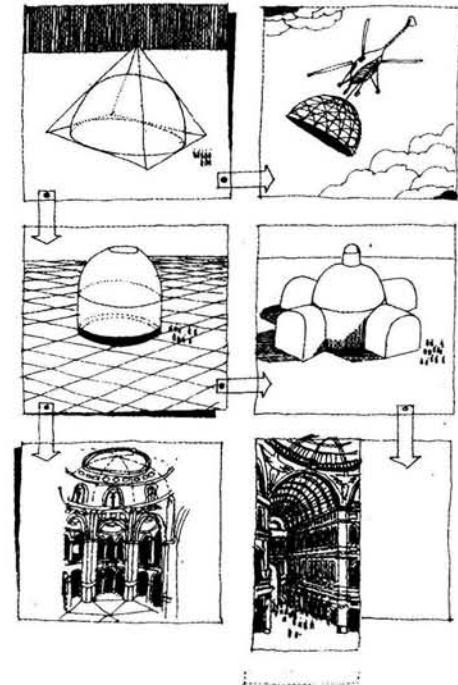


Fig. 45
Diagramas estructurales
"No hablo del espacio
que está fuera de la
forma" Martin Heidegger

Fig. 46
Estructura que se transforma y se reconfigura mediante asociaciones regeneradoras:

- 1.-Pirámide con media esfera.
- 2.-Estructura de media esfera fuller transportable.
- 3.-Sobre posición de una estructura de media esfera auto soportable
- 4.-Conjugación de estructuras a partir de la anterior
- 5.-Estructura circular con soportes laterales circulares a manera de contrafuertes, que parte de una media esfera...
- 6.-Equilibrio de estructura en un cruce de iguales dimensiones, con centro de media esfera.



La teoría arquitectónica de los diagramas estructurales -retomada por Le Corbusier- plantea esta misma hipótesis, al considerar que el espacio en el cual los objetos se encuentran situados, es creado por el desplazamiento de otros objetos.

Partiendo de esta hipótesis podemos entender el papel que la conceptualización estructural tiene en el diseño arquitectónico y que es comparable al que en el Universo tienen los *modelos de asociación estelar* que espontáneamente regeneran: Siempre e infaliblemente se encuentran operando bajo una

⁵ Heidegger, Martín.- "Construir, habitar y pensar", Ed. G.G., Barcelona, 1989.

determinada serie de circunstancias, y se regeneran continuamente, a través del movimiento, en configuraciones locales únicas (Fig. 46). Todas las fuerzas que actúan en el Universo se resuelven en una compleja progresión de ordenamientos, con arreglo al menor esfuerzo. Las constelaciones locales espontáneamente regeneradoras se denominan estructuras fundamentales, porque parecen ser universales y recurrentes por inherencia

Esta definición de estructura resulta válida para todo el Universo no simultáneo. Las experiencias son finitas, pero no simultáneas; el Universo es una estructura no simultánea aunque dinámicamente sincrónica. Veamos como esta definición de estructura se aplica a la Arquitectura: los hombres han otorgado a la materia la cualidad de solidez. El arquitecto puede organizar un conjunto de estructuras modulares visibles a partir de estructuras modulares sub-visibles (Fig. 47). Los tipos de traveses que construye, el tamaño y tipo de las columnas; en fin, la manera cómo se limita el espacio, está regidos por los principios fundamentales de estructuración y son parte de las leyes de la Naturaleza. Por tanto, el entendimiento del hombre con su Universo, se inicia en la conceptualización de su espacio ordenado.

Las conceptualizaciones estructurales tienen en Arquitectura la misma función que los *modelos de asociación estelar* en el Universo: buscan el orden a partir del movimiento. Y tienen como función, dar organización física a la expresión arquitectónica, para de este modo facilitar las respuestas a las demandas de movilidad, adaptación, bienestar y belleza.

En los últimos años se ha discutido mucho el tema de las relaciones entre las formas arquitectónicas y las posibilidades tecnológicas derivadas del empleo de nuevos materiales, como el hormigón armado, el acero y el vidrio. Y no es que la Arquitectura tenga que seguir las posibilidades que ofrecen el acero, el vidrio o el hormigón armado, ni que estas posibilidades sean en sí mismas un medio de inspiración arquitectónica, sino que estos materiales son ciertamente, o pueden ser, más apropiados para expresar las ideas y los

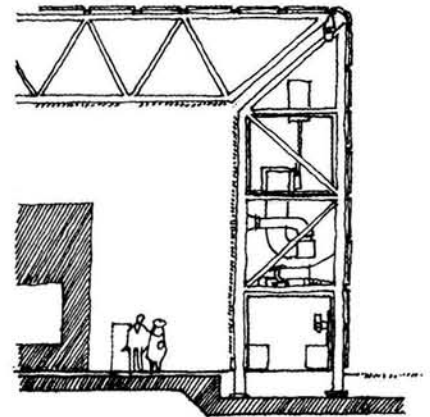


Fig.47

Estructuras modulares sub-visibles. Conjunto de estructuras con solidez material. Centro de Artes Plásticas, Sainsbury England, 1977, Universidad de East Anglia Norfolk, Gran Bretaña Estructura como piel, espacio sirviendo Dentro de la piel del edificio, concepto aeronaves Espaciales, Arq. Norman Foster

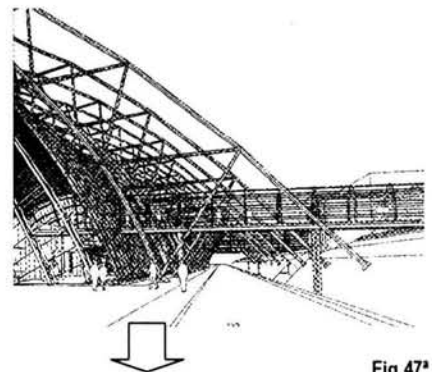


Fig.47*

Centro de exhibiciones en Leipzig Alemania, 1992 Arq. Iam Ritchie, estructura metálica tubular con claro de 80 m. y altura de 28m.

sentimientos de nuestra época; ideas y sentimientos que no pueden ignorar la atmósfera actual, eminentemente técnica (Fig. 48).

Podría decirse que el factor más decisivo y determinante de las tendencias arquitectónicas y constructivas de hoy, es el desarrollo tecnológico. De hecho, el empleo de los nuevos materiales y posibilidades técnicas, ha generado elementos estructurales estables e incambiables, a pesar de la fluctuación continua de los gustos y aspiraciones estéticas de las sociedades contemporáneas

Es indudable que los gustos estéticos proceden de puntos distintos y muchas veces aislados, pero poco a poco se han ido unificando y extendiendo a todos los campos creativos, no sólo a los artísticos, sino también a los técnicos y utilitario.

La arquitectura obviamente está influida por estas tendencias estéticas, muchas veces cuestionables por carecer de fundamentos estructurales que sean coherentes con la forma y la función (Fig. 49)



Fig. 48
Posibilidades tecnológicas y su relación con las formas arquitectónicas. Estructurismo monumental, expresión de una era de gran desarrollo tecnológico. edificio AT & T Nueva York 1978-1982, Johnson / Burgee Arquitectos.

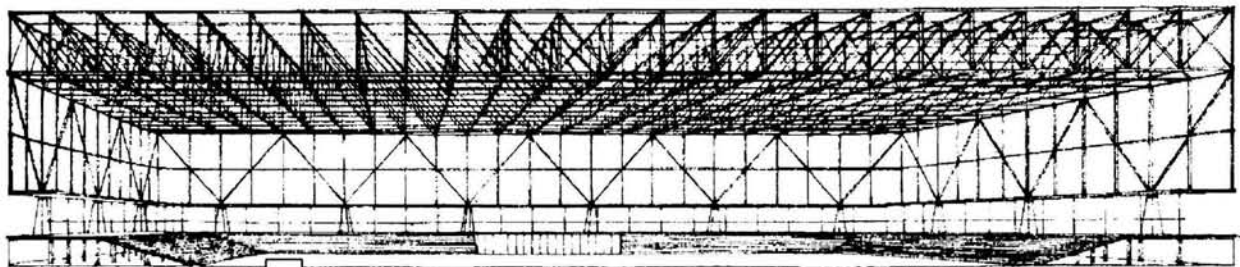
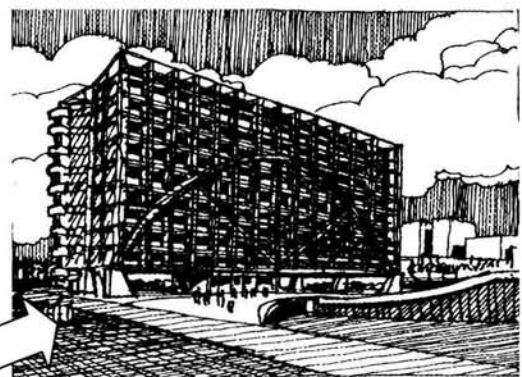


Fig.48*
Proyecto para el Centro de Convenciones en la ciudad de Chicago ILL. E.U.:1953 **Arq. Mies Van der Rohe**, estructura metálica de grandes claros y limpieza de diseño estructural, expresando ideas propias de la arquitectura funcionalista, los soportes claramente están establecidos en la triangulación y bajada de esfuerzos

Fig. 49
Construcción con aspiraciones estéticas, estructuración con materiales de alta resistencia. Tendencias estéticas cuestionables por no haber una coherencia estructural-formal entre el arco a compresión (Planta alta) y el arco a tensión (planta baja). Casa de cambio, Londres, 1990. **Skidmore Owings y Marril**.



1.3.2 SU CREACIÓN

Las matemáticas, que mucha gente considera como la ciencia de los números, es en realidad la ciencia de la estructura y del esquema en general. La estructura no es necesariamente un "sólido", un objeto concreto. Por ejemplo, para hacer eficaz la invención del cálculo infinitesimal, el hombre ha empleado una estructura: el sistema de coordenadas XYZ, formulado por Descartes a partir de la cruz simétrica griega de 90° grados, compuesta de tres rectas y continuas denominadas "líneas infinitas". Y precisamente, las estructuras arquitectónicas se basan en este sistema de coordenadas XYZ.

Hemos aprendido a razonar en términos de estas nociones -que la experiencia ha demostrado limitadas- ya que no toman en consideración los principios termodinámicos que intervienen en un fenómeno estructural, ni la duración, ni el peso (Fig. 50). Hay muchos otros aspectos de la Naturaleza que la geometría griega no abordó; por ejemplo, la información experimental de que dos acciones no pueden tener lugar en el mismo punto y al mismo tiempo; es decir, dos líneas no pueden pasar simultáneamente por el mismo punto. En las concepciones griegas tridimensionales, la perpendicularidad a 90° y el no-parallelismo –a un plano ya establecido, fueron esenciales en la calificación como nueva dimensión. Así, en el desarrollo del sistema coordenado XYZ (Fig. 51) hemos hallado sólo tres únicas convergencias de líneas a 90° en un "punto" común. Toda nuestra geometría analítica y las

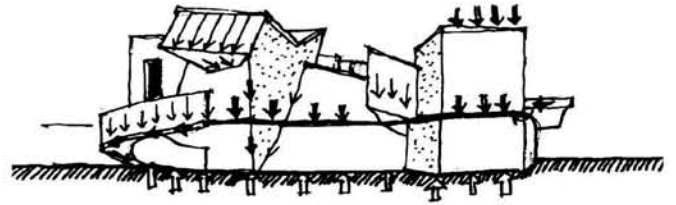


Fig. 50
Estructura con cuerpo independiente, aplicación del sistema de coordenadas griego Museo de las sillas, Alemania Arq. Frank O. Gehry

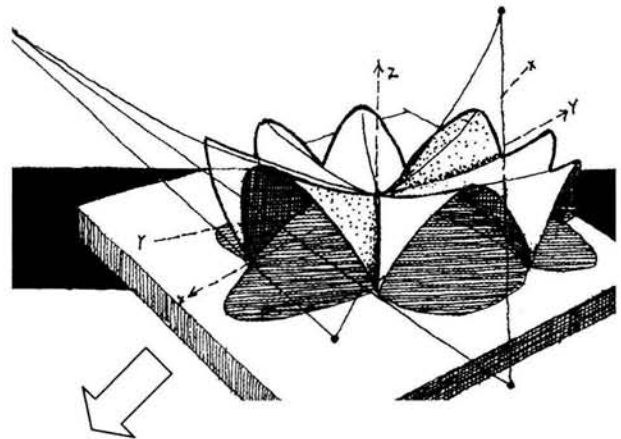


Fig. 51
Sistema coordenado x, y, z. La organización de los datos se podrá realizar cuando se tenga perfectamente conocido el objeto del proyecto. Conocimiento de datos (Hypars)

estructuras técnicamente difíciles que con ella construimos, se expresan mediante el sistema de coordenadas XYZ.

Parecería absurdo seguir tratando de obligar a la Naturaleza a explicarse a través de nuestro desmarñado sistema de coordenadas XYZ. Otras estructuras matemáticas, como la matriz isotropa de vectores, han demostrado la capacidad de los vectores de energía de alta frecuencia y terminaciones asimétricas para acomodarse a cualquier forma estructural, no necesariamente en los ejes XYZ (Fig. 52).

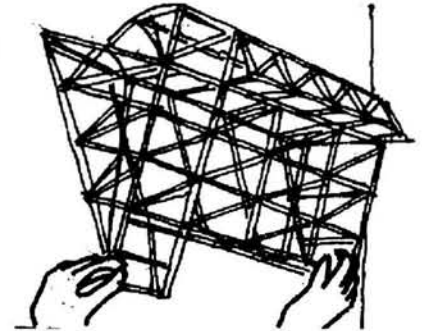


Fig. 52
La matriz isotropa de vectores demuestra la capacidad de los vectores de energía de alta frecuencia y terminaciones asimétricas, para acomodarse en cualquier forma estructural.

Analicemos la logística que emplea la Naturaleza para construir y distribuir una estructura tan duradera y compleja como es un árbol. Vemos que en la semilla, la Naturaleza proporciona un esquema preciso que se dispone estrechamente en una malla de tensión triangular. Hay dos maneras de diferenciar esta malla o estructura: en comportamientos de tensión y en comportamientos de compresión. Estos son disociativos, mientras que aquellos, por inherencia, resultan asociativos (Fig. 53) y por ende espontáneamente coherentes. Los dos comportamientos estructurales (tracción y compresión) (Fig. 54) nunca son autónomos uno con respecto al otro, nunca son independientes. No obstante, consideremos una estructura como un elemento de compresión un cable o una cuerda como un elemento de tracción.

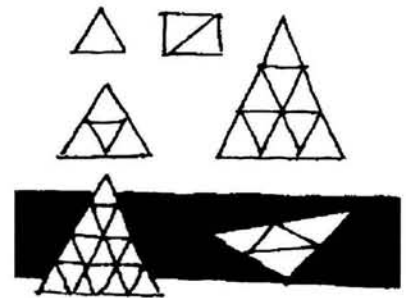


Fig. 54
Estructuras estables, basado en la lógica distributiva de una estructura estandarizada con estabilidad

La cuerda, cuando se tensa en sentido axial, se contrae o comprime transversalmente en su contorno; la circunferencia de la columna de compresión se pone tensa. Destacando sus valores, los elementos de tracción tienen una proporción ilimitada de longitud con relación al diámetro de la sección transversal, mientras que de modo preferente los elementos de compresión son por relatividad limitados (Fig. 55).

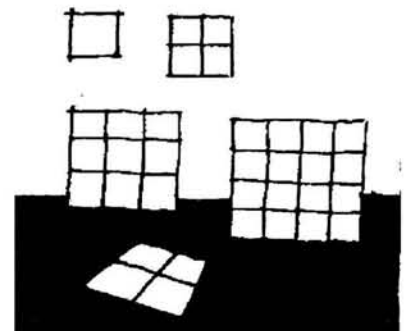


FIG. 53
Estructuras inestables Comportamiento estructural, Lógica distributiva de una estructura estandarizada sin estabilidad

Una columna de acero puede ser un poco más alta que otra de mampostería: aproximadamente, treinta a uno. Pero en cuanto a la tracción no existe tal límite de la longitud con respecto a la sección; podemos hacer largas cuerdas de acero y, con ellas, puentes de más de una milla de longitud, con cables de sólo dos o tres pies de grosor. Cuánto más resistente sea la aleación de acero, más delgado podrá ser el cable respecto a su longitud.

Así, la naturaleza, al disponer la creación de un árbol, hace una reproducción con una malla formada por la red de tensiones y la dobla apretadamente en un paquete: la semilla, la cual, cuando se posa en la tierra, posee los medios para extender el esquema del árbol, haciendo uso de los componentes de compresión localmente disponibles, desarrollados a partir del agua, los nutrientes y del aire del lugar.

Si entendemos así las estructuras, su conceptualización dejará de ser la parte árida del diseño, dado que las leyes estructurales serán accesibles al tratamiento estético, porque son principalmente leyes de orden y en última instancia el arte es orden. En otras palabras: el arte no es producto de la individualidad, ni de la espontaneidad. Donde aparece como tal, hay orden en la forma y por tanto en la estructura. Por su carácter de orden, el arte, entonces, se acerca a las leyes estructurales

1.3.3 SUS LÍMITES DE APLICACIÓN

¿Dónde acaba la estructura y empieza la obra de arte?

Una superficie plana dividida uniformemente se denomina red y una red uniforme se puede extender en el espacio: he aquí un orden que se puede extender indefinida y uniformemente, al cual llamamos estructura. En la obra de arte, sin embargo, esta estructura tiene sus límites, sea en el volumen o en el plano. A partir de este supuesto, podemos sentar las bases para el argumento estético formal de la elección estructural que hagamos: la extensión que se puede dar

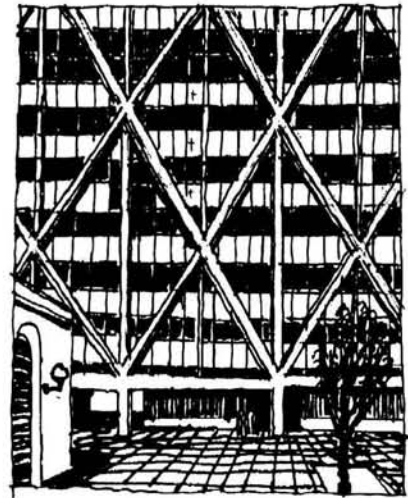


Fig. 55
Elementos de proporción limitada de longitud (a compresión) Estructura de un modelo tipológico a partir de una forma geométrica

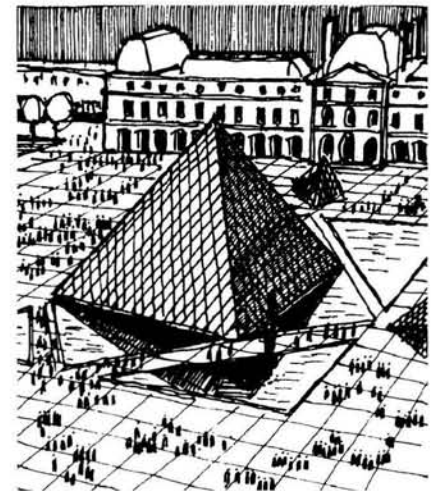


Fig. 56
Estructura y arte. Argumento estético formal en la elección de la estructura la forma espacial es una obra de arte pirámide de vidrio del museo del Louvre, Paris 1983 -1988. Ieoh Ming Pei

estéticamente a la estructura. Pero sólo cuando la elección se hace según argumentos demostrables, se puede tener el principio de ordenación, pues al elegir se limita una estructura que podría extenderse cuanto se quisiera. (Fig. 56)

La invención presupone siempre el descubrimiento de nuevos problemas; el descubrimiento de éstos se determina individualmente. Así, el arte es no sería imaginable sin el esfuerzo individual. A su vez, el orden es imposible sin una estructura objetiva (Fig. 57). Esto significa que sólo puede haber arte cuando la expresión individual y la invención personal se supeditan al principio del orden de la estructura para poder darle coherencia, regularidad y nuevas posibilidades formales.

La forma espacial de una obra de arte nace de una estructura que posee una ordenación rítmica.

En la pintura –concretamente- la estructura se aplica ante todo, en la construcción de la forma; es decir, las relaciones sintácticas son de importancia extrema en el arte. Se comprende entonces, que la construcción interna que está detrás de las formas sea también importante

El pensamiento estructural se presenta en pintura bajo dos aspectos de suma importancia:

La descripción estructural de la obra de arte (particularmente adecuada a la pintura concreta, pero también válida para cualquier otra expresión pictórica), y la estructura como medio creador y expresivo en sí mismo. Algo similar ocurre en la Arquitectura (Fig. 58).

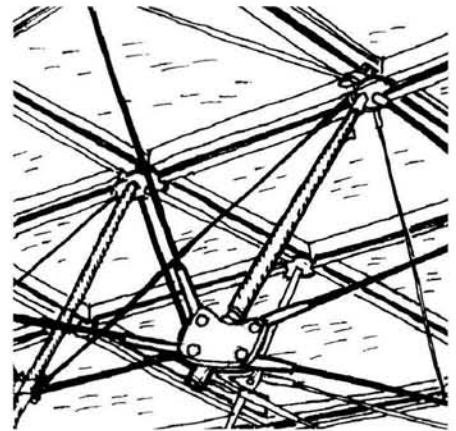


Fig. 57
Estructura muy clara y objetiva. Nuevas posibilidades formales. Detalle estructural donde se aprecia la transmisión de esfuerzos. Soporte de los vidrios, pirámide del Museo del Louvre, Paris, 1983-1988
leoh Ming Pei.

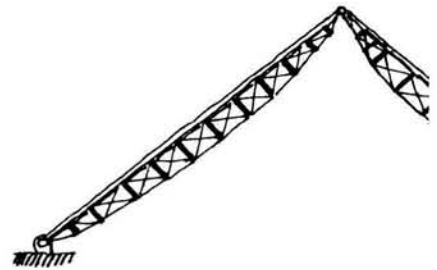


Fig. 58
Construcción formal, estructura interna que está detrás de formas interesantes: detalles de la estructura de acero, con cables a tensión y tubos a compresión. Pirámide del Museo del Louvre, Paris 1983-1988, leoh Ming Pei

1.3.4. SU DISEÑO

Al diseñar, una y otra vez nos inspiramos en la Naturaleza, la cual formula obviamente sus estructuras con bellos conglomerados esféricos: las estructuras moleculares. Las esferas que ellas contienen se coordinan no a 90° , sino a 60° ; para entender esto, basta con tomar tres bolas de billar para comprobar que se "juntan" bellamente en un triángulo. Si se disponen cuatro de ellas formando un cuadrado sobre la mesa de billar, las bolas tienden a moverse y a rodar, y si se colocan de manera que permanezcan en posición estable, adoptan la forma de un rombo, con ángulos de 60° , constituido por dos triángulos estables (Fig. 59).

Los conglomerados esféricos más económicos, o sea, "los más compactos agrupamientos de esferas", contienen las claves matemáticas de los principios de coordinación que gobiernan la estructura natural: la geometría dinámica, vectorial. Los físicos han descubierto que las esferas en unión lo más compacta posible, siempre forman estructuras omni-triangulares. Así ocurre con el domo de tres cuartos de una esfera geodésica, de doce frecuencias, en la que los espacios entre los componentes de compresión han sido reducidos a "contacto de beso" debido a la reducción de la distancia entre el medio arco y la media cuerda de dimensiones esféricas ocurrida al aumentarse la frecuencia y, por consiguiente disminuirse los ángulos centrales de las esferas.

Igualmente, dos pares de conjuntos triangulares de siete esferas en unión compacta, se juntan para formar un cubo. Esto significa que dos o más cuerpos se movieron según un esquema de correlación que no es de 180° ; en este caso, con una torsión de 60° . Este cubo no tiene catorce esferas (Fig. 60), número que corresponde a las catorce caras tetraédricas, a los catorce lados de equilibrio de vectores y a los catorce lados del

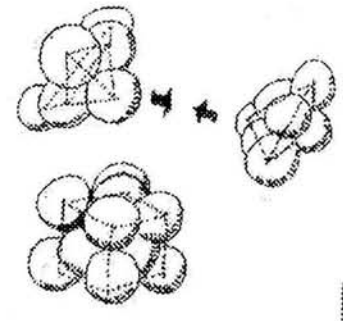


Fig. 59
Esferas coordinadas a 60° formando triángulos estables. Formación de un cubo a partir de dos pares de conjuntos triangulares de siete esferas en **unión compacta**.

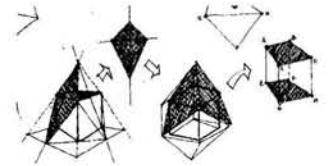


Fig. 60
Cubo con catorce lados de equilibrio vectorial

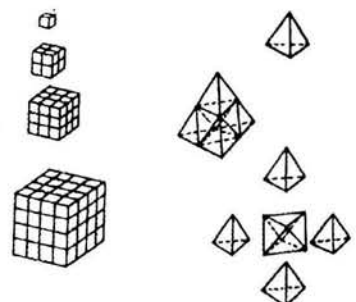


Fig. 61
Estructura cúbica con subdivisión de módulos de aristas de dos frecuencias
Estructura tetraédrica con subdivisión de módulos de aristas de dos frecuencias

tetraxidea de Lord Kelvin; el poliedro simétrico de catorce caras llena todo el espacio con ocho hexágonos y seis cuadrados. El cubo que se adopta como muestra es el mínimo que puede producirse establemente con esferas en la unión más compacta. Ocho esferas no se unirán estrechamente formando un cubo y son completamente inestables

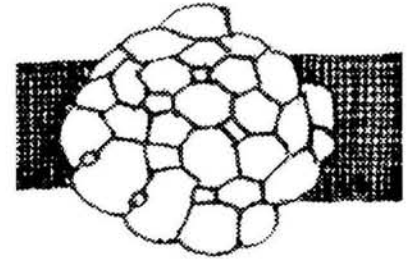


Fig. 62
Polígonos estables generan estructuras estables. Todo lo que se necesita es pensar en función de incrementos triangulares en vez de cuadrangulares

La experimentación demuestra que los cubos son inadecuados como elementos estructurales. Si hacemos un pequeño cubo de doce palillos y unimos sus extremos con pelotas de hule muy blando, el cubo de bambolea y se derrumba, mientras que un tetraedro hecho de la misma manera, con seis palillos y pelotas de hule blando como unión de los vértices, resulta completamente estable. El cubo se convierte en rombo, cada pequeño cuadrado se aplanará rápidamente; el tetraedro está formado por triángulos, que son los únicos polígonos estables por naturaleza (Fig. 61). Puesto que los cubos constituyen estructuras tan inadecuadas, la única manera en que los hombres pueden estabilizar sus construcciones cúbicas, es poniendo en los ángulos donde se unen los elementos a 90° unas pequeñas planchas triangulares de refuerzo. Algunas veces esta triangulación de los vértices de las construcciones cuadrangulares se hacen con una gran cantidad de clavos, pero en los enormes edificios de acero se efectúa colocando piezas triangulares soldadas o remachadas en los refuerzos. Tales refuerzos de acero, triangulares, colocados en los ángulos de los intersticios de la estructura de acero, deben resistir la acción de brazo de palanca de la longitud total de la viga a la cual se fija cada refuerzo. Los constructores logran que el edificio "se sostenga" gracias al empleo excesivo de acero y de la inercia de masas, pero no por que el edificio esté realmente bien concebido. Los tetraedros son "cómodos" por relatividad, dado que no tienden a transformarse en otras formas, mientras que los cubos tienden a derrumbarse (Fig. 62)

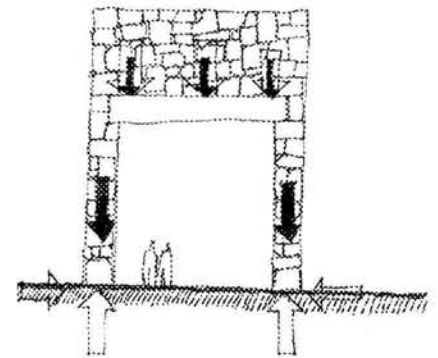


Fig. 63
Esquemas cuadrangulares contra las fuerzas de la naturaleza.

Los arquitectos y en general los constructores que proyectan sobre esquemas cuadrangulares, trabajan, sin saberlo (Fig. 63), contra las fuerzas de la naturaleza. Los que construyen con complejos tetraédricos emplean a su favor las fuerzas naturales y sus edificios son completamente estables.

Si trazamos una línea diagonal de un ángulo a otro en cada una de las seis caras de un cubo, encontramos que estas seis líneas forman el contorno de un tetraedro. Esos tetraedros ocultos en los cubos "sólidos" hacen que el cubo se sostenga. Ahora consideremos de nuevo las planchas de refuerzos triangulares (Fig. 64) en los ángulos de las construcciones cúbicas de acero, luchando contra las largas vigas fijadas a ellas

Es evidente que si hacemos esas planchas de refuerzo un poco mayores, serán más eficaces por oponerse a la acción de palancas de las vigas que actúa contra ellas. Si aumentamos progresivamente el tamaño de los refuerzos triangulares, se convertirán por fin en las diagonales de las aberturas de las cuadrangulares del edificio y corresponderán a las seis aristas de los tetraedros ocultos en el esquema de construcción cúbico o cuadrangular.

Como herencia de los milenios de limitado conocimiento humano, parecía obvia la concepción de que el mundo era plano. Por ello, los cuadrados y las líneas paralelas resultaban adecuados para la medición local. Pero los investigadores descubrieron, muchos siglos después, que las mallas cuadradas de nuestras ciudades eran no asociables por su referencia a la propia malla continental o universal.

Por consiguiente, la investigación estructural del mundo empezó, apenas hace medio siglo, partiendo de una malla triangular manejable.

Todo lo que se necesita para diseñar estructuras estables es pensar en función de incrementos "triangulares" en vez de "cuadrangulares". El número de cuadrados y de triángulos encerrados, respectivamente, por dos, tres y cuatro frecuencias de subdivisiones de aristas de módulo igual de los grandes cuadrados y triángulos enrejados

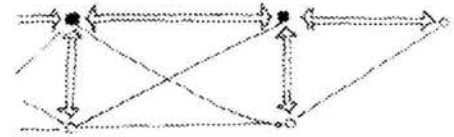


Fig. 64
Esquemización estructural de esfuerzos: Planchas de refuerzos triangulares Diagonales de los edificios cuadrangulares.

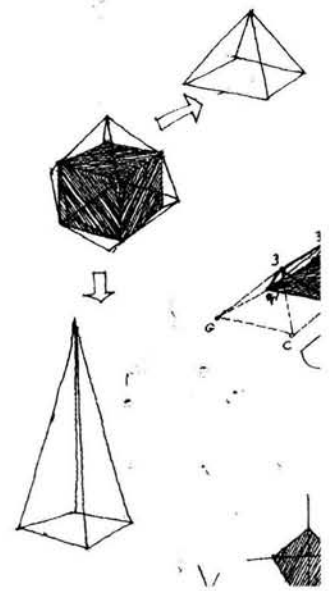


Fig. 65
Estructuración triangular. La naturaleza tiene una estructuración completamente ordenada. Descomposición triangular de un elemento cuadrado. Triángulos que pueden moverse uno con respecto al otro.

Cuando decimos "triangular" nos referimos a estructuras estables; si nos referimos a "cuadrangular" estaremos tratando con formas inestables. Debido a que los planos cuadrados que conforman los cubos son completamente inestables, no pueden llamarse estructuras; los cuadrados, cuando están parcialmente estabilizados, consisten siempre en dos triángulos que pueden moverse uno con respecto al otro, como las dos mitades de un gozne. Cuando tratamos la estructuración triangularmente, economizamos más el espacio que cuando empleamos cuadrados con lados iguales a los de los triángulos. La Naturaleza siempre insiste en la mayor economía: emplea triángulos. Toda su estructuración ocurre de un modo enteramente racional, con triángulos (Fig. 65)

La estructura se refiere más bien a todo Su ordenamiento de constituyentes individuales en cuya base hay siempre un principio de organización.

Como puede verse, *estructura* es un término que involucra conceptos mucho más amplios y complejos que el vocablo *construcción*; pero desgraciadamente se ha malinterpretado desde que las teorías funcionalistas dominaron el diseño arquitectónico con su estereotipo estructural.

Con lo expuesto en este subcapítulo, pretendemos subsanar tal error de interpretación, dejando claro lo que realmente significa *estructura*.

1. 3. 5 SU COMUNICACIÓN

"El desarrollo proyectual, implica, conjuntamente con la propuesta formal para hacer algo, el cómo fijar, mediante diversos tipos de expresión representativa nuestras intenciones arquitectónicas. Todo ello

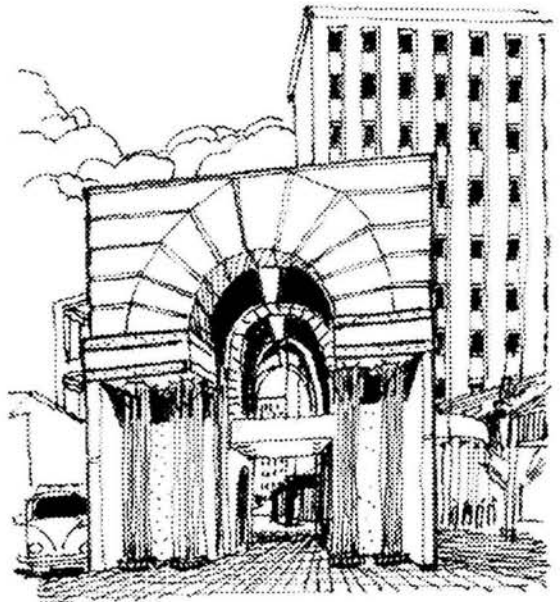


Fig. 66

Comunicación de la imagen, Paralelos arquitectónicos, Formas existentes (columnas, clave, base, capitel). Piazza de Italia, New Orleans, 1975 - 1980 Moore y Perez Associates, Inc.

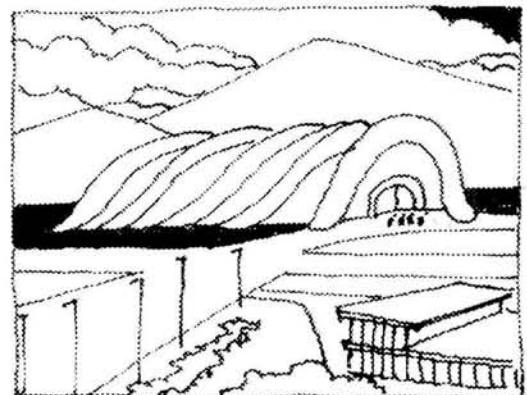


Fig. 67

Estructura inflable de suspensión

en función de definir la intencionalidad formal y después, de comunicar las características figurativas del objeto, para lograr con este último, la completa coincidencia entre lo proyectado y la acción ejecutiva"⁶.

