

00181

9
2ej

CONFIGURACION ESTRUCTURAL DE LA ARQUITECTURA DEL SIGLO XIX

CIUDAD DE MEXICO

(UN CAMINO HACIA SU RESTAURACION)

T E S I S

Que para obtener el Grado de

DOCTOR EN ARQUITECTURA

p r e s e n t a

JORGE ANTONIO ROJAS RAMIREZ

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DE LA

FACULTAD DE ARQUITECTURA



~~1999~~

1999

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

273088



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.

PAGINACION

DISCONTINUA

Director y Asesor. de Tesis:

Dr. en Arq. Leonardo Icaza Lomeli.

El jurado:

Dr. en Arq. Leonardo Icaza Lomeli.

Dr. en Arq. Luis Ortiz Macedo.

Dr. en Arq. Jesús Aguirre Cárdenas.

Dr. en Arq. Alejandro Villalobos Pérez

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez.

Dr. en Arq. Juan Gerardo Oliva Salinas.

Dr. en Arq. Ramón Vargas Salguero.

Agradecimientos:

Antes de iniciar la presente tesis, jamás me imagine que tal trabajo lo realizara durante mas de siete años continuos sin interrupción alguna, Sin embargo lo que siempre me animó a continuar, fue tanto el interés del tema, como el apoyo brindado por mis amigos y familiares.

*El trabajo de investigación fue esencialmente trascendente en la Biblioteca Histórica de Minería de la Facultad de Ingeniería de la UNAM; en la cual **Jorge y Lupita**, con tanto tiempo de estancia, me consideraron como parte de la misma biblioteca.. Nunca supe sus nombres completos, pero si puedo decir que los conocí como entrañables amigos. Ellos me hicieron un comentario que para mi fue muy importante; en el cual me manifestaban que su servidor contaba con la mayor asistencia en la consulta de tal biblioteca. Para ellos mi mas sincero agradecimiento.*

*Igualmente en el centro de computo de la División de Estudios de Posgrado, de la Facultad de Arquitectura; se presentó una situación similar a la anterior, por parte de Gerardo; pero muy especialmente de **Juan y Luis** y mas personas como Jim, Edhit, José y Antonio, ya que me asesoraron con una gran cuidado y esmero en el proceso de trabajo. Para todos ellos sencillamente quiero decir que son parte de esta tesis.*

A los Sinodales, que como asesores me auxiliaron con sus importantes aportaciones a precisar el presente trabajo y así lograr un alto nivel de análisis.

*Finalmente agradezco profundamente la dirección de esta tesis al Dr. en Arq. **Leonardo Icaza Lomeli**, quien fue mi guía, con su desmesurada atención y dedicación. Por ello, su labor es plenamente significativa y de una gran calidad académica y humana. Esta tesis es producto singular de su dirección y entrega, por lo que guardare por siempre mi gratitud a su empeño.*

Para concluir, quiero igualmente agradecer a mi familia: Adriana, Jorge y Manuel, por su constante ánimo, paciencia, amor y motivación. Pero sobre todo a Dios, porque me permitió realizar este interesante estudio.

Jorge Antonio Rojas Ramirez.

Dedicatoria a:

Mi familia:

Adriana, Jorge y Manuel.

A la Memoria:

Un dulce recuerdo y admiración para:

Mis Padres:

Aurora Navidad y Victor Manuel.

Al niño:

Giovani Lucio.

En recuerdo a mis maestros:

Julia Cardinali Pesani

José Luis Benlliure Galán..

Presentación:

El tema de tesis propone el conocer en una forma directa a la arquitectura del siglo XIX, a través de una serie de reflexiones sobre su criterio estructural de origen. Y así lograr un camino más directo y óptimo para restauración. Con la aclaración que no es una tesis de cálculo estructural, ya que existen infinidad de publicaciones al respecto y las cuales por lógica generalmente se encuentran dedicadas a la arquitectura de nuestro tiempo.

En la actualidad falta interpretar y comprender más adecuadamente a la arquitectura histórica, con su forma de trabajo estructural, tecnología y diseño original; conservado los principios de la teoría de la restauración.

Como punto de partida fue necesario situarse en momento histórico el cual dio origen al movimiento moderno fundamentado en las ciencias exactas como las *matemáticas* y el descubrimiento de la *geometría descriptiva*.

El siglo XIX fue enciclopédico, con un ideal a seguir por los grandes descubrimientos históricos y científicos, con el reconocimiento de la *arqueología*, la *historia de la arquitectura* y la *restauración* como concepto contemporáneo. Tal situación innovadora logra su cúspide y se cristaliza, con la conjugación de los procedimientos constructivos tradicionales y las tecnologías basadas en sistemas industrializados y nuevos materiales, como el concreto armado y las estructuras metálicas, extendiendo su aplicación poco a poco en la construcción.

La arquitectura se fundamenta en una tratadística basada en publicaciones de alto nivel, las cuales se encuentran ordenadas y clasificadas por especialidades; presentados en *manuales*. Una de sus finalidades fue el determinar con modelos de análisis el porque de la estabilidad en los monumentos y así encontrar una solución más sublime y perfecta en la arquitectura.

Con el proyecto y construcción de la iglesia de *Santa Genoveva* en Francia a finales del siglo XVIII se inicia esta nueva modalidad; la cual tuvo una gran virtud por pureza y exactitud estructural y constructiva, y siempre con una razón de ser en su configuración estructural, lograda en cada uno de sus elementos arquitectónicos; cuyo resultado mas directo fue el neoclásico, por su pureza en su expresión.

Es una época de reorganización urbana, con grandes espacios abiertos y regulares y de un gran orden puntual por sus remates monumentales. Este es un ejemplo de la asimilación de las culturas ancestrales del nuevo continente por su gran aporte para Europa hasta ahora sin tomarse en cuenta.

Lo anterior fue un reflejo del cambio de mentalidad en las nuevas formas de vida; con una actitud universal y que en Europa desbordaron primero con la *Revolución Industrial* y luego con los movimientos sociales, como lo fue: *la Revolución Francesa* y en América la *Independencia* consecutiva de las naciones del nuevo continente.

Para México esta corriente logra su pincelada, con la fundación de la academia de San Carlos en 1781 y con ello de la carrera de arquitectura como profesión. A pesar que el siglo XIX en términos generales por su arquitectura ha sido poco reconocido por los historiadores del arte, aún menos por los propios arquitectos.

Este periodo fue tremendamente importante para la arquitectura mexicana, tanto por sus soluciones espaciales, como por su construcción y especialmente el desarrollo estructural.

Quizás por sus tipologías arquitectónicas se tengan aún en nuestro tiempo ciertas dudas en la arquitectura del periodo, por sus cualidades y aportaciones. Sin embargo tal hecho no le resta méritos propios.

La arquitectura con su variantes oscilaron desde el neoclasicismo hasta los llamados expresiones eclécticas, señalados más que como estilos; como manifestaciones, fruto de la universalidad reunida con una respuesta académica y pragmática..

La labor edilicia en México aprovecho la experiencia constructiva local, sin dejar de dar sus aportes la mano de obra artesanal, con sus contrastes en la participación especializada, adicionando las reflexiones y experiencias de la época.

Hechos que plasmaron la mejor respuesta como en las cimentación, tipos de apoyos, niveles, etcétera. Toda una labor lograda en el diseño preocupado especialmente por los terrenos suaves y sísmicos, sujetos a grandes deformaciones.

Por tal razón el cúmulo de conocimientos por lógica fueron aplicados, tanto en su arquitectura, como en la experiencia urbanística, con el camino más sencillo de integrarla a la naturaleza.

En síntesis durante el siglo XIX en la ciudad de México; a la tradición constructiva se unen a los nuevos modelos universales con los grandes avances científicos y tecnológicos. Junto con sus influencias en el diseño y enseñanzas intelectuales que definen a la arquitectura del periodo y con ello su *configuración estructural*.

Atentamente:

Jorge Antonio Rojas Ramírez.

Configuración Estructural de la Arquitectura del Siglo XIX
Ciudad de México
(Un camino hacia su Restauración)

	PAG.
1. - Introducción y Justificación	2
2.- Arquitectura y Construcción.	15
2. A).- Una semblanza histórica de la Construcción (Siglos XVI - XVIII).	15
2. B).- Construcción del siglo XIX.	42
2. C).- La tratadística en la arquitectura del siglo XIX.	59
2. D).- La arquitectura y su metodología estructural.	76
2. E).- Estabilidad y restauración.	89
3. - Configuración Estructural del Siglo XIX.	95
3. A).- La estructura del siglo XIX. (Introducción).	95
3. B).- Configuración estructural del siglo XIX.	108
3. C).- Diseño estructural en el siglo XIX:	114
3. D).- Arcos y bóvedas.	122
3. E).- Comportamiento sísmico.	142
4.- Conservación y Restauración.	160
4. A).- Un camino ideal a la restauración.	160
4. B).- Criterios y aplicaciones de estabilidad.	170
4. C).- Criterios de intervención sísmica.	193
5.- Bibliografía.	230
6.- Apéndice.	II

1. - Introducción y Justificación

Tema: 1

Introducción y Justificación:

Introducción general:

Los criterios de intervención en edificios históricos especialmente los construidos en el siglo XIX, nos lleva a reconocer al periodo de estudio, como un momento de reflexión. Por ello su gran aporte se cristalizó en innovaciones de materiales y tecnológicas, las cuales a su vez suman a las enseñanzas de la tradición y modernidad de la arquitectura.