La comunicación de la imagen.

Estructura y forma nos comunica una imagen, la cual quedará archivada en la mente en la medida que nos impacte. Su estructura interna, por tanto, tendrá un papel esencial, aunque no estemos concientes de ello.

La imagen siempre se crea a partir de analogías visuales. Así, podemos encontrar paralelos arquitectónicos en cada nueva estructura (Fig. 66). La arquitectura barroca, por ejemplo, despliega, a veces con magnificencia, la aglutinación de formas clásicas; y es posible advertir la etimología popular siempre que las convenciones de la arquitectura clásica se adaptan a lo vernáculo, incluso cuando los arquitectos formados de acuerdo con las bellas artes intentaron construir una arquitectura "funcional", insistiendo en conservar los vestigios de una cornisa clásica.

En lo que respecta a la comunicación de la imagen, dos patrones de diseño han prevalecido a lo largo de la historia de la arquitectura:

1. El diseño pragmático, en el que los materiales se usan mediante ensayo y error hasta que surge una forma que parece acomodarse al propósito del diseñador. En su mayor parte, las formas de los edificios parecen haber principiado de esta manera. La tienda de los cazadores de mamut es un ejemplo idóneo, y de hecho continúa la tendencia a usar este modo de diseñar siempre que se descubren o crean nuevos materiales, como se presenta en el caso de casas inflables y estructuras en suspensión (Fig. 67).

2. El diseño tipológico, en el que los miembros de una cultura determinada comparten una imagen mental fija de lo que "debe ser" el diseño. En las culturas "primitivas" suele estar cimentado en una

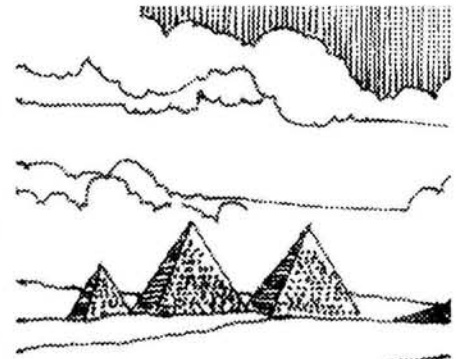


Fig. 68
Tumbas reales, Gizeh (2500-2465 a.C.) Estructura a partir de sillares sostenidos por su peso propio, pirámides de Keops, kefren y Micerinos. Analogía visual con el ladrillo, **Diseño analítico**.



Fig. 69
Frank Lloyd Wright, Casa de la cascada, Bear Run, 1937. Estructura en Cantilever. Hormigón, piedra y hierro

⁶ Hierro Gómez, Miguel- Experiencias del Diseño, apuntes del curso de Diseño Arquitectónico, UNAM, 1998.

leyenda. Su tradición es difundida a través de canciones de trabajo que describen el proceso de diseño y en él se manifiesta la adaptación mutua que ha tenido lugar entre el estilo de vida y la forma del edificio (como en los *iglus* esquimales o en las *tipies* de los *pieles rojas*). Eso mismo ocurre con el diseño de las artesanías; se aprenden tras mucho tiempo, pero una vez aprendidas difícilmente se abandonan.

La intención proyectual y el uso de analogías

La consideración de la estructura como parte inherente del diseño, "nos enfrenta a un concepto que nos parece fundamental en la forma de concebir el acto de proyectar. La estructura del proyecto es de naturaleza básicamente figurativa; es decir, consiste en una particular relación entre los diversos materiales, capaz de orientar con sentido nuestra capacidad proyectual".⁷

Existe un tercer patrón de diseño: el **diseño analítico**, en el que se aportan analogías (normalmente visuales) a la solución de los problemas de diseño.

Se utilizó por primera vez cuando se diseñó el complejo arquitectónico en el que se encuentra la pirámide escalonada de Gizeh (Fig. 68). Dado el problema de construir por primera vez con enormes sillares, se tuvieron que extraer, para hacer esas edificaciones, analogías visuales de las tumbas de ladrillo y de las casas de madera y carrizos.



Fig. 69*

Puente sobre el parque Bloemendaal, Rijnsweerd de la ciudad de Utrecht, Holanda. Arqs. Geuze, Beuemer, Clark, Overdiep, de Bruin, de Natris, Onwuka, Geluk, Weesie, Schiemann. Estructura metálica, diseñada por computadora construida en los estudios de ingenieros Aronsohn.

De igual manera, las formas de la arquitectura dórica griega, deben buscarse en las estructuras de madera, transferidas a la piedra. En fin, la analogía también parece ser el mecanismo de la arquitectura "creativa", como puede apreciarse en "La Casa de la Cascada" (Fig. 69) y para la cual Frank Lloyd Wright se inspiró en las rocas colocadas naturalmente en cantilever.

Gran parte de la arquitectura contemporánea ha recurrido a la pintura y la escultura como fuente para sus analogías, pero también se pueden extraer semejanzas del propio cuerpo (analogías anatómicas) y de los conceptos filosóficos abstractos (como en la preocupación actual por el indeterminismo). El diseño analógico requiere del uso de algún medio, como el croquis, para trasladar el original a su nueva forma. Los primeros bosquejos de diseño egipcio datan del mismo período que el complejo arquitectónico

⁷ Gregotti, Vittorio, *Sustantividad que significa su practica, El territorio de la Arquitectura*; Ed. G.G.-1972

de la Pirámide de Imhotep, y el dibujo en sí comienza a sugerir posibilidades al diseñador. Establece retículas o ejes, con el fin de asegurarse que el apunte "encajará" en la superficie disponible; esto "indica" regularidades -simetrías y ritmos- que no habían aparecido antes en la arquitectura. Cualquier diseño análogo, un esbozo, una maqueta o incluso un programa de computación, se "apoderará" del diseñador e influirá en lo que proyecte, como resultado de una propuesta de diseño estructural y arquitectónico (Fig. 69ª) en simbiosis continua.

1.4 LA ESTRUCTURA EN EL PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño arquitectónico está ligado intrínsecamente con factores de orden social, cultural, psicológico, económico, tecnológico y estético. La conceptualización estructural funciona como el soporte organizador de los espacios que la arquitectura imagina, a partir del análisis de esos factores. Precisamente por la estrecha relación que existe entre forma y lenguaje, espacio y soporte, el diseño estructural requiere de un soporte de conocimientos tecnológicos que posibiliten su conceptualización como parte inherente del todo. Sólo así se incorporarán al resultado final los valores de orden surgidos a partir de la conceptualización estructural inicial: piel y osamenta en una sola expresión arquitectónica (Fig. 70).

En lo que respecta a la arquitectura, la relación exacta entre *estructura* y *construcción* ahora aparece clara.

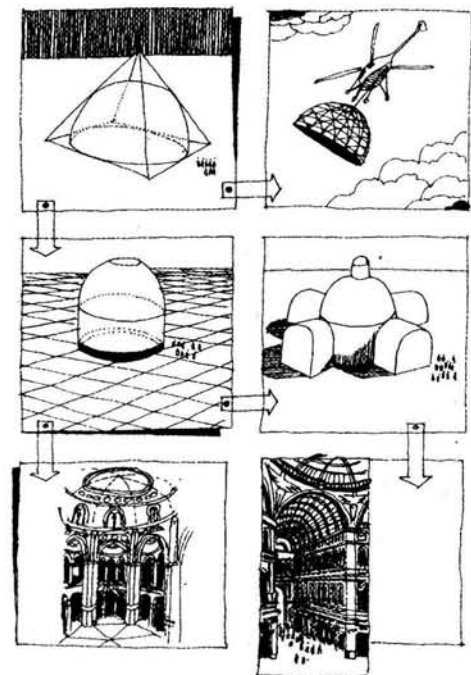


Fig. 70
Formas obtenidas de conceptualizaciones estructurales integrales; estructuras como conceptos generadores de los espacios. Sistemas estructurales: arcos, bóvedas, cúpulas y postes.

Estructura, como concepto más general y abstracto, se refiere a un sistema o principio de orden destinado a controlar las fuerzas que actúan en un sistema, que en el caso de la arquitectura es la edificación.

Por *construcción* se entiende la realización concreta de una idea, que en arquitectura puede llevarse a cabo con numerosos materiales y medios.

Por ejemplo, el sistema estructural que denominamos *poste y dintel*, puede realizarse en madera, piedra y metal, y sus elementos pueden unirse por varios métodos.

Hay diversos enfoques en lo que se refiere a la forma visible, tangible, que resulta del proceso de construcción. Así sucede en el caso de la elección y el tratamiento de los materiales, y también en el de las consideraciones estructurales que se ocupan de la eficacia del sistema escogido. En la práctica, el sistema de estructural y su realización mediante la construcción (Fig. 71) deben estar estrechamente unidos. No obstante, existen muchos casos en los que un sistema de estructura técnicamente perfecto, no encuentra una satisfactoria transposición una vez llevado a la realidad. O por el contrario, una construcción sólidamente ejecutada y técnicamente impecable no puede ocultar el hecho de que la solución estructural no es la apropiada, o que es insuficiente.

Desde el momento en que la conceptualización estructural ha encontrado una realización más o menos feliz en la construcción, podemos observar en el resultado externo, fenómenos que se relacionan aparentemente con el juego de fuerzas y el ordenamiento de las partes individuales correspondientes, juego que no puede describirse suficientemente, ni explicarse sólo por los conceptos de la estructura o de la construcción (Fig. 72).

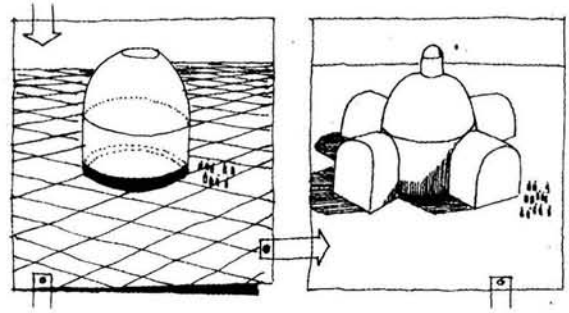


Fig. 71
Los elementos estructurales deben estar estrechamente unidos. Cúpula con base y sistema de bóvedas con bases, Conjunción de elementos estructurales.

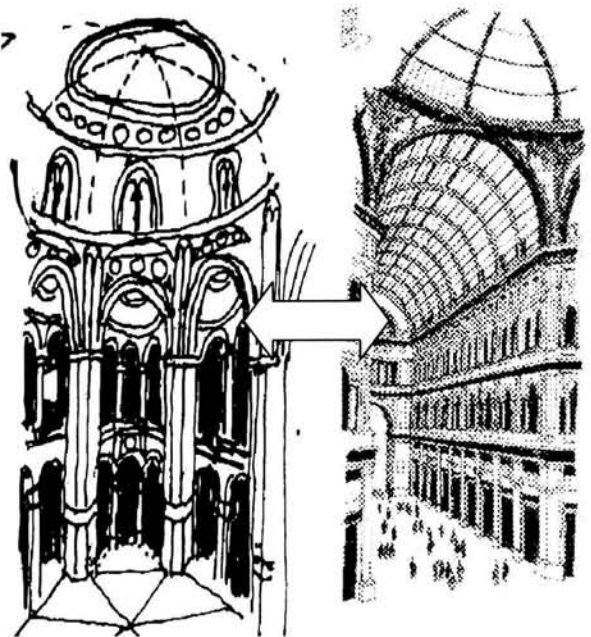


FIG. 72
Realización final del concepto estructural: cúpula con base de columnas y Contrafuertes ensamblados en las columnas; remate de contrafuertes con bóvedas, Bóveda metálica transparente con base, fachadas con sistema de arcos.

1. 4. 1 PREFIGURACIÓN Y TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

Prefiguración

La arquitectura se puede prefigurar a partir de diferentes factores. Mies van der Rohe diseñaba a partir de prefiguraciones tecnológico-estéticas y utilizando siempre una misma estructura, por lo cual, sus construcciones podían servir como oficina, vivienda o escuela. Por su parte, la arquitectura de Louis Kahn estaba influenciada por modelos geométricos. A él no le preocupaban tanto los factores estructurales o mecánicos de los materiales como sus cualidades visibles y tangibles.

Prefigurar estructuralmente, esto es, partiendo de la estructura, tiene ventajas notorias respecto de las otras maneras de prefigurar; la principal es que la obra siempre tendrá una respuesta correcta ante las fuerzas naturales. Esto permite que haya más libertad al pensar opciones compositivas y facilita que se hagan modificaciones posteriores, lo cual redundará en economía de tiempo y recursos.

Tipología

La investigación de las características de un modelo tipológico puede resolver satisfactoriamente una mala comprensión teórica del significado de sus elementos conceptuales.

Sin embargo, es necesario que previamente los elementos conceptuales sean definidos para ser comprendidos: "entablamento" (Fig. 73) y "cubierta" (Fig. 74) son conceptos que buscan distinguir ciertos signos de la sintomatología arquitectónica, cuya realización constituye el objeto arquitectónico. Estos signos son identificables a la vez como elementos formales, en términos de los cuales se puede producir y analizar el objeto arquitectónico. Esos elementos formales permiten interpretar las características tipológicas de una obra arquitectónica dentro de esquemas concretos.

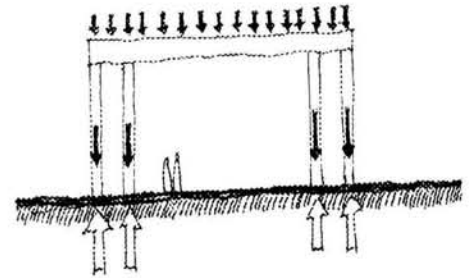


Fig. 73
Entablamento, Elemento estructural relacionado con la formalización de esfuerzos.

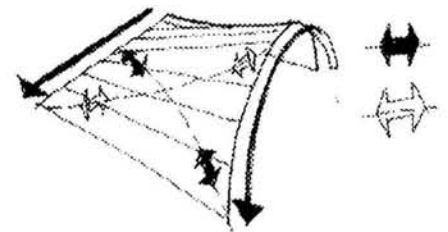


Fig. 74
Cubierta, Elemento conceptual, formal y estructural.

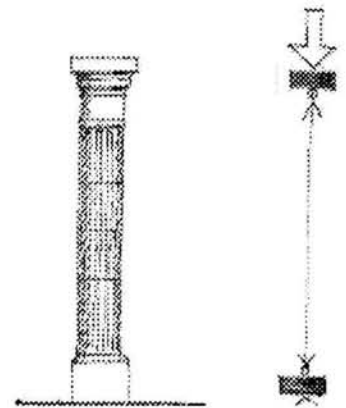


Fig. 75
Columna, elemento conceptual, formal y estructural.

Esto tiene importantes consecuencias prácticas. Un modelo tipológico permite sólo un análisis unilateral de la arquitectura; por ejemplo, el elemento variable "columna" (Fig. 75) es aplicable a gran número de objetos arquitectónicos, cada uno diferente a los demás, y la mera aplicación de un modelo tipológico en particular no permite apreciar los aspectos de su propia diversidad.

No obstante, se podrá definir tal elemento especificando sus características estructurales, para que así, se pueda referir más adecuadamente a cierto conjunto de elementos conceptuales.

Siguiendo este patrón, se podrán construir modelos tipológicos no sólo a partir de los componentes estructurales y plásticos, sino también de su forma funcional. (Fig. 76)

Al prefigurar una estructura, es conveniente analizar las posibles relaciones que pueden existir entre ella y su forma, al relacionarlas con las características propias del espacio a diseñar.

Éstas pueden establecerse dentro de tres clases distintas, y entre ellas pueden establecerse mutuas correlaciones:

- Una clase de relaciones donde hay una imposición de ciertos elementos por su propia jerarquía, sin que de manera explícita, alguno tenga un papel dominante (Fig. 77)
- Una clase de relaciones donde no hay una imposición explícita de los elementos (Fig. 78)
- Una clase de relaciones donde hay una súper-imposición explícita de ciertos elementos, con la consecuente subordinación o dependencia de los restantes (Fig. 79)

Para facilitar la prefiguración estructural, es necesario analizar qué clase de relación conviene que exista entre

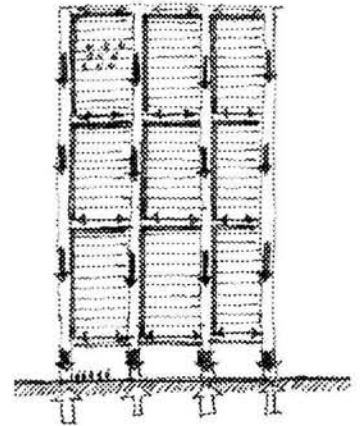


Fig. 76

Un modelo tipológico se puede construir a partir de sus componentes estructurales y conformación formal-funcional.

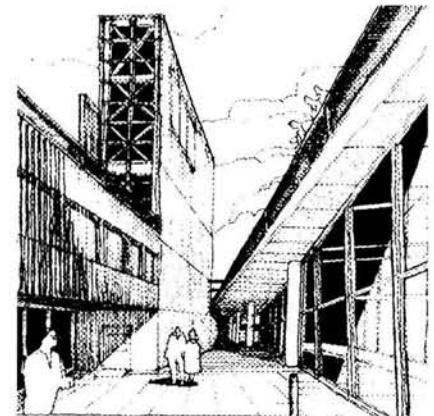


Fig. 77

Museo de Rotterdam, Holanda Arq. Rem Koolhaas

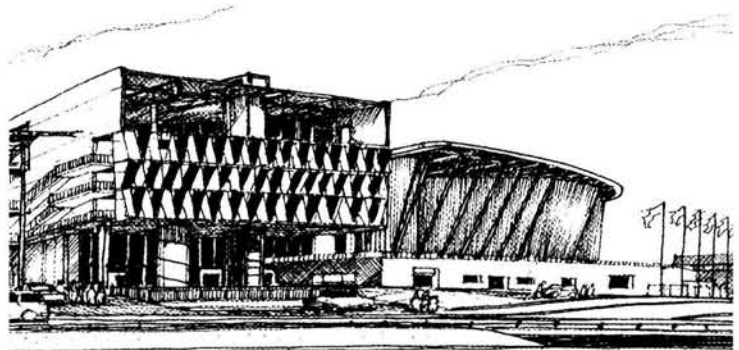


Fig. 78

Centro de exposiciones, Lille, Francia. Arq. Rem Koolhaas

los diferentes elementos involucrados, de manera que se logre la correcta comunicación de los términos del lenguaje arquitectónico; la cual inicia con la adecuada relación de su estructura *real* y su estructura *formal-funcional*.

1. 4. 2 FUNCIÓN DE LA CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL

La enseñanza y práctica de la Arquitectura actual tienen tergiversado la jerarquía de los elementos que la conforman, al asignar un valor prioritario a lo estético-formal. Y esto se ha picado al punto de *hacer arquitectura* de algún estilo específico o a la manera de alguien. La arquitectura no cambia su esencia por otorgársele valores y atributos de estilo, éstos no la hacen mejor o peor. Pero sí resulta fundamental que se jerarquicen sus componentes, de manera que se integre ordenadamente lo que sí le da valor, lo que la convierte en lo que realmente es: Una actividad de diseño funcional, no una actividad estética (Fig. 80).

Gran parte de la arquitectura contemporánea busca exclusivamente la exaltación de la forma, sin tomar en cuenta el tiempo, el espacio y la función que le corresponden, lo cual incluiría los aspectos técnicos.

Rescatar la función del arquitecto, es regresar al diseño coherente; aquel que lleva implícito valores tales que le permiten cumplir y responder a las necesidades del usuario (Fig. 81). Hacer arquitectura implica rescatar la labor del diseño. Lo primordial es el delinear, una labor encaminada a resolver las necesidades del beneficiario y sus requerimientos específicos.⁸

Sin embargo, lo más común es encontrar arquitectura que no cumple con las funciones y necesidades del consumidor,

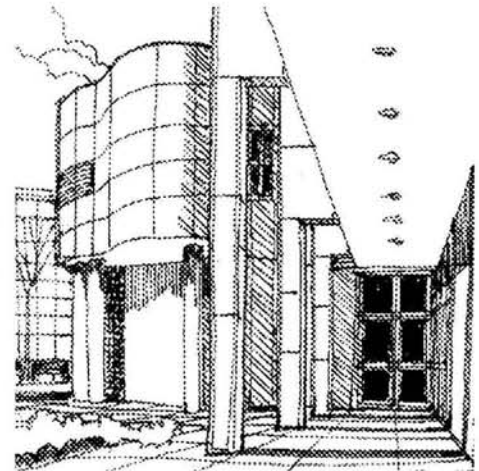


Fig. 79

Estructura que busca exaltar la volumetría mediante relaciones de súper imposición explícita: Formas onduladas con columnas cilíndricas, y formas lineales con columnas rectangulares. Bridgeport Center, Connecticut, E.U. Arq. Richard Meier.

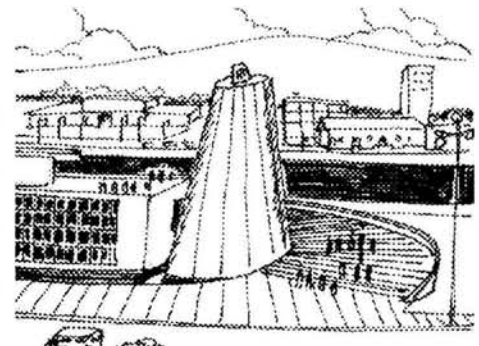


Fig. 80

Estructura como valor independiente del diseño: estructura metálica donde la forma es la justificación del espacio diseñado. Museo del Vidrio, Tacoma WA, 2002.

⁸ **BOHIGAS, Oriol.**- *Contra una Arquitectura Adjetivada*.- Editorial Seix Barral, S.A.- Biblioteca Breve de Bolsillo.- Barcelona, 1969.

tan sólo sigue los lineamientos estéticos dados por alguna tendencia, lo cual hace de ella una labor impertinente.

La importancia cultural de la arquitectura radica en que crea y transforma estructuras para dar solución a necesidades espaciales, dando una importancia fundamental a los aspectos estéticos y de funcionamiento. La forma será, por tanto, la respuesta a un espacio coherentemente diseñado, y no el espacio diseñado será una justificación formal dentro de un esquema estructural y estético preconcebido.

Así, la solución estética será consecuencia de una adecuada conceptualización estructural y deberá estar acorde con los requerimientos técnicos, de funcionalidad y confort, no solamente con requerimientos formales.

Las formas propuestas (Fig. 82 y 82a) serán por tanto, un resultado aproximado de la experiencia del arquitecto en el diseño de estructuras. Conforme el conocimiento de las posibilidades estructurales sea más amplio, mayor serán las posibilidades de respuesta ante un problema específico; esto es, si el arquitecto domina los diagramas estructurales, así como el análisis y valoración de sus posibilidades técnicas, podrá alcanzar formas de sus posibilidades técnicas, podrá lograr formas expresivas únicas.

El desarrollo de la obra será acorde a los requerimientos reales y no a las tendencias formales, porque éstas llenan de calificativos a la obra, desde el planteamiento de su idea, predeterminando su resultado.

Esa es, por tanto la función de la conceptualización estructural: dar coherencia al proceso de diseño arquitectónico y así poder crear espacios eficientes, funcionales y admirables.

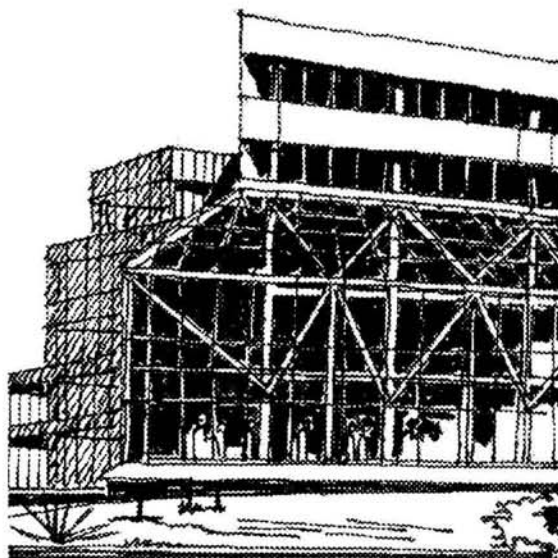


Fig. 81
Rescate del diseño estructural, World Headquarters of R. Dakin & Co. Arq. Theodoro Brown, San Francisco California E.U.

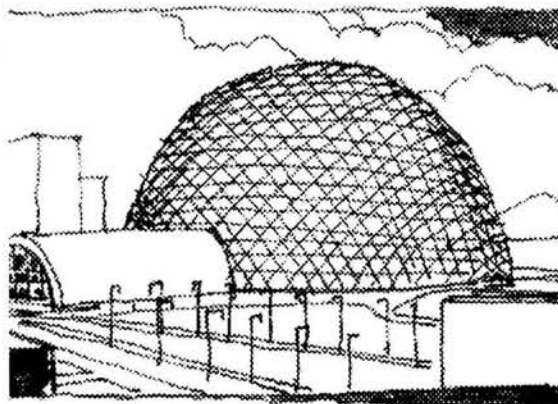


Fig. 82
Estética, consecuencia de la conceptualización estructural propuesta. Domo geodésico, sin soportes interiores que interrumpen el espacio. ARQ. BUCKMINSTER FULLER.

La reflexión acerca de las maneras en que la arquitectura se hace manifiesta en la función de conceptualizar, donde se sucede buscado la exaltación de la obra sin tomar en cuenta el tiempo y el espacio a que corresponde, incluido en esto las posibilidades técnicas y tecnológicas.

Rescatar la función del arquitecto como primera forma de identificación es regresar al diseño; esto lleva implícita la búsqueda de valores que le permitan cumplir y responder a las necesidades del usuario; hacer arquitectura no significa hacer obras de arte, significa diseñar integralmente.

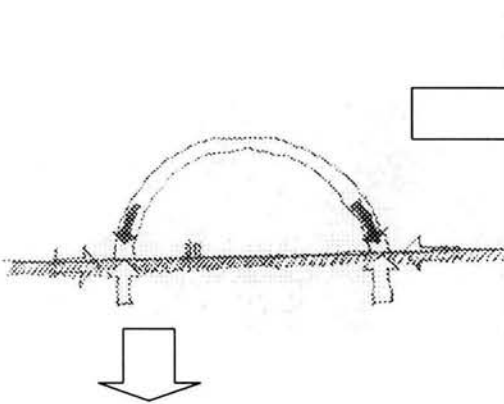


Fig. 82 a
Estructura de grandes luces, arcos anclados a tierra con una cubierta de cristal apoyada debajo de la misma

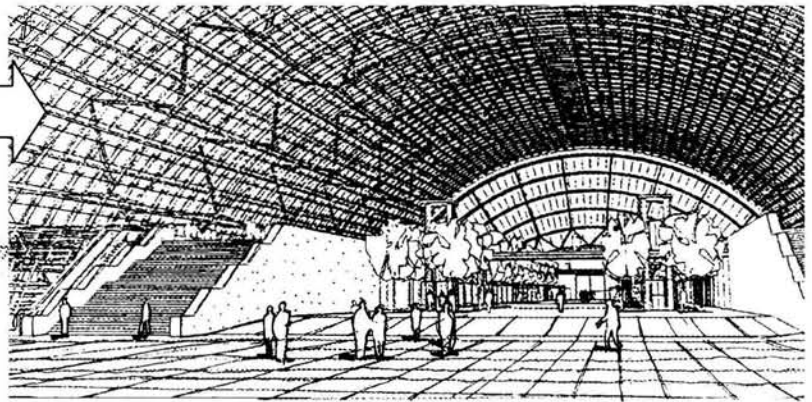


Fig.82 b
Centro de Exhibiciones Internacionales en Leipzig Alemania, 1992 **Arq. Iam Ritchie**, Estructura metálica de alta tecnología, tubular con una cubierta de cristal de una altura de 28m.

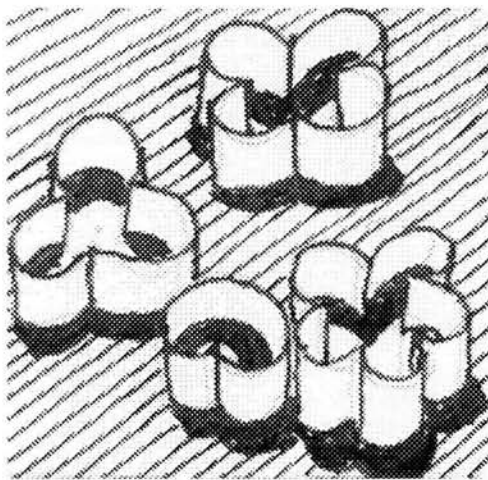


Fig 82 c
Estructura auto sustentable formas curvas que se sostienen solas

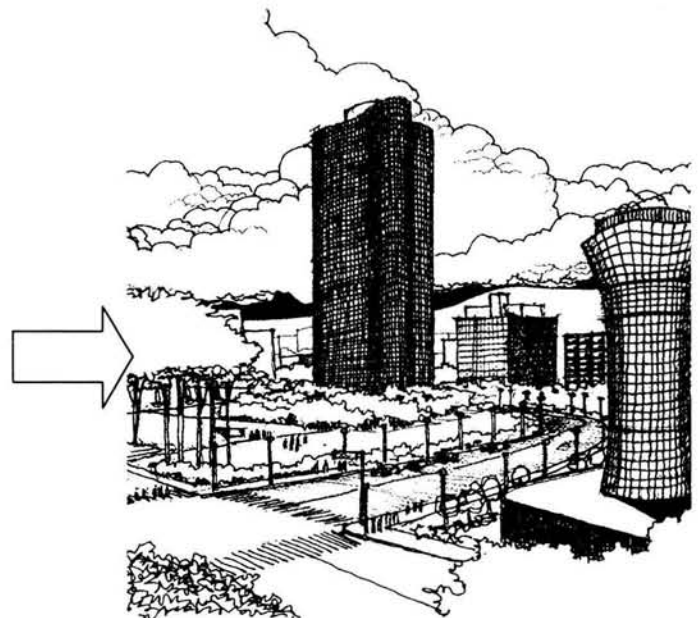
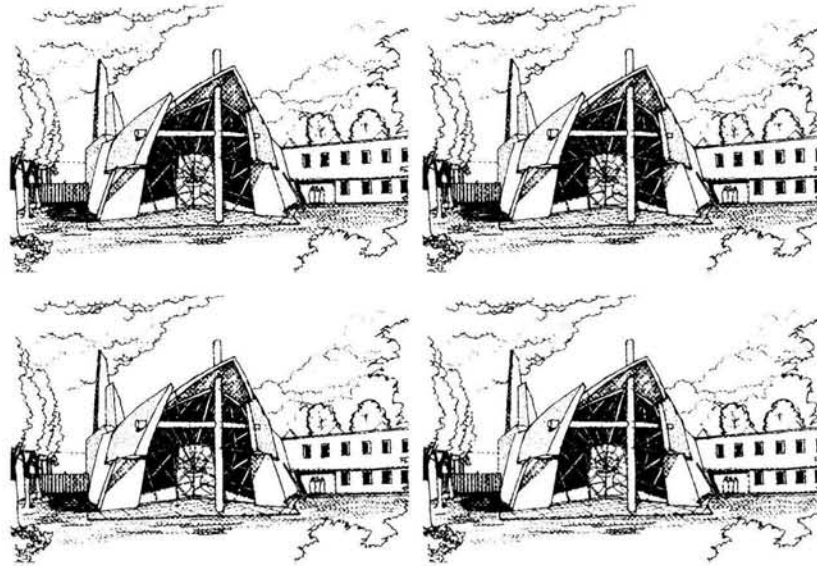


Fig 82 d
Torre Lake Point, Chicago Illinois, Arqs. Shipporeit & Heinrich 1968



Proyecto de capilla Católica; Casa madre Ercilla, Morelia – 1998, Arq. Víctor M. Ruelas Cardiel

“Desde mi punto de vista, en la fase proyectual encontramos todos los problemas de interpretación de símbolos y todas las alusiones y conexiones entre el diseño general y los detalles; entre la unificación de las formas y las indicaciones generales de escala.”

Vittorio Gregotti

CAPITULO II

LAS ESTRUCTURAS, SU CONCEPTUALIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN

CAPÍTULO II

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

Para poder sistematizar el diseño de estructuras, es fundamental ante todo, saber que la conceptualización estructural se debe siempre aplicar a la configuración de un proyecto arquitectónico específico, es decir, para cada esqueleto habrá una piel única que dará un carácter formal específico a la obra edificada, respondiendo a las demandas que la originan y a las posibilidades técnicas que la soportan..

Por otra parte, la piel y el esqueleto conforman un todo único en estrecha relación coherente, donde la variación de uno afectará directamente la organización del otro.

Esta característica hace necesaria la aplicación de ciertos conceptos que permitan facilitar el diseño de la estructura; ya que los esqueletos que soportan lo edificado sólo pueden ser reconocidos por la presencia de las formas que articulan sus espacios. Las pieles que los recubren son la expresión objetiva que el usuario percibe al interpretar el espacio arquitectónico diseñado, su forma y función (Fig. 83) Dichos conceptos son: La propuesta compositiva. (Figs. 83 y 85) La tipología estructural.(Figs.84, 85 y 86)La tipología arquitectónica (Figs. 83, 85)

Aquí es conveniente hacer un paréntesis para recordar lo que dice Rafael Moneo en relación a que sólo es posible que se genere una nueva tipología arquitectónica¹⁶ cuando aparecen innovaciones estructurales y tecnológicas, que permitan nuevas propuestas compositivas (Fig. 87).

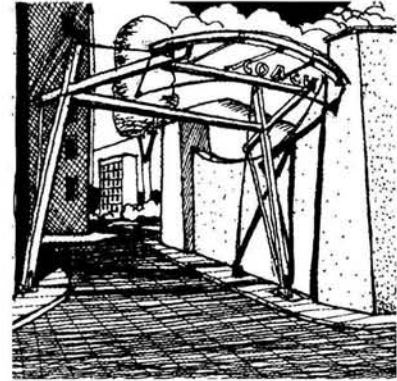


Fig. 83 Hiper-Realistic Oscar Riera Ojeda, Lucas H. Guerra

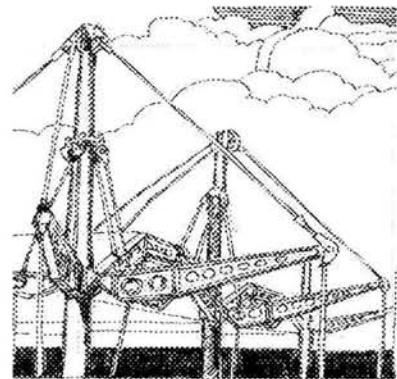


Fig.84 Nudos, segmentos, regiones; estructura con orden de complejidad creciente Centro Renault, Swindon, R. U., 1983 (detalle)Norman Foster.