Al mismo tiempo se trata de inmuebles en uso actual, por ello es indispensable el conocer su comportamiento estructural, tanto en su respuesta gravitacional como sísmica en la ciudad de México, para seguir un camino ideal en torno a su restauración y conservación. Así comprender y cubrir en la práctica los fuertes problemas de estabilidad que se presentan en la misma

Por tal razón es fundamental conocer las fuentes directas del como se pensaron y construyeron estas soluciones, de forma sencilla comprender su configuración estructural, el uso de materiales, sistemas constructivos de origen, de tal manera de reconocer las causas de alteración emanadas de un análisis de deterioros y determinar óptimamente las raíces del problema específico.

Los análisis no pretenden ser de estudios de cálculo, pues estos ya se contienen en los tratados y manuales de su tiempo e incluso el avance tecnológico y científico es

dedicado a edificaciones actuales ya que dispone de formas y procedimientos de mayores exactitudes. Pero si utilizar los mismos a través de modelos que coincidan con la realidad de la configuración estructural de los edificios en estudio y así ver, relacionar y determinar en un diagnóstico oportuno lo que lo puede estar afectando.

El presente estudio más que un camino de retorno; es comprender *la configuración estructural original* y poderla utilizar en una metodología de la restauración, la cual nos muestre criterios más puntuales en el diagnóstico e intervención y con el uso de tecnologías tradicionales, contemporáneas, o con la aplicación de ambas, pero siempre sin alterar su unidad y ordenamiento. Conservando la forma de transmisión de cargas, rigideces, resistencias, es decir mantener su comportamiento estático y dinámico.

La propuesta de la tesis es: Ordenar un camino para manejar los criterios de intervención, más propios y acertados y así a través del conocimiento de la arquitectura histórica con su teoría y tecnología que la han originado aprovechando sus experiencias, presentando proyectos de reestructuración apegados a las teorías de la misma restauración y conservación en edificios históricos.

La arquitectura mexicana y su tecnología durante el siglo XIX tuvo su definición; con la adopción de sistemas constructivos novedosos y la propia experiencia constructiva, configuró una teoría y práctica estructural propias de la ciudad de México tanto por los tipos de terrenos altamente compresibles; como la respuesta a los fuertes sismos.

La construcción tradicional conserva las formas más sencillas para las soluciones estructurales heredadas no solo de la época colonial sino también del mundo mesoamericano.

Al mismo tiempo y contrariamente a lo anterior, durante el siglo XIX, especialmente en sus últimas décadas; tanto la arquitectura, construcción y la misma enseñanza se abren a la fundamentación científica del momento con las teorías y tecnologías europeas, especialmente la francesa, cuya búsqueda es la adopción de conceptos y conocimientos universales.

El periodo de estudio dio una singular aportación, para llegar en lo ideal posible al encuentro de procedimientos de construcción; apegados al naciente espíritu científico en un mundo cambiante y de crisis de la arquitectura entre el *arte y la ciencia*; el México del siglo XIX consolida el ejercicio de la profesión del arquitecto como constructor con mayores fundamentos teóricos.

La tradición constructiva de los siglos XVI al XIX:

Los arquitectos e ingenieros contemporáneos han olvidado el conocimiento histórico de la arquitectura y la ciudad; muy especialmente desconocen las estructuras, sus materiales y por lo tanto se debe abrir un reconocimiento hacia lo que es su historia .

La época virreinal a partir del siglo del contacto consolida las ideas que maduran los modos de realizar procedimientos constructivos (se retoman experiencias mesoamericanas y europeas); en los siglos XVII y XVIII, dejan su camino al barroco, que como manifestación, es un conjunto de ideas que exaltan una definición e identidad, cristalizadas en el siglo XIX; basado en una tradición constructiva; pero fundamentados científicamente por *geometría descriptiva, estática, dinámica*; hechos que buscan la profesionalización en el área de la arquitectura que exigen una gran especialización, con la *Academia de San Carlos* y los *Colegios de Ingeniería*, abrieron las tendencias universales, con paso a nuevos materiales, tecnologías y ciencias en el diseño.

Cultura sísmica y restauración:

1º.- Cultura sísmica y terrenos compresibles:

La ciudad de México, en la época mesoamericana: vivió armónicamente con la naturaleza: con su situación particular *Tenochtitlán*, creció a costa de un lago y en zona de temblores, con terrenos altamente compresibles. Las tradiciones fielmente aprendidas a lo largo de sus historia, hechos que se manifiestan desde la célebre *Teotihuacán* dentro del mismo valle de Anahuac. Desde tiempo inmemorial se construyeron ciudades de los cuales sus habitantes por generaciones, manifestaron en su arquitectura fundamentada una solida cultura sísmica, ideal que se encuentra cristalizado las primeras ciudades antisísmicas, logradas en su diseño y tecnología.

Será una arquitectura urbanística completamente libre e integrada al medio físico, lo cual es una respuesta al profundo conocimiento del cosmos. Lo anterior es digno de mención, como antecedente fundamental para el desarrollo de la temática de la tesis, al igual que considerar a grandes rasgos el importante periodo virreinal.

2º.- El cálculo y la restauración:

Es a partir de la disciplina de la restauración, que como concepto moderno surgió en el siglo XIX y motivado por los monumentos como la cúpula de *San Pedro*, se inician una serie de análisis matemáticos. El cálculo de estas estructuras es contemporáneo: Con el fin científico de determinar, el porque de su estabilidad, resistencia de materiales y

prever una solución constructiva para detener los deterioros preferentemente estructurales:

"Con la restauración, se descubre el cálculo estructural contemporáneo; olvidado en sus orígenes tanto por los ingenieros como por los arquitectos." ¹

Recordemos que gran parte de los edificios históricos continúan en uso, lo cual les da una permanencia como patrimonio cultural y conservan por la cualidad de sus espacios y solidez de su estructura actualidad. La experimentación a lo largo de sus historia de sus materiales de una o varias intervenciones, en ocasiones mutilando o alterando su estructura original, debido a cambios de uso comprender su estructura a través de un diagnóstico, detallando en sus procedimientos constructivos sometidos al envejecimiento natural, como suma de acciones accidentales (hundimientos, sismos, modificaciones, destrucciones): lo que hace una suma de deterioros y alteraciones, será lo que atendamos.

Para conocer mas a fondo la arquitectura del siglo XIX, junto con su tradición constructiva, se tomó una especial atención en los tratados y manuales especializados; que como fuentes directas son muestra del aporte intelectual del momento.

Objetivos:

Los estudios de las estructuras contemporáneas se encuentran dedicados al análisis de conceptos actuales desconociendo el funcionamiento de las históricas, con la investigación puntual de los edificios del pasado a través de diferentes fuentes y la practica propia del tiene a la ciencia y la tecnología como su principal objetivo, para con ello partir del ideal que es su configuración estructural y no la de un proyecto separado de la realidad del inmueble.

La configuración se debe comprender a mi manera de ver, más allá de "dar forma. o simplemente mostrar puntos descriptivos". Más bien se debe al conocer sus principios,

¹

Nota: La importancia que indica Rondelet, sobre la memoria histórica que necesita todo arquitecto y constructor; sobre la gran cúpula del templo del Vaticano, el autor señala el trabajo realizado por el célebre *Polemi* en 1748, como uno de los primeros análisis matemáticos conocidos y emanados sobre la reflexión de la estabilidad de los grandes monumentos, con ello nos habla de su estabilidad y por lo tanto su restauración.

Jean Rondelet, Supplement G. Abel, Blouet, *Traite Theorique et Pratique de L'Art de Batir*, Tome Premiere: París, Libraire de Firmin Didot et Cie. Imprimeurs de L'Istitut, 1831 (Edición), 326 pág. (suplemento del tomo 1) 364 (páginas), lamina XXIV :

"Les resultats au plus grand monument moderne, revela tous les esprits l'importance des données sur lesquelles se fondent les operations de l'art de batir. De nombreux accidents s'etaient manifestes dans la coupole de Saint-Pierre de Rome; dont plusieurs architectes et ingenieurs induit en erreur par de fausses theories, avaient fait concevoir des doutes sur la solidite originale de cet admirable ouvrage, lorsque le marquis Polemi, ... fut appele par Benoit XIV... et prouva, a l'aide d'une demonstration aussi ingenieuse que concluante, *le parfait equilibre de cette belle construction*".

su composición integral o parcial; el porque de su imaginación y su figura.

“*Configuración estructural*” más que un termino, se debe a la presentación de un análisis profundo que define, muestra y sintetiza su naturaleza, con las cualidades y características propias debidas a la geometría, simetría, proporción, tipos de apoyos, numero de plantas, alzados y que universalmente presenten las cualidades de la edificación de una época y lugar determinado.

Consideran sus usos o actividades que en ellas se dan: maneras de estructuración, de conjunto o por elementos, por su forma y transmisión de cargas, por su comportamiento y respuestas estática y dinámica, por tipos de terreno y relación de colindancias, por tecnologías empleadas (materiales y procedimientos constructivos) dirigidas a definir la unidad estructural, por los *tratados* de origen o *manuales* especializados, lo que da géneros específicos dirigidos a definir su unidad estructural y que es lo que se pretende con el concepto

El estudio de las estructuras como especialidad requiere de un rigor científico, así como establece parámetros de cálculo, con procedimientos constructivos también contemporáneos, que por lógica y sin reflexión se aplican sobre los monumentos, edificios históricos. Sin embargo es perfectamente congruente apoyar las mismas intervenciones con la aplicación del conocimiento y con su análisis lograr una comprensión que fundamente la base de la configuración estructural original; como de la misma tradición constructiva, para de esta forma lograr una propuesta de intervención.