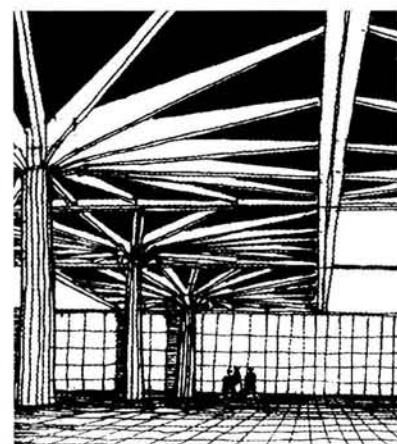


Fig. 85 Palazzo del Lororo, Turin, Italia, 1950 Pier Luigi Nervi, Estructuras de hormigón, traveses mensulares y columnas coniformes

¹⁶ MoneoVallés, Rafael.- Crítico y teórico español (Navarra, 1937). Profesor de la School of Design en Harvard.

Pero de manera paralela se debe dar otro fenómeno: la decadencia de la tipología dominante, que ocurre cuando se olvidan los valores que la produjera.

Pues bien, la tipología arquitectónica basada en el sistema estructural cúbico -que es el que domina actualmente- ha perdido los valores que la originaron. Su propuesta compositiva se resume a un solo concepto: el *formalismo*, concepto tan subjetivo que se vuelve vacío, trivial; útil sólo para quien colecciona íconos de fácil apropiación formal.

La arquitectura posmoderna se produjo como protesta a este *formalismo* a ultranza, pero pudo hacerlo por los profundos conocimientos tecnológicos y estructurales de sus fundadores. y ha incorporado -aunque con otras palabras- los conceptos *propuesta compositiva*, *tipología estructural* y *tipología arquitectónica*, al diseño arquitectónico. Pero no sólo eso, plantea la necesidad de concebir la arquitectura como parte de una integridad y propone condicionantes de muy diversos tipos para hacerlo.

Por estas razones el último punto del Capítulo III, está dedicado a explicar qué es el deconstructivismo y cómo concibe la conceptualización estructural en el proceso de diseño

2.2 TRANSICIÓN, TENDENCIAS Y RETROCESOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL

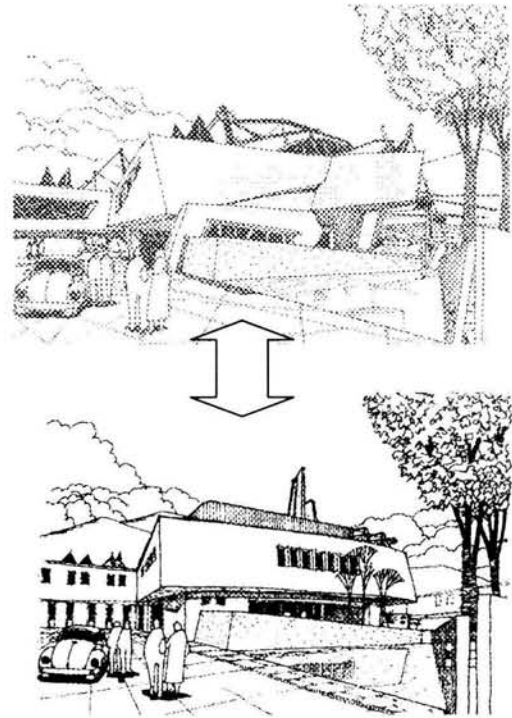


Fig. 86

La piel es la expresión objetiva que el usuario percibe al interpretar el espacio arquitectónico. Proyecto Casa Madre Ercilla, Morelia, Mich. 1980, Arq. Víctor M. Ruelas Cardiel

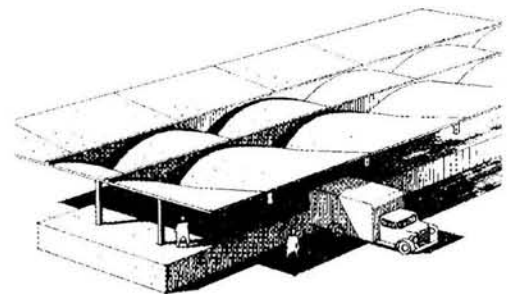


Fig. 8

Una nueva tipología arquitectónica solo es posible a partir de innovaciones estructurales y tecnológicas. Arq. Félix Candela, Mercado de la Merced, México.

La gravedad es una propiedad física que debemos tener presente al estudiar las cualidades y posibilidades de los materiales. Esto es tanto más obvio si se piensa que la acción de la gravedad permanece, sin importar la disposición de los materiales, ya sea que éstos se encuentren, por ejemplo, en montículos o que formen una compleja estructura (Fig.88)

Propiedad física inescapable desde que el ser humano empezó a construir espacios artificiales, ha significado desde entonces, en sentido figurado y real, una pesada carga que soportar y resolver.

En efecto, la relación obligada entre el peso de los componentes y su posible ruptura ha tenido una importancia primordial desde que construir consistía simplemente en amontonar materiales hasta la más sofisticada estructura contemporánea.

Puede decirse que en la mayoría de los casos el arte de construir no ha sido otra cosa más que acomodar los elementos para resistir la atracción de la gravedad. En esta modalidad, el agregar elementos tenía naturalmente un límite, porque cada añadido aúna su propio peso, pero no necesariamente contribuye a la resistencia del conjunto. Se llega rápidamente a provocar un incremento de carga tan importante, que finalmente cada nuevo elemento acomodado arriba de la pila va aplastando al que está abajo

Sin embargo, esas edificaciones simples tienen sus ventajas. La fuerza de gravedad mantiene los elementos entables no hay que preocuparse de grapas, ni de cargas térmicas adicionales, ni en general, de factores exteriores al sistema. Este linaje de estructuras, que se pueden más bien llamar **protoestructuras**, empezó por el primer gran bloque de piedra posado sobre otro bloque, en una época en la cual algunas edificaciones públicas fueron los dólmenes. Continúa durante milenios a través de los *órdenes* (columnas-arquitraves) de los egipcios (Fig. 89) y los griegos, y llega directamente hasta la arquitectura contemporánea a través de los postes-travesaños, cuya realización

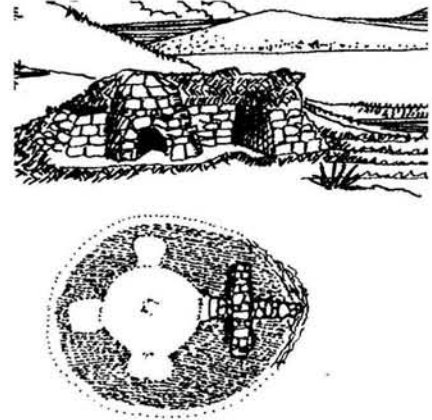


Fig. 88

La acción de la gravedad permanece, sin importar si los materiales están organizados en complejas estructuras o si son dejados en montículos

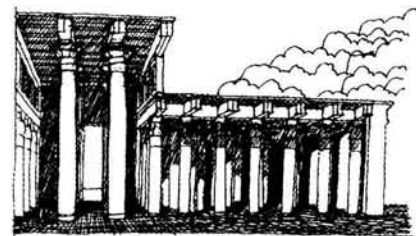


Fig. 89

Columnas egipcias, estructura monumental de gran fortaleza, grandes bloques de piedra pesada, posada una sobre otra Ciudad Real de Giza "La entrada" 2600-2480 a.C.

suprema se logra en los modernos rascacielos, símbolos de poder logrados mediante la trivial conjugación de materiales industrializados y tecnología altamente consumidora de energía, que si bien utiliza los saberes constructivos obtenidos por la física newtoniana, lo consigue un mínimo de talento constructivo.

No obstante, existió paralelamente otro linaje de estructuras en las cuales la gravedad no representaba un factor tan importante y que es tal vez tan viejo como las protoestructuras. Pero esta manera de construir no ha dejado vestigios, todavía menos ruinas espectaculares.

Era el arte de construir chozas de ramas entrelazadas y techos de paja con sistemas similares a los utilizados en la cestería.

Al contrario de las protoestructuras, aquí los elementos eran relativamente ligeros y se ensamblaban orgánicamente en un conjunto sólido, a través de ligaduras.

En la etapa siguiente, lo harían por sutiles combinaciones de elementos flexibles; por arreglos como el trenzado y el hilado, que quitaban a los elementos su libertad de movimiento (de los unos en relación con los otros) produciendo de paso esquemas de repartición considerados, o no, como decorativos.

Por cierto, el hablar de estas estructuras nos hace recordar que las palabras texto, *textil* y *textura* tienen una raíz común: el entrelazar, la imbricación íntima de muchos elementos relacionados. Se trata, en fin, de verdaderas estructuras compuestas en el sentido más riguroso de la palabra

En ellas, la relación obligada de ruptura-peso es muy favorable, como lo denota el hecho de que eran confeccionadas con un mínimo de materiales, aparentemente muy poco resistentes, pero cuya fortaleza

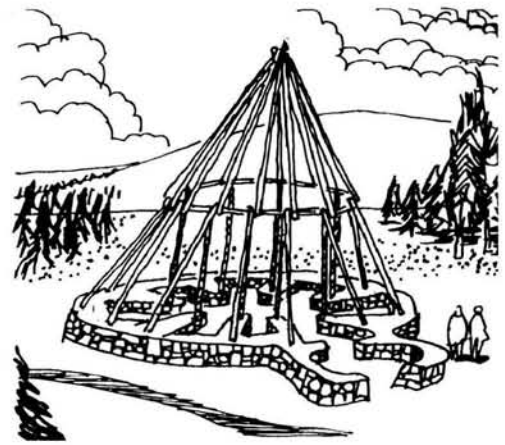


Fig.. 90

Estructuras compuestas: muros de madera como base vigas y postes de madera, que se pueden entrelazar con tallos diversos, para construir las paredes.



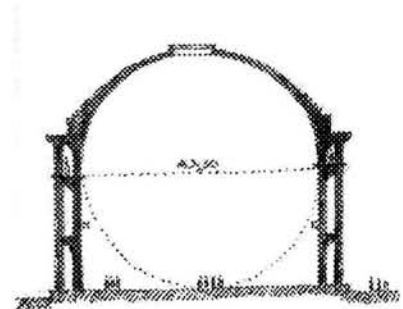
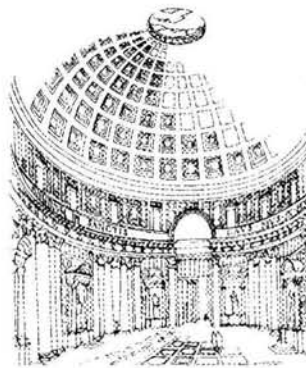
Fig. 91

Aldea de Audijila, Camerún Estructura de piedra y lodo, artesanía que difícilmente se olvida diseño topológico,

les era conferida por la retroalimentación que representaba la suma de las resistencias de muchos elementos entramados (Figs. 90 y 91) A todo lo largo de la historia de la Arquitectura se ha dado una alternancia entre estas dos tendencias estructurales, la primera, la de las protoestructuras, a la que llamaremos *quietista* o convencional, la segunda, a la que denominaré *vanguardista*.

La primera prefiere la seguridad de lo rutinario; la segunda experimenta con inteligencia, imaginación y audacia. Ambas tendencias se han manifestado paralelamente, aunque también lo han hecho una después de la otra, por que si cada periodo empieza por la economía de los medios y después sigue por mejoras técnicas incesantes que logran riqueza y variedad en los resultados, se termina siempre por un desperdicio voluntario de los medios, por la esclerosis de ideas y por la normalización exagerada.

Todas las tendencias constructivas se han comportado igual: empiezan con ideas audaces, culminan en obras maestras, y terminan en copias rutinarias (Figs. 92 y 92a)



Figs. 92 y 92 a

Estructura inteligente, audaz e imaginativa, Panteón de Roma 118-128 d.C. Cúpula que cubre un claro de 40.30 m. de diámetro. Es el edificio que mejor sintetiza el concepto Romano del espacio mediante estructuras de tambor y cúpula, vastos espacios exentos de apoyos intermedios

Retrocesos

1. Ha ocurrido a veces que técnicas de diseño y construcción extraordinarias, por su belleza y complejidad estructural, han sucumbido bajo el contra-ataque de lo inarticulado. Así ocurrió en el Renacimiento cuando se hizo uso de las pesadas gualdras, que representaron un retroceso con respecto al dovelaje labrado del gótico (Fig. 93).

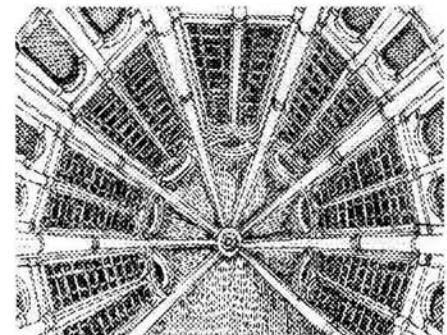


Fig. 93

Catedral de Reims (año 1137) Bóveda del coro, una Catedral gótica es completamente una estructura e incluso, estructuras múltiples, jerarquizadas

Pero, el progreso de esta época renacentista, con su correcta concepción estructural y formal, con su extraordinario manejo de la iluminación natural, fue superior a la de los edificios neoclasicistas contra los cuales la voz de muchos arquitectos del siglo XIX se elevó. Finalmente la

arquitectura que había nacido durante el Renacimiento, sucumbió bajo el abuso de los intereses de status de la Iglesia predominante de esa época.

Siguiendo este mismo patrón de comportamiento, no debe sorprender que ocurriera la separación entre el esqueleto y la piel (algo que nunca antes se había dado en arquitectura cuando la arquitectura moderna aún estaba en proceso de maduración (Fig. 94). Pero lo peor es que esta disociación se volvió una característica de la arquitectura moderna y contemporánea

2. Sea de acero o cemento, el punto de honor de la arquitectura moderna fue deshacer los edificios de su obesidad liberar el suelo de las ménsulas monstruosas de albañilería que no cargaban a menudo más que a ellas mismas. La estructura se volvió fina, grácil, al encuadrar grandes superficies de vidrio. Esta arquitectura formalmente inquebrantable, ha sido muy bien definida por Hennebique¹⁷ al afirmar que la construcción de cemento armado es *"un bloque monolítico celular cuyas resistencias son desde todo punto de vista superiores a todos los cansancios"* (Fig. 95). No obstante, ese progreso no siempre se debió a un desarrollo constructivo verdaderamente nuevo y más eficiente, sino únicamente a la utilización de nuevos materiales, más resistentes. Y precisamente por eso, iba a tener como consecuencia la inmovilidad, hecho sin precedente en la historia de la Arquitectura

Toda esa compleja tecnología sin una base profunda y crítica que la sustentara, llevó a la arquitectura moderna hacia propuestas formales desasociadas, en las que el gigantismo y la rigidez formal se volvieron la regla. Y finalmente, como apoteosis, de dio el culto a la monumentalidad como religión oficial de la construcción.

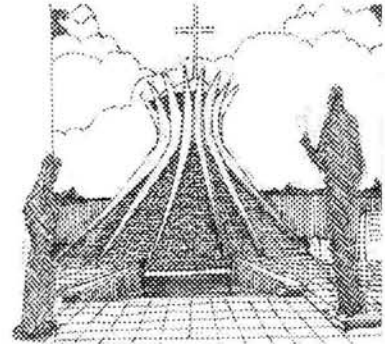


Fig. 94
Disociación del esqueleto y la piel, Catedral Metropolitana de Brasilia, 1960, **Oscar Niemeyer** estructura de hormigón con forma cóncava y convexa que simboliza una corona de espinas sin relación con el contexto. Brasilia representó un proceso metodológico carente de historia

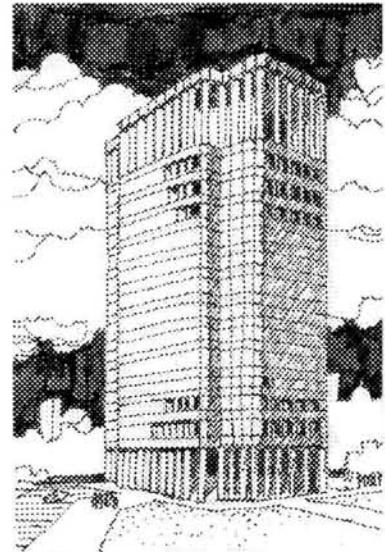


Fig. 95
Bloque monolítico celular, cuyas resistencias son desde todos los puntos de vista, superiores a todos los cansancios, estructura de columnas **Phillip Johnson**, Instituto de Investigaciones Kline Center Yale, New Haven, 1962.

Otro aspecto que parece regir en la arquitectura contemporánea es el consumismo, el cual no se reduce a un simple desperdicio de materiales; se extiende al sobrante de los movimientos que intervienen en el trabajo mismo de la construcción: abuso de energía, de máquinas cada vez más pesadas y obras cada vez más grandes (Fig. 96). La hiperactividad y afán de lucro de las empresas constructoras junto a la atrofia de la deontología¹⁸ y el aplastamiento de toda escala humana y gobernando todo esto, las inevitables corporaciones: el jerarca precursor de la decadencia. En contraposición a todo esto, Bernardo Lafaye y Buckminster Fuller repetían a menudo: "si se quiere determinar el grado de desarrollo de un edificio, basta con pesarlo" (el peso de los materiales, premisa de la arquitectura contemporánea) (Fig. 97) Estructura geodesia "el objetivo de la arquitectura actual debe ser cubrir espacios" e "infinitamente grandes con incomparablemente poca materia"¹⁹.) Pero para construir estructuras eficientes, hay que salir primero de nuestras estructuras mentales

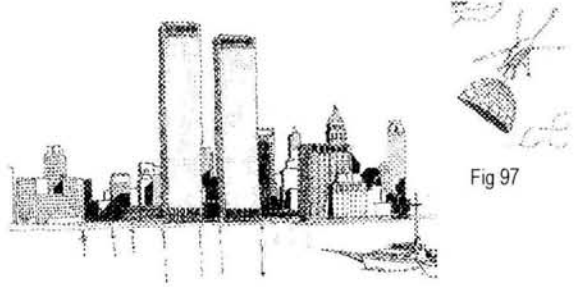


FIG. 96
"In Memorium," torres gemelas N.Y. 1974
Arq. Minoru Yamasaki
Piel metálica, acero pulido, hormigón y cristal

2.3 LA CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL: SU SITUACIÓN ACTUAL



Fig. 98
La tecnología ha transformado las estructuras: el objeto de la arquitectura actual debe ser cubrir espacios infinitamente grandes con infinitamente poca materia. Estructura velaria, Estadio olímpico de Munich, Alemania, 1972. Proyecto arquitectónico Behnish & Partner y Gunter Gazimek. Estructurista: Frei Otto

Hennebique, Francois; estructurista francés de fines del siglo XIX. Patentó un nudo monolítico de hormigón armado capaz de resistir la flexión o el pandeo, un paso de gigante en la historia del hormigón armado. Esta cita suya fue tomada de: "Les Structures", p. 7 (ver Bibliografía)

¹⁸ La deontología trata de los deberes éticos (ver Glosario)

¹⁹ Bernardo Lafaye y Buckminster Fuller son dos connotados estructuristas contemporáneos.

1. Los avances tecnológicos han permitido a la arquitectura, la creación de espacios con nuevas y audaces formas. A lo largo de la historia, los objetos arquitectónicos han sido un fiel reflejo de la adecuación entre la demanda social, las necesidades de funcionamiento y la tecnología disponible. Y las estructuras siempre tuvieron un papel fundamental en ello (Fig. 99).

Sin embargo, en la práctica arquitectónica actual pareciera que su importancia se ha olvidado, en aras de formalismos estéticos y de una pretendida modernización estandarizada; lo que contrasta con otros campos científicos y tecnológicos, en los que las estructuras son una parte esencial. Así, las encontramos como estructuras semiológicas del lenguaje, en las de las obras de ingeniería civil, en el transporte en general o hasta en la industria aeroespacial

Pero lo más grave es que en este olvido tiene una gran responsabilidad la enseñanza usual de la arquitectura.

Así, en la mayoría de las escuelas de arquitectura, bajo la denominación de diseño estructural, se enseñan únicamente nociones superficiales de resistencia de materiales.

La enseñanza de estructuras ha dejado de ser una actividad intelectual y creativa para convertirse en la copia de simples recetas casi inflexibles. Y aunque para algunos destacados arquitectos la enseñanza del diseño estructural tiene una gran importancia, en términos generales ésta es relegada en el mejor de los casos.

La arquitectura no debe integrarse sólo del diseño formal-funcional, necesita de la conceptualización estructural para ser verdaderamente diseño de Arquitectura.

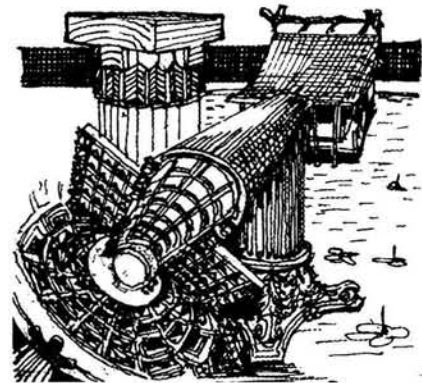


Fig. 99
Conceptualización estructural en Diferentes culturas. Santuario Matsuo, y el Panteón de Roma Kumamoto, Japón 1977. Yasufumi Kwima,

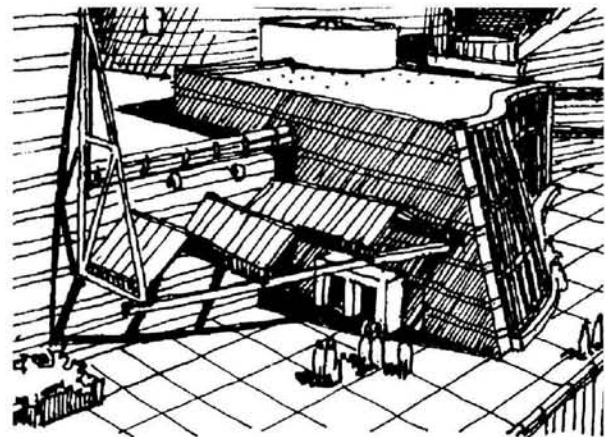


Fig. 100
Una pobre estructura disfrazada por un entorno plástico audaz, puede ser por ignorancia interpretada como una evolución extraordinaria, Museo Stratsgaleria, Stuttgart, Alemania, 1984 Arqs. James Stirling, Michael Wilford

La imperdonable desaparición del verdadero significado que tienen las estructuras en arquitectura pretende atenuarse mediante la proliferación de entelequias verbales como *espacio plástico* o *creación formal*; conceptos que se proponen y lamentablemente son aceptados, como una evolución extraordinaria de la actividad constructiva, que ha resuelto por fin, el difícil problema de las estructuras inmateriales (Fig. 100). Aquí cabe recordar la metáfora del rey que creía estrenar su nuevo atuendo, sólo visible para los inteligentes, cuando en realidad era al revés

El valor subordinado que en el ejercicio profesional se da al diseño estructural, tiene sus raíces en la pobrísima enseñanza de estructuras, la cual se limita al conocimiento de un diagrama estructural omnivalente, apropiado para cualquier caso; Un estereotipo estructural tan simple que resulta vano enseñarlo.

Pioneros de la arquitectura funcionalista escribieron poemas entusiastas al sistema estructural cúbico, porque se trataba de una estructura universal, ecuménica en tanto que resultaba omnifuncional.

Pero por desgracia, estas estructuras actualmente están tan incrustadas en la mente de los arquitectos e ingenieros, como los nidos hexagonales en el instinto constructivo de las abejas obreras. Aunque en este caso la estructura hexagonal es más resistente y espacialmente más eficaz, y además ninguna abeja se ostenta como creadora arquitectónica (Fig.101)

Es cierto que a veces los grandes artífices del sistema cúbico, al final de sus carreras, se han desahogado del fastidio que provoca una vida de *diseño* estructural perpendicular, con creaciones plásticas inspiradas en mitras, velas de barcos o alas de halcón. Pero estos desahogos sólo han sido anecdóticos, sin ningún sentido contestatario o de auténtica innovación; nada contra El sistema cúbico, normalizado y normativo.

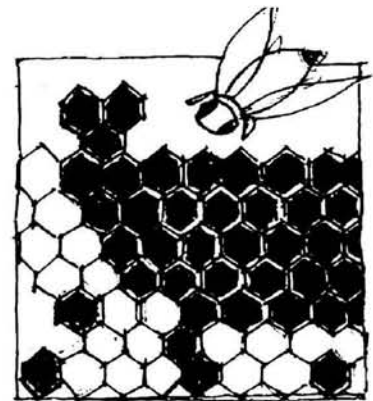


Fig. 101
Estructura hexagonal, Instinto constructivo de las abejas

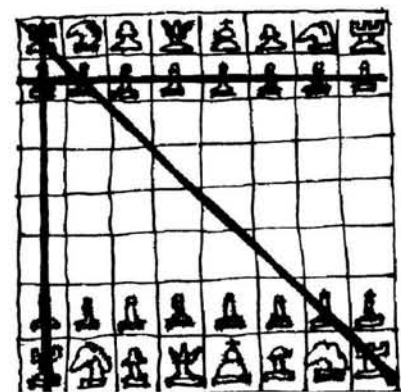


Fig. 102
En el campo del urbanismo, los planos directores son simples tableros de ajedrez.

El estudio de formas constructivas diferentes a la rectangular, se ha reservado para niveles especializados (postgrados en estructuras, por ejemplo).

Pero en el nivel de licenciatura, su conocimiento se ha abandonado, ya no se diga su estudio.

Sólo quedan algunos reductos (el laboratorio de estructuras de la UNAM, por ejemplo) que permiten dar rienda suelta a la imaginación de los estudiantes, aunque sólo sean meros divertimentos teóricos, que no pueden deconstruir los años de anquilosamiento mental que significan las enseñanzas convencionales de una carrera basada en el diseño estructural al partir de formas perpendiculares.

2. De igual forma, en el campo del urbanismo los planes directores de desarrollo, son la mayoría de las veces tan perpendiculares como tableros de ajedrez (Fig. 102). Para disfrazar la simpleza formal, son adornados con equipamiento que formalmente es un poco más complejo.

Pero este decorado controlado sólo sirve para acentuar su pobreza formal, ya que diseños mediocres no pueden ocultarse mediante equipos de señalización vial, paradas de autobús o buzones

Se olvida que las catedrales (Fig. 103) carecían de camuflajes. Fundamentalmente sub.-equipadas, no eran más que estructuras que por sus valores intrínsecos se convirtieron en obras maestras. Porque hacer arquitectura es crear estructuras bellas y eficientes en sí mismas, con premeditación y no arbitrariamente ni por mimetismo.

Desgraciadamente, desde el modernismo se ha dado una gran *importancia* al simple hecho de que una estructura esté expresada en la fachada, aunque no tenga ningún valor como tal (Fig. 104).

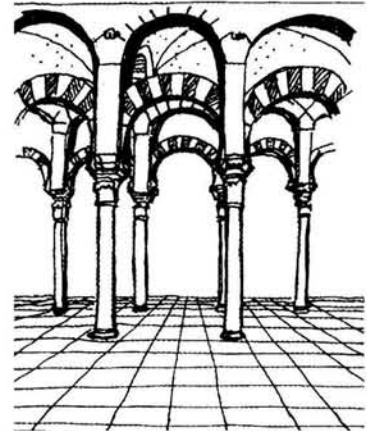


Fig. 103

Estructura de arquería articulada que carece de accesorios. Mezquita de Córdoba, 870 d.C. Abd Al-Rahman I. Estructura de arquería articulada en doble altura sobrepuesta; pilastras



Fig. 104

Estructura decorativa, sin valor, expresada en la fachada; pobre lenguaje tecnológico. Escalera de elemental diseño estructural. Tensores de teflón con Troughton Mc Aslan Apple Computers, U.K. 1987-1989.

La estructura así concebida se convierte simplemente, en un capital publicitario. Sus efectos se revelan sin fondo: el diseño de formas "originales" *per sé*, reducido a nada. La aportación *naive* mexicana por excelencia en este sentido, es el uso decorativo a diestra y siniestra de la *Tridilosa*.

El mayor problema de la arquitectura llamada moderna es que está aprisionada en el dogmatismo del ángulo recto. Y no se puede esperar, después de casi medio siglo de existencia, que sus incoherencias y contradicciones internas, sus falacias, se arreglen solas en el futuro previsible.

3. Realmente, esta ostentación estructural en las fachadas nunca llegó a un paroxismo tan vicioso como en el postmodernismo: *art-decò* detrás de un pretendido constructivismo (Fig. 105). Esta tendencia arquitectónica erigió la decoración en un nivel jerárquico igual al de la sustancia mayor de la arquitectura: la estructura. Y la estructura convertida en decorado se transforma en una perversión.

La osamenta en la piel y el mortero en el vientre; esa relación estructura-forma no fue un coqueteo fácil. El soporte que aparece en la superficie, a nivel del estuco, estaba tan fuera de lugar, tan ridículo, como su contrario, que consistiría en hacer que un edificio se mantuviera sobre su revestimiento.

Lo más deplorable, no obstante, es que esa tendencia que ha justificado las peores banalidades, establece una inquisición para perseguir, en nombre de la pureza, toda forma decorativa que sea estructura.



Fig.105

Fachadismo como receta-pretecto, forma como estructura. Les echelles du baroque, Paris, Francia. Ricardo Bofill y taller de arquitectura. Columnas acristaladas que albergan las escaleras, Fachada simétrica.

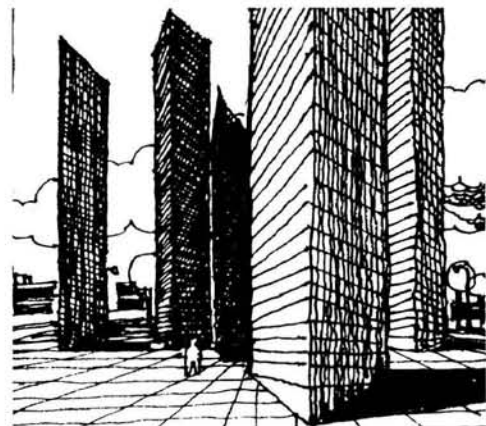


Fig. 106

Torres de Ciudad Satélite, Edo. De México 1957. Arq. Luis Barragán, Escultor: Matias Goeritz

¡Pero al igual que no existe fuego sin humo, no hay necesidad sin auto de fe! Porque una estructura ornamental que sea plástica, que esté correctamente concebida respecto del sistema portador, es un complemento visual digno de atención (Fig. 106)

En todo caso, resulta un medio de personalización y como tal, por lo menos, no es un equipamiento inútil. (Fig. 107).

Pero independientemente de toda esta problemática -en verdad extra-estructural- un mal decorado nunca ha hecho que se derrumbe un edificio; una estructura deficiente, sí.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

1. Es cierto que la mayoría de las estructuras construidas hoy en día tienen la forma de un prisma de base rectangular. Compuestas por un contorno vertical y un plano horizontal, esas partes, que a menos de estar hechas de una sola pieza, no tienen una para otra ninguna utilidad desde el punto de vista estático, son desgraciadamente, las representativas de la arquitectura contemporánea.

Esta manera de construir es ciertamente primitiva y habrá que regresar hasta la antigüedad para encontrar ejemplos comparables: la tumba de Théodoric, en Ravenne, Francia (Fig. 108) cuya forma se asemeja a la de los dólmenes prehistóricos.

Debemos recordar que el hombre primitivo era troglodita; es decir, vivía en cavernas, en agujeros formados por masas de cualquier tipo. Cuando, en su evolución se convierte en *homo sapiens sapiens* empieza a construir edificaciones mucho más sofisticadas, pero tuvo que transcurrir tiempo para que entendiera que lo importante era el hueco y no la masa. Sin

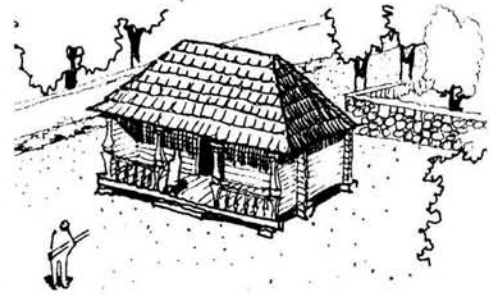


Fig. 107
Troje Purepecha, Estructura de madera de la arquitectura vernácula siglo XVI

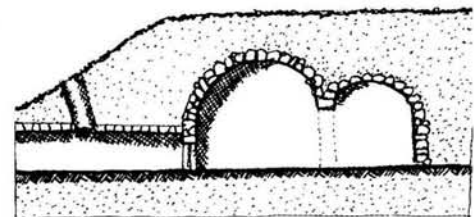


Fig. 108
Tumba de Theodoric, en Ravenne. Estructura hecha por sobre posición de piedras. Técnica primitiva y rústica



Fig. 109
Estructura con componentes ligeros: arco celular metálico formando una bóveda cubierta de material translúcido y cúpula central de crucero metálico. Galería de Vittorio Emanuele II; Milán, Italia.

embargo, como durante mucho tiempo no encontró más que técnicas rudimentarias para hacer esos huecos, se mantuvo bajo la pesada servidumbre de las masas de los materiales, en el fondo inútiles

Al contrario de esa manera de construir, a la vez dissociada y monolítica, **los arcos y las cúpulas** tienen por naturaleza, la particularidad de estar compuestas como un ensamblaje en el cual las partes tomadas por separado se derrumbarían sin la acción concertada de todos los demás elementos. De esta particularidad resulta cierta economía de materiales y, por consiguiente un aligeramiento de masas. (Fig. 109)



Fig. 110

Tholos Griego, 1200 – 1184 a.C. Estructura construida con grandes mástiles de madera como cimbra, elemento curvo auto sustentable – círculo por yuxtaposición y superposición consolidada por efecto de su propio peso. Polythyron – Paredes hechas de sillares.

El carácter colaborador de los componentes estructurales queda establecido, cualquiera que sea la explicación que se dé, con la cúpula. Según algunos investigadores, la cúpula nació a partir de una pared circular cuyas capas superiores resbalaban y se acercaban formando un recubrimiento cónico para bloquearse mutuamente, como en los *tholos* griegos, cuyo ejemplar más famoso es el Tesoro de Atrée. (Fig. 110).