Propuesta Metodológica:

La metodología para un acercamiento o comprensión de la configuración estructural de cualquier solución de la arquitectura se comprende dentro de una sistematización propia de disciplinas científicas como es el caso de la restauración de edificios; debe ser un camino ordenado, que se fundamenta en la ciencia y de esta a las propuestas de intervención en los edificios históricos; requiriendo para todo esto de una metodología para lograr como fin un *proyecto integral*. Comprendiendo este último como la presentación de planos de deterioros, actividades, con la simbología que marque su definición, personal, equipo, herramientas, procedimiento de ejecución, pruebas y tolerancias, forma de cuantificación, forma de pago; memoria descriptiva, estructural y especificaciones. Para cristalizar las ideas y criterios desde el inicio al término en la obra

por realizar.²

La definición de la estructura de los edificios del siglo XIX se refiere a reconocer el trabajo y tradición en el uso de elementos portantes donde se busca su equilibrio cuya base este en los conceptos antes expuestos como son: la geometría, los procesos y materiales, así como la de su tecnología original.

Identifica una problemática estructural de un edificio dado, será partir al origen de una alteración, conocidas con precisión el fenómeno causal; así plantear y proponer la posible solución de la afectación en la estructura. Conservando la configuración original, sin dejar al futuro una alteración mayor debida a la inadecuada interpretación y que es lo que pretendemos lograr con un proyecto

Metodología: Exploración gráfica y documental para la obtención de fuentes de datos contextualizados; el estudio y análisis histórico, tecnológico, estructural y arquitectónico, estudiando sus procesos constructivos, la elaboración de un diagnóstico, así como el establecimiento de una propuesta y fundamentación de un proyecto de restauración.

Metodología para un proyecto de restauración:

A).- la exploración gráfica y documental, con su contexto.

- A 1. Fuentes de obtención de datos
- A 2. Estudio y análisis histórico técnico estructural
- A 3. Tecnologías y materiales
- A 4. Estudio arquitectónico y
- A 5. Definición de la configuración estructural
- A 6. Diagnostico
- A 7. Propuesta y fundamentación Proyecto

B).- Estudio y análisis Histórico, tecnológico y estructural:

- B 1.- Conocimiento histórico de la arquitectura y la ciudad. (incluyendo el estudio de la arquitectura de su tiempo, como de manuales y tratados).
- B 2.- Tecnologías y materiales, procedimientos constructivos.
- B 3.- Definición de la configuración estructural.

²

Apud. Alvaro Sanchez González: *Especificaciones Normalizadas*, México, 1980, editorial Trillas; 180 p. ILUS.

C).- Estudio arquitectónico:

Levantamiento y análisis arquitectónico, con la recopilación de planos originales, estudio espacial y del programa de funciones, actividades, secuencias, usos de espacios, alternativas, uso original y reciclajes (reutilización o lo que les ha dado permanencia).

D).- Diagnóstico:

Levantamiento y análisis de alteraciones.

(arquitectónico y urbano).

E).- Propuesta y fundamentación, con la integración de solución de requerimientos sociales, espaciales, legales, tecnológicos, y confrontación o respuesta de restauración y conservación.

Ea).- Marco teórico, diagnóstico con análisis de intervenciones, Problemas teóricos e hipótesis.

Eb).- Procedimientos constructivos originales, Análisis materiales y de tecnologías tradicionales, tecnologías contemporáneas, mixtas, configuración estructural original.

F).- Proyecto de restauración.

Fa.- Como edificio puntual.

Fb.- Como conjunto.

(tipologías de restauración): 1.- Actividades preliminares, Liberación, 2.- Consolidación, 3.- Reestructuración, 4.- Reintegración, 5.- Integración y actividades complementarias como remodelación, conservación y adecuación. Especificaciones y planos de Restauración e instalaciones.

G).- Memoria .

Justificación:

El tema de estudio presenta un buen pretexto para la investigación de la estructura, de capacidad de análisis que tenga como base su propia experiencia que por lo tanto merece fundamentarse con una metodología que nos lleve al saber de su historia y tecnología para conocerla en su integridad y saber el modo como fue construida, para poder intervenirla y restaurarla si es necesario.

La aparición de libros y publicaciones dedicadas a estos menesteres y sobre todo al diseño de estructuras contemporáneas aunadas a estos surgen teorías ampliamente sofisticadas, para soluciones de edificios con múltiples pisos o niveles, de grandes claros y usando materiales y procedimientos propios de la época en que estos hacen presencia; sus fundamentos se basan en estudios apoyados en prácticas que poco o nada tienen que ver con la configuración estructural de los edificios correspondientes a otras épocas. 3

Contrariamente la arquitectura producida a nivel mundial durante el siglo XIX; en cierta medida a un nivel tecnológico ha quedado olvidada y junto con tal situación los primeros tratados modernos y toda su literatura especializada que ha dado origen a las teorías actuales. Al mismo tiempo se desconoce que las primeras prácticas sobre el cálculo de estructuras se realizó sobre grandes monumentos; si agregamos que los inicios de la restauración moderna data del siglo XIX como concepto actualizado, abrió las pautas para la aplicación de materiales y tecnologías contemporáneas. Por lo que las soluciones del pasado poco o nada representan para el diseño contemporáneo. 4

Es trascendente el conocimiento de los tratados que dieron origen a la arquitectura de su momento que como poemas construidos se descubrió para ofrecernos como un laboratorio para el análisis matemático y la mejor aplicación en las estructuras metálicas; todo ello para su mayor comprensión no solo como patrimonio cultural sino también como edificios habitables; donde el conocimiento a través de las ideas nos lleva a hacer objetiva una voluntad a través del manejo de las propiedades y resistencias de materiales sobre los elementos que nos dan condicionantes de la luz, lo que deriva sobre el

3

Apud., Cesare, Brandi: *Teoría de la Restauración*, España, Alianza Editorial, 1988, p., 15 - 17.:

“La restauración constituye un fenómeno metodológico de reconocimiento de la obra de arte, en su consistencia física y en su doble polaridad estética e histórica, en orden a su transmisión al futuro. ...”

La restauración debe dirigirse al restablecimiento de la unidad potencial de la obra de arte, siempre que esto sea posible sin cometer una falsificación artística o una falsificación histórica, y sin borrar huella alguna del transcurso de la obra de arte a través del tiempo.”

4 *Apud.*, A. Riegl: *El Culto Moderno a los Monumentos*, Edición facsimilar. Austria, 1903 España, Ed. Balsa de la Medusa.,1987, p. 34:

“Si el siglo XIX ha sido el del valor histórico, parece que el siglo XX se ha de convertir en el del valor de la antigüedad. Desde los últimos años se dispone a sustituir paulatinamente los fundamentos clásicos tradicionales de la cultura por otros completamente distintos, al menos en un número determinado de pueblos de cultura europea”.

entendimiento de lo que es la arquitectura como arte en el momento.⁵

Queda de esta forma un gran hueco para tantos y tantos edificios históricos y monumentos, con sus nobles y tradicionales sistemas y materiales constructivos que abrieron mayores incógnitas ante el comportamiento sísmico tanto a lo largo de su historia como ante los fuertes temblores ocurridos en septiembre de 1985.

Cuando se enfrenta el arquitecto o ingeniero a este tipo de inmuebles, su comprensión e interpretación de muy buena intención se reduce en la mayoría de los casos a ver edificios mal contruidos o más bien comprendidos, tanto por su tecnología, como por sus materiales, así un edificio con estructuras abovedadas, columnas, pilastras, arcos y muros con contrafuertes, quedan prácticamente a un lado del interés o de mostrar un adecuado diagnóstico, para su uso e intervención.

El periodo es de mucho interés debido a que en las etapas finales que comprendieron al siglo XIX en la ciudad de México se presentaron nuevas formas en estructuras y materiales, estudiadas ampliamente por el arquitecto Israel Katzman.⁶

Habría que recordar que el periodo aludido, siguió la utilización de la construcción tradicional, sintetizandoles una propia configuración estructural, rica en diversas tipologías. Esta etapa afirma y sintetiza la mentalidad moderna iniciada desde el siglo XVIII y la plasma en las soluciones de la arquitectura.

Es por lo anterior el interés de mostrar y presentar el análisis de la arquitectura en el periodo final del siglo XIX, con estudios puntuales del que tiene el oficio para que se generen conocimientos y con estos obtener una memoria histórica especialmente dedicada a su estructuración.

Hay que hacer notar que a pesar de que en su última edición, el reglamento de construcción de la ciudad de México, cuenta con un capítulo dedicado a este tipo de edificios, el criterio que en general se presenta es justo como inmuebles con estructuras

5

Yvon, Belaval: *La Filosofía del Siglo XIX*, Op. Cit., página 82.

"Lo que dice Schopenhauer de la arquitectura, por ejemplo, es el arte más inferior para él, no ha sido igualado todavía. La arquitectura es el arte que hace sensibles las ideas que <<constituyen los grados inferiores de la objetivación de la voluntad; quiero decir de la gravedad, de la de la cohesión, de la resistencia, de la dureza, de las propiedades generales de la piedra, de las representaciones más rudimentarias y más simples de la voluntad, de las bases profundas de la naturaleza; añadiré además la luz que, en muchos puntos, contrasta con las cualidades antes citadas>>. La arquitectura es, pues, el conocimiento <<ideativo>> de la lucha de los elementos inorgánicos originales; el templo o el edificio revela la gravedad y la resistencia, mientras que se yergue en la luz <<la más detectable de las cosas>>"

6 Israel, Katzman: *La Arquitectura del Siglo XIX en México*", UNAM. 1979. 324 páginas, pág. 43
 "El último cuarto del mismo, es el periodo más fecundo del siglo XIX hasta su declinación con la Revolución Mexicana."

contemporáneas, situación que falta indicar con apreciaciones especiales y de conjunto con la estimación y valoración de lugar y época a que pertenecen, tanto en sus estructuras como en sus materiales y sistemas constructivos.

Los sismos de 1985, mostraron la nobleza tanto de los edificios del siglo XIX como los llamados por la ley históricos y artísticos. Al respecto se hicieron diversos peritajes por especialistas que dieron cuenta que estos inmuebles tendrían que ser estudiados fuera de las normas o reglamentos vigentes, pero aun así faltaba la demostración y formularios para científicamente decir, si estos eran seguros o demostrar lo contrario, y así determinar en que caso su reestructuración en los ejemplos que lo requiriera. Se demostró por lo tanto que había que definir su estructura en toda su unidad y configuración, y que en que forma se encuentran participando y jugando con las leyes de la mecánica, es decir considerando su peso propio, sus materiales, orden, armonía, unidad en si que conjunto reseña y describe siguiendo a la naturaleza.

Estas estructuras tienden a ser mas sencillas con condicionantes logradas por los ingenieros, arquitectos y constructores de su tiempo, con ello los edificios históricos del siglo XIX utilizaron cualidades óptimas de su momento por aprovechar la gran experiencia constructiva, continuada desde la época virreinal, con sus grandes y novedosos aportes, se presento en cierta forma una crisis y contradicciones por los nuevos enfoques científicos, es decir la experiencia constructiva y antigua escuela se ven frente al análisis estructural y tecnología moderna, especialmente con el uso del hierro y el concreto armado pero nunca dejo en todos los casos de mostrar una seguridad y lógica en su diseño.

El resultado fue una tipología estructural, con un principio de construcciones pesadas derivadas de los modos de construir basados en la geometría y que predominaron hasta la mitad del siglo XIX, sin dejar por ello de continuar su edificación, cuya base en su criterio es de ordenar las estructuras por descomposición de fuerzas y empujes, por ello la razón de gruesos muros de mampostería ligados entre si, y en su caso contrafuertes, para contrarrestar los empujes o resultantes, así pues se construyo con firmeza y solidez como lo enseñó Vitruvio desde la antigua Roma, reafirmo Palladio en el *renacimiento* y trasplantaron ese pensamiento de las nascentes ciencias del cálculo para el siglo XVII, influyendo en la entonces Nueva España los tratados de Simón García, Diego Sagredo y Fray Andrés de San Miguel, entre los alarifes y constructores que edificaron en la Nueva España, hasta llegar con el pensamiento científico vertido desde la Francia ilustrada, que

tuvo mucho que ver con el México del siglo XIX y principalmente en el periodo porfirista; cuyas raíces tienen mucho que ver tanto con el desenvolvimiento de la restauración como concepto moderno como del desarrollo estructural. 7

Las construcciones históricas debido tanto a sus tecnologías como propiedades de sus materiales, experimentan mas libremente los asentamientos debidos en el terreno asumiendo su deformación, y que como se conoce los terrenos del valle de México son altamente compresibles, así la presentación de efectos de alteración debidos a los mismos asentamientos, se deben a una presencia lógica de esfuerzos y que toda estructura representa junto con sus materiales resultando como fallas por efectos dados y cuyo resultado son las mismas grietas, fisuras, flechamientos, fracturas y demás, pero mas que todo ello las estructuras de los edificios históricos a través del tiempo han resultado óptimas para la ciudad de México, la respuesta constructiva nos lleva a estructuras con gruesos muros de carga haciéndolas de una gran rigidez, y contando con uno a tres niveles es decir principalmente bajas en su altura, aunado a ello con una gran simetría y orden es sus diferentes plantas que relacionan armónica en sus alzados y elementos sustentantes, es decir resultan con una unidad estructural contenida por naturaleza en la construcción geométrica, con esfuerzos internos casi en su mayoría directos, logrados por los apoyos, arcos, bóvedas, siendo las vigas un caso excepcional por su trabajo a la flexión, pero que en su conjunto contiene una solución libre y sencilla dispuestas en ejes casi en un solo sentido y soportadas sobre muros de carga maestros de los cuales se empotran a su vez en los mechinales para promover un momento flector menor.

De esta forma como lo menciona Viollet-le-Duc (1816 - 1879) cada elemento tiene una función que la podemos resumir en descomposición de fuerzas, de esta manera el siglo XIX amalgamo las nuevas teorías basadas en la resistencia de materiales las que acompañó con el análisis matemático y con la construcción tradicional, podemos decir que estas contienen principios y fundamentos basados en la geometría constructiva siguiendo las leyes de la mecánica, por ello no son diferentes a las contemporáneas, pues obedecen a

7

Leonardo, Benévolo.: "*Historia de la Arquitectura Moderna*"; Op. Cit., página 60.

"Las premisas de los racionalistas del siglo XVIII, como Patte y Rondelet, es teorizada en las nuevas escuelas de ingeniería, especialmente por Durand y substancialmente se apropian de ella los más afortunados proyectistas que trabajan en tiempos de la restauración; Percier y Fontaine en Francia, Nash en Inglaterra, Schinkel en Alemania."

una lógica específica y por lo tanto requieren de un estudio particular. 8

En estos edificios es frecuente hablar del agrietamiento incluso de la pérdida de solidez de sus materiales como derrumbes y colapsos, pero tal motivo se comprobó en el proceso de estudios y métodos derivados de los sismos de 1985. Causas ajenas al temblor, como mantenimiento, la eliminación de muros de carga, que es un aspecto común en el *centro histórico* de la ciudad de México para el uso de locales comerciales, aunados a la sobrecarga por agregados incluso de niveles completos. La misma aplicación ha demostrado la nobleza de estas estructuras que al no estar ligadas con juntas rígidas, ante una situación de derrumbe es parcial ya que responde generalmente no a la falla del material sino a la alteración de la estructura. El inadecuado mantenimiento, y el comprender más directamente su forma de habitabilidad a partir desde los ejemplos más sencillos y comunes en lo que a tradición constructiva se refiere, (*representada por la arquitectura doméstica*), 9 que en la mayoría de las ocasiones fue realizada no solo por arquitectos sino también por maestros de obra o alarifes, serán magníficos ejemplos a tomar como enseñanza.

8

H. Scholfield, P. H.: *Teoría de la Proporción en la Arquitectura*: España, 1971, Ed. Labor, Colección Biblioteca Universitaria Labor, 176 p. página 105:

La obra del autor Francés Violle-le-Duc, cuya contribución al tema está basada en el conocimiento profundo de la arquitectura gótica de Francia, y que por ser de la segunda mitad del siglo XIX muestra una madurez de la que a veces carecían trabajos anteriores.

9 Apud. Vicente, Martín,: *Arquitectura Doméstica de la Ciudad de México, (1890 - 1925)*, Op., Cit., México, 1981, UNAM, 262 pág. ILUS, Fotografías,

Sobre *la Arquitectura Doméstica*: (Apoyandome en la definición y conceptos de *la arquitectura doméstica*, con sus diversos géneros vertidos según las tipologías estudiadas por: arq. Vicente Martín, de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

2.- Arquitectura y Construcción.

- 2. A).- Una semblanza histórica de la Construcción
(Siglos XVI - XVIII).
- 2. B).- Construcción del siglo XIX.
- 2. C).- La tratadística de la arquitectura del siglo XIX.
- 2. E).- La arquitectura y su metodología estructural.
- 2. F).- Estabilidad y Restauración.

Tema: 2

Arquitectura y Construcción:

2 A).- Una semblanza histórica de la Construcción (Siglos XVI - XVIII).

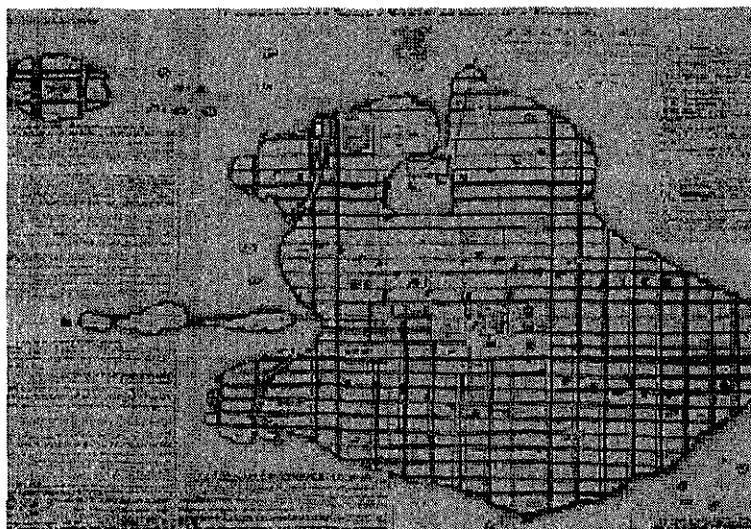
Construcción de la ciudad y naturaleza de sus terrenos:

La fundación de la ciudad de México sobre Tenochtitlán, trajo consigo varios aspectos que aparentemente no tienen importancia en nuestro tiempo; los recientes hallazgos arqueológicos nos exponen a la antigua ciudad, como el sitio donde florecieron; esto se corrobora con la importante documentación que el arquitecto Ignacio Marquina presentó con una gran precisión de sitio como el *Templo Mayor*. Complementando estos datos con los planos en la obra de González Aparicio, nos podemos remontar a inicios de los primeros trazos, imaginaremos su nacimiento, crecimiento, así como su configuración natural y urbanística de nuestra ciudad.

Sabemos que la ciudad se desarrolló sobre un islote de un conjunto de lagos, y una parte del citado *centro ceremonial*, se levantó en un sitio denominado *Isla de los Perros*. Conforme fue creciendo la misma ciudad mesoamericana, se fueron organizando y acomodando estructuras de los edificios a las condiciones basadas en la consolidación paulatina del terreno al irle ganando terreno al lago con sistemas semejantes a las chinampas. Puenteando basamentos con grandes gualdras de madera, apoyados a su vez sobre grandes basamentos logrados a base de piedraplenes con estacados. Los suelos del valle de México iniciaron su irremediable alteración y cambio de condiciones impuesto por la ciudad.