Según otros, esta forma estructural proviene del ensamblaje de largos mástiles plantados en el piso, cuyas extremidades superiores eran dobladas y atadas juntas.

Cualquiera que sea la explicación que pueda corresponder a la realidad, y bien sea que se forme este sistema comprimido o como un sistema tenso, se trata siempre de solidificar una multitud de elementos en una composición central o circular, cuyo aspecto se reconocía mucho más resistente que los ensamblajes lineales o de elementos que estaban simplemente yuxtapuestos y superpuestos sin efecto sinérgico; es decir, sin poder, apoyándose mutuamente, consolidarse. En todo caso, parece cierto que el descubrimiento de edificaciones con ejes centrales fue anterior al de las lineales.

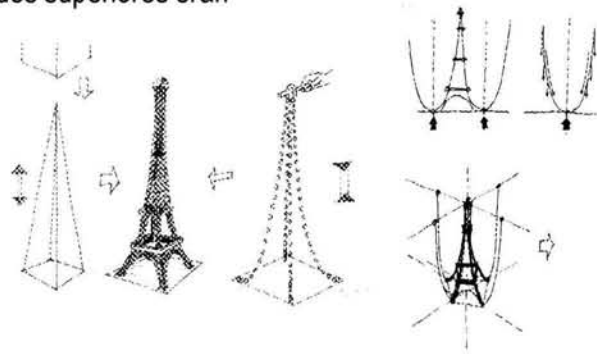


Fig. 111

Catearías: estructuras con esfuerzos de tracción, tensión, Compresión, obra tendidas.

2. Desde el punto de vista estructural, las formas que crean un espacio simple pueden clasificarse según las curvas generadoras de sus superficies. Esas curvas, vistas desde afuera, son de tres tipos: cóncavas, rectas o convexas. El comportamiento estático de la estructura está determinado por los datos geométricos: en las formas cóncavas, tales como las catenoides (Fig. 111) dominan esfuerzos de tracción, son por consiguiente obras tendidas. En el caso de las formas rectas, como las losas planas, los esfuerzos se componen de tracción y de compresión; son por consiguiente obras que trabajan en la flexión. Por último, en las formas convexas, los esfuerzos dominantes son de compresión, excepto en el caso de las estructuras neumáticas, que son de alguna manera un *trogodismo*, en las cuales la masa es aire.

Esta clasificación es obviamente muy simplista, porque existen estructuras tan complejas, que incluyen zonas con curvas cóncavas y convexas, o las dos a la vez, tales como los paraboloides hiperbólicos (Fig. 112).

Hay también otras estructuras, generalmente con superficies de mínima magnitud, en las cuales se alternan tracción y compresión en su estado más puro. Es conveniente recordar aquí que las formas convexas provocan en los soportes, fuerzas en cierto modo, centrífugas. Todavía más podemos hablar de estructuras tan complejas que poseen curvas compuestas: flexiones y torsiones en orientaciones diversas (Fig. 113)

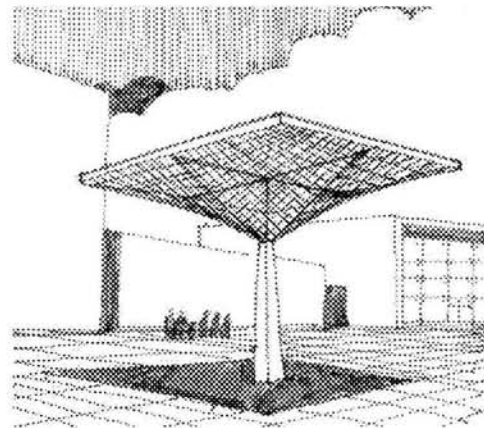


Fig. 112
Paraboloide hiperbólico: Composición de fuerzas, tensión, compresión, Flexiones y torsiones en orientaciones diversas. **Formas cóncavas y convexas.**

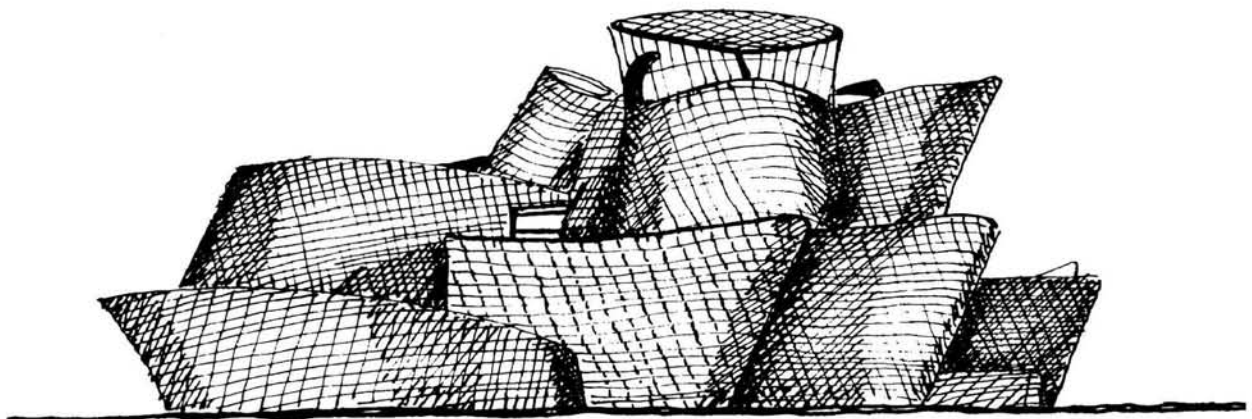


Fig. 113
Estructuras tan complejas que poseen curvas compuestas: flexiones y torsiones en diversos sentidos Museo Guggenheim, Bilbao, España. Arq. Frank O. Gehry Arquitectura deconstructiva

2.5 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS Y SUS VARIANTES

Heino Engel²⁰ ha clasificado de la siguiente manera las estructuras:

POR SU FORMA ACTIVA	<p>Estructuras,</p> <p>de cables:</p> <p>en tiendas:</p> <p>neumáticas:</p> <p>de arcos:</p>	<p>cables: paralelos, radiales biaxiales, de celosía.</p> <p>tiendas: apuntadas, onduladas, apuntadas indirectas.</p> <p>naves neumáticas: Colchones de aire, tubos de aire.</p> <p>arcos lineales, bóvedas, retículas abovedadas.</p>
POR SU VECTOR ACTIVO	<p>Estructuras,</p> <p>de cerchas planas:</p> <p>de cerchas planas combinadas:</p> <p>de cerchas curvas:</p> <p>de mallas especiales:</p>	<p>de cordón superior, de cordón inferior, de dos cordones sobrellevados.</p> <p>lineales, plegadas y cruzadas.</p> <p>de curvatura simple, de silla de montar, de cúpula, esférica.</p> <p>mallas planas, plegadas, curvas, lineales.</p>
POR SU SECCIÓN ACTIVA	<p>Estructuras,</p> <p>de vigas:</p> <p>de pórticos:</p> <p>de retículas de vigas:</p> <p>de losas:</p>	<p>vigas de un vano, continuas, articuladas, en voladizo.</p> <p>pórtico de un vano, de varios vanos, de una planta.</p> <p>retículas homogéneas, escalonadas, concéntricas.</p> <p>losas uniformes, nervadas, pórticos de los, en voladizo</p>
POR SU SUPERFICIE ACTIVA	<p>Estructuras,</p> <p>de láminas:</p> <p>de láminas plegadas:</p> <p>de membrana:</p>	<p>lámina de un vano, continua, en voladizo, cruzadas.</p> <p>láminas plegadas prismáticas, poliédricas, inter seccionales, lineales.</p> <p>de curvatura simple, de forma de cúpula, de silla de montar.</p>
POR SU ALTURA ACTIVA	<p>Estructuras,</p> <p>reticulares:</p> <p>perimetrales:</p> <p>con núcleo:</p> <p>en puente:</p>	<p>porticadas, de celosía, de pilares rigidizados, laminares.</p> <p>de pórticos, de celosía, de pilares rigidizados, de lámina.</p> <p>de voladizo, portante indirecto, de combinaciones de núcleos.</p> <p>puentes de jácenas, de planta, de varias plantas.</p>
	<p>Estructuras híbridas</p>	<p>superpuestas, combinadas</p>

²⁰ **Engel, Heino;** estructurista alemán. En su libro *Sistema de Estructuras (Tragsysteme*, título original) propone esta clasificación de las estructuras, muy precisa y amplia (ver Bibliografía)

ESTRUCTURAS

Fig. 114

Por su vector activo: **Estructura de mallas espaciales** Mallas curvadas espacialmente, en dos grandes capas, para cubrir grandes claros.

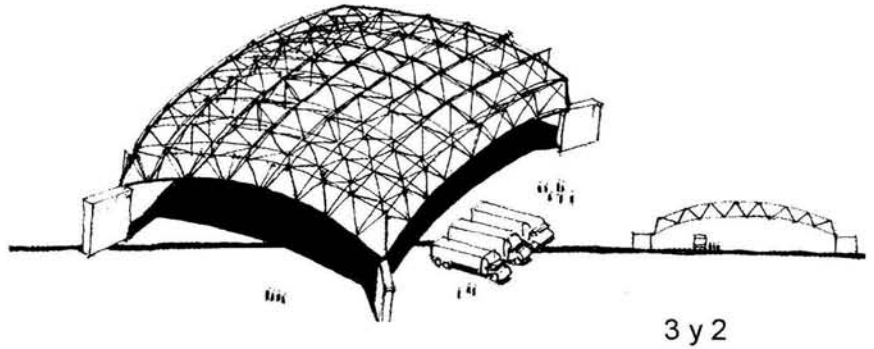
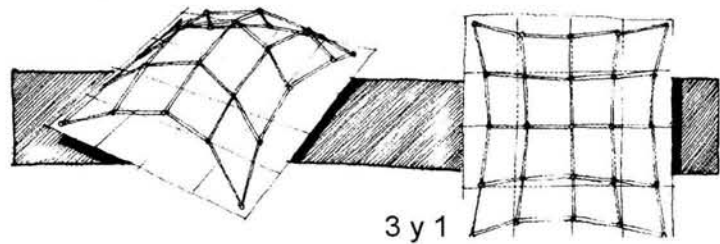
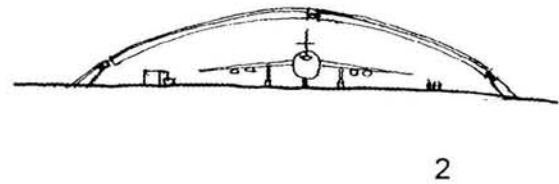
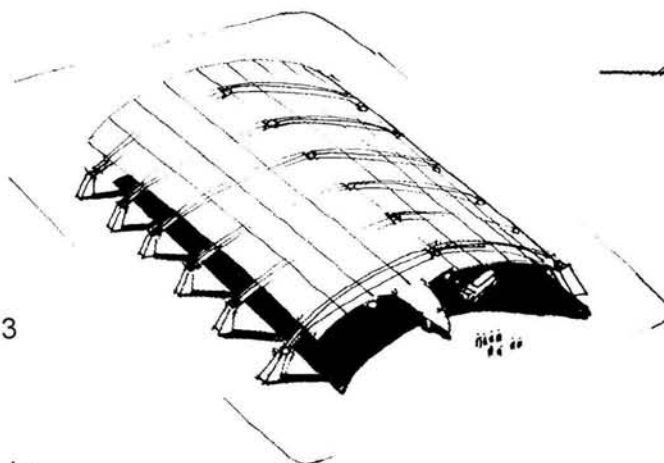


Fig. 115
Por su forma activa: **estructura de arcos**; retícula de arcos lineales, con desplazamiento de los nudos.



ESTRUCTURAS



1. - Plantas
2. - Fachadas
3. - Perspectiva

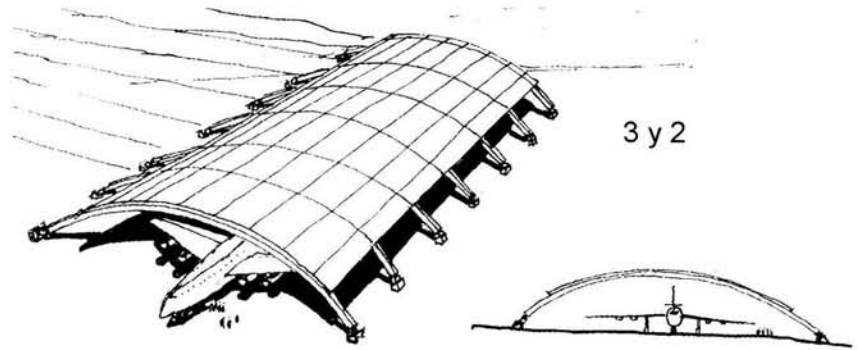
Fig. 116

Por su forma activa: **Estructura de arcos**. Arco funicular para grandes claros, con arcos triarticulados.

ESTRUCTURAS

Fig. 117

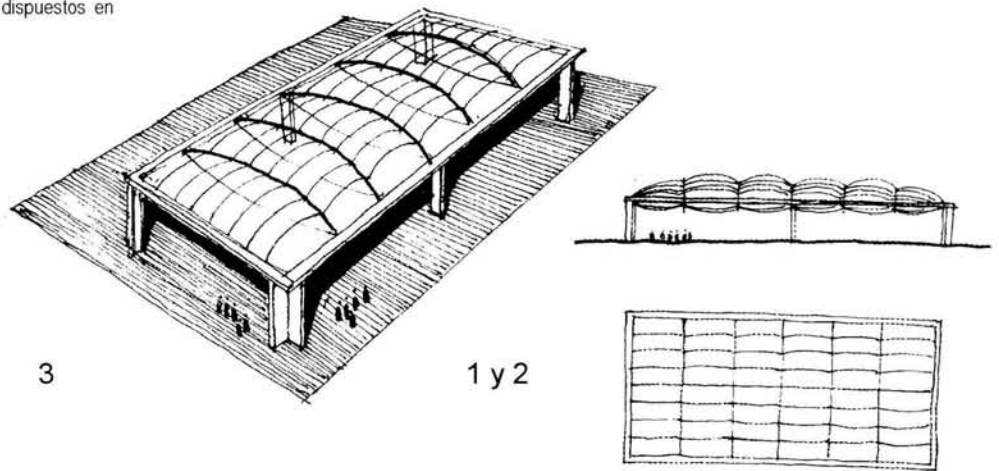
Por su forma activa: **estructura de arcos. Arco funicular** con arcos biarticulados, para grandes luces.



ESTRUCTURAS

Fig. 118

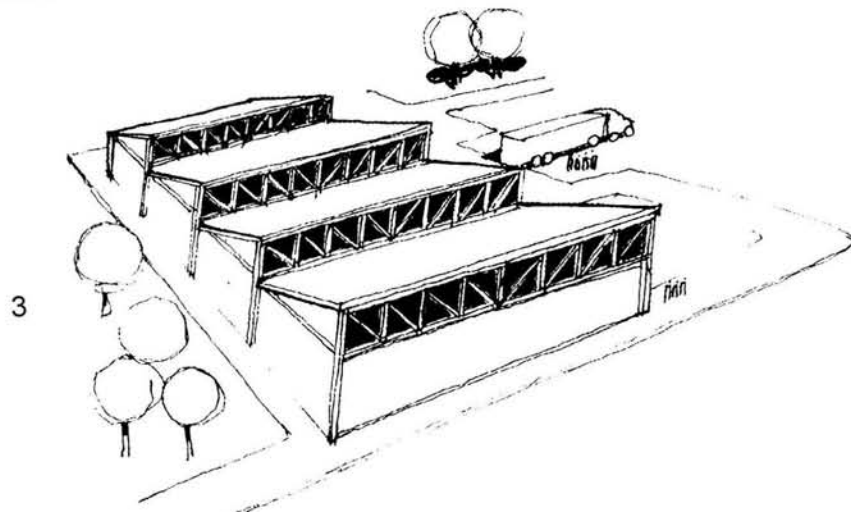
Por su forma activa: **Estructura neumática**
Membrana entre serie de cables dispuestos en paralelo.



ESTRUCTURAS

Fig. 119

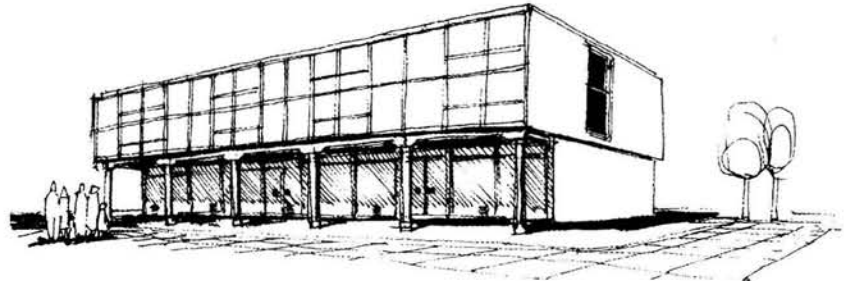
Por su vector activo **Estructura de cerchas planas combinadas**. Planos de la cubierta inclinados y doblemente apoyados.



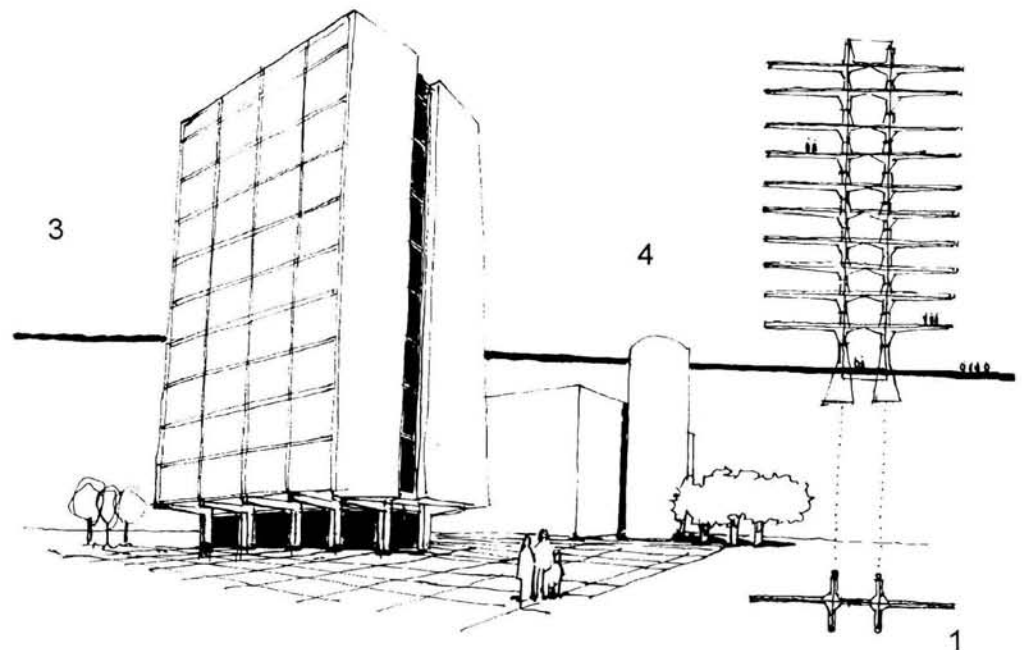
1. - Plantas
2. - Fachadas
3. - Perspectiva

ESTRUCTURAS

Fig. 120
Por su sección activa: **Estructura de vigas.**
Viga continua con reducción del claro en los vanos de los extremos.



ESRUCTURAS



ESTRUCTURAS

Fig. 121
Por su sección activa: **Estructura de pórticos triangulados con grandes voladizos.**

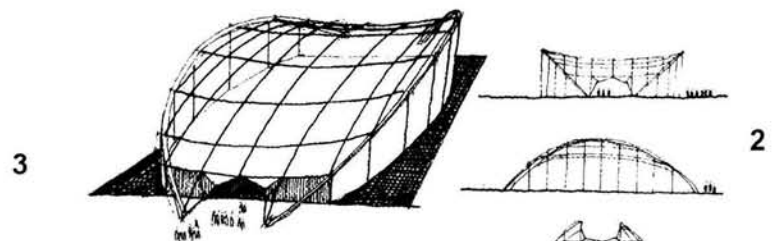
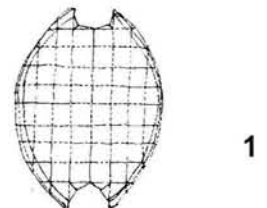


Fig. 122
Por su forma activa: **Estructura de cables,** arcos de apoyo para las mallas de cables con curvatura en dos direcciones (perspectiva, fachadas y planta)

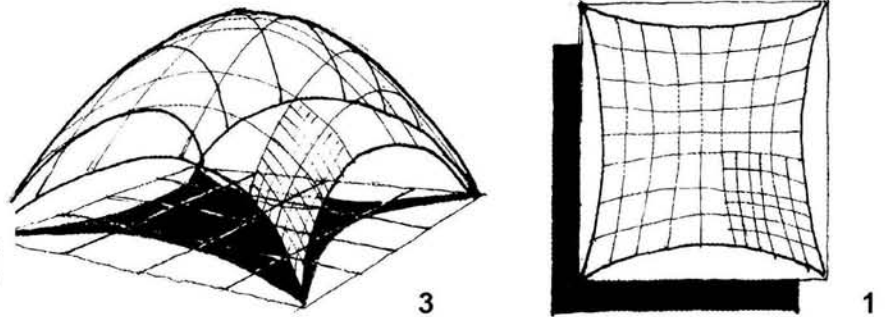


- 1. - Plantas
- 2. - Fachadas
- 3. - Perspectiva
- 4. - Corte

ESTRUCTURAS

Fig. 123

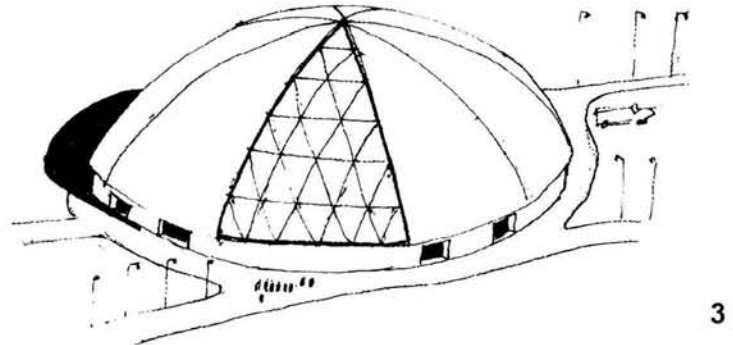
Por su forma activa: **Estructura de arcos reticulados**; Desplazamiento de los nudos en la malla de la retícula cuadrada.



ESTRUCTURAS

Fig. 124j

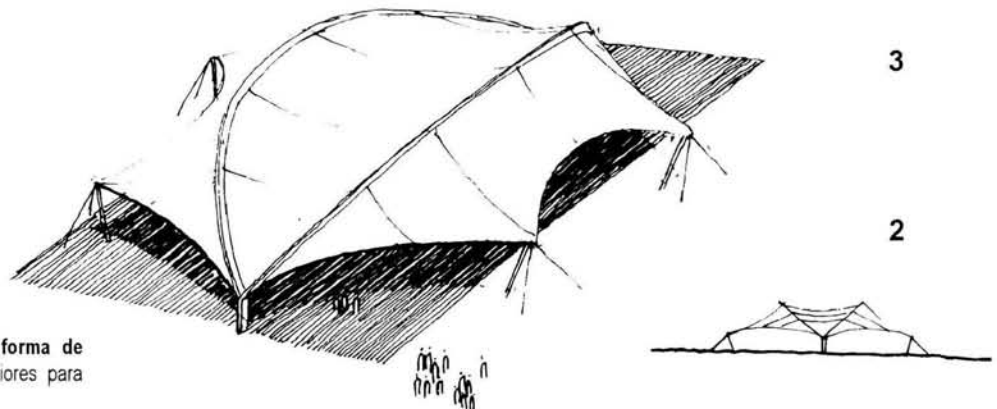
Por su vector activo: **Estructura de cerchas curvas**.
Cúpula de malla paralela; segmento esférico con distribución de barras en paralelo.



ESTRUCTURAS

Fig. 125

Por su forma activa: **Estructura en forma de tienda**, con dos arcos de apoyo interiores para construir el punto alto.



2.6 ESPACIO Y VARIANTES ESTRUCTURALES

Espacio

La evolución que desde la arquitectura moderna ha tenido la conceptualización estructural, nos lleva a reflexionar sobre un elemento fundamental de la Arquitectura: el espacio.

El espacio como esencia y medio para crear formas significativas. Naturalmente que no se considera aquí el espacio en un sentido físicamente riguroso, pero no puede dejar de señalarse que la mal concebida cuestión del espacio como esencia de la Arquitectura, es una respuesta a alguna necesidad legítima de definición. En realidad, cuando en Arquitectura se habla de espacio (Fig. 126) se emplea una noción ambigua, que tiene cierto número de significados, según sea el punto de vista que se adopte: geométrico, perceptivo o práctico.

Entender esto no sería un problema, si no hubiera en la actualidad una acentuada confusión entre lo que es la escultura urbana y lo que es el objeto arquitectónico, dos disciplinas que utilizan el espacio de manera distinta. Esta confusión hace olvidar una enorme diferencia que existe entre estas dos manifestaciones plásticas: la escultura es un arte esencialmente plástico y por tanto, muy libre formalmente; Mientras que la Arquitectura es un arte útil, que por lo mismo, debe sujetarse formalmente dentro de aspectos de funcionamiento, bienestar, etc., buscando paralelamente una forma significativa como sustancia de un lenguaje estructural (Fig. 127).

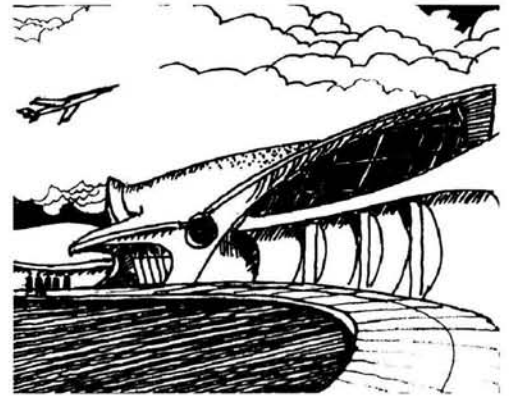


Fig. 126
Estructura en un espacio Geométrico, perceptivo, práctico
Eero Saarinen, terminal Twa, NY, 1956-1962. Pájaro que despegas; estructura de concreto



Fig. 127
Forma significativa como sustancia de un lenguaje estructural. Museo Guggenheim, NY, 1959. **Frank Lloyd Wright** Estructura de bloques de hormigón, Edificio helicoidal.

Sin embargo, existe en la arquitectura actual una infinidad de casos que impiden decidir claramente si en realidad se está tratando con algún espacio escultórico o arquitectónico, a causa de la combinación insatisfactoria de factores estructurales, formales y Materiales.

En Arquitectura, el espacio nunca es reducible a un simple dato, el espacio no es "algo" articulado gracias a alguna habilidad técnica, que permite que lo veamos sin que en realidad exista. Baste considerar el ilusionismo exagerado de Bramante²¹, el cual puede considerarse como un ejemplo ideal del nexo entre Brunelleschi y Donatello (Fig. 128).

La noción del significado espacial en Arquitectura, parece interesante y productiva, por cuanto que niega la materialidad y la especificidad de los criterios espaciales como poseedores de un carácter esencial, y de esa manera, nos guía hacia consideraciones de naturaleza más bien formal. Y es así que podemos hablar de que el espacio creado debe tener una forma significativa y de se puede hacer variar la manera de percibir un espacio físico con el simple uso de materiales que al funcionar como estructuras, modifiquen la percepción, dando por resultado espacios correctamente "creados" (Fig. 129)



Fig. 128
Perspectiva lineal,
Los desposorios de
la Virgen, 1504,
Rafael.
Ilusiones de espacio
exagerados;
Estrecha relación
entre el espacio
arquitectónico y el
espacio pictórico.

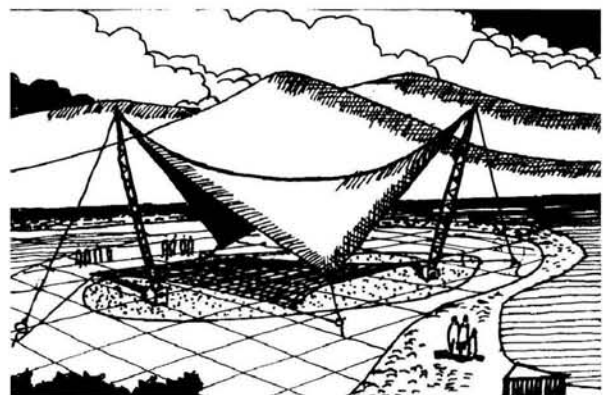


Fig. 129
Espacio creado: material que se transforma en **estructura espacial**,
superficie colgada.

²¹ La obra plástica de **Donato Bramante** destaca por su propuesta perspectiva. En ella se falsean las proporciones, provocando con eso, la percepción de una profundidad espacial insólita.

Variantes estructurales

Es conveniente recordar nuevamente que una estructura es el conjunto de elementos portantes que dan forma y rigidez a la obra arquitectónica. Compuesta por nudos, segmentos y regiones (al menos como elementos presentes en cada una de sus partes), su composición y organización articula a los elementos portantes de la siguiente manera:

- Cada segmento es incidente a uno o varios nudos (Fig. 130)
- Cada nudo es incidente a uno o varios segmentos (Fig. 130)
- Cada región es incidente a uno o varios segmentos (Fig. 131)
- Cada segmento es incidente a una o varias regiones (Fig. 131)
- Cada nudo es incidente a una o varias regiones (Fig. 131)
- Cada región es incidente a uno o varios nudos (Fig. 131)

Estos esquemas de articulación se pueden expresar fácilmente, mediante una figura en la cual las incidencias se representan por arcos orientados, y las entidades por vértices. La gráfica obtenida –que tiene tres vértices, seis segmentos y cinco regiones – representa la estructura general de toda estructura. Las anteriores propiedades mínimas enumeradas en tres pares, pueden ser arregladas por la aportación de precisiones, remplazando los términos “uno o varios”. Por ejemplo, el término “al mismo número” en cada frase, define la más estricta regularidad estructural (Fig. 131). Obviamente entre el primer esquema, muy general, y este último, muy estricto, se encuentran una infinidad de estructuras de complejidad y de grado de regularidad de lo más variados.

La elección del esquema es en principio libre, con la condición, no obstante, de que no sea contradictoria. La definición de tres pares de propiedades válidas para el tipo de estructuras llamadas

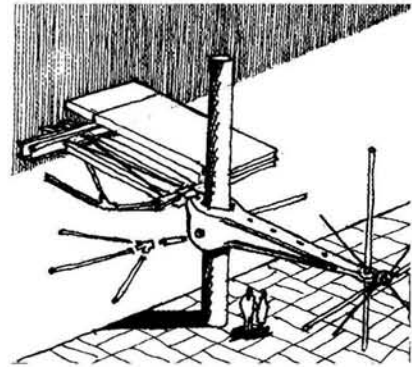


Fig. 130

Estructura con orden de complejidad creciente centro Pompidou – Paris, Francia Arqs. Richard Rogersy Renzo Piano, unión de la cercha simultáneamente con las pilas y la consola

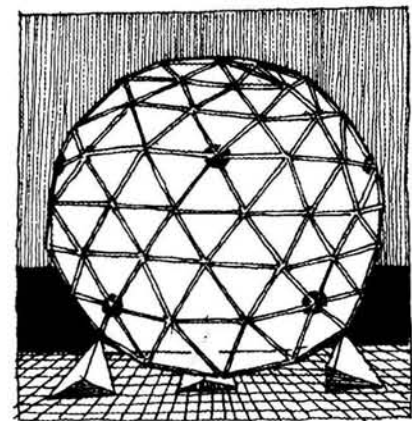


Fig. 131

Cada segmento es incidente a uno o varios nudos, cada nudo es incidente a uno o varios segmentos.

poliedros convexos²², y que corresponden de hecho al teorema de Steinitz²³, se presenta de la manera siguiente:

1. Cada arista es incidente sólo a dos vértices.
2. Dos vértices son incidentes sólo a una arista.
3. Dos caras son incidentes sólo a una arista.
4. Una arista es incidente sólo a dos caras.
5. Un vértice es incidente por lo menos a tres caras.
6. Una cara es incidente por lo menos a tres vértices.

Todo esto puede anotarse de una manera simplificada, algebraicamente; o puede expresarse por una gráfica o por un cuadro de doble entrada llamado *matriz de incidencia*.

Las diferentes representaciones enumeradas arriba, muestran que una entidad no puede ser incidente con ella misma, y que no existe sino por la incidencia de, al menos, dos planos distintos (Fig.132). Se nota igualmente que los términos topológicos Nudos, Segmento y Región (N, S, R) existen en un espacio geométrico simple. No obstante, existen espacios más complejos en los cuales los papeles de Nudo, Segmento y Región se convierten respectivamente en Arista, Cara y Poliedro.

Así, la dimensión de una estructura espacial está determinada por la posición de tres términos sucesivos en el orden siguiente: N, S, R...R, R1, R2... EN-3, EN-2, EN-1; en los cuales los tres primeros caracterizan el espacio convexo, menos complejo en jerarquía (Fig. 133) y los seis siguientes, espacios multi-dimensionales.

Por orden de complejidad creciente, las diferentes familias de formas pueden clasificarse así: cuerpos convexos y sus sociados (cadenas, polígonos, árboles, laberintos, cuadrículas, poliedros); paraboloides hiperbólicas y diversas



Fig. 132
Una entidad no existe sino por la incidencia de, al menos dos planos distintos Paraboloides que se crea a partir de la combinación de planos **cóncavos** y **convexos**.

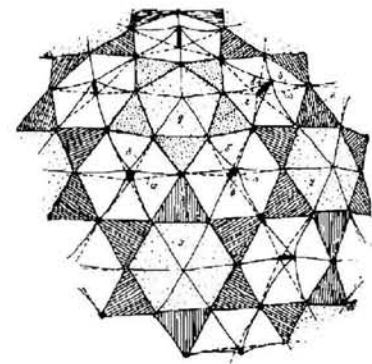


Fig. 133
Poliedros y cuerpos de menor complejidad

²² **Poliedros convexos:** Las figuras que poseen caras planas se denominan poliedros; son convexos cuando tienden a formas esféricas.

²³ **Steinitz,** Matemático alemán.

superficies (Fig. 134) de segundo orden con sus asociados (nudos, almocárabes, trenzas y tejidos); cuerpos y redes de n dimensiones y sus derivados en innumerables transformaciones posibles

Empezando por las formas más generales y después reduciendo los especímenes regulares y con repeticiones, se puede constituir un repertorio de formas considerables que tienen la posibilidad de desarrollarse, ampliarse o combinarse prácticamente sin límite.

Pero ese registro morfológico, que estaba construido en lo abstracto, y que se complica paso a paso (según un método

lógico) en la continuidad de todos los movimientos posibles en el espacio, contiene una riqueza inacabable de formas imaginarias (Fig. 135) que no por ello son concretamente materializables; es decir, con las mismas posibilidades en cuanto a su construcción; estaremos entonces hablando de estructuras figurativas (Fig. 136)

En este conjunto puramente formal, algunos especímenes realizados en

condiciones iguales, se mantendrán firmemente, mientras otros no tendrán solidez alguna.

Evidentemente, entre las innumerables estructuras geométricas, habrá que seleccionar aquellas que se mantengan firmes, porque serán las únicas útiles para la construcción (Fig. 137).

Pero por el desconocimiento de formas estables que al mismo tiempo sean muy puras, formalmente hablando, la arquitectura moderna se limitó a utilizar protoestructuras. Tomando como origen un bloque,

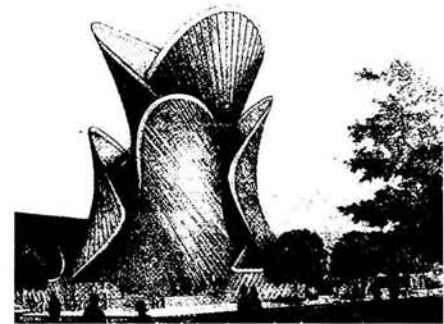


Fig. 134
Paraboloides complejas y superficies de segundo orden, Bethel A.M.E. Church, San Francisco, California. Nelly Smith Associates. **Estructura de concreto precast**, sujeta por los bordes y colada con concreto lanzado mediante apoyos de concreto.

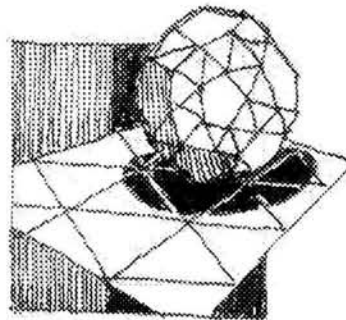


Fig. 135
Una riqueza inacabable de formas imaginarias, de las que algunas son materializables.

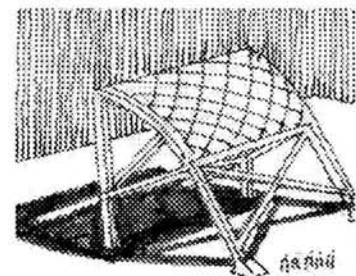


Fig. 136
En una estructura figurativa, la estructura no es un "sólido".

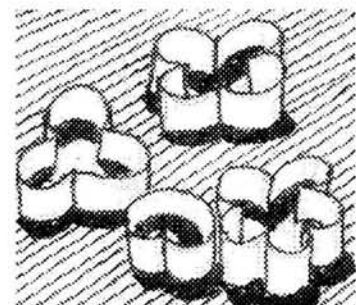


Fig. 137
Estructura auto sustentable. Formas Curvas que se sostienen solas.

trabajó por escisión como los trogloditas. Y estas estructuras tan primitivas significaron un retroceso formidable, por comparación con el sofisticado desarrollo estructural que ya tiene la arquitectura

En cada tipo morfológico, existen formas privilegiadas porque son estables por naturaleza, como los triángulos, tetraedros y sus superposiciones compactas, que normalmente "gustan" a los arquitectos. Asimismo, existen uno o varios especímenes con una regularidad perfecta, como la línea recta; sólidos y superposiciones platónicas, así como otros sistemas menos perfectos, pero dotados de más o menos grandes posibilidades de repetición (modulación), propiedad que es particularmente importante cuando se quieren fabricar elementos en serie.

Algunos elementos, además, pueden entrar en la composición de toda una serie de estructuras, por su virtud combinatoria, volviéndose algo así como tabiques polivalentes, capaces de crear audaces e incluso insólitos juegos de construcción (Fig. 138).

Finalmente, para ilustrar todavía más el alcance de esta tipología estructural que se extiende hasta límites inimaginables, Diremos que pueden llegar a integrarse en un laberinto continuo de formas geométricas planas o planificables, hasta donde los físicos lo han planteado teóricamente: a espacios de millones de dimensiones. Por lo cual, resulta absolutamente limitada una



Fig. 138
Algunos elementos, por su virtud combinatoria, pueden entrar en la composición de toda una serie de estructuras Arata Isozaki, Palavet de Palafròls, Barcelona

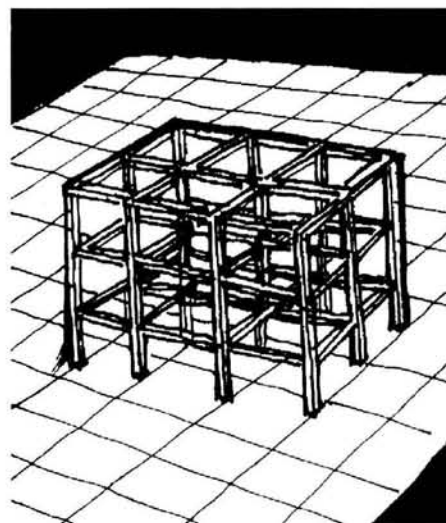


Fig. 139
El diseño arquitectónico basado en el cubo resulta inestable y significa un retroceso formidable respecto del sofisticado desarrollo estructural que había alcanzado la arquitectura.

arquitectura que esté inmersa en una figura topológicamente tan simple y tan inestable como es el cubo (Fig. 139)

2.7 ESTRUCTURAS FACTIBLES

Determinar la forma estructural de un proyecto (Fig. 140) antes de que ésta se una a la piel o arquitectura visible, significa prever cómo se comportarán las tensiones, compresiones, torsiones, fricciones, etc.

La prefiguración estructural, el conocimiento del comportamiento de los materiales y la creatividad para diseñar formas que puedan soportar todos los esfuerzos, puede dar como resultado -dentro de lo racional y factible de ser construido- conceptos del diseño estructural absolutamente novedosos.

Esto significa que se puede tener más claro el concepto estructural y los componentes que actúan en el soporte físico del objeto arquitectónico, en la medida en que se domine la prefiguración estructural y se conozca el comportamiento de los materiales

Los valores de identidad de las estructuras sólo cambian cuando se les otorga un fin del diseño específico (Fig. 141), su comportamiento físico es intrínseco a los materiales; pero éstos, por su resistencia, ligereza e incluso, transparencia, han cambiando radicalmente la prefiguración plástica del concepto arquitectónico, permitiendo nuevas formas de expresión arquitectónica, en las que el lenguaje se depura y provoca, nuevas conceptualizaciones formales, limitadas sólo por la tecnología constructiva (Fig. 142)



Fig. 140

Determinar las fuerzas que actuarán en una estructura, es fundamental al diseñar. Estructura tipo carpa con elementos de tensión y compresión

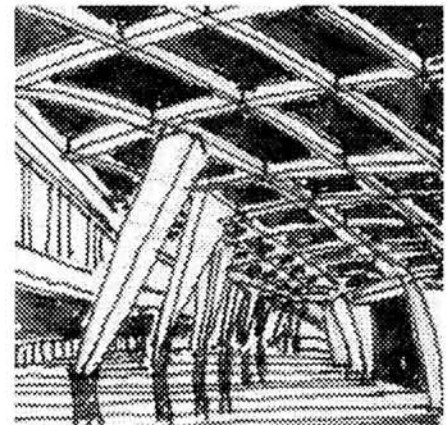


Fig. 141

La importancia de manejar valores de identidad específicos en un diseño

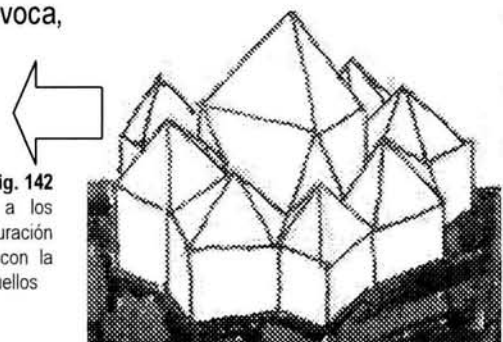


Fig. 142

El diseño físico es intrínseco a los materiales, pero la prefiguración estructural permite nuevas, aún con la limitación que pueden significar aquellos

2.8 HACIA UNA SISTEMATIZACION DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

En función de los objetivos del presente trabajo, se hace necesaria una sistematización del proceso de diseño estructural que, hallando similitudes o analogías funcionales, permita una aproximación coherente y simplificada en la toma de decisiones, al momento de seleccionar las estructuras idóneas o más adecuadas al concepto de diseño preconcebido.

Desde que por una especie de aberración, la resistencia de los materiales ha hecho el oficio de ciencia de la construcción, se clasifican las estructuras arbitrariamente en función de los materiales: madera, piedra, acero, cemento. Pero es importante recordar que la esencia de la estructura es geométrica, o en un sentido más amplio, morfológica. Por consiguiente, el comportamiento de una estructura no depende del carácter físico de sus componentes.

Por ejemplo, una cadena puede estar compuesta por mallas de acero de muy alta resistencia. Sin embargo, eso no le quitará el hecho de ser una estructura deformable, cuyo grado de libertad no está limitado mas que por su extensibilidad en línea recta. Claro que podríamos soldar las mallas juntas, lo que le haría perder su carácter de cadena. En cambio, un tetraedro será considerado como una estructura estable, aunque esté construido con paja; sus elementos están desprovistos de toda libertad de movimiento, ocupando cada uno un lugar geométrico determinadamente fijo por su relación entre sí. Por consiguiente, un tetraedro será siempre una estructura estática, no importa el material del cual esté hecho.

Por lo antes dicho, debe quedar claro que no se pueden clasificar las estructuras por los materiales de que estén elaboradas; deben clasificarse según los criterios espaciales o topológicos. Para entender esto, conviene dejar claramente entendida la diferencia que

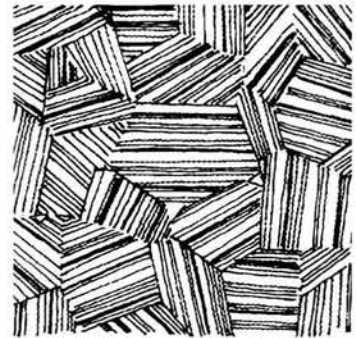


Fig. 143
Estructura molecular esta relacionada con la estructura constitutiva de los materiales

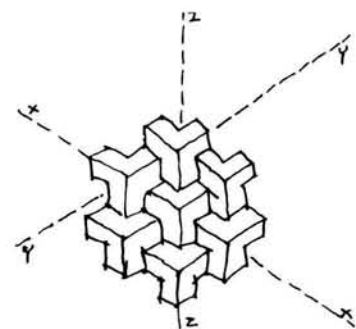


Fig. 144
Formas estructurales: Forma simple en tres dimensiones, articulaciones naturales del espacio o del medio en el cual el conjunto se sitúa.

existe entre forma y estructura. En términos topológicos, se llama forma al conjunto de las propiedades aparentes -permanentes o temporales- de un fenómeno o de un objeto cualquiera.

En cambio, el conjunto de las propiedades inalterables constituye la estructura, y el conjunto de las propiedades potenciales y alterables, su libertad. En este sentido, la forma no es más que un estado permanente o temporal. Cuando la forma no admite ninguna alteración, significa que no tiene grado de libertad alguno; es por consiguiente, estática. Si posee un grado de libertad restringido -ya sea por el arreglo de una o varias de sus entidades- su deformación puede ser controlada; se habla, entonces, de un mecanismo. Sólo si la forma goza movimientos que no pueden ser coordinados, se habla de una forma inconsistente;

Es cierto que la noción de consistencia que evalúa la dureza, la rigidez o la viscosidad en la escala molecular, está relacionada con la estructura constitutiva de los materiales (Fig. 143). Pero entre la consistencia de los materiales y la del armazón portador, no obstante la analogía, existe una ruptura de escala que prohíbe toda confusión entre la resistencia individual de los ingredientes y la estabilidad colectiva del conjunto. En este sentido, por definición, la estructura no es una entidad única monolítica

No obstante que contiene varias piezas, la estructura no es la simple suma de una pluralidad de materiales; su esencia se encuentra en la situación y la naturaleza de sus miembros, e incluso, en la cronología que las diferentes piezas ocupan durante su construcción. Cuando se toma una estructura como objeto de estudio, la dificultad consiste en organizar los datos múltiples, en reconocer las relaciones entre las entidades que la componen.

Para entender la esencia de una forma, su esquema constructivo -su estructura- debe cumplir con leyes que gobiernen la coordinación entre los elementos, sus posiciones mutuas: su arreglo. Así, para construir una forma no basta con hacer la suma de sus elementos, que por otra parte, no son siempre iguales.

Cualquiera que sea la naturaleza de un conjunto estructural, se puede distinguir los tres tipos de elementos descritos anteriormente: **nudos, segmentos y regiones**, que funcionan

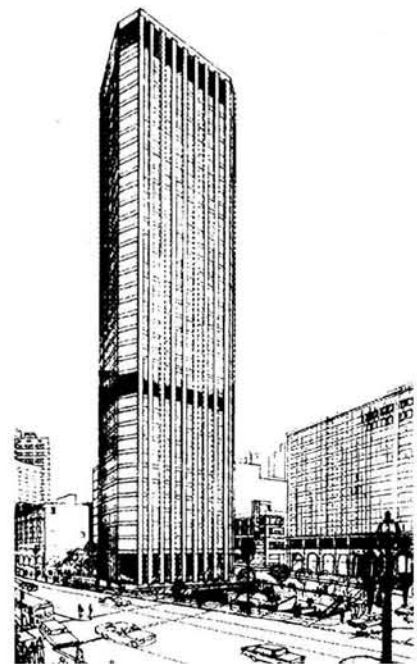


Fig. 145

La tipología estructural, permite mediante el análisis morfológico, la catalogación de una obra arquitectónica, edificación de tecnología avanzada
Crocket Plaza; San Francisco. Welton Becket and Associates, Architects

como entidades topológicas. Estas tres entidades fundamentales, son las articulaciones naturales del espacio o del medio en el cual el conjunto se sitúa. El nudo juega el papel de localización; el segmento el de la separación y al mismo tiempo de lazo; la región el de compartimiento (Fig. 144)

Asociadas entre ellas según su situación, estas entidades constituyen formas lineales, planarias, espaciales, hiper-espaciales. Y es la totalidad de las incidencias o relaciones entre ellas, lo que determinará las propiedades permanentes de una forma.

Como ya se explicó al inicio de este capítulo, se hace necesaria una sistematización del proceso de diseño estructural, ya que ésta permite una aproximación coherente y simplificada en la toma de decisiones, al momento de seleccionar las estructuras idóneas o más adecuadas al concepto de diseño preconcebido. Y en esta sistematización juega un papel importante la **tipología estructural**.

La tipología estructural es un instrumento que define, por repetición, modulación o estandarización, una estructura. Facilita el entendimiento de cómo se comportan las fuerzas que trabajan en una estructura. No es afectable por tendencias o estilos, ni por su relación con el entorno.

La tipología estructural define la forma de una edificación, permitiendo su catalogación por estilos de acuerdo a su morfología, a su tecnología y su expresión final (Fig. 145).

A continuación, se analizan de manera sucinta algunos ejemplos de obras pertenecientes a la arquitectura moderna y contemporánea, a partir de su tipología estructural y el lenguaje que ella transmite. Su finalidad es que sirvan de guía para la toma de decisiones más pertinente en la integración formal-estructural y, por tanto, en la búsqueda de una sistematización del proceso de diseño estructural. Sin embargo, es importante aclarar que esta sistematización es una empresa sumamente ambiciosa, que por lo mismo, será motivo de un trabajo posterior.

Ejemplo 1

1.1 Arquitectura orgánica: Mensa de la Klosterschule, Alemania (Fig. 146)

Tipología estructural

Basada en arcos. Destaca el carácter conservador y estático de la estructura; un concepto tibio del uso del



Fig. 146

Arquitectura orgánica Estructura estática, Conservadora, exhuberancia lingüística. **Gunther Domenig – Mensa de la Klosterschule** Formas orgánicas en una estructura de hormigón proyectado

espacio. Su estructura formal es completamente simple, prácticamente no tiene movimiento, es centralizada.

Lenguaje

Está basado en una exuberancia lingüística apta sólo para ser aplicada a una decoración estática.

1.2 Arquitectura orgánica: *Casa Batllo, Barcelona, España* (Fig. 147). Aquí, la arquitectura romántica logra una verdadera comunicación y mantiene el derecho de "ser". Se inspira en las formas orgánicas de la naturaleza.

Tipología estructural

Estructura de arcos con un marcado paralelismo; conceptualización centralista, simétrica y orgánica

Lenguaje

Tipología compositiva que se expresa en forma absolutamente emocional, utilizando formas orgánicas. Clasificación del estilo: tardo-moderno.

Ejemplo 2

Arquitectura Postmoderna:

Museo de Artes Visuales, Gumma, Japón (Fig. 148).

Tipología estructural

Destaca su carácter geométrico puro, basado en estructuras rectangulares de carácter estático.

Lenguaje

Guarda un orden estandarizado pero con muchas variantes

volumétricas. Las formas se integran de manera muy coherente. Su característica esencial es el uso de elementos modulares formalmente rígidos, pero que logran una imagen sumamente plástica. En general, la arquitectura postmoderna se caracteriza por su estilo "internacional" (*International style*), que

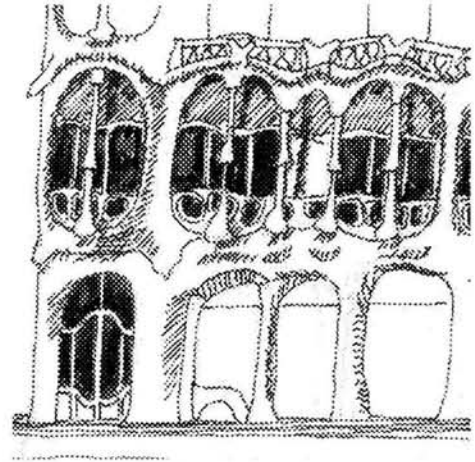


Fig. 147
Arquitectura orgánica del periodo romántico **Lenguaje absolutamente emocional** Antonio Gaudi, Casa Batllo, Barcelona 1904 – 1906 Huesos de dinosaurio Estructura de hormigón

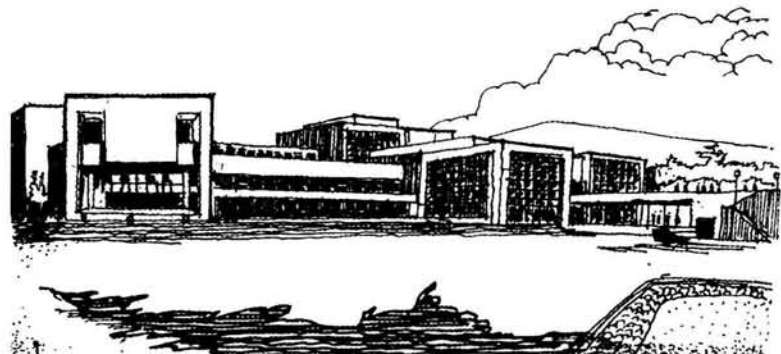


Fig. 148
Arquitectura posmoderna Carácter estandarizado, concepción estructural estática a partir de elementos modulares rígidos. Tecnología constructiva contemporánea, Museo de artes visuales, Gumma, Japón. Arq. Arata Isozaki

proyecta una imagen esencialmente libre y transparente. Mantiene un orden estructural amplio en lo que al sentido de espacio se refiere.

Ejemplo 3

Arquitectura de Alta Tecnología: *Centro Pompidou, Paris, Francia* (Fig. 149).

Tipología estructural

Destaca su carácter estandarizado, basado en el uso de elementos estructurales prefabricados. La estructura general manifiesta una extrema ligereza, pero al mismo tiempo un alto grado de solidez. Se inspira en un profundo conocimiento de los materiales.

Armazones y marcos metálicos con juntas de silicón; estructura tensada autónoma para soporte de las cortinas de cristal.

Lenguaje

Composición plástica de una sólida sencillez; utiliza elementos rígidos reflejantes y transparentes. Propuesta arquitectónica fría pero técnicamente muy bien resuelta. Emplea un sofisticado concepto estructural como símbolo de lo que es: una arquitectura de alta tecnología. El enfoque estético es abstracto, limpio y frío, organizado y modulado. Algunas veces llega ser desgarrador.

Ejemplo 4

Arquitectura deconstructivista: *museo de las sillas o museo Vitra, Alemania* Frank Gehry ...(Fig. 150).

Tipología estructural

Compleja concepción estructural biofórmica visualmente inestable, tensa y rígida Estructura metálica con apoyos discontinuos que se mantienen a tensión.

Lenguaje

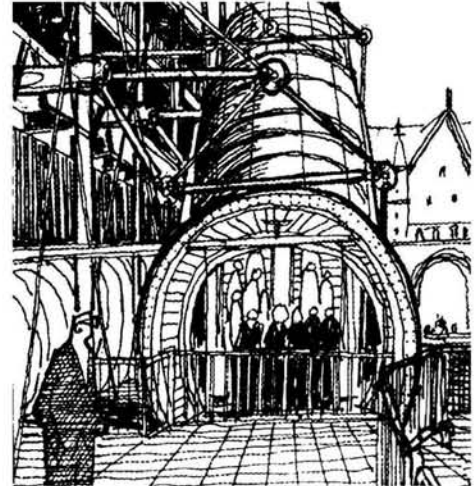


Fig. 149
Arquitectura de alta tecnología; Solidez y sencillez en el Concepto estructural. Renzo Piano y Richard Rogers Centro Pompidou, Paris, Francia 1971 – 1977

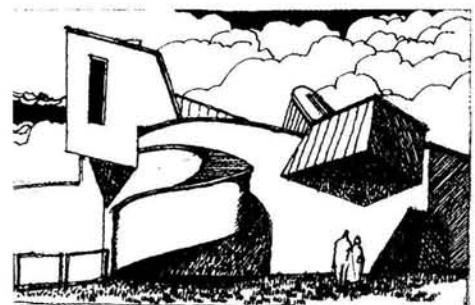


Fig. 150
Frank O. Gehry, Museo Vitra, Weil del Rihn, Vitra Alemania, Museo de las sillas, 1986 - 1989

Concepción formal que desarrolla ampliamente el movimiento, dando un carácter único a la teoría y práctica de la *negatividad*. Forma no clásica, descompositiva y asimétrica. (Fig. 151) A manera de colofón de este capitulado y dada la importancia que tiene la arquitectura deconstructivista, por haber roto con todo lo que significa la conceptualización basada en el sistema cúbico, se describirá de manera sucinta lo que la caracteriza, los principios teóricos en que se basa y su propuesta metodológica.

Características de la arquitectura deconstructivista

Con los ojos siempre fijos en la significación lingüística y filosófica, el deconstructivismo surge como una respuesta ante el agotamiento del estructuralismo; se caracteriza por tener la vista siempre fija en la significación lingüística y filosófica de la obra arquitectónica.

El Deconstructivismo es antisocial; mantiene su derecho de "ser", como el dadaísmo o el surrealismo; pero a diferencia del primero, tiene un enfoque estético amable.

Autores como Derrida acuñaron el término "*difference*" ("lo otro") para significar las diferencias conceptuales que lo caracterizan y que escapan al lenguaje habitual de la Arquitectura.

El lenguaje de la arquitectura tardo-moderna²⁴ deconstructivista, se desarrolla a partir de las teorías de Peter Eisenman, quien elevó su propuesta conceptual al rango de teoría y práctica de la "negatividad", de lo no "clásico", de la "descomposición", de la "descentralización". Algunos destacados arquitectos deconstructivistas como Frank O. Gehry²⁵ basado en el estudio de las condiciones urbano-espaciales, Condiciones arquitectónicas-espaciales y condiciones naturales o del entorno; esta arquitectura posmoderna asimilo la necesidad de hacer:

1. La selección del lenguaje pertinente para la edificación.
2. La selección de la escala genérica de la edificación.
3. El estudio de la relación del predio con el área circundante.

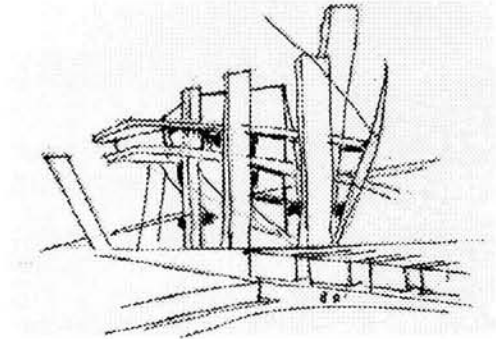


Fig. 151
Deconstructivismo; arquitectura que mantiene su derecho de ser a través de ser diferente a lo establecido

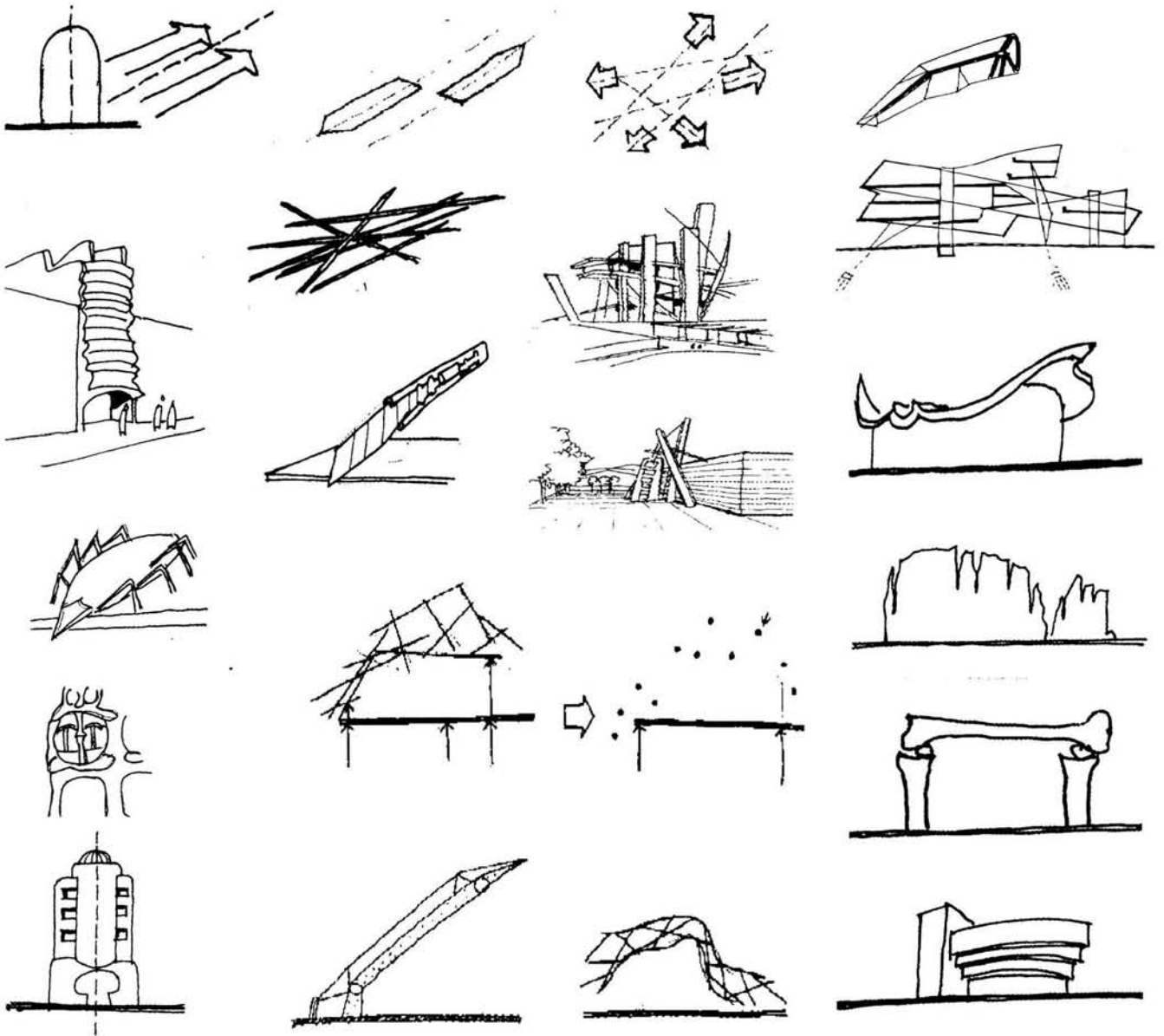
²⁴ **Tardo moderno.** Clasificación de un estilo arquitectónico contemporáneo. El término fue acuñado por el Arq. Charles Jencks en su libro "*Architecture today*".

²⁵ **Frank O. Gehry.** Nació en Toronto y llegó a E.U. en 1947. Abrió su primer estudio en 1962. Ha aportado toda su perspicacia e inventiva, en la creación de espacios únicos con formas poderosas, que son el sello distintivo de su obra. Ha logrado modificar la concepción de la Arquitectura.

4. La caracterización espacial del predio.
5. La selección de la tipología compositiva de la edificación.
6. La selección de la tipología estructural

El siguiente capítulo se estudiarán más intensamente las características de la arquitectura posmoderna deconstructiva.

LÍNEAS DE ESQUEMATIZACIÓN (Figs 152)



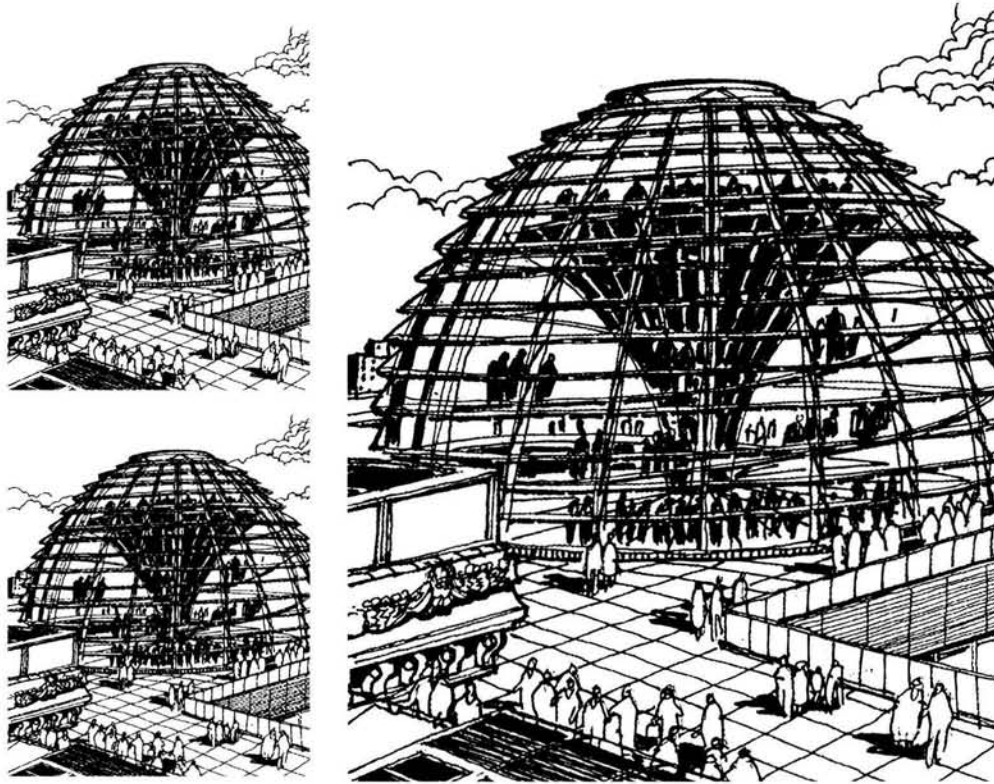


Fig.153 Bundesrepublik Deutschland Berlin , Alemania – 1999 Arq. Norman Foster & Partners

*“El objeto de la arquitectura es la obtención de la eficiencia y por tanto,
de la belleza”*

Bruno Taut¹

CAPITULO III

LA FINALIDAD DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

¹ **Bruno Taut.** Nació en 1880 en Königsberg, Alemania y murió en Estambul, Turquía en 1938. Sus teorías, así como sus diseños, le han otorgado un lugar relevante en la innovación arquitectónica.

CAPÍTULO III

3. 1 EL PAPEL DE LA CONCEPTUALIZACION ESTRUCTURAL EN EL DISEÑO

1. El papel que desempeña la conceptualización estructural en el diseño, está definido por las características de resistencia de los materiales y por las cargas que impone la gravedad terrestre. Por lo tanto, serán los materiales y sus diferentes posibilidades de acomodo, los que satisfagan a través de un adecuado diseño estructural, las necesidades de estabilidad.

Sin embargo, hay que dejar claro que aunque la conceptualización estructural es un factor fundamental de diseño, no es sino una parte más de esa integridad denominada diseño arquitectónico. Esto desgraciadamente se ha olvidado, y son los factores funcionales, estéticos y formales los que en general definen la obra arquitectónica.

Carlos González Lobo²⁹ propone un diseño arquitectónico integral que incluye cinco aspectos fundamentales: **lo formal, lo funcional, lo ambiental, lo estructural y lo expresivo.**

Él afirma que aunque la arquitectura moderna aportó al diseño las ideas de funcionalidad y confort, de privacidad, territorialidad y seguridad; descuidó lo referente a la afectación al entorno, tanto urbano como natural. Asimismo, encasilló la conceptualización formal en una sola propuesta estructural, y con el arribo del *estilo internacional* olvidó considerar la influencia que deben ejercer los aspectos culturales, históricos y regionales en el diseño.

La conceptualización estructural se fortalece al revalorar estas expresiones regionales, vernáculas e históricas (Fig. 154), el carácter del lugar, los aspectos simbólicos y culturales; las cualidades de los

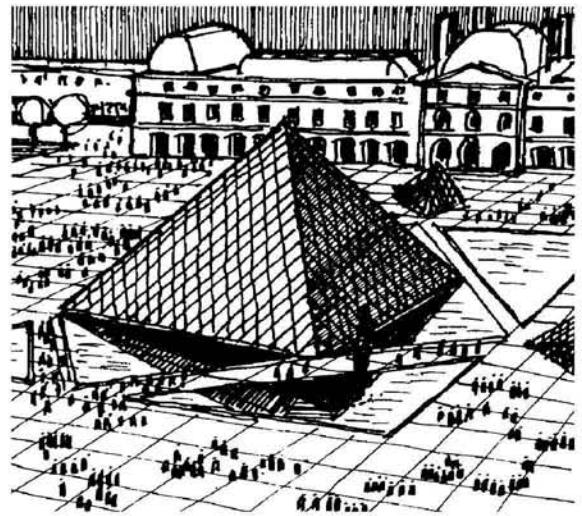


Fig. 154

Pirámide de acceso al museo del Louvre Paris Francia, 1984-1986
Ieoh Ming Pei.

materiales, sus texturas. Se fortalece cuando se le da la importancia debida a la iluminación natural, a las orientaciones, al clima, a la relación con el entorno. En fin, cuando se plantea un diseño integral e integrador.