Se sabe que toda la ciudad incluyendo tanto avenidas como grandes edificios se mantenían en perfectas condiciones debido a que toda la población participaba en ello. Los mismos materiales y tecnologías eran propicias para asumir tales reacomodos, no solo debido a las múltiples superposiciones en los edificios mas significativos. Su mismo diseño era el óptimo para ejercer la mejor estabilidad sobre en terrenos de poca resistencia, los mayores edificios con al transmitir sus cargas a grandes basamentos propiciaban el mas adecuado reordenamiento de su estructura, mientras que las construcciones civiles en la que se incluye a la doméstica se realizaba con edificaciones bajas y ligeras, con techumbre de madera.¹⁰ Debiendose a un dominio y conocimiento del medio natural respondiendo con una ingeniería hidráulica y sobre el nivel de los lagos a base de retenes controlados; separando las aguas saladas y dulces por este medio.

*El entendimiento de la naturaleza, considerando la dinámica de los fluidos y el asentarse sobre un terreno altamente compresible, como la constante presencia sísmica; se logro entender mejor el comportamiento estructural y por tal razón así se diseño y desarrollo la ciudad y su misma arquitectura.*¹¹ (Fig. 2)



Leopoldo Batres 1892, Tenochtitlan 1519.

Plando de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Publicado: Smurfit-INAH

Compilador: S. Lombardo: *Op. Cit. Atlas Histórico de la Ciudad de México.*

¹⁰

Jorger, Alberto, Manrique, Autor, Francisco, Del Solano, Director: *Historia Urbana de Iberoamerica*, Tomo II - 2, *La Ciudad Barroca, Análisis Regional, 1573 - 1750*, España, 1990, C. S. C. A. E. 575p. ILUS. Fotos. p. 213 - 215.

"La pronunciada preferencia de las techumbres de madera en la ciudad de México debe estar en relación con la consistencia del terreno. A pesar de ello, hacia el tercer decenio del siglo XVII, en México en todo el territorio de la Provincia se empieza a imponer la bóveda".

¹¹ Pérez Espinosa Hector, Jorge Rojas Ramírez: *Reestructuración del Exconvento de Tecamachalco*, Puebla, ENCRM, tesis de maestría en arquitectura, 1981. INAH.

El trazo de la urbe tendió a ser regular partiendo de un origen o centro desde el cual se distribuyen las cuatro avenidas, que siguen la dirección de cuatro ejes cardinales; esta cuadrícula en calles se suspendía por las acequias que como canales pasaban al interior, al igual que el perfil exterior era un tanto irregular, pero mas o menos conservando una distancia radial al centro. Otro núcleo cercano: Tlatelolco, se encontraba separado por un parte de agua conocida como la *Lagunilla*, este siguió el mismo patrón urbano que el de la ciudad.

Lo que mas ha preocupado a la ingeniería sísmica son los problemas del suelo y la estructura, sin embargo, es fundamental para comporenderlo es conocer el proceso histórico. El ejemplo de la ciudad llevo a grandes trasformaciones en la naturaleza de los terrenos y son fuentes de reconocimiento lógico el incremento de las aceleraciones hundimientos manifiestos en la misma configuración de los mismos suelos que a lo largo de la historia en las diversas etapas de fundación. ¹² Es este periodo, la ciudad mantiene en esencia su concepción espacial urbana, conservándose edificaciones bajas de muros de carga, con el predominando uno a dos niveles así como, el trazo ortogonal, y la simetría en los edificios. Se adopta la experiencia en la organización del trabajo en tanto a la mano de obra indígena y algunas técnicas especialmente en lo referente a los cimientos de edificios sobre suelos altamente compresibles.



Imagen de Monatus, 1671, Interpretación de la ciudad de oriente a poniente. (Imagen 2)
 Compilador: S. Lombardo: *Op. Cit. Atlas Histórico de la Ciudad de México*. Lam. 247,

¹² D., J., Dowrick: *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos para Ingenieros y Arquitectos*: México, 1984, Ed. LIMUSA, 410 páginas, ILUS.,

"El análisis adecuado de sistemas suelo-estructura, es la tarea analítica de mayor demanda en la ingeniería sísmica.."

Esta situación fue importante, ya que la experiencia constructiva sobre suelos fangosos de baja resistencia, entre otros rinden frutos importantes a la labor edificatoria la ciudad colonial y pese a múltiples inundaciones durante el siglo XVI y XVII continuó su crecimiento armónico fundamentado, con calles de trazos regulares contrastando con los perfiles irregulares de las acequias. (Fig. 2)

Arquitectura y construcción:

Como aporte de los siglos XVI al XVIII, los conventos y catedrales como conjuntos, integran tipologías puntuales de la construcción; el diseño estructural, arquitectónico y urbanístico, confluyen en las construcciones. Con tales géneros se abrieron nuevos sistemas en soluciones constructivas en la Nueva España. Sin embargo lo fue también la edificación singular de carácter civil y militar, como de la misma traza innovadora que le daba organización a la ciudad.

Como puntos destacaron los siguientes: A).- El procedimiento constructivo; según las diviesos materiales regionales. B).- La experiencia del maestro y organización en las obras con multitud de operarios. C).- El diseño en grandes edificaciones; cuyos resultados son una fiel interpretación en los modelos europeos, con sus propuestas emanadas de la utilidad de los tratados. Y por último: D).- El criterio estructural y sus elementos como parte de la necesidad en conocer el dominio de la estabilidad, particularmente en los terrenos altamente compresibles y sujetos a fuertes sismos.

Tanto lo mesoamericano, el románico y gótico; dejan el florecimiento del barroco mexicano como manifestación cultural del Siglo XVII, propia de la etapa de consolidación y como periodo de maduración e identidad el siglo XVIII.

Los procedimientos constructivos en la época virreinal, nos presentan una gran aportación dada por el cambio de una estructuración definida dinámicamente mas que por la estática, con el nacimiento de las cubiertas abovedadas; con una intención a absorber y adoptar una nueva disposición en sus apoyos y fundaciones.

Este período para el diseño de alzados, plantas, cubiertas y portadas con todos sus detalles; habilito el estudio a demás de los tratados de la especialización, que inició una visión matemática llevada a la realidad; la influencia de artistas e intelectuales como *Sor Juana Inés de la Cruz*, que pareciera que por su gran obra de su tiempo, cristaliza el pensamiento poético en los espacios construidos; o *Don Carlos de Sigüenza y Góngora*, trascienden los muros y junto con la geometría de la construcción se fundamentan las

intervenciones tanto en obras ya realizadas como en proyectos, es decir camino de las estructuras se encuentra consolidado por un nuevo arte de reflexión lógica, creándose un nuevo sistema de análisis para el diseño, que unido a la proporción y la medida se observan y distribuyen las cargas dinámicas y estáticas hacia las fundaciones. este hecho es único y propio del siglo de la consolidación. 13

El Arte de Construir:

El periodo de los siglos XVI y XVIII para la arquitectura y su construcción desarrolla una óptima calidad práctica; basada en el ejercicio de oficio o la profesión del arquitecto, maestro, albañil y todas las especialidades y oficios que derivan de la misma edificación. Por tal razón, el periodo de análisis es una fuente amplia de riqueza intelectual; un *momento de preparación* que consolida la cultura la Nueva España y abre el camino a la identidad constructiva como nación.

La construcción como antecedente importante del siglo XVI o del contacto; combina tecnologías europeas y mesoamericanas, con el fin de mejorar procedimientos de ejecución desde lo más sencillos hasta lo más prácticos; tales hechos producen en el diseño, criterios que cuestionan lo existente y de esta forma implementaron métodos para encontrar respuestas, en la estabilidad de construcciones de cúpulas y bóvedas, con apoyos sujetos a empujes adicionales, ya fueran bruscos o paulatinos.

El periodo virreinal en cuanto al análisis de este tema, se define como la búsqueda en el sentido mas práctico y óptimo de quien diseña y construye, se inscribe dentro de un periodo de crisis, con fuertes variantes y cambios adaptándose a la falta de recursos económicos, las inundaciones y temblores por si fuera poco, con sus tipos de terrenos.

Tal situación propicia un modelo de construcción sólida basada enteramente en la organización de muros de carga, con uno o dos niveles y contraventeados; resultado de una estructuración de gran rigidez, cuya búsqueda es lograr diseños mas permanentes.

El periodo virreinal destaca por sus espacios de gran sobriedad, de tipologías de proporciones definidas; resultando una arquitectura que responde a un lenguaje lógico y práctico ya que se construye estrictamente lo necesario. Dicha intención esta en la labor

13

Joaquin, Bérchez, Op. Cit. , Página 36,

El afán descriptivo, desde una óptica matemática, domina algunos de estos textos: "Agradido tesavo" llama Carlos de Sigüenza y Góngora a la techumbre del salón de actos de la Universidad por la disposición de sus vigas, del almizante inferior y de las alfardas.

dedicada al resolver óptimamente la estabilidad con recursos, procesos constructivos y habitabilidad.

Quizás la escala y proporción de la arquitectura lograda durante el siglo XVII, se interprete como el resultado de sus espacios que muestran una pobreza debida a una aparente mediocridad; sin comprender que en realidad encierran una enorme riqueza del momento. La arquitectura del siglo XVII contiene una significativa aportación, al pertenecer a un periodo que solidifico las bases para la soluciones arquitectónicas y urbanísticas de los futuros siglos XVIII y XIX.

Equipos de Construcción:

Durante el siglo XVI al XVIII, se contó con una mano de obra preferentemente local, la cual se constituía en una estructura gremial conformada por obreros, artesanos y maestros; cuya dedicación por oficios o especialidades, denotaron características singulares en la ejecución. Para el caso de las grandes obras se habilitaron incluso con el equipamiento de talleres al pie de la misma obra; destacando por contar con un sistema y modos organizados de abasto y suministro de materiales, con bancos de materiales conocidos desde la época pasada y como ejemplo de tradición tenemos los bancos de cantera de los Remedios.