2. De la teoría de la transformación a través de la creatividad ³⁰ se puede inferir que un prerrequisito para crear, es saber qué es real e irreal, qué es fantasía y qué imaginación. Se define como fantasía, la habilidad de las personas para generar imágenes que no son reales, sin importar las circunstancias.

La fantasía sólo existe en la mente; los sueños y las visiones son algunas de sus manifestaciones. Sin embargo, la transformación de lo irreal a lo real sólo se produce cuando la fantasía evoluciona, dando cabida a la imaginación. En términos abstractos, una forma puede no transformarse suficiente y quedarse petrificada en cualquier estado de su evolución; si eso ocurre sólo podrá describirse a través de un sistema coordinado o cartesiano. Pero puede evolucionar hasta ser concretizable.

Cuando las formas han llegado a una evolución tal que es factible construirlas, se conceptualizan estructuralmente. En Arquitectura esto significa que se diseñan las estructuras que albergarán los espacios, los cuales pueden ser cerrados y comunicarse entre sí; o ser abiertos y articular otros muchos elementos. Se diseñan los accesos a esos espacios y su relación con el entorno artificial y el natural.

En fin, se diseñan ideas y a partir de ellas, los conceptos estructurales que darán forma y sustento a la obra arquitectónica. Esto, que puede parecer difícil para nosotros por no tener la costumbre de hacerlo, ha sido lo que ha regido el diseño a lo largo de la historia.

Los seres humanos han conceptualizado estructuralmente en forma espontánea para dar solución a sus necesidades cotidianas desde siempre. Así, encontramos las cuevas naturales que, adaptadas, sirvieron como el primer refugio humano; las carpas árabes, las casullas de los indios de Norteamérica, los iglúes de los esquimales, las redes de pesca de los purépechas, las velas de los barcos chinos, fenicios y romano Todo ello diseñado de manera espontánea a partir de elementos estructurales visibles u



Fig.155
Estructura velaria, tensiones y compresiones ejercida por la fuerza eólica

²⁹ Maestro en Arquitectura y profesor investigador de la UNAM. Sus trabajos sobre arquitectura moderna y contemporánea se caracterizan por su lucidez y espíritu crítico.

³⁰ **Thompson, D'arcy**. Biólogo. Su teoría sobre la transformación a través de la creatividad se encuentra en *On Growth and form (Acerca de la evolución y la forma)*.

ocultos, que están sometidos a esfuerzos internos de tensión y compresión, generados por la relación estructural a que quedan condicionados por sus formas; por la manera en que fueron estructuralmente conceptualizadas.(Fig. 155)

3.2 EL BINOMIO PIEL-ESQUELETO

La arquitectura moderna estableció las bases para construir sistemáticamente, formuló procesos estandarizados y los normalizó; en fin, intentó "armar" la arquitectura como si ésta fuera un gran *Mecano*.

A su vez, las escuelas *Deconstructivista* y *High Tech* cambiaron la conceptualización de las formas y traspasaron modelos por su audacia, generaron formas libres en equilibrio dinámico que sustentan y dan forma a los espacios, logrando una expresión de las formas nunca antes vista.

Tanto en estas manifestaciones arquitectónicas como en las que les antecedieron, la estructura hace las veces del esqueleto que soporta cada una de las partes que conforman el todo, del cual lo que comúnmente vemos es la piel (Fig. 156)

Realizar un análisis del binomio piel-esqueleto, de los aspectos conceptuales que le han dado forma a través del tiempo, significa reflexionar sobre los antecedentes históricos que han permitido la expresión formal del espacio.

Cada espacio requiere de soluciones únicas en cuanto a las funciones que desempeña, a la expresión que aporta y a la aplicación de la tecnología que lo vuelve concreto. Es por eso que la normalización formal no puede existir; hay

diversidad de soluciones para un mismo tipo de problema arquitectónico, todo depende de lo que quiera expresarse a través de él. No obstante, dentro de los aspectos técnicos sí puede haber pautas que sirvan de parámetros para el diseño de las estructuras.

Para explicar mejor la relación entre piel y esqueleto, se hará el análisis de tres obras de destacados arquitectos con tendencias postmodernas.

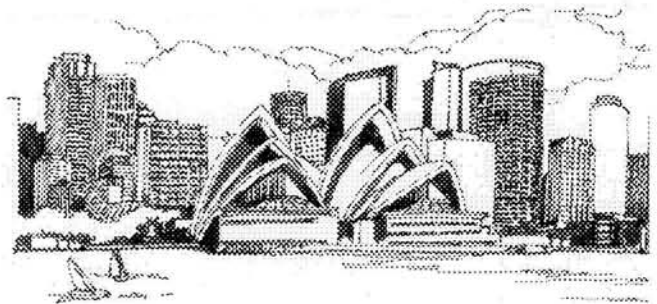


Fig. 156

La estructura hace las veces de esqueleto que sustenta la piel, la forma que lo recubre; Teatro "La opera" de Sydney Australia 1956-1073, Arq. **Jorn Utzon**. La creación plástica bajo la vela del barco sin ningún sentido de protesta y el cual se considera un acto constructivo de gran enormidad

Peter Eisenman³¹ :

Waxner Center para las artes visuales de la Universidad de Ohio, Columbus, E.U. (Fig. 140) Una estructura con articulaciones que se separan y vuelven a encontrar, asociando dos o más elementos acristalados, que aparentan secciones partidas. La escala es monumental; su funcionalismo no siempre es correcto. El esqueleto: la estructura está bien fundamentada, tiene un carácter fuerte y pesado. Los materiales que emplea son el concreto y el acero (en láminas y piezas estructurales). El acero tiene recubrimientos de vidrio, corcho, resinas plásticas e incluso, titanio. Su tensión y dinamismo los produce un cubo que parece que caerá en cualquier momento.

La piel: *Waxner Center* fue una adaptación a lo ya existente; los edificios anteriores ya contaban con sus pieles de concreto y cristal. Lo que Eisenman realizó como piel, es la cubierta de cristal que está en la parte alta; es decir, en la superficie del andamio "estructural" (Fig. 157).

En las obras de Peter Eisenman la piel y el esqueleto se confunden, porque los materiales se reflejan tanto fuera como dentro de sus obras.

En algunos casos, deja aparentes los muros de ladrillo en lugar de darles un recubrimiento; así hacen las funciones tanto de piel como de esqueleto. Esto hizo precisamente en el *Waxner Center*. De igual forma lo hizo con los andamios: son la piel y el esqueleto del edificio. En algunos casos, deja los materiales a la vista en su forma pura, aunque a veces pinta el acero; igual cosa hace con el concreto. Formalmente aplica la teoría de la negación en las líneas verticales: emplea ángulos de 70° y 80°, en lugar de 90°.

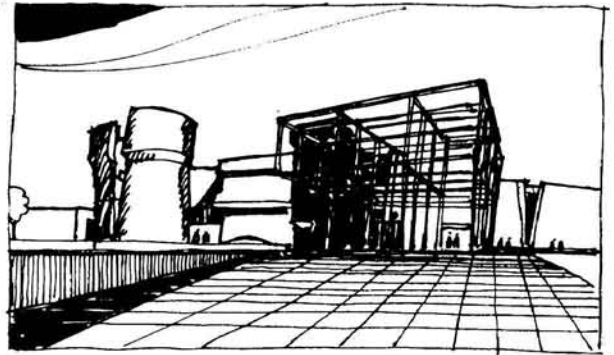
Tadao Ando³² "*Iglesia sobre el agua*", Tomamu, Hokkaido, Japón (Fig. 141)

Fig. 157
Peter Eisenman, Waxner Center For The Visual Arts, 1983-1989 Universidad de Ohio, Columbus, Estructura monumental; Edificio que presenta combinaciones articuladas efectivamente separadas y visualmente vueltas a incorporar en maclas autónomas

³¹ **Peter Eisenman** (1932, Newark, E.U). Recibió su educación en las universidades de Cornell, Ithaca, New York y Cambridge (Inglaterra). Recientemente ha explorado el concepto de torsión 3D. En sus obras trata temas como la ausencia y la presencia; el interior, el exterior y el espacio intermedio; las divisiones y los significados. Le interesa despojar de significados superficiales a la arquitectura, por lo que suele dejar cajas vacías (es famoso por sus cubos *subtraídos*).

El esqueleto. Los materiales estructurales que Tadao Ando empleó en esta obra, van desde los más pesados hasta los más ligeros, siendo esto una de las características más importantes de su obra.

Ya sean naturales o manufacturados, utiliza los materiales en su forma más pura, sin trabajarlos. El material estructural que utiliza por excelencia -y que es su sello personal- es el hormigón armado. En esta "Iglesia sobre el agua" (Fig. 158) utilizó además acero y hormigón aparente.

Lo mismo se valió del cristal en su forma natural y transparente, que en forma de bloques que dejan pasar la luz, sin permitir ver con claridad el interior.

La piel. Los materiales que forman la piel de esta obra, son los mismos que constituyen el esqueleto, ya que para Tadao Ando no hay mejor manera de utilizar los materiales que en su forma natural. Por ello, la piel también está formada de hormigón, cristal y acero (Fig. 159), aunque también incluye la piedra y la madera -para mobiliario y pavimentos- en forma secundaria Fig. 142 "Museo del bosque de tumbas"-Komoto – Gun, Kamamoto, Japón, 1989-1992, Tadao Ando.

El esqueleto. Los materiales que aquí se utilizaron, son los mismos que utiliza en todas sus obras: hormigón armado, acero y cristal. Empleó columnas para sostener el escenario, pero también hay columnas no estructurales, que



Fig.158

"Iglesia sobre el agua", Tomamu, Hokkaido, Japón. Arq. Tadao Ando; El concepto estructural predomina; El horizonte y la presencia de la naturaleza, la luz del sol, el lago y el cielo hace resaltar lo sagrado y lo profano,

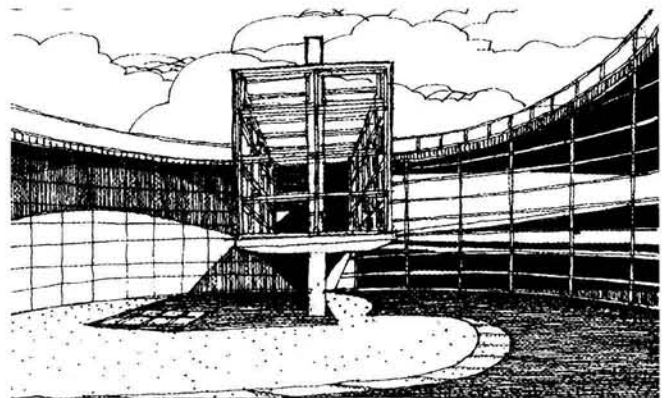


Fig. 159

Museo del bosque de las tumbas, Komoto-Gun, Kamamoto, Japón. 1989-1992 Arq. Tadao Ando, Conocimiento histórico y cultural del pueblo Iwabari; Rampa que desciende a un patio circular donde se exponen los hallazgos originales

³² **Tadao Ando** (1941, Osaka, Japón). Es un autodidacta de la Arquitectura. La aprendió a través de sus viajes por E.U., Europa y África. En 1969 funda Tadao Ando Architect and Associates. Ganó el premio Pritzker en 1995.

nada sostiene (Fig. 160), tan sólo dan la impresión de división, de otro espacio dentro del mismo espacio.

La piel. Está formada por los mismos materiales que el esqueleto, ya que es un teatro al aire libre y por tanto, convino que el esqueleto formara parte de la piel, y la piel del esqueleto.

Mediante el hormigón armado consiguió el efecto de superficies irreales creadas por la distinta iluminación natural: los muros dejan de ser reales y lo único real parece ser el espacio que encierran.

Es muy notable el aprovechamiento que hace de los elementos naturales: el agua (Fig. 158), el viento (Fig. 159), la luz (Fig. 160) y la vegetación (Fig.158), ya que con ellos ha logrado dar a sus obras un carácter único, lleno de transparencia y libertad. Sus obras tienen una apariencia impecable: limpias y ricas en luz.

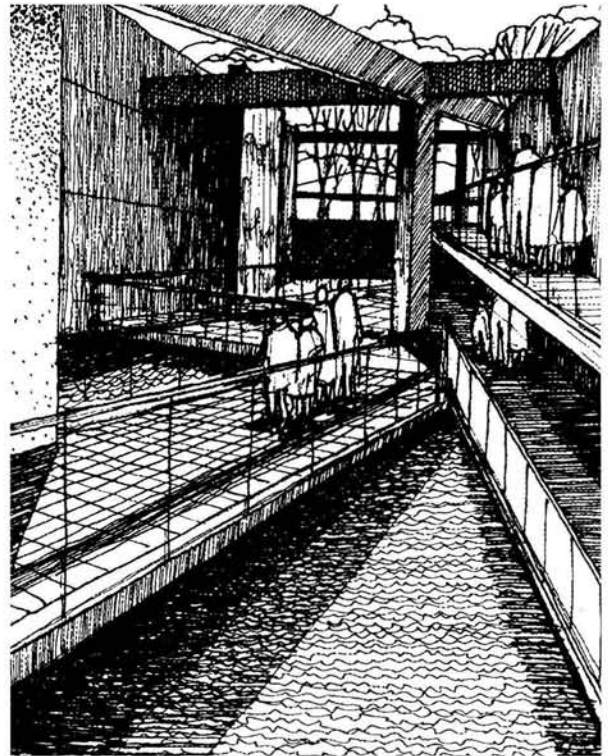


Fig. 160
Jardín de las bellas artes, Sakyo- Ku, Kyoto, Japón 1990-1994, ARQ.
Tadao Ando, Museo al aire libre en contacto con los fenómenos naturales como la luz, el viento, el agua; Secuencia espacial al aire libre.

3.3 LA CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL EN EL POSTMODERNO

La Arquitectura se ha transformado en términos reales, a través de cambios en su conceptualización estructural. Así, la arquitectura funcionalista rompió con los cánones de diseño establecidos, a partir de utilizar estructuras de acero y hormigón armado.

A su vez, varias tendencias de la arquitectura posmoderna significaron una ruptura completa respecto a todo lo establecido, por la audaz y anticonvencional manera de concebir el diseño estructural.

En particular, la arquitectura posmoderna deconstructiva partió de concebir el diseño integralmente, lo cual implicó depender de ciertas condicionantes que determinan la forma y expresión de la obra arquitectónica

1. Condicionantes filosóficas
2. Condicionantes urbano-espaciales

Falta página

N° 92

- El desorden en equilibrio (166)
- La estabilidad estructural rigurosa(168)
- La descentralización (162)
- La discontinuidad(161)
- La relación anárquica(164)
- El gigantismo escultórico(Fig.164)
- El diseño del vacío (creando el efecto de vacío)
- Elástica, figurativa (Fig. 169)

• **Las condicionantes urbano-espaciales quedan manifestadas mediante:**

- La monumentalidad (Fig. 170)
- La descomposición del equilibrio visual (Fig.163)
- Una arquitectura coherentemente integrada con la tecnología.(Fig.173)

• **Un nuevo lenguaje urbano-arquitectónico (formal-funcional-estructural) (Fig.163)**

- El análisis de las características urbano-espaciales del predio donde se ubicará el proyecto(Fig.169)
-
- Una tipología estructural que define claramente la compleja conformación del

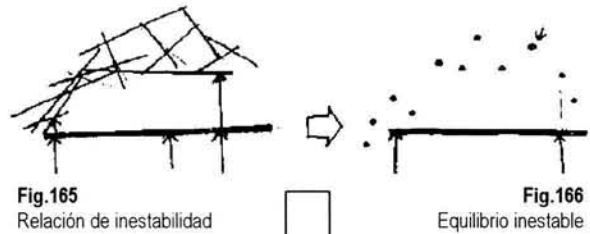


Fig.167
Remodelación del tejado de las oficinas Falkestasse, Viena 1984 - 1989
Coop Himmelblau , Arquitectos

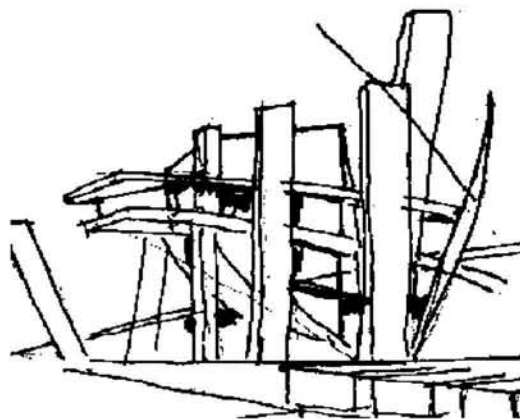


Fig.168
Una tipología estructural que define claramente la compleja conformación del espacio urbano-arquitectónico

espacio urbano-arquitectónico. (Fig.168)

En las obras deconstructivas, el comportamiento estructural pasa de estático a dinámico y la tipología estructural es:

- Biofórmica(Figs. 171 y 176)
- Inestable (Figs. 163, 164 y 169)
- Tensa(Fig. 173)
- Rígida(Fig. 164)

Como resultado de la conceptualización piel-esqueleto, el diseño estructural se da a partir de estructuras que trabajan a tensión, con apoyos discontinuos

Para el posmoderno deconstructivista, la estructuración formal debe parecer aleatoria, similar a la que se obtiene al jugar a los *palillos chinos* (el *mikado*) dando un efecto visual similar a elementos que se cortaran, como si fuera una navaja que parte el espacio (Figs. 178 y 179)

Una conformación como si estuviera hecha a partir de una estructura inestable o arquitectura biofórmica (Figs. 180 y 181). Estructura con una fisonomía gélida (Fig.173), aceptando de una manera formal el gigantismo (Fig. 170) y la

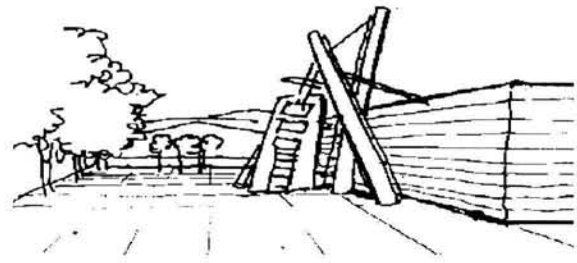
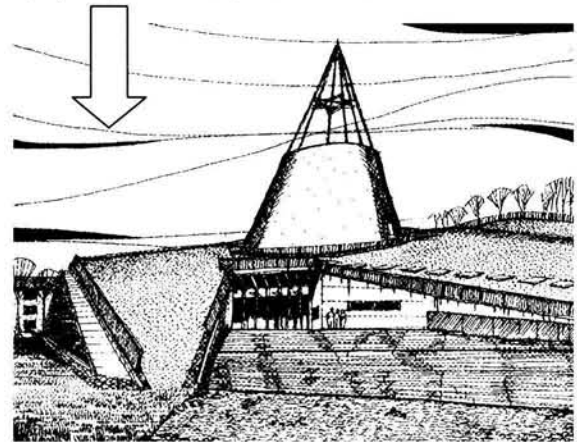


Fig. 169

Características urbano-espaciales del predio donde se ubicará el proyecto que no tienen que ver nada con el entorno



169a

Universidad Técnica de Delft, Holanda. Mecanoo arquitectos
Estructura mixta de concreto y acero.

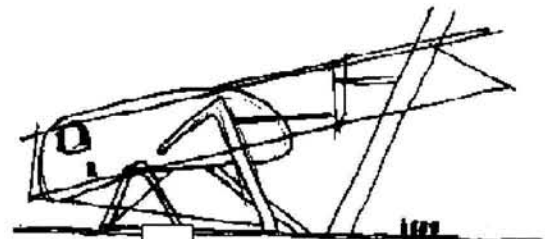


Fig. 170

Monumentalidad

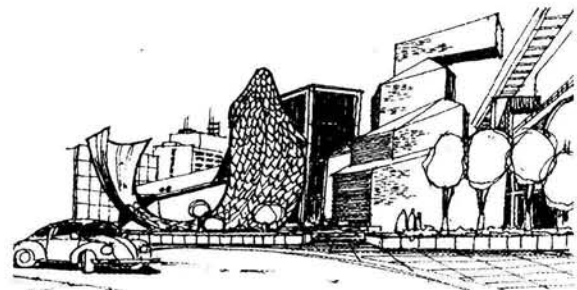


Fig. 171

Diseño estructural descentralizado y discontinuo Restaurante de productos del mar, Kobe, Japón Arq. Frank O. Gehry

3. Condicionantes arquitectónico-espaciales
4. Condicionantes naturales y del entorno
5. Condicionantes funcionales y de bienestar

Las condicionantes filosóficas se basan en:

- Desarrollar ampliamente el movimiento
- Negar el concepto de arquitectura clásica (práctica de la negatividad).
- Crear una arquitectura descompositiva y desconcentrada.
- Tener siempre presente la significación semiótica.
- Diseñar formas factibles, aplicables a conceptos arquitectónicos.
- Agotar el empleo de las estructuras rígidas funcionalistas.
- Buscar la amabilidad estética

El lenguaje conceptual de la arquitectura posmoderna deconstructivista se fundamenta en la teoría de la negatividad, de diseñar lo no clásico, de descomponer, de descentralizar y de crear discontinuidades (Fig. 161) y en el diseño de estructuras con aparente inestabilidad y en equilibrio dinámico (Fig. 162).

El concepto integrado de diseño arquitectónico-estructural hace la "difference": una inusitada conformación visual del espacio formal-funcional-estructural (Fig. 163) que surge a partir de:

- La descomposición estructural(166)
- La inestabilidad aparente (167)

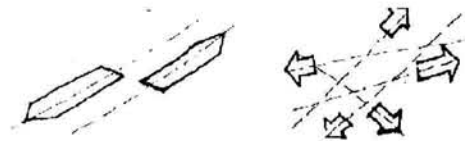


Fig. 161
Discontinuidad

Fig.162

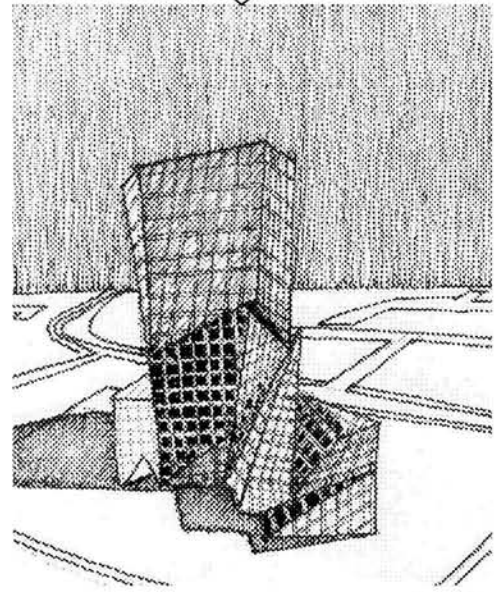


Fig.163

Nuevos lenguajes arquitectónicos, Disgregación intencionada de elementos, que se consolidan creando un nudo tridimensional de paneles de vidrio. Peter Eisenman, Rascacielos Altea, Tokio, Japón, 1990-1992.

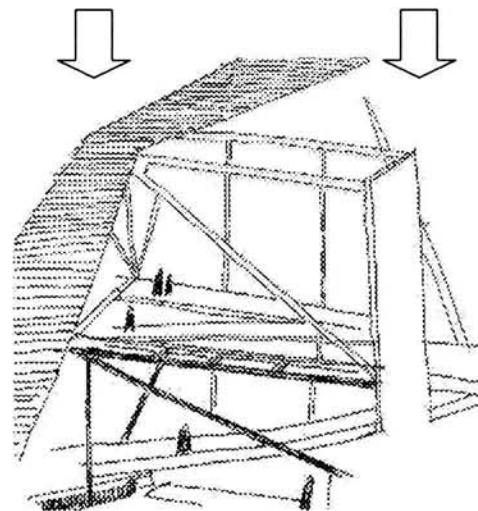


Fig.164

Conformación visual del espacio formal-estructural, inestabilidad y en equilibrio dinámico

conformación urbana de carácter único (171) El análisis que resultan del diseño arquitectónico a través de la conceptualización estructural está representada por las siguientes observaciones de carácter constante (Figs. 171,173,174,175,175ª,176,179180,180ª,181,182,182ª,183a) lo estético, lo bello, la limpieza de estilo, lo formal, lo rico en composición arquitectónica y de limpieza estructural; A dejando en la arquitectura posmoderna su hulla de fines del siglo XX.



Fig.173 Estructura gélida

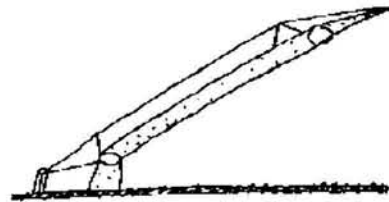


Fig.172
Estructura rígida, tensa, tirant

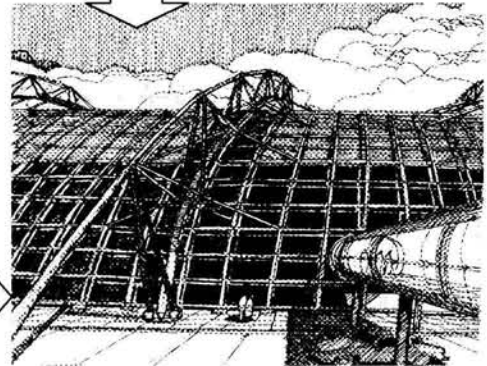


Fig.172ª
Centro de exhibiciones en Leipzig Alemania, 1992 Arq. lam Ritchie, estructura metálica tubular con claro de 80 m. y altura de 28m



Fig.174

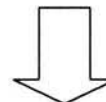


Fig.175
Estructura elástica, figurativa



Fig.175ª

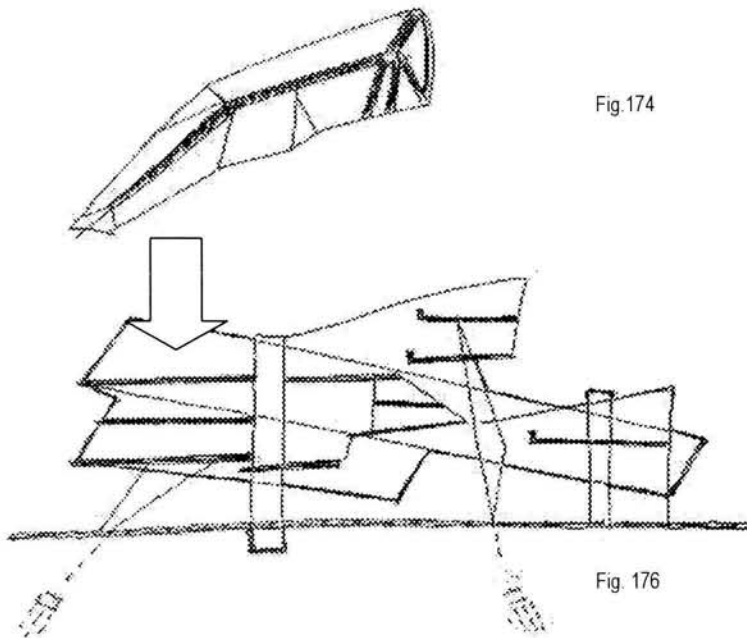


Fig. 176

Fig.174 Tipología Estructural, Bioformica, Inestable, Tensa.
Fig. 176 Compleja estructura a tensión, con apoyos discontinuos.

Algunos elementos, por su virtud combinatoria, pueden entrar en la composición de toda una serie de estructuras Arata Isozaki, Palavet de Palafolls, Barcelona

"ANÁLISIS DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO A TRAVÉS DE SUS CONCEPTUALIZACIONES ESTRUCTURALES."

La consecuencia:

Resultante del diseño arquitectónico a través de la conceptualización estructural "La correcta concepción del espacio arquitectónico es la derivación de una elección adecuada de la estructura que le da soporte".

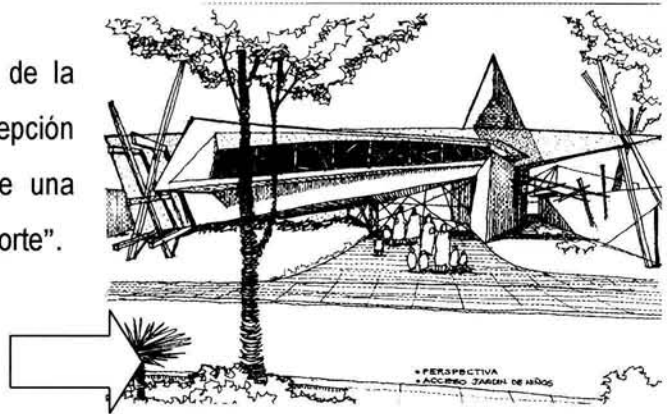


Fig. 180ª Proyecto de Kinder en Morelia Mich. 1998 Arq. Víctor M. Ruelas Cardiel

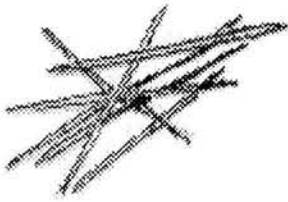


Fig. 179
Juego MIKADO

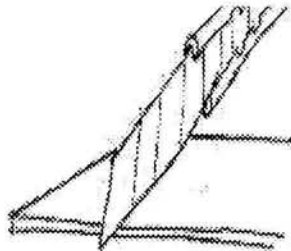


Fig.180
Elementos que se cortan

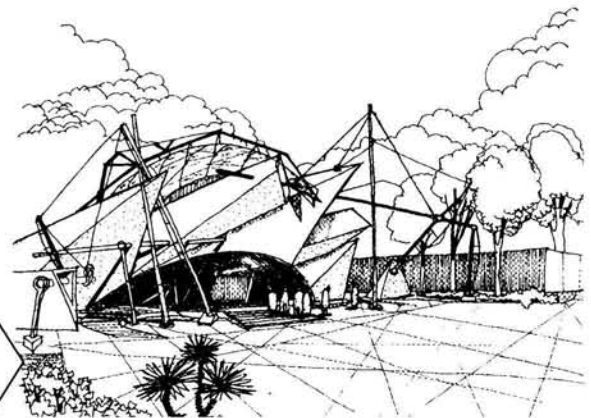


Fig. 182ª Proyecto de Capilla en Morelia Mich. 1998 Arq. Víctor M. Ruelas Cardiel

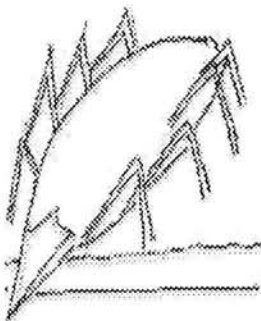


Fig.181
Arquitectura hecha a partir de estructuras inestable

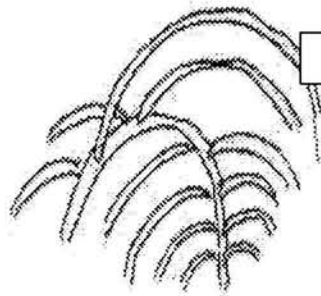


Fig. 182
Arquitectura bioformica

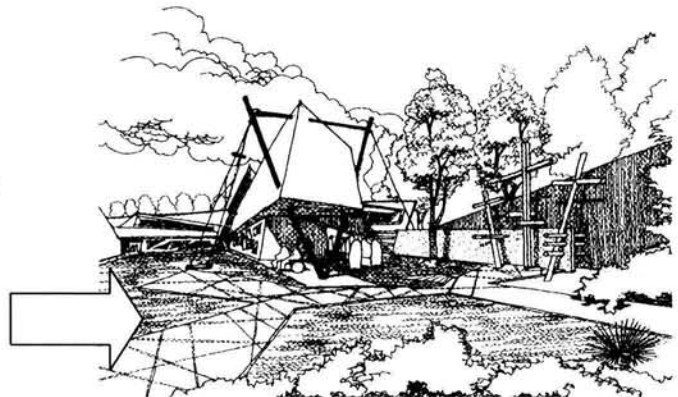
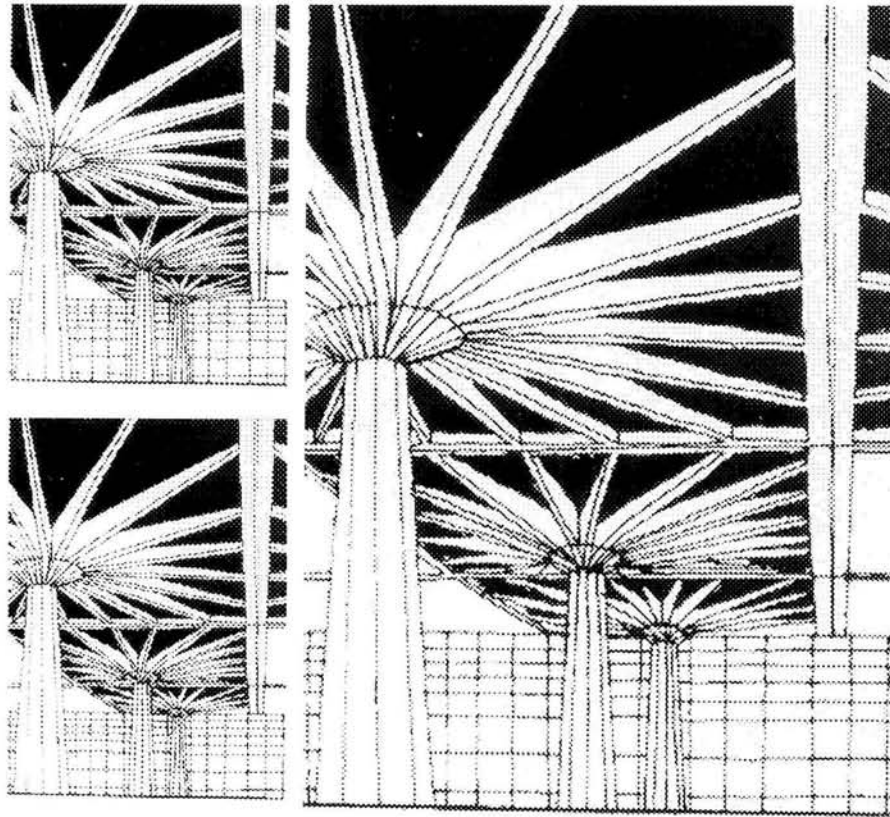


Fig.183ª Proyecto de Viviendas para religiosas en Morelia Mich. 1998 Arq. Víctor M. Ruelas Cardiel

Fig. 183
El posmoderno deconstructivista, la estructuración formal debe parecer aleatoria similar a la que se obtiene al jugar a los palillos chinos
Elementos que se cortan Elementos que se cortan Arquitectura bioformica



Salón de exposiciones, Palazzo del Lororo en Turin Italia 1950, Arq. Pier Luigi Nervi

"Una estructura no es otra cosa que un sistema de reacciones y fuerzas internas capaces de equilibrar un sistema de fuerzas externas; por tanto se debe concebir como un organismo material integrado"

*Pier Luigi Nervi*¹

CONCLUSIONES

¹ **Pier Luigi Nervi**, arquitecto italiano que desarrolló estructuras ligeras. Destaca lo hecho para la Olimpiada de Roma en 1950.

CONCLUSIONES

1. La arquitectura y la tecnología van ligadas en forma estrecha. En tanto la arquitectura requiere de la organización de nuevas formas que resuelvan correctamente las actuales demandas sociales -incluso en algo tan esencial como el confort- las nuevas tecnologías aportan materiales y acomodos que permiten resolver de manera eficiente y audaz las demandas planteadas.

La verdaderamente nueva arquitectura ha adquirido originales conceptos formales: tendencias que se entregan a la expresión urbana y le dan forma, modelos prácticos que expresan ideas de vanguardia; espacios basados en una conceptualización coherente e integradora del diseño de la forma y la estructura.

Desde las más pequeñas envolturas, hasta aquellas que cubren las ciudades, se abren nuevos campos para el diseño arquitectónico: conceptualizaciones de espacio y estructura que van ligadas en un mismo proceso creativo, para permitir dar forma a los espacios, a la vez que al espíritu del proyecto, y así crear los modelos adecuados que propicien una mejora sustancial en la calidad de vida, en lo que a arquitectura se refiere.

En el momento actual, los avances existentes en la conceptualización estructural nos permiten afirmar que el problema fundamental de dar un soporte novedoso, creativo y adecuado a obras arquitectónicas tan complejas y ambiciosas como se requiera, cuenta con una tecnología apropiada completamente asequible.

Nos encontramos frente al fenómeno de una tecnología sin más límites que la imaginación misma; tecnología que permite nuevas abstracciones en la conceptualización arquitectónica.

La base para ello está en el conocimiento de los nuevos materiales y sistemas constructivos y de cómo ellos actúan en las estructuras. Y por supuesto, en la sensibilidad y audacia del

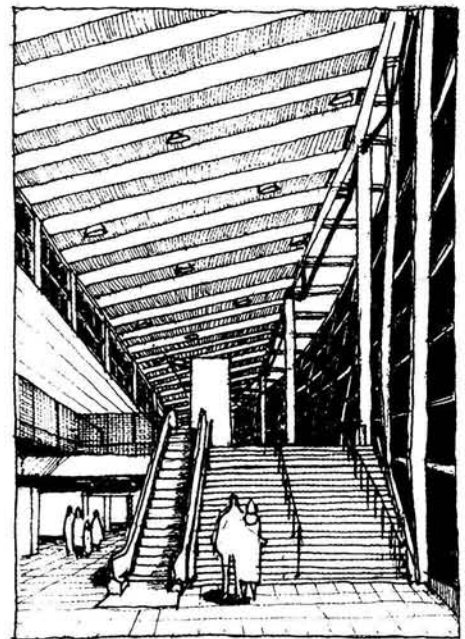


Fig. 184

Área de circulaciones del centro de exposiciones Congrexpo, Vestibulo de la Sala de conciertos, la estructura desempeña tres funciones principales: Estructura, acabados y ventilación. La ingeniería y la arquitectura alcanzan una total integración que les permite informarse, influirse y determinarse mutuamente En, Lille, Francia. Arq. Rem Koolhaas. 1990-1994,

diseñador.

2. Pero no sólo eso, las demandas de los usuarios para obtener la más adecuada satisfacción de sus requerimientos de funcionalidad y comodidad en una concepción –también por ello- estética del espacio edificado, implican la incorporación de tecnologías que resuelvan, además de lo relacionado con el soporte y la seguridad, la adecuación con el entorno natural y edificado.

Ello obliga a cambios profundos en los programas y planes de estudio de las instituciones de enseñanza superior, para que no sólo otorguen la capacitación técnicamente rigurosa en el área técnica, sino para que logren motivar y comunicar a los futuros arquitectos, una nueva actitud hacia el diseño estructural, que forme parte de un diseño integral, de manera tal que lo concebido no dependa de caprichos estéticos ni al revés, que se fueren supuestas concepciones estéticas por el prurito de utilizar concepciones estructurales de moda, como ocurre con el abuso del diseño hexaédrico.

Porque la innovación de formas constructivas diferentes a la cúbica, se sustenta en lo expresivo de los materiales, en la capacidad de combinación de formas y en la audacia en el manejo de las propuestas, resultados, todos, del conocimiento y la experiencia en el ámbito de lo estructural.

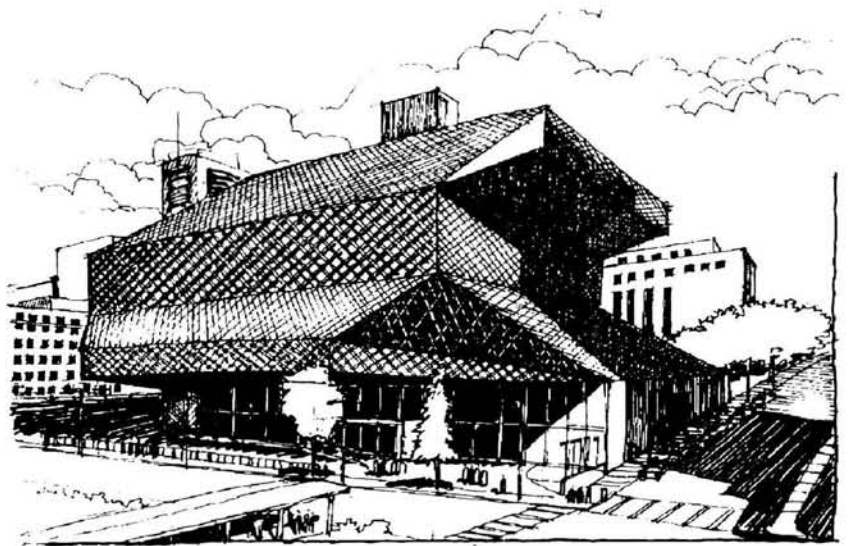


Fig. 185
Biblioteca pública, Seattle, Wa., E.U.; 2001-2004 Rem Koolhaas.
Estructura de acero de once niveles; recubrimientos de cristal.

3. La arquitectura moderna dio rienda suelta a la imaginación, se permitió ejercer la necesidad innata de creación no sólo de los aspectos relacionados con las necesidades de confort, sino también con la solución de detalles y accesorios. Y esto pudo ser posible a una conceptualización estructural, que permitió proponer nuevas soluciones.

La realización de esas nuevas formas construibles, se manifestó de modo natural, con un mínimo de esfuerzo, gracias a los nuevos y originales materiales y medios técnicos que se desarrollaron desde finales del siglo XIX.

Y las respuestas obtenidas -manifestaciones arquitectónicas de una simplicidad etérea, casi inmaterial- introdujeron a la conceptualización estructural en un nuevo campo del espacio construido.

Una de estas manifestaciones arquitectónicas, la deconstructiva, rompió con muchos de los cánones de diseño establecidos por la arquitectura funcionalista. Pero aún más, partió de concebir el diseño como una integridad; esto es, como una conjunción de diversos factores que al jerarquizarse determinan la forma y expresión de la obra: factores urbano-espaciales, factores naturales y del entorno, factores funcionales y de bienestar, factores arquitectónico-espaciales e incluso factores filosóficos y psicológicos

Pero retomando lo estructural, diremos que la conceptualización estructural-formal del posmoderno, en especial del deconstructivismo, no sólo hizo evolucionar tecnológicamente la Arquitectura, también concibió la estructura como una manifestación de los resultados formales preconcebidos que dan vida a la obra edificada. Y demostró con ello que la estructura es el esqueleto que se expresa a través de la piel que recubre la fachada y hace de la arquitectura una obra única, con valor propio.

La arquitectura deconstructiva significó, por tanto, una ruptura completa respecto a todo lo establecido, por la audaz y anticonvencional

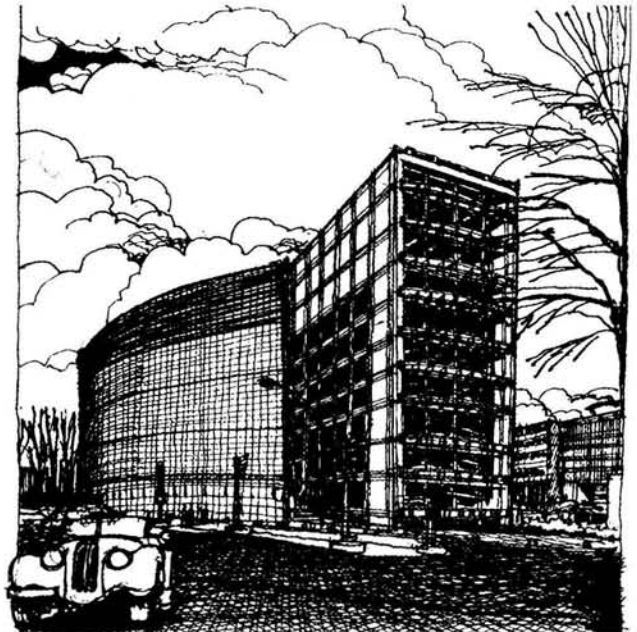


fig. 186

Centro cultural del mundo árabe, París, Francia Arq. Jean Nouvel 1981-1987, Estructura contemporánea de acero y concreto en donde se observan los claros para la apertura de la luz natural resuelta, asentándose en bastidores, filtros y tramas superpuestas

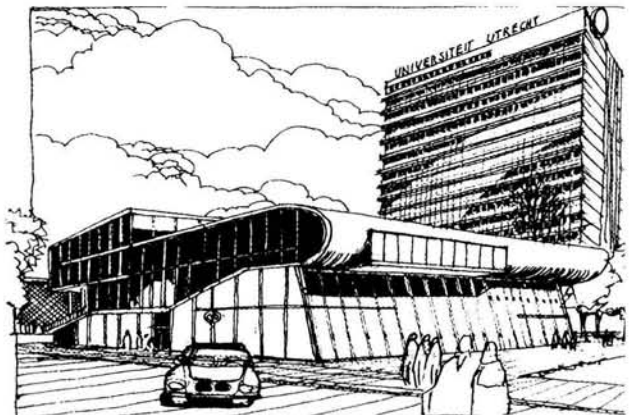


fig. 187

Educatorium Utrecht, Holanda, 1993-1997 Arq. Rem Koolhaas Estructura mixta de concreto y acero, recubierta de cristal, Auditorio, biblioteca y centro cultural; El nombre "*Educatorium*" alude a un lugar de aprendizajes

manera de concebir el diseño estructural como un componente primordial en la concepción de los espacios.

4. Finalizaremos diciendo que el diseño de espacios a partir de una conceptualización estructural, permite romper el esquema bidimensional en el proceso del diseño arquitectónico al expresarse como espacios en tercera dimensión, que conjugan en sus formas la conceptualización espacial y la conceptualización estructural otorgándole una nueva expresión formal. La conveniencia de que la obra arquitectónica deje entrever sus formas estructurales básicas, es sólo visible a los ojos experimentados en líneas estructurales, pero forma una expresión nueva del espacio arquitectónico capaz de ser percibida y sentida por el usuario común; quien la vivirá plenamente en la medida que satisfaga todos sus requerimientos. Y esto sólo será posible si hay una conceptualización estructural, formal y funcional verdaderamente integral.

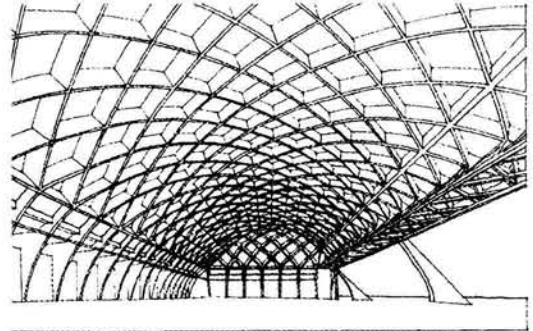


Fig. 188

Hangar Pier Luigi Nervi 1935, Espectacular estructura reticulada en cartabón, con soportes de trabe triangulas para la apertura del claro

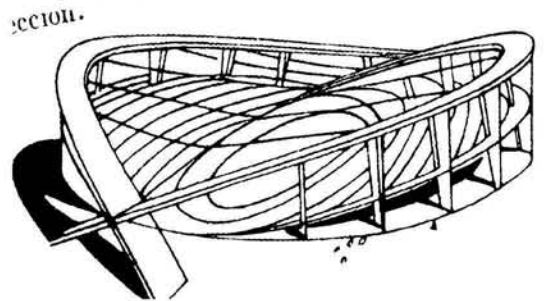
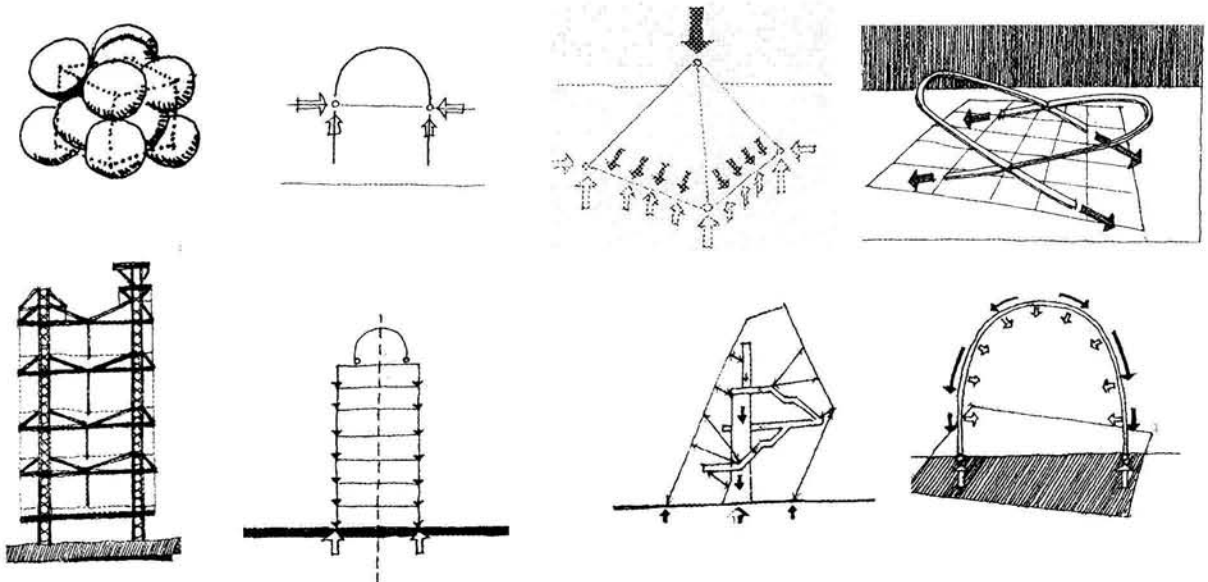


Fig. 189

Arena Raleigh, pabellón Suizo, para la feria de Berlín Alemania 1953 Arcos cruzados inclinados, que sostienen una techumbre sobre cuerdas, Arq. William Hendy; Estructurista: Fred. N. Severo

LINEAS DIAGRAMATICAS



Anexo

Libros Comentados

LEUDEN, Bernard et al, "Proyecto y Análisis: Evolución de los Principios en Arquitectura",
Gustavo Gili, Barcelona, 1999.
Capítulo 4: *Proyecto y Estructura*

Las teorías que sostienen que la arquitectura deriva inequívocamente de las exigencias de los materiales, han recibido en el pasado unos apoyos tan fervientes como las que defienden exactamente lo contrario. La influencia de la estructura sobre el proceso de proyecto puede ser descrita usando uno u otro punto de vista.

Por estructura tradicionalmente se han entendido las partes de una edificación que reciben las cargas de la misma y las transmiten a los cimientos. Pero durante los últimos 150 años -a partir de la construcción de esqueletos de hierro y de hormigón armado- el componente portante, medido en cantidad de material, ha decrecido claramente. A causa de ello, actualmente se puede definir la estructura como el aspecto material global de una edificación, cuyas funciones son tanto el sostenimiento como la división.

Los planteamientos científicos adoptados por muchos teóricos y arquitectos de los siglos XIX alimentaron el ideal de una arquitectura racional, producto del conocimiento y la razón. Para dar una forma tangible a este ideal, se requería un fundamento de proyecto sólido, objetivo: esta base se halló en la consideración de la estructura como esencia de la forma edificada.

Probablemente, la manera más lógica de analizar la relación entre proyecto y estructura sea la de estudiar el vínculo entre estructura y forma edificada. Este vínculo viene determinado por la medida en que la forma edificada satisface la función básica de la estructura, la transmisión de fuerzas.

A lo largo de la historia de la Arquitectura se han dado ejemplos extraordinarios de este vínculo, el primero que se analizará es el **Panteón de Roma** (118-128 d.C), edificio que sintetiza el concepto romano del espacio y el empleo de las estructuras de bóveda y de cúpula. Por su misma forma, en este tipo de estructuras se generan pocos o nulos esfuerzos de flexión, por lo que permiten salvar grandes luces. Este enorme avance técnico permitió a los albañiles romanos erigir edificios con vastos espacios exentos de apoyos.

Dado que la piedra como material de construcción únicamente acepta esfuerzos de compresión, sólo era posible conseguir una luz de esta magnitud aplicando el principio estructural del arco. Y cuando en una estructura sólo se producen esfuerzos de compresión y/o tracción, podemos hablar de una unidad de forma y estructura.

Con la aparición de las estructuras arqueadas desaparece gradualmente la distinción entre apoyo (columna) y carga (arquitra) típica de la arquitectura primitiva, como la griega. Cuando se produce una fusión de elementos como ésta se habla de una **estructura integrada**.

Siglos más tarde, en la Edad Media, la estructura integrada volvería a alcanzar su punto culminante en la catedral gótica. Para lograr unos edificios tan estilizados y gráciles, los albañiles góticos tuvieron que adaptar meticulosamente la forma de sus edificios a la distribución de las fuerzas en juego. Este principio de inequívoca concomitancia entre la forma edificada y la transmisión estructural de fuerzas, eliminando al máximo el material de relleno que no cumpliera una función estructural precisa, proporcionaría a lo largo del siglo XIX las bases para un ideal arquitectónico enteramente nuevo.

El arquitecto Viollet-le-Duc, con su tratado *Entretiens sur l'architecture* (1863) sienta las bases de la *arquitectura racional*, que sostiene que el proyecto viene determinado enteramente por las consideraciones estructurales. Para él, "las cuestiones puramente artísticas, como la simetría y la forma visible, sólo son condiciones secundarias frente a los principios dominantes.



Fig. 190
El panteón de roma 118-128 d.C. estructura que genera poco o nulos esfuerzos de flexión

El ideal de la arquitectura racional del siglo XIX y principios del XX se concretó en obras cuyas aspiraciones estéticas emanaban directamente de las exigencias planteadas por el método constructivo. Así, encontramos la Torre Eiffel y la Galería de Máquinas en París (ambas de 1889), o las obras de arquitectos de formación tradicional que adaptaron un uso expresivo de la tecnología. Destacó Hendrik Berlage con su edificio para la Bolsa de Valores de Ámsterdam (1903). Proyectado con los principios de Viollet-le-Duc, su estructura y los materiales con que esta hecho el edificio están orgullosamente expuestos a la vista. Los elementos más llamativos son la vasta superficie del suelo y la grácil estructura de la cubierta de hierro.

En 1908, el arquitecto Adolf Loos rompe cánones establecidos con sus principios de una arquitectura industrializada. Abogaba por un diseño contenido, no enfático, cuya distinción no proviniera de consideraciones puramente artísticas, sino de una exquisita ejecución. Para él, la resolución del problema de la estructura resulta menos importante que el hecho de lograr una edificación cálida y acogedora.

El arquitecto suizo Le Corbusier lleva a la práctica estos principios con el sistema *Dominó*, que se basaba en el uso de una estructura de hormigón y acero. El refuerzo del hormigón con barras de acero tiene la virtud de combinar las mejores propiedades resistentes de ambos materiales (a compresión el hormigón y a tracción el acero) permitiendo a la pieza resistir mayores esfuerzos de flexión. Con este avance la arquitectura se liberó, por así decirlo, del estrecho y rígido corsé de las paredes de carga, que durante siglos había constituido la única forma factible de sostener los edificios. Y como ventajas adicionales, las estructuras así hechas resultaban más baratas, de fácil moldeo y manipulación, y razonablemente duraderas.

En sus obras, Le Corbusier probó las enormes posibilidades de la estructura de hormigón armado para el desarrollo futuro de la idea de "planta libre", y sentó las bases para el diseño de estructuras totalmente "divorciadas" de la organización del espacio: muros divisorios y fachadas dejaron de tener una función portante, lo que permitió a los arquitectos organizarlas a voluntad.

Le Corbusier afirmaba que las estructuras de hormigón pueden diseñarse enteramente para su óptima capacidad portante y de producción mecanizada; las paredes interiores surgen entonces como consecuencia de las consideraciones espaciales y ergonómicas.

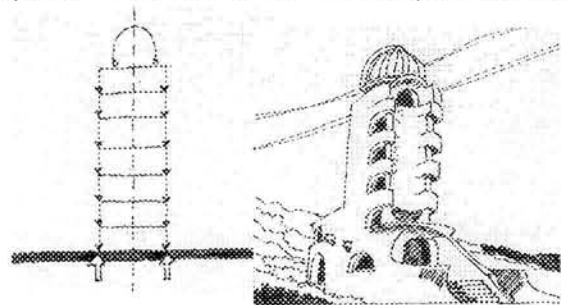
Este planteamiento diferenciador de los componentes constructivos, fue el primer paso de un proceso evolutivo que ha conducido a la trascendente separación actual de la ingeniería y la arquitectura.

REYNA Gómez, Francisco, "Antecedentes para el estudio de la Tecnología Arquitectónica". Universidad Nacional Autónoma de México.- México, 2001.

Desde la prehistoria hasta los tiempos en que la arquitectura empezó a tener carácter permanente (en la época griega 3000 a 30 a.C.), los elementos estructurales estaban representados por columnas, cubiertas de madera, arquitebros, frisos, cornisas, tímpanos, tejas y dinteles de piedras inclinadas. Sólo las columnas, que eran de mármol, hacían trabajar a la piedra como elemento de cuña en claros relativamente pequeños; quedando como elementos estructurales las columnas y las trabes.

Entre el 300 a.C. y el 365a.C. los elementos estructurales cambiaron. Destacaron como base de piezas estructurales, la argamasa y el mortero, denominado "*pulvis puteoloni*", que sentó una base determinante para la construcción de claros como la bóveda de cañón y el arco de medio punto.

Entre el 313 d.C. a los 800 d.C., los cambios estructurales hechos por los romanos permitieron conformar grandes bóvedas compuestas, columnatas y muros que solo recibían cargas verticales. Es de destacar que la madera se incorporó como elemento estructural para soportar techumbres, quedando como elemento identificador de las estructuras: columnas, cubiertas de madera, bóvedas de cañón, cimientos ciclópeos y muros de mampostería con polvo *puzzolánico*.



Figs. 191 y 192
Arquitectura expresionista.
Torre Einstein, Postdam, 1920.
Arq. Erich Mendelsohn
Estructura de tabiques cubiertos con mortero, lo cual la obliga a tener absoluta simetría y equilibrio estable.

La época bizantina se caracterizó por elementos estructurales–constructivos que no requerían cimbra, como bóvedas y cúpulas apedechinadas.

La arquitectura post-romana (400–1100 d.C.) tuvo gran variedad de elementos estructurales-constructivos: Contrafuertes, columnas monolíticas, bóvedas de cañón corrido, cúpulas lobuladas, cubiertas de madera, dobles columnas. Pero es en la arquitectura románica donde nace la mayor variedad de elementos estructurales: bóvedas romanas de crucería, bóvedas con losas y nervaduras transversales, longitudinales y diagonales; bóvedas ojivales cuatrimpartitas, muros arcados de medio punto con apoyo de pilastras, columnas insertas y contrafuertes.

En la arquitectura gótica, los elementos característicos fueron las bóvedas ojivales góticas lisas, los contrafuertes escalonados y las columnas esbeltas.

El Renacimiento (1400–1600 d.C.) sólo aportó elementos decorativos, aunque estructuralmente se diseñaron claros mayores.

La arquitectura del siglo XIX se caracterizó por un cambio radical de los materiales: el cemento, el vidrio, el hierro, el hormigón armado y el acero.

El siglo XX trae cambios profundos en la arquitectura. Los elementos estructurales cambian conceptualmente el diseño arquitectónico, gracias al conocimiento científico del comportamiento y propiedades de los materiales y estructuras. Se diseñan elementos de alta resistencia, ligereza y esbeltez; elementos estructurales pretensados, pre-esforzados, estructuras geodésicas, aceros de alta resistencia, plásticos estructurales, entre otros. El análisis científico de los elementos estructurales, su resistencia a la compresión y a la tensión, cambia radicalmente la conceptualización estructural.

FABER, Colin, "Candela: the Shell Builder".
1962. Versión en español: Ed. Continental.- México, 1969.

FELIX CANDELA definió a la arquitectura como una "escultura que debe vivirse por dentro"; planteando una visión nueva sobre de análisis de la teoría de las estructuras.

Estudioso que se dedicó al análisis de las formas geométricas materializándolas en estructuras de concreto, encaminó sus estudios hacia la posibilidad de construir techos ligeros de concreto que pudieran cubrir grandes claros con estructuras geométricas auto sustentante. En sus obras, el concreto y la cimbra de madera se conjugan en formas que dan vida al espacio y enriquecen la expresión formal.

Las varias concepciones formales del arquitecto Candela lo hicieron diversificar sus diseños. Su enfoque fundamental está basado en las posibilidades del diseño y la construcción; de lo teórico y lo realizable; de la idea estructural-formal a la solución conceptual-formal.

El lenguaje transmitido a través de sus cascarones de concreto, comprende la formalización de una percepción de formas espaciales integradas a la tecnología mediante el cálculo estructural. Pero lo principal: nos transmite que el concepto formal se inicia en un conocimiento general de las estructuras; conocimiento que está dado por los conceptos de tensión y compresión, que por naturaleza tiene el concreto armado.

El conocimiento de todo lo que afecta al diseño estructural, está representado por el cálculo real y las limitantes del razonamiento estético. Su importancia reside en la comparación de las formas estructurales y los conceptos formales, a partir de los cuales pueden surgir conceptos formales volumétricos que establezcan relaciones de liga para el resultado final integral.

Cualquier nueva idea estructural tiene poca posibilidad de ganar la aprobación, a menos que sea fácil de calcular y de ejecutar. De los diseños estructurales repetidamente propuestos como solución arquitectónica, surgen rasgos originales que pueden ser incorporados a los diseños arquitectónicos como una propuesta cotidiana.

La originalidad que sugiere el conocimiento de las estructuras, en un orden natural, corresponde a factores meramente físicos de la materia. El formalismo arquitectónico –las formas preconcebidas- constituye en alto grado una descomposición estructural, la cual lleva a la anarquía al propio sistema.

El autor ve con ojos de antipatía este tipo de diseño arquitectónico y lo cataloga como "infantiles manifestaciones de arte", porque los actos creativos en el arte y la ciencia son similares en el carácter, más no idénticos. Y al enfrentarse al diseño arquitectónico, se juzga primero su estructura.

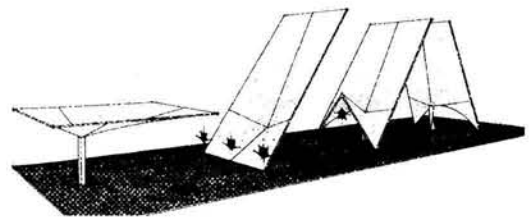


Fig.193 Conceptualización estructural iglesia "La medalla milagrosa" México D.F., 1960 Arq. Félix candela

El conocimiento estructural y constructivo, aunado al talento creativo de Candela, lo identifican como arquitecto, ingeniero y constructor único.

Una de sus más grandes cualidades es la observación: "al enfrentarse a un problema debe ignorarse todo lo que se considera irrelevante, abstrayendo lo esencial. Cuando se descubre lo esencial, todo se vuelve sencillo".

OTTO, Frei.- "Das Hängende dach. Cubiertas colgantes."
Ed. Talleres Gráficos Ibero-americanos.- Barcelona, 1958.

"Una cubierta colgante deberá vencer la gravedad y adaptarse a todas las formas".

Frei Otto abre un nuevo campo hacia el diseño estructural fundamentalmente auxiliado en una muy original concepción del espacio. "Los materiales se conceptualizan en la esencia del espíritu del diseño arquitectónico, al transformar los espacios en habitabilidad y libertad". Concretizó las cubiertas ligeras, llevándolas en el ámbito de arte. Tuvo la inteligencia e imaginación suficientes para transformar formas constructivas naturales en formas artificiales, mediante tecnología de vanguardia.

Otto Frei creía que la influencia de la naturaleza ha marcado las tendencias que desde tiempos inmemoriales ha manifestado el ser humano en sus construcciones. Todos los elementos que las han conformado están regidos por la gravedad, la tensión y compresión de los materiales; leyes físicas que nos son comunes y de las que no podemos abstraernos.

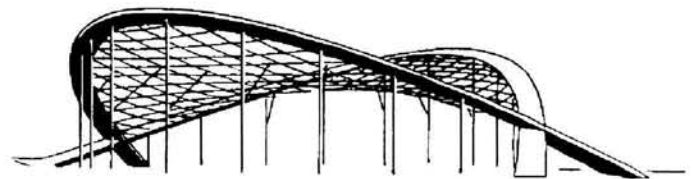


Fig.194

Conceptualización estructural arena Raleigh,
Pabellón Suizo en Berlín Alemania 1952 Frei Otto Estructurista

La manifestación de todas estas fuerzas físicas se observa desde el desarrollo de todas las obras constructivas humanas: en las cubiertas con forma de membrana; en las cuerdas, redes, dispositivos de tensión que sostienen elementos, cadenas de acero, cáscaras de concreto, fibras de madera; en elementos de trabajo a compresión que soportan cargas, como en troncos que trabajan como columnas o en el acomodo de mamposterías.

Los principios de la conceptualización estructural que Frei Otto aporta no solamente habilitan al arquitecto para concebir espacio antes inimaginables, sino que establecen una nueva forma de conceptualizar los espacios volumétricos.

El autor también comenta que la arquitectura reclama su derecho de antigüedad en la apropiación de las cubiertas colgantes: las viviendas de los moradores del desierto las tenían como una base fundamental. Por ello, no es nuevo que tanto las cuevas (que siguen un perfil de piedras dispuestas en arco estructuralmente constituido por materiales en compresión), como las tiendas que se formaban por cubiertas tensadas, nos den la clave para conocer la evolución en la conceptualización espacial de la morada humana.

NORBERG-SCHULZ, Christian.- "Intenciones en la Arquitectura"
Ed. Gustavo Pili, Barcelona, 1967.

El autor comenta la crisis actual de las artes y la afectación que esto causa sobre la arquitectura. El hombre vive un espacio en caos y las ciudades lo reflejan físicamente. Explica así el desacuerdo de la sociedad con el entorno arquitectónico: el usuario no logra hacerse entender y no entiende la arquitectura; la sociedad y las instituciones no acaban de entender la labor del arquitecto; el arquitecto defiende la modernidad y la eficiencia de los edificios y del medio urbano.

Los valores estéticos se han visto sustituidos por actitudes de máscara, que tratan de hacer una arquitectura que responda formalmente a su entorno, y que por lo mismo no es integralmente bella. El fachadismo es lo que más importa a los arquitectos, sólo existe una necesidad prioritaria: Decorar el edificio construido.

Estos conflictos obligan a reformar lo que entendemos por arquitectura.

La labor del arquitecto se ha visto limitada por los modelos educativos y la formación profesional se ha visto enclaustrada dentro de conceptos antiguos ante necesidades modernas, totalmente diferentes en sus contenidos. Se hace necesario romper los viejos esquemas y formar profesionales capaces de enfrentarse al mundo actual.

La forma específica del edificio ha perdido identidad con sus funciones y por tanto, con la lectura que el hombre hace de su medio; se hace necesario rescatar las características propias de cada espacio y revalorar sus conceptos. Considerando lo anterior, no está lejos de ser verdad la afirmación de que ha sido el arquitecto el causante del desorden urbano.

El arquitecto ha quejado lejos el estudio de las percepciones, se ha olvidado de que es la percepción el primer contacto con el mundo real y que a través de éste integramos a nuestras experiencias los fenómenos y los objetos del mundo circundante. La percepción juega un papel importante, porque establece la conexión entre el individuo y su medio.

Los fenómenos se encadenan en series de causas y efectos, a la vez que permiten establecer correspondencia entre sí, entre el individuo y el medio, atribuyendo características de significado y orden a las cosas.

Los objetos y los fenómenos pueden ser conocidos por sus características; algunas son fáciles de percibir, otras permanecen ocultas, pero el ser humano las representa y las simboliza. Cuando reconocemos los objetos, reconocemos los fenómenos; unos son estables, otros carecen de permanencia. Quedan incluidos entre estas clasificaciones los objetos de arte y por ende, la arquitectura. La percepción permite establecer variables y constantes, interviene en la actitud del individuo para apropiarse del objeto y relacionarse con él.

En la percepción interviene en gran medida la socialización. Para que el hombre pueda entender su medio necesita adaptar sistemas de símbolos, sólo así es posible la interpretación del medio, sus objetos, sus fenómenos. El hombre puede tener expectativas con respecto a su realidad y a las relaciones de sus objetos, pero será necesario establecer los parámetros de la cultura y de los valores que ésta representa. Por tanto, los valores son relativos y el hombre deberá relacionarse con su medio por medio de una conducta ordenada que justifique las intenciones de sus actitudes.