La economía y la práctica hicieron necesario conocer los mecanismos regionales, como la carga y el transporte en un medio con una topografía tan accidentada, aprovechando los canales, lagos y lagunas que simplificaban el gasto de energía. Durante la época colonial se siguió utilizando como medio de carga las vías acuáticas el tamemé, o carretas jaladas con mulas introducido posteriormente en los caminos donde era posible.

Es evidente que para desarrollar grandes obras de ingeniería como las que realizo *Fray Andrés de San Miguel* en el desagüe para el valle de México. La necesidad de organizar a 8 000 hombres y contar con todos los recursos para que cada una de sus actividades no se vieran interrumpidas, fue una de las grandes proezas que tuvieron como base la manera de organización indígena.

El arquitecto carmelita se baso en los principios vitruvianos para la construcción y no podría fallar en los recursos para obtener los materiales deseados; para una época de carencias se continuaron casi en forma similar el manejo y explotación de los bancos de materiales ya conocidos, conjuntando oficios y famas de constructores por regiones así como procedimientos adquiridos y enseñados por los europeos, se creó una organización

de características mestizas y aplicadas al medio ¹⁴.

Sabemos que Vitruvio fue estudiado en España en siglo XVI, igualmente Alberti, Palladio, Serlio y Vignola; y por supuesto los españoles: *Diego Sagredo*, *Juan de Arfe*, *Juan de Herrera*. Sumados a los tratados del siglo XVII como *Simón García* (publicado en 1866), *Juan Caramuel*, *Alonso de Valdelvira*, *Diego López de Arenas*, *Fray Lorenzo de San Nicolas* y el manuscrito de *Fray Andrés de San Miguel*, podemos que en la parcela del saber se complementa puntualmente gran parte de la información intelectual del momento. (Incluyendo el tan citado por George Kubler: *Rodrigo Gil de Hontañón*, cuya publicación se conoció hasta mediados del siglo XIX).

Todos ellos mencionan la extracción, transformación y los mecanismos de los materiales de la construcción; hasta en detalles en la selección o cambios del material; hechos que se encuentran ligados a experiencia y así determinar el uso de cantera de menor peso y mayor durabilidad. Los detalles emanaron de aspectos generales de organización del trabajo y como ejemplo de ello son las grandes edificaciones con muros de un ancho no menor a dos varas, logrando una liga de planta que en ambos sentidos proporcionaba un orden tanto en el sistema de abasto como la colocación y desmonte de material o piezas.

Mecanismos en la Construcción:

Fray Andrés de San Miguel nos presenta en su obra a grandes rasgos los procesos fundamentales en la edificación utilizados en la Nueva España del siglo XVII. De ello se observa que el célebre tratadista conservo los principios vitruvianos respectiva la utilización de técnicas, instrumentos y herramientas de que se que se valieron los operarios para el desarrollo de las obras y así lograr las diferentes adversidades. De ello se encuentran dedicadas las técnicas que se valen de artificios como polipastos, poleas, sistemas de nivelaciones y plomadas; así como andamiajes, obras falsas y desarrollos de procedimientos constructivos sin cimbrados para arcos y bóvedas.

En los siglos XVII y XVIII se habilitaron mecanismos que son verdaderas aportaciones tanto en la elaboración de cimentaciones en terrenos lodosos o compresibles; con sus procesos de consolidación con una clara herencia y aportación local, a base de

14

Eduardo, Báez, Macías, *Obras de Fray Andrés de San Miguel*, p. 58.-59.

Nota: Por la fluidéz y la seguridad con que proporciona el largo y altura, y a tal grado se ciega su obediencia al texto de la Escritura, que no duda en aceptar como cierto que 270, 000 trabajadores habían participado en la construcción cosa difícil de creer en un arquitecto que, como el, propuesto una obra inmensamente mayor, como el desagüe del Valle, empleando únicamente 8, 000 trabajadores; además de que toda la población de Judea no alcanzaba aquella cifra,

hincado de estacados, fabricas de especies de ataguías, encamados igualmente hechos con estacados. Y los más desafiante a base de elaboración de puentes con grandes envigados para salvar canales, algunos de ellos colocados en forma deslizante para su reutilización, tal y como lo demuestran los estudios de mecánica e interpretación de los análisis arqueológicos de la catedral metropolitana.¹⁵

La respuesta constructiva a cargas accidentales provocadas por sismos, implementaron marcos de madera adosados a las mamposterías, los cuales servían de guías y andamiajes en el proceso de fabrica de las bóvedas; para posteriormente quedar ocultos a la altura del arranque de las bóvedas y así formar un sistema encontrado de tensores.

Los cambios tecnológicos:

A principio del periodo se presentaron ventajas en el uso de algún material y sistema constructivo, por ejemplo el manejo de estructuras y cubiertas de madera eran preferidos, tanto por la ligereza de sus partes, como la mayor sencillez en su trabajo estructural, eliminando el uso de contrafuertes al no presentarse empujes.

Una pintura de Villalpando plasmada en un biombo del museo Franz Mager; muestra a la ciudad en pleno siglo XVII con cubiertas de teja a dos aguas como tipología y configuración. Solo la necesidad de mantenimiento, presencia de incendios; así como la búsqueda por construir estructuras perdurables hizo la necesidad a partir de la segunda mitad del siglo el preferir edificaciones abovedadas, a pesar de sus dificultades constructivas. En un principio era frecuente la falla de las mismas debido al desconocimiento y no contar con las propias vivencias de construir sobre terrenos altamente compresibles para el caso de la ciudad de México, pues en muchas ocasiones se experimenta con fuertes hundimientos en las primeras actividades de trabajo, teniendo que modificar el sistema sobre el mismo proceso de obra

El cambio tecnológico en la arquitectura del siglo XVII favorece el desarrollo de elementos clasicistas con la integración en la configuración urbana. Se adopta la *geometría constructiva*, la cual hace la arquitectura más permanente; este procedimiento se enriquece durante el siglo XVIII. Tecnológicamente y por su diseño presentan soluciones fruto de una meditación, elementos estructurales resueltas con bóvedas y cúpulas reforzadas a base de tensores encontrados, logrando sistemas diafrágmales, como es el caso del Colegio

15

Apud. Manuel González Flores, *Estudio y Recimentación de la Catedral Metropolitana*, director y coordinador de los estudios de mecánica y evaluación de los análisis arqueológicos, México, 1978 - 1979.

Máximo de San Pedro y San Pablo o el templo de la Balvanera en donde se perciben intalaciones especiales como los aerodrenes para ventilar los cabezales de los tensores a la altura del extradós de las bóvedas. ¹⁶

Dentro de obras ya iniciadas se presentaron proyectos cambiantes, por ejemplo el maestro mayor de la catedral *Juan Gómez de Trasmonte* se ve precisado en la transformación de la misma catedral, originando modificaciones de trazos y estructuración, dándole continuidad Luis Gómez de Trasmote. ¹⁷

La arquitectura del siglo XVII y XVIII, es de constante transformación, debido a la labor intelectual y combinada con el fuerte arraigo constructivo de su población; algunos autores llaman a los procesos de cambio que se vieron envueltos varios edificios, a una *recreación*. Lo importante es que para cada caso y época constructiva, se tenía una perfecta unidad estructural, con un dominio de las técnicas reflejándose en el diseño, presentándose tales modificaciones como si se tratase de errores, por vanos tapiados y ejes de contrafuertes variados. La edificación de las bóvedas de Xochimilco o más bien el la sustitución de cubiertas se inicia el cambio de pensamiento en la *Nueva España*; recreándose sobre los grandes monumentos, nuevos conceptos espaciales y por tanto cambios tecnológicos que tienden a ser mas perdurable su arquitectura. ¹⁸

Modos de participación conjunta por elementos constructivos:

Las Fundaciones:

Debido a los altos índices de fallas por hundimientos incluso de las obras en proceso de construcción en la ciudad de México, se adopto un sistema de construcción

16

Apud. Joaquin, Bechez, : *Arquitectura Mexicana de los Siglos XVII y XVIII*, pág., 17, 21

17

El modelo de la catedral de México solo se construyo con dos torres hacia el frente y no cuatro como se había pensado; de la misma forma como se proyecto en las primeras trazas; solo que se tiene un gran aporte en la misma planta por Juan Gómez de Trasmonte (el hijo del mismo arquitecto llamado Luis Gómez de Trasmonte realizó posteriormente trabajos importantes tanto en la catedral metropolitana Martha, Fernández, *Arquitectura y Gobierno Virreinal, Los maestros mayores de la Ciudad de México, Siglo XVII*, México, 1985, UNAM, Estudio y Fuentes del Arte en México, XLV, 418 páginas, p. 93.

“La Catedral de México, sigue siendo la cédula de información del nombramiento de maestro mayor de la catedral, citada por Heinrich Berlín Y Efraín Castro, vemos que trabajo en ella al menos desde 1630. No obstante, las noticias mas importantes de su labor en esta catedral comienzan más adelante, y esta quizás es la razón por la que Manuel Toussaint sitúa el trabajo de Luis Gómez de Trasmonte en la catedral de México de 1640 a 1661.”