Al enfrentarse a nuevas situaciones, el hombre debe modificar sus esquemas para poder responder a ellas. Son las similitudes entre fenómenos, las que permiten relacionar respuestas ante situaciones nuevas.

Existen esquemas primarios como la continuidad de las cosas y la esquematización vertical- horizontal, que son fundamentales en la percepción del entorno.

El conocimiento del objeto es básico en la comunicación e identificación de experiencias. El hombre que percibe la arquitectura le otorga sus esquemas psicológicos, cambia el simbolismo de acuerdo a su percepción individual, y el arquitecto deberá considerarlo.

Las percepciones son superficiales, porque cada persona tiene una interpretación personal de la realidad. Cada cual asigna valores de diferente manera, pero los objetos están relacionados en el tiempo y el espacio por la forma en que les asignamos valores. Ciencia y percepción son interpretaciones de un mismo mundo, sólo que la primera busca la verdad objetiva, la otra tiene relación con la manera en que el individuo se interpreta a sí mismo y al medio que le rodea.

En Arquitectura, los objetos permanecen aunque la percepción cambie por el color o la textura. Esta permanencia se identifica como el esqueleto estructural y resulta aplicable a todos los objetos en relación con la posición, relación o tamaño de las cosas.

La semiótica ayuda a la interpretación de los lenguajes de los objetos que intervienen en los mensajes. La sociedad y la religión transmiten un ordenamiento de ideas y de mensajes, que el individuo codifica y interpreta a través de símbolos.

A lo largo de la historia, las culturas han aprovechado las características de la percepción y del simbolismo para adueñarse de su entorno y expresar su arte.

GREGOTTI, Vittorio. - *"El territorio de la Arquitectura "*.-
Ed. Gustavo Gili.- Colección *Arquitectura y Crítica.*- Barcelona,
1972.

Define el proyecto como el punto de partida de la actividad arquitectónica, y la considera una actividad de creación que abarca desde la concepción de una idea –intención- hasta el establecimiento de relaciones con el nuevo objeto. El autor plantea una semblanza general acerca de las cualidades y de las fases del proyecto, dejando expresada la idea de un proceso completo dentro del hacer en la arquitectura, simbolizado a través de

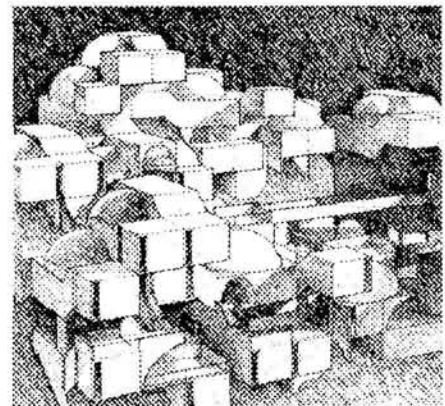


Fig.195
Habitat Israel 1969 Moshie Safdie expresión de ideas de un proceso completo

un sistema de signos y señales perfectamente identificable.

Plantea catorce puntos de una metodología para que el arquitecto desarrolle su proyecto ejecutivo completo, con resultados óptimos en eficiencia y calidad. Piensa que el proyecto es la manera con la que intentamos satisfacer un deseo nuestro fijando los elementos del problema hasta establecer un nuevo objeto a través de su ejecución en el tiempo, el cual media entre el deseo y la satisfacción. Considera la fase proyectual, autónoma, por ser un conjunto de símbolos, planos y perspectivas que dan racionalidad y cientificidad al proceso de diseño.

A través de su metodología analiza la realidad, dándole al arte un valor de primer orden, y en segundo lugar a la materia; constituyéndolas como disciplinas autónomas. Clasifica las invariables tipológica, morfológicas y tecnológicas, concibiendo una elaboración científica del proceso proyectual; racionalizando y creando sistemas de conexión y dando solución a los problemas. Busca en los modelos arquitectónicos autenticidad de comportamiento.

Para la elaboración y transmisión del proyecto, considera que dependemos conceptualmente de un documento histórico: las imágenes de la arquitectura y la organización de las imágenes, en bocetos y anotaciones

La organización de los datos se podrá realizar cuando se tenga perfectamente conocido el objeto del proyecto, dando un sentido crítico a los datos a través de los conceptos y las hipótesis de trabajo, que constituirán un modelo arquitectónico en el se pueda formar, proponer y relacionar la información. El significado queda constituido como la estructura de la operación proyectual, haciendo nuestra "la arquitectura" con el mundo, expresada en el lenguaje que le es propio, encontrando ideologías y lenguajes que le den sentido y utilidad. Intenta fundamentar una propia razón comunicable de las formas arquitectónicas. La comunicación de los datos para la correcta ejecución de la obra se hará por medio del proyecto ejecutivo, expresando los vínculos con la estructura del espacio euclidiano y su representación geométrica, comunicando cabalmente el proceso por medio del mensaje gráfico, haciendo patente el conjunto de anotaciones representativas que no pertenecen al sistema de proyección, sino a la fundamentación de la lectura del proyecto.

Los instrumentos del control proyectual son la experiencia proyectual y la disciplina arquitectónica.

Propone la arquitectura como un servicio civil que así deberá regir y la define con un carácter de mayor amplitud y articulación.

BOHIGAS, Oriol.- "Contra una Arquitectura Adjetivada "- Editorial SEIX BARRAL.- Biblioteca Breve de bolsillo.- Barcelona 1969

Parte de afirmar que la ocupación del arquitecto es realizar arquitectura, no calificar la labor que realiza; es decir, pretende rescatar la función del arquitecto como una actividad de diseño, de creación; no como una actividad valorativa. Rescata la idea de que actualmente se le han otorgado a la arquitectura valores distintos a su hacer, como copiar tendencias; esto es, hacer arquitectura de algún estilo específico o a la manera de alguien. La arquitectura no cambia en su esencia cuando se le otorgan valores y atributos; éstos no la hacen mejor o peor. Por ello, resulta importante que se integre de lleno a lo que sí le da valor como actividad independiente, al diseño.

El autor reflexiona acerca de las maneras en que la arquitectura se hace manifiesta, donde se ha buscado la exaltación de la obra sin tomar en cuenta el tiempo y el espacio a que corresponde, incluido en esto las posibilidades técnicas y tecnológicas. Rescatar la función del arquitecto como primera forma de identificación es regresar al diseño; esto lleva implícita la búsqueda de valores que le permitan cumplir y responder a las necesidades del usuario. Hacer arquitectura no significa hacer obras de arte; significa diseñar. Esto es lo primordial, pero es fundamental concebir el diseño como una labor encaminada a resolver las necesidades del usuario y sus requerimientos específicos.

Actualmente se realizan obras que no cumplen con las funciones y necesidades del usuario, tan sólo siguen una forma o una tendencia; esto hace de la arquitectura una labor impertinente, sin justificación.

La transformación de la arquitectura tiene que ver con la transformación de las estructuras y esta transformación será reconocible en cuanto permanezca fiel a su propia naturaleza. La solución adecuada del problema arquitectónico nos lleva al diseño de formas como justificación adecuada al problema. La forma será la justificación del espacio diseñado, no una

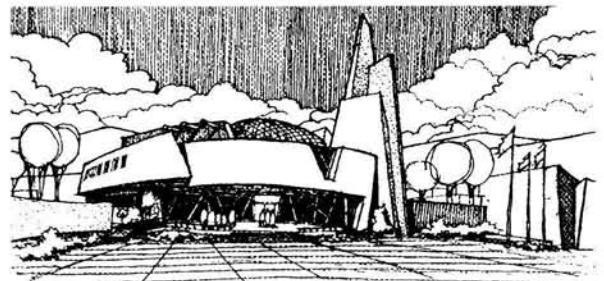


Fig.196
Capilla Madre Ercilla Morelia, Manifiesto de exaltación del proyecto
1998, Arq. Víctor M. Ruelas Cardiel

propuesta dentro de un esquema preconcebido. La estética será consecuencia de la forma propuesta; por ello es conveniente atender a los valores ontológicos al elaborar la propuesta de diseño.

El desarrollo de la obra será acorde a los requerimientos reales y no a las tendencias formales, porque éstas llenan de calificativos a la obra, desde el planteamiento de su idea, predeterminando su resultado.

ARGULLOL, Rafael, "Tres miradas sobre el arte" Ed. Destino, Barcelona, 1989.

1.- El arte fundamentalmente europeo se sitúa en el siglo XIII (el llamado «*Quattrocento Italiano*») cuya vertiente histórica nos dice que en esta época se separó la tradición artística medieval de la tradición artística moderna, de la cual parte el lenguaje representativo que hemos heredado.

2.- El arte en el «*Quattrocento Italiano*» se desprende de su concepción sagrada de lo estético, para buscar una estética autónoma, con lo que deviene la maduración de la cultura humanista, en la que la religión y la cultura son términos totalmente separados.

3.- El arte figurativo (la pintura) representado por Giotto, modifica los postulados arcaizantes del arte bizantino y griego, a partir de usar como modelo la naturaleza, cambiando los conceptos de proporción anatómica, de profundidad y movimiento. Todas estas nuevas expresiones configuran un nuevo ciclo lingüístico del arte occidental.

4.- Las tendencias renovadoras del arte se dieron en el siglo XV en Florencia, teniendo como resultado la congruencia de lo cultural y lo estético. La fusión del sentimiento de la belleza con la realización artística, fundamentó una conciencia estética autónoma del plano religioso.

Características del arte florentino:

- a) El arte ya no en función de Dios, sino del hombre.
- b) Artesanos y artífices se transforman en artistas con absoluta libertad creativa.
- c) Se fomenta en la sociedad un gusto por lo estético, basado en el reconocimiento público y una opinión crítica.

5.- Se desarrolla el lenguaje renacentista, mientras que el arte gótico-bizantino (lenguaje medieval) decae. El arte renacentista del *Quattrocento* es reclamado como insustituible, por su realismo anatómico, su profundidad espacial y el dinamismo global de la composición. La madurez del lenguaje figurativo renacentista se plasma a través de una pléyade de artistas pictóricos; esta maduración es tanto técnica como estilística, y da como consecuencia el clasicismo renacentista.

6.- El humanismo florentino restablece los vínculos -anulados por el pensamiento medieval- entre el plano sensitivo y el plano individual, partiendo de un concepto fundamental de lo bello, encontrando la armonía, aclarando las relaciones de tensión entre el naturalismo e idealismo del Renacimiento, creando la doctrina estética de la armonía que postula que la obra artística debe mostrar al espectador cohesión-armonía entre la naturaleza y el espíritu. Los artistas prototipos de la época del «*Quattrocento*» fueron Donatello, Botticelli, Leonardo, Rafael y Miguel Ángel. Leonardo da Vinci buscó científicamente encontrar las leyes universales de la armonía. Concluye este humanismo florentino en el *Cinquecento*, con los conflictos históricos y culturales de la crisis de la expresión renacentista: la corriente *manierista*, el academismo epigónico y la tradición veneciana de Bellini, anunciación del barroco.

7.- La arquitectura y la escultura fueron relevantes en el renacimiento. Sin embargo, destacó la pintura porque le dio fiel interpretación filosófica a su tiempo, haciendo cambios fundamentales en los espacios arquitectónicos transición del gótico al románico. En esencia, el renacimiento substituye, ontológicamente, el conocimiento de Dios por el conocimiento del hombre, trascendiendo en el espacio arquitectónico con la premisa de que «el hombre es la medida de las cosas».

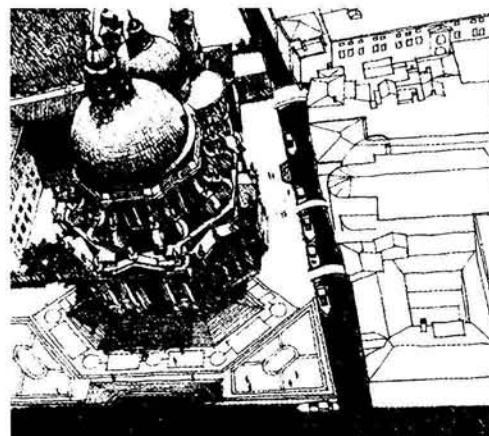


Fig197

Santa Maria de la Salud, Venecia 1631-1682 La
anunciación del barroco BeldassareLonghena

8.- La centralidad y la universalidad llevan a la arquitectura renacentista al monumentalidad y la grandiosidad, que en su rápida glorificación, cancela todo el decorativismo en la arquitectura. La confusión entre el poder material y el terrenal (representado por el Estado Pontificio), provoca en la arquitectura el nuevo estilo barroco, mediante el cual la Iglesia afirma su poder, buscando una glorificación mucho más terrenal que espiritual.

9.- En las artes figurativas se combinan sensualidad y misticismo; encarnando a la perfección todo el expresionismo del hombre, característico del estilo barroco. En la pintura se modifica el lenguaje figurativo renacentista. Los pintores ya no buscan armonía sino la fuerza expresiva y la disección de las pasiones humanas.

10.- Europa madura artísticamente con el renacimiento y el barroco. El arte busca romper el equilibrio entre el contenido y la forma, pero al final surge el *rococó*, decadencia del barroco. Del barroco lo fundamental es el cuestionamiento de los lenguajes y los nuevos medios expresivos.

11.- El racionalismo filosófico imprime cambios en la mentalidad de los europeos, especialmente en Francia. El barroco pierde fuerza y se impone el estilo *rococó* como una concepción del arte, pregonando espacios íntimos desprovistos de la idealidad renacentista y de la grandiosidad barroca. La práctica del estilo *rococó* se generaliza en todas partes; los burgueses de la época la reflejan en la decoración. Por ello se le denomina *arte de salón*.

12.- A partir del renacimiento y del barroco, surge, como una idea ordenadora y armónica, el *neoclásico*, considerado como «El arte del racionalismo». En él, la razón priva sobre la imaginación, la capacidad intelectual sobre la creativa, la disciplina sobre la inspiración. Es el primer arte no cristiano: cambió el culto a Dios por el culto a la razón. En lo político el ateísmo cultural provocó movimientos sociales como la Revolución Francesa, que significó el cambio de autoridad monárquica por los principios de la racionalidad democrática. El neoclásico desarrolló su arte en la comunidad civil, fuera de la Iglesia y de la burguesía, representadas por el *rococó*. Esta fuerza se denominó «El siglo de las Luces» o de la «Ilustración» y el predominio científico, cuyas características eran pureza, luminosidad, exactitud, equilibrio.

13.- La literatura y la música estuvieron influenciadas en el siglo XIX por el movimiento romántico. Los países con más fuerza conservadora sostuvieron un nuevo embate del gótico, proponiendo el neogótico. En la escultura y arquitectura, el romanticismo no creó condiciones que la representaran. Sin embargo, en la pintura se formaron tres lenguajes diferentes: «el expresionismo», «el surrealismo» y «el abstraccionismo». La concepción romántica del arte se apoya en la subjetividad: «El arte es la exteriorización de la emoción y del sentimiento». Las rupturas lingüísticas estéticas provocan el abstraccionismo, creando conflictos en el arte, que llegan hasta la actualidad.

14.- La sociedad industrial y la nueva tecnología incrementaron la crisis artística con el advenimiento de la fotografía. La pintura tomó derroteros literarios como «Poesía hecha imagen» tomando como base la fotografía.

15.- La técnica no se limitó a las artes figurativas, sino que sobrepasó los ámbitos de la ingeniería militar y civil, complementada con la arquitectura, denominada «Arquitectura para los ingenieros». Las nuevas tecnologías constructivas, con elementos novedosos como el hierro, hormigón, cristal y plásticos; conjuntados con la producción en serie, la facilidad de transporte y el progreso científico, cambiaron el rumbo de la arquitectura tradicional, dando paso a la arquitectura y al urbanismo contemporáneo. De toda esta nueva tecnología surgen las grandes edificaciones en toda Europa.

16.- La realidad social a finales del siglo XIX propuso cosas diferentes, tales como concebir el arte como captador de la realidad social e histórica, como representación histórica de un universo mitológico, como desarrollo de la percepción sensorial. «Pintar lo cotidiano sin prejuicios», el «sarcasmo caricaturesco», los «retazos de escenas cotidianas». El arte no debe reflejar la realidad ni competir con la fotografía captando lo histórico. Debe captar lo eminentemente espiritual, lo imaginativo. 18.- La cultura y el arte de fin de siglo XX muestran una civilización desequilibrada.

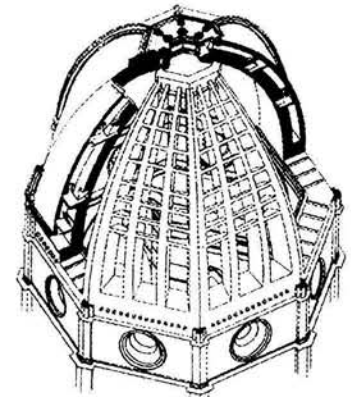


Fig. 198
El concepto de universalidad lleva a la arquitectura renacentista a la grandiosidad. Cúpula de la Catedral de Florencia, Brunelleschi.

Bibliografía consultada

1. **ACHA, Juan;** *"Introducción a la Teoría de los Diseños"*, Editorial Trillas, México 1997.
2. **AMBROSE, James;** *"Análisis y Diseño de Estructuras"*, Editorial LIMUSA, México, 2001.
3. **ASHIHARA, Yoshinobu;** *"El diseño de espacios exteriores"*, Editorial G.G., Barcelona, 1982.
4. **CARMONA Y PARDO; Mario de Jesús;** *"Estatica en arquitectura"* Editorial Trillas, México
5. **CORRAL Y BÁKER, Carlos;** *"Lineamientos de diseño urbano"*, Editorial Trillas, México
6. **CHING, Francisco D.K.;** *"Architecture. Form, Space, and Order"*, Editorial John Wiley & Son, Inc. New York 1996
7. **BAZANT, S., Jan;** *"Manual de Criterios de Diseño Urbano"*, Editorial Trillas, México, 1991.
8. **BURIAN, Eduardo R. ;** *"Modernidad y arquitectura en México"* Ed. Gustavo Gilli, Méx. 1998
9. **BEER, Johnston Jr. et al;** *"Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática"*, Mc Graw Hill, México, 1997.
10. **BLACKWELL, William;** *"La Geometría en la Arquitectura"*, Editorial Trillas, México, 1991
11. **BOHIJAS, Oriol;** *"Contra la Arquitectura Adjetivada"*, Editorial La Gaya Ciencia, Barcelona, 1972.
12. **BONSIEPE, Gui;** *"Teoría y práctica del diseño industrial"*, Editorial G.G., Barcelona, 1978.
13. **BROTO, Carlos;** *"El nuevo paisajismo urbano"*, Editorial Arian Mostaedi, Barcelona 2000
14. **CEJKA, Jan;** *"Tendencias de la Arquitectura Contemporánea"*, Editorial G.G., México, 1995.
15. **DÁVILA, Juan Manuel;** *"La Deconstrucción deja la Arquitectura"*, Federación Editorial Mexicana, México, 2003.
16. **EMMERICH, David Georges;** *"Les Structures"*, en: *L' Architecture d'au jour d'hui*, no. 141, (40° annee) Ed. L'Architecture d'au jour d'hui, Paris, Janvier 1969, p. 4-14.
17. **ENGEL, Heino;** *"Sistemas de Estructuras" (Tragsysteme)*, Editorial G.G., Barcelona, 2001.
18. **FABER, Colin;** *"Las Estructuras de Candela"*, Editorial CECSA, 1970, México.
19. **GALACH, Instituto;** *"Historia del Arte"*, Editorial Océano, Barcelona, 1995.
20. **GREGOTTI, Vittorio;** *"El Territorio de la Arquitectura"*, Editorial G.G., Barcelona, 1972.
21. **HIERRO Gómez, Miguel;** *"Experiencia del Diseño"*, UNAM, México, 1997.
22. **HOLAHAN, Charles J.;** *"Psicología Ambiental, un Enfoque General"*, Editorial Trillas, México 1996.

23. **JENCKS, Charles;** *"Arquitectura Internacional"*, Editorial G.G., Barcelona, 1989.
24. **JENCKS, Charles;** *"The Architecture of the jumping universe" (La Arquitectura de un universo cambiante)*, Academy Editions, West Sussex, 1997.
25. **JOHNSON, Philip, et al;** *"Arquitectura Deconstructivista"*, Editorial G.G., Barcelona, 1988.
26. **KOSHALEK Smit, Richard y Elizabeth;** *"A Fin de Siglo: Cien Años de Arquitectura"*. CONACULTA/ Russel Ferguson/ UNAM; México, 1998.
27. **LABAN, Brian;** *"Ferrari, The Leyend of the Road"*, Editorial Crescent Books, New York, 1991.
28. **LAPIDUS Mandel, Luis;** *"Diseño Arquitectónico"*, Editorial Pueblo y Educación, Cuba, 1987.
29. **LE CORBUSIER;** La Romchamp, Francia; *"Teorías de la Arquitectura"*, Microsoft Encarta, 1999.
30. **LEUDEN, BERNARD et al;** *"Proyecto y Análisis: Evolución de los principios en Arquitectura"*, Editorial G.G., Barcelona, 1999.
31. **LLOYD Wright, Frank;** *"La Arquitectura y la Música"*, Editorial Kabah, México, 1962.
32. **LOPEZ Rangel, Rafael; YAÑEZ, Enrique;** *"En la Cultura Arquitectónica Mexicana"*, Editorial Limusa, México, 1989.
33. **MIJARES BRACHO, Carlos ;** *"Transito y moradas, esbozo sobre el quehacer arquitectónico"* Instituto Superior de Arquitectura y Diseño A.C. , México 2002
34. **MONTAGU, Arturo;** *"DATARQ 2000, Arquitectura Moderna y Contemporánea"*, Universidad de Buenos Aires/ Editorial Terra, 1999.
35. **MORRIS, Charles G.;** *"Psicología: un nuevo enfoque"*, Universidad de Michigan; Editorial Prentice-Hall/ Hispanoamericana, México, 1987.
36. **OTTO, Frei;** *"Cubiertas Colgantes"*, Editorial Labor, Barcelona, España, 1962.
37. **PSCHEL, Gina;** *Historia Universal del Arte 1,2 y 3;* Editorial Noguer, Barcelona, 1977.
38. **PEREZ ALAMÁ, Vicente.** *"El concreto armado en las estructuras"*, Editorial Trillas , Mexico
39. **RIERA Ojeda, Oscar, et.al;** *"Hiper realístic"*, Editorial Mc Graw Hill, New York, 1995.
40. **RISEBERO, Bil;** *"Historia Dibujada de la Arquitectura"*, Celeste Ediciones, Madrid, 1995.
41. **ROJAS Soriano, Raúl;** *"El Proceso de la Investigación Científica"* Editorial Trillas, México, 1997.
42. **ROSSI, Aldo;** *"La Arquitectura de la Ciudad"*, Editorial G.G., Barcelona, 1982.
43. **RUELAS Cardiel, Víctor Manuel;** *"Apuntes de Tipología Arquitectónica"*, Universidad Michoacana, Morelia, Michoacán, 1998.

44. **RUGGIERO, Joseph;** *"Found Objects: a Style and Source Book"*, General Publishing Company, Canadá, 1981.
45. **SALVAT Enciclopedia,** Editorial Salvat, Barcelona, 1976.
46. **SÁNCHEZ OCHOA, Jorge,** *"Cálculo estructural en acero aplicación a la construcción arquitectónica"* Editorial Trillas, México, 1990
47. **SALVAT,** *"Historia del Arte"*; Editorial Salvat, Barcelona, 1976.
48. **STROETER, Joao Rodolfo;** *"Teorías sobre Arquitectura"*, Editorial Trillas, México, 1994.
49. **TOCA, Antonio;** *"México: Nueva Arquitectura 2"*; Editorial G.G., México, 1993.
50. **UTZON, John** "Ove Arup, estructurista", en: *Revista Obras*, septiembre 2001.
51. **VELASCO A., Ana Rosa.-** *"Apuntes para una metodología de la investigación"*, Universidad Michoacana, Morelia, Michoacán, 1996.
52. **VELASCO León, Ernesto;** *"Cómo acercarse a la Arquitectura"*, Editorial Limusa Noriega, México, 1990.
53. **VELARDE, Héctor;** *"Historia de la Arquitectura"*, Fondo de Cultura Económica, México, 1993.
54. **VIÑOL, Rafael,** *"Samsung cultural education and entertainment Center, Seoul, Korea"*, en: *Revista Hiperrealistic*, Editorial Mc Graw Hill, New York, 1995.
55. **YAÑEZ DE LA FUENTE, Enrique;** *"Teoría, Diseño y Contexto"*; Ed. LIMUSA, México, 1986.
56. **ZEVI, Bruno;** *"Saber ver la Arquitectura: ensayo sobre la interpretación espacial de la Arquitectura"*, Editorial Poseidón, Buenos Aires, 1971.

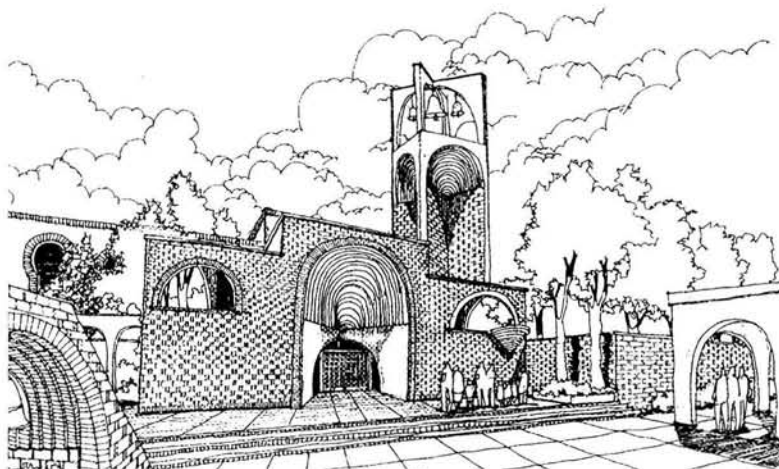


Fig. 160

Proyecto de un templo católico, creado con los conceptos Plástica y estructurales de la arquitectura del **Arq. Carlos Mijares Bracho**. Tacámbaro, Michoacán, México, 1999. Arq. Víctor Manuel Ruelas Cardiel

Glosario

- **Almocárabe** En Arquitectura Árabe, prisma en forma curva, cortado en su parte inferior. Utilizado principalmente en cubiertas para simular cúpulas.
- **Árbol** En estructuras, eje fijo recto que está provisto de resaltes o dientes.
- **Cadena** Conjunto de elementos entrelazados de un mismo tipo, colocados uno a continuación de otro.
- **Código** Conjunto de reglas que tienen como fin la organización.
- **Columna** Soporte o apoyo vertical.
- **Conexión** Sistema de unión.
- **Cuadrícula** Conjunto de cuadrados que resultan al cortarse perpendicularmente dos series de rectas paralelas.
- Cubierta** Estructura rígida que protege un espacio.
- **Deontología** Tratado de los deberes a los que están obligados los seres humanos por los preceptos religiosos, o por las leyes de la Ética.
- Entablamento** Conjunto de las partes soportadas por las columnas
- **Entidades topológicas** En Geometría Cartesiana, articulaciones naturales que existen en el espacio.
-
- **Escisión** Cortadura, rompimiento
-
- **Espacio** Medio homogéneo, continuo e ilimitado en que situamos todos los cuerpos y todos los movimientos.
-
- **Estructura** Conjunto de relaciones existentes entre los diversos elementos que forman un todo; en el que cada elemento depende de los otros y existe en función del todo.
-
- Formalismo** Toda consideración que centre su interés en la forma.
-
- Gozne** Herraje articulado con que se fijan las hojas de las puertas y ventanas al quicial, para que giren.
- Hipotáctico** En semiótica, sobre imposición de elementos que por lo mismo, mantienen subordinados o dependientes a otros.
- **Indeterminismo** Actitud filosófica que niega la posibilidad de hacer previsiones rigurosas de los fenómenos futuros a partir de los fenómenos actuales, pero admite previsiones probabilísticas.
- Mandarinato** Ejercicio del poder de forma omnimoda.

- **Paratáctico** En lingüística, relación entre elementos sin sobre imposiciones.
- **Paroxismo** Máxima intensidad de un evento.
- **Poliedro** Sólido limitado por polígonos. Los poliedros regulares se dividen en, tetraedro (4 caras), cubo (6 caras), octaedro (8 caras), dodecaedro (12 caras) e icosaedro (20 caras).
- **Prestidigitador** Persona con cualidades para hacer juegos de manos.
- **Proporción** Relación que existe entre las partes de una cosa y el todo.
- **Protoestructuras** Primeras estructuras; se dieron en los orígenes de la arquitectura.
- **Semiótica** Ciencia que estudia las relaciones de los signos entre sí y su interpretación.
- **Simbolización** Representación y explicación entre dos cosas por su relación o semejanza.
- **Sinérgico** Efecto de asociación de movimientos.
- **Tejido** Conjunto homogéneo de elementos interrelacionados.
- **Trenza** En estructuras, enlace entre tres o más ramales entrelazados.
- **Nodo** En Topología, curva cerrada sencilla, hecha de un material flexible, que se puede retorcer, alargar de cualquier forma en el espacio tridimensional.
- **Troglodita** Hombre primitivo que habitó en cuevas

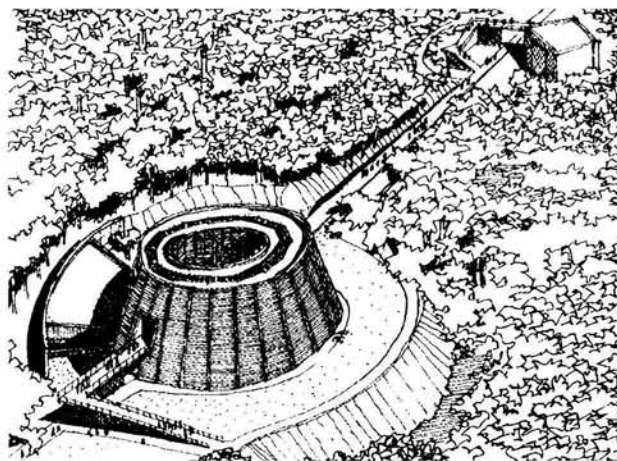


Fig. 199

Museo de madera Mikata-Gun. Hyogo, Japon, 1991-1994 Arq. Tadao Ando. Estructura de madera.

Listado de Ilustraciones

Todas las ilustraciones fueron hechas por el autor, a excepción de:

Fig.0 Diseño de portada: D.G. Anabel Ruelas Morales

Fig.1 Arquitecto, Ingeniero de obra, sobrestante, *Tomada de:* Walker / Milstein, Les y Jeff, "Designing houses"

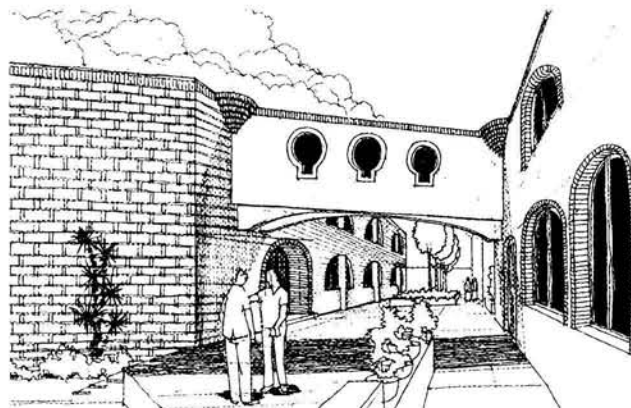
Listado de Ilustraciones

Todas las ilustraciones fueron hechas por el autor, a excepción de:

- Fig.0** Diseño de portada: D.G. Anabel Ruelas Morales
- Fig.1** Arquitecto, Ingeniero de obras, Maestro de obras, Tomada de: Walker / Milstein, Les y Jeff, "Designing houses"
- Fig.9** Estructura cascaron. Tomada de: Faber, Colin; *The Shells/ Las Estructuras de Candela*.
- Fig.19** Estructura piramidal. Tomada de: Blackwell, Williams; *La Geometría de la Arquitectura*.
- Fig.20** Paraboloide hiperbólica. Tomada de: Faber, Colin; *The Shells/ Las Estructuras de Candela*.
- Fig.28** Conceptualización estructural del Museo de Artes Visuales. Tomada de: Stroeder, Joao; *Teorías de la Arquitectura*.
- Fig.30** Plaza del Alcoy, España. Tomada de: Carles Broto *El nuevo paisajismo urbano*
- Fig.38** Panteón de Roma. Tomada de: Risebero, Bil; *Historia dibujada de la Arquitectura*, Celeste Ediciones, Madrid, 1995
- Fig.41^a** Torres Petronas, Tomada de: Engel, Heino; *Sistemas de Estructuras*.
- Fig.47^a** Centro de exhibiciones internacionales: Tomada de: Carles Broto *"El nuevo paisajismo urbano"*
- Fig.48^a** Centro de convenciones en Chicago Illinois, Tomada de: Francis D. K. Ching *"Architectural. Form, Space, and Order"*
- Fig.82b** Centro de exhibiciones internacionales Tomada de: Carles Broto *"El nuevo paisajismo urbano"*
- Fig.92** Panteón de Roma. Tomada de: Risebero, Bil; *Historia dibujada de la Arquitectura*.
- Fig.116** Templo Bethel A.M.E., en San Francisco, California, E.U. Tomada de: *Architectural Delineation*, Editorial Mc. Graw-Hill, N.Y., 1996.
- Fig.145** Crocket Plaza, en San Francisco, California, E.U. Tomada de: *Architectural Delineation*,
- Fig.189** Arena Raleigh, Berlin Alemania. Tomada de: Otto, Frei; *"Cubiertas Colgantes"*
- Fig.198** Cúpula de la Catedral de Florencia. Tomada de: Stroeter, Joao; *Teorías de la Arquitectura*.
- Fig.190** El panteón de Roma, Tomada de: Francis D. K. Ching. "Architectural. Form, Space, and Order"
- Fig.191** Estructura paraboloide. Tomada de: Faber, Colin; *The Shells/ Las Estructuras de Candela*.
- Fig.195** Hábitat Israel, Tomada de: Francis D. K. Ching *"Architectural. Form, Space, and Order"*.
- Fig.197** Santa Maria de la Salud, Venecia, Italia Tomada de: Francis D. K. Ching. *"Architectural. Form, Space, and Order"*

Nota

La ficha técnica de los libros que contienen las ilustraciones arriba señaladas y que carecen de la editorial, lugar y fecha de edición, se encuentra en *Bibliografía Consultada*.

**Fig. 200**

Proyecto para un hotel en Campeche, México, Estructura de manposteo, México, 1998. Arq. Victor Manuel Ruelas Cardiel.