18

López Guzman et all, *Arquitectura y Carpintería Mudejar* pág. 112

El templo original tenía presbiterio pilogonal cubierto con bóveda, mientras que la nave respondía, según el cronista Betancourt, a un “artesón labrado el techo y terrado de vigas grandes las azotéas” con tirantes de madera. “Su techumbre era de maderá al modo mudéjar, pero más tarde se construyó de bóveda con cúpula”

para los edificios de géneros diversos cuyas masas fuesen considerables, (consistente en el modo indígena anterior al periodo de contacto y en el cual) se iniciaban las obras con la previa consolidación del terreno con una serie de hincado de pilotes o estacados. Para los ejes de los muros se colocaba una cama de madera o estacas sobre las de un eje consolidado del terreno para el cual se guiaban en las puntas de los pilotes ya hincados, sobre esta plataforma se construían los cimientos o fundaciones, especialmente con mamposterías resistente a la humedad y cambios en los límites de secado, junteados ricamente con cal .¹⁹

Para edificaciones más pesadas como naves de templos, tanto de iglesias, como catedrales; una vez elaborando el consolidado general, se edificaba el llamado priedraplen, que servía tanto para mejorar la consolidación, como para nivelar y salvar incluso los problemas de aguas freáticas. Tales sistemas frecuentemente se interrumpían en el centro de la ciudad, pues como ejemplo en las etapas constructivas del templo de San Agustín que data del siglo XVII; se hundía drásticamente, lo que hacía necesario habilitar cambios según las solicitudes del terreno, colocándosele arcos continuos de liga en ambos ejes, para hacerlos trabajar como bóvedas invertidas y así ampliar al área de sustentación o desplante. Este sistema constructivo apareció detallado precisamente el tratado de Peirre Bullet en 1639; en el cual se mencionan sus atribuciones, tales procedimientos como principios ya se manejaban no solo desde el siglo XVI en la Nueva España.²⁰

Las fundaciones, con sus procedimientos de cimentación en general no fueron un problema para los grandes conventos del siglo XVI, ya que en general se edificaban sobre excelentes terrenos ubicados en lomerío o sobre tepetate, por lo que podemos decir que los sistemas de fundaciones incluso sobre terrenos lodosos fue necesariamente un asunto urbano propio de la capital de la Nueva España y para tal caso se colocaba una cama de de madera sobre estacados que consolidaba previamente al terreno. Para el caso de esta ciudad los modos de cimentar y recimentar por lógica continuaron siendo los mismos sistemas mesoamericanos, ya que para el constructor esto era fundamental; de ello dependía guardar la geometría perfecta o casi perfecta del despante y transmitir así el trabajo ideal en los arcos y bóvedas, pues de esta situación dependía la estabilidad de los apoyos, tanto muros maestros, como pilastras y contrafuertes. Con el menor movimiento

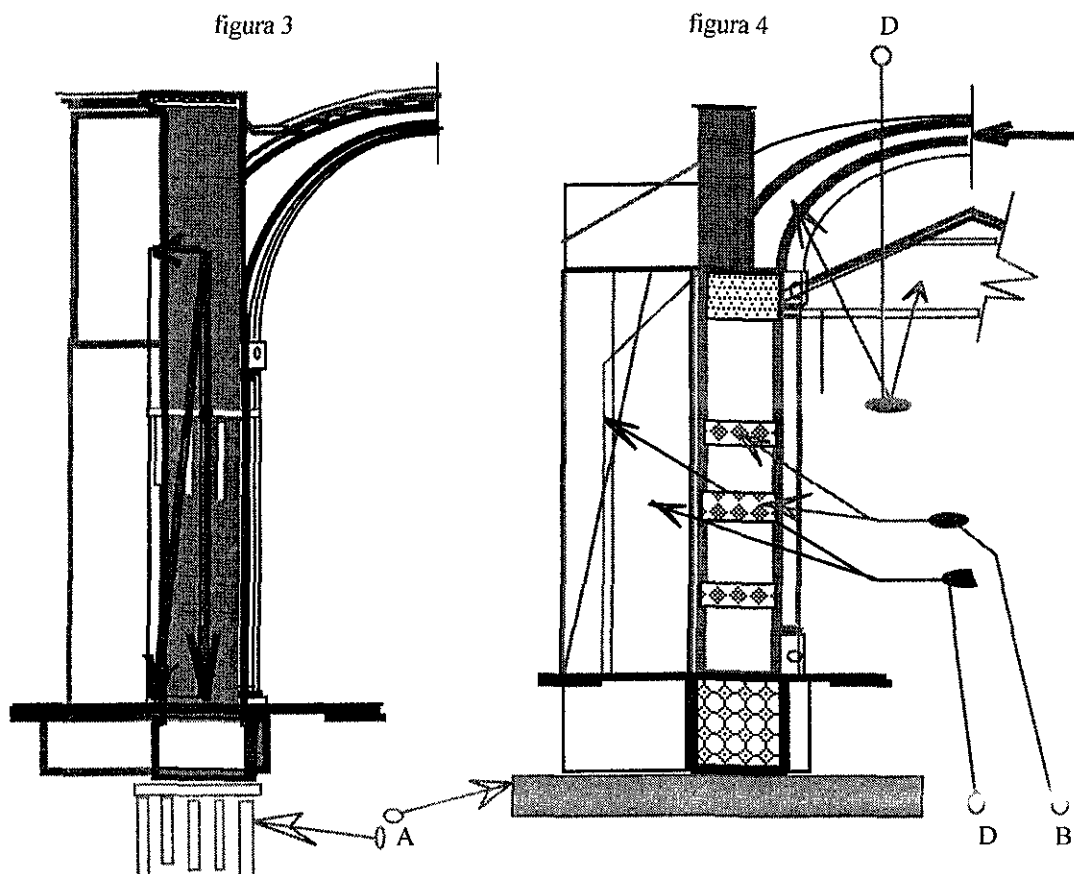
¹⁹

Francisco de la Maza, *Arquitectura Mexicana del Siglo XVII*, pág. 9 - 12

²⁰ W. Dora; *Los Tratados de la Arquitectura: desde Alberti hasta Ledoux*, p.59, 61,- 90.

de uno de ellos la geometría se alteraba con ello venia la amenaza de su estabilidad por tramos o ejes. (fig. 3).

La sustitución o cambio de estructuración fue al final del siglo XVI y común en el XVII, se ha mencionado que durante la primera mitad de este siglo se prefirieron las cubiertas de madera. Una de las razones era el requiriere de menos sofisticación en sus fundaciones, por construiste con muros de menor sección y sin contenerlos. (fig. 4)



A) Estacado o piedraplen, B) adición de contrafuertes, C) sustitución de cubierta, D) intercambio de material (muros de mampostería de piedra con verdugones de tepetate y ladrillo).

Para construcciones de arquitectura señorial o doméstica de uno a tres niveles, se desarrollaron los cimientos con métodos similares, es decir ciclópeos; impermeabilizados con resinas o ceras naturales, con el fin de controlar y/o eliminar la humedad por capilaridad, incluyéndose una capa de padecería de ladrillo que como puzolana artificial favorecía la resistencia del material y morteros a la humedad. Se sabe que los morteros tradicionales ricamente realizados con cal, arena y con agua de nopal, funcionaron como aditivos dando mayores propiedades de resistencia a las mezcalas, asi como mejor

elasticidad. También el frecuente el uso del tezontle, arena o como piedra ligera, en vez del recinto o piedra braza, proporcionaron resistencia y a su vez dan un determinado volumen con un peso menor .

Para columnas y pilastras, los modos de cimentación son una continuidad del resto de la cimentación, en ocasiones las aisladas contaban con cimentación propia y a diferencia del siglo XVI, la configuración tiende a no ser irregular, como si se tratase de un prisma más en forma o mejor aun, ligada por un cimiento corrido que parte desde las pilastras y sigue el camino de alguna arcada o pórtico. Para el caso de las empotradas, el recurso es simplemente la amplificación o saliente regular para cubrir una área mayor a la basa, Como se sabe todo tipo de cimentación se elabora uniformemente, se seguía con la amplitud de la base del muro y en otras se ampliaba la cimentación con una ligera amplitud a ambos lados tendiendo siempre a profundizar lo más posible el elemento constructivo.

Para los contrafuertes, el hecho fue particular pues estan referidos a las reestructuraciones, por lógica en su mayoría de casos se trata de un agregado al original y este contenía adosada a sus fundamentos la cimentación original. En los tipos de construcción desde su origen abovedado, los contrafuertes se construyeron integrados a los muros y por tanto a su cimentación se encuentran integradas al muro, repartiendo mejor las cargas y empujes, tales fundamentos al encontrarse a ejes se presentan en puntos estratégicos configurando la solidez de la unidad estructural. Para el siglo XVI y XVII era frecuente el uso de columnas de madera con zapatas, en patios porticados, estas a su vez se localizaban recibidas por cimientos prolongandose a la superficie por medio de recintos o en su caso integrados a basas las cuales soportaban y transmitan las cargas a la cimentación; tales sistemas generalmente de construcciones no mayores de planta baja y un nivel.

El periodo del siglo XIX, prosigue se continua la herencia virreinal, transmitida con la tradicion constructiva de la cimentación corrida a base de mampostería en las edificaciones como casas habitación. El aporte se presento en la construcción de nuevos géneros de edificios como estaciones de ferrocarril, naves y talleres industriales, así como presentar algunos cambios tecnológicos en templos y edificios de carácter público. Para las estaciones de ferrocarril cimentaciones escalonadas logrando una amplitud de la base, sistemas que seran logrados con tabiques prensados y junteados con morteros de cemento o a la cal. Para las estaciones terminales de mayores claros y alturas se utilizaron tanto

sistemas combinados de tabique escalonados o a base del rieles y viguetas metálicas encontradas entre si y recubiertas con concreto, esto con la finalidad de lograr la amplitud en forma escalonada., este ultimo fue el preferido para postes y columnas metálicas.

Apoyos aislados:

Durante el periodo virreinal, el proporcionamiento y diseño tanto de las columnas como pilares y pilastras fue apegada a los tratados, o por lo menos por la experiencia de los constructores, según las tradición mostrada en las edificaciones y en este caso se tenía mayor cuidado al respecto. Las columnas se fabricaron preferentemente de cantera, con su basa y capitel a la manera clásica, mientras que las pilastras podrían hacerse o con perfiles de cantera trabajados con cadena en ángulo para asegurar la mejor continuidad de cargas. En otras ocasiones se ejecutaban tabicadas, procurando engraparse al resto del muro. La fuente de inspiración y eje puntual de la arquitectura fue precisamente el estudio de los ordenes de la arquitectura en donde la columna como elemento arquitectónico y su parte soportante, entablamento conducen a un estudio, *relación y dimensión bien definida*. Desde *Vitruvio* y los demás tratados clásicos se preocupan por la proporción fruto no solo de la armonía del conjunto, sino también de la estabilidad, solo que fue tan basto el su uso que rebaso las condiciones estructurales, como en casos de los retablos y altares resueltos en ciprés.

Es para el siglo XVII que vuelve la tendencia exclusiva en la arquitectura del uso clásico de la columna como elemento de apoyo estructural, a pesar de que en España, Juan de Caramuel refleja el pensamiento de la época presenta en su tratado. Dirigido no a soluciones estrictamente tecnológicas, sino más a la muestra de erudición manifiesta en conocimientos matemáticos y estudios del arte; por otra parte se presentaron otros tratados que fueron directos hacia la solución técnica, basados también en el estudio de los ordenes, y más aun para poder resolver integralmente los problemas de la estructura desde sus fundamentos hasta las bóvedas. Con esto podemos decir que el siglo XVII cuenta con una preocupación y manejo de una geometría y matemáticas mas apegada a resolver problemas de la arquitectura. En la Nueva España se sigue este camino, solo que mas hacia el ejercicio de la practica de la construcción, logrando una respuesta en la estabilidad ya que toma como propias tanto las emprendidas por una experiencia local como las de los europeos, con la exigencia de un ejercicio de la arquitectura profesional, principalmente en los grandes edificios como las catedrales. Pues se tiene la necesidad de construir sobre

terrenos en condiciones desfavorables a la estabilidad (*lodosos y altamente sísmicos*), lo que más aun hace de la aplicación de la construcción un arte basado en los fundamentos de la ciencia y la tecnología y la lógica a sumen a las experiencias de prácticas artesanales.

La preocupación durante el la época virreinal, se encuentra derivada de la respuesta estructural ideal, concebida integralmente desde lo más alto de sus cubiertas hasta conducir la bajada de cargas sujetas a empujes hasta los fundamentos y precisamente los apoyos aislados requerían una especial atención, y como respuesta de diseño fueron en general de menores dimensiones que en el siglo anterior, para el caso de los claustros femeninos se tuvo una mayor preocupación guardado proporciones más humanas. Es común el uso de columnas toscanas en patios y portales, soportando viguerías y gualdras de madera a la manera de grandes pórticos; este sistema constructivo se puede ejemplificar con el portal llamado de los evangelistas en la plaza de Santo Domingo de la misma ciudad.

Se descubre que las columnas de madera como diseño estructural que si estas no se encuentran perfectamente empotradas en sus extremos sus cualidades de resistencia bajan la cuarta parte de su resistencia, por tal razón durante el siglo XVII, se construyeron con zapatas, incluyendo el diseño de su base para aprovechar en su totalidad las secciones nominales, de este ejemplo tenemos uno que se encuentra en la calle de Moneda, conocida como casa de las zapatas.

La diferencia notable, para los edificios del siglo XIX, fué el aporte en estos elementos constructivos, la preferencia de columnas y postes metálicos, en la arquitectura de tipo industrial importados y prefabricados, los cuales sobre pasaron con mucho la relación de esbeltez de las soluciones, se presentaron ya sea aparentes, con capitel, fuste y basa, o recubiertas con cantera.

Apoyos corridos:

Por excelencia el sistema de muros de carga fue el más socorrido el de muros maestros de carga. Durante los siglos XVII y XVIII se adopta un procedimiento de construcción a base de gruesos muros de mampostería de piedra al que se integran piezas de tezontle alternadas con otro tipo de mamposterías incluyéndose ladrillos dispuestos tanto en verdugones o en arcos de descarga. Este tipo de estructuración esencialmente rígida busca tanto la estabilidad contra las fuerzas accidentales, así como durabilidad a los agentes externos como las inundaciones.

Las cualidades extraordinarias hicieron manifiestas en los modos de construcción,

ya que fue una época de muchas transformaciones tecnológicas, pues para sumar las grandes posibilidades de resistencia y rigidez, los materiales a lo largo de la sección del muro se dosificaban de tal forma que en sus fundaciones se colocaban piezas regulares y duras como recinto, alternados con tezontle, mamposteadas de tal forma que en las bases de los muros se colocaban grandes piezas y paulatinamente al llegar al coronamiento del muro estas se disminuían en su sección, preferentemente de tezontle; ya que se juntaban ricamente con morteros a base de cal, haciendolos más deformables; y tener mayores posibilidades de resistencia debida a los asentamientos diferenciales. La geometría jugaba un papel importante ya que los paramentos de los muros tenían cierto escarpio, en otra simplemente se aumentaba de un entrepiso a otro hasta tener en la base de los muros secciones más robustas. Para los muros de las plantas altas, la solución práctica se realizaba por lógica, ya que se respetaban los ejes de la planta baja tratan de configurar una estructura contraventeada en ambos sentidos amarrados a la manera de contrafuertes. Los muros medianeros o divisorios simplemente se construyeron sobre envigados reforzados a base de tepetate o preferentemente ladrillo, los que se afianzaban a los muros maestros para lograr mayor solidez.

Durante este periodo de tiempo que consistía en solucionar un problema a nivel de manzanase implemento una forma propia en integrala desde los fundamentos hasta las cubiertas ya fuera resueltas en madera o en bóvedas, pero en general la edificación contaba con entrepisos y cubiertas de envigados, conformando manzanas completas, pues los muros maestros lo eran también medianeros, compartiéndose con otras construcciones; este sistema de construcción fue una aportación y el camino a seguir el resto del periodo colonial incluso todavía en los inicios del siglo XIX, ya que se presentaron algunos edificios con este sistema, Joaquin Berchez a fundamentado tal tipo de obra a un sistema seguido de la construcción romana; sin embargo tal aseveración es parcial, solo cuenta con la experiencia europea que incluso no contempla en síntesis los adelantos de su momento tanto de España como del resto de Europa; pues para el nuevo mundo y sobre esta época, es el antecedente que florece durante el siglo XVIII que será de identidad de una nueva nación, creandose a través de una *tecnología criolla e indígena*; por lo que procedimientos de construcción más adecuados e ideales para su medio natural y economía. Es por lo tanto fundamental considerar en la Nueva España como fuente de sus tradiciones conjuntadas, con los avances del momento; por tanto el conocimiento óptimo en sus tipos

de suelos y las regiones por sus de materiales y porcesos.

Los muros se reforzaron teniendo varios recursos, por ejemplo la arquitectura más común se realizo tanto en uno como a dos niveles, solo las grandes construcciones contenían más de dos. Los muros dispuestos ortogonalmente con un espesor más grande en relación al nivel soportado; de esta forma se tenía un muro bajo de menor esbeltez por su relación de altura y ancho en la base el cual no sobrepasaba, en el ultimo nivel, la relación uno a ocho, se encontraban reforzados por muros de descarga en forma tabicada, los vanos tanto de ventanas como de puertas y accesos a cocheras se engrapaban con jambas y dinteles en platabanda aparejada labrados en cantera y empotrados entre si por el mismo aparejo, el cual se continuaba por cornisas corridas que a su vez al interior contenían sillares de cantera perfectamente empotrada en la sección, tales elementos se prolonga a lo largo del muro hasta llegar a las esquinas formando cadenas en ángulo.

Los muros al interior tenían como solución el reforzo por verdugones de sillares de tepetate o ladrillo para uniformizar las cargas, si observamos, tanto los dinteles, como las jambas junto con los verdugones ofrecían una mayor organización y unidad al sistema de muros de carga. Pero estos casos frecuentes la utilidad de los verdugones y debido a los grandes muros, para edificios como palacios, las capillas o templos; en tales géneros, los verdugones solían fabricarse alternados entre la mampostería. Así ejemplo uno de ellos en tepetate, mientras que el posterior en ladrillo, o bien se combinaban ambos materiales, estos sistemas de refuerzos no solo organizaban las cargas, repartiendo uniformemente los esfuerzos, funcionando como eficientes amortiguadores en los eventos sísmicos. Para la ejecución de mechinales inferimos que estos se realizaron en forma similar el siglo XVI, a base de ladrillos dispuestos para formar la sección, solo que en estos caso los muros a ser menos masivos los espacios tenían que ser en su proporción más profundos para garantizar el empotre perfecto y así disminuir los momentos flexionantes en el centro de las vigas.

En el siglo XIX, igualmente se conservan los conocimientos de la tradición constructiva deliniados durante el periodo virreinal, con la preferencia de estructuras rígidas con muros de carga. La diferencia entre estos procesos fue disminuir las secciones de los muros de carga que como apoyos continuos siendo los preferidos en las construcciones, solo que estos con basas de mampostería y el resto del muro con el cambio de material a base de sillares de tepetate, reforzados con hiladas de ladrillo.

Entrepisos y cubiertas:

Los entrepisos generalmente se fabricaron con envigados y algunos ejemplos, quizás los menos resueltos en bóveda de mampostería. Las cubiertas las habían de tres tipos: envigados, de madera resueltas con armadura o alfarje (sistema ejemplar y característica de la primera mitad del siglo XVII); abovedadas; este último sistema se caracteriza por utilizar *geometría de la construcción*, siendo el más notorio, el de cúpula con tambor y sin este.

La riqueza en los sistemas y procedimientos constructivos es tan grande que no solo se debe a una sencilla experimentación; sino más bien al periodo del umbral científico y la toma de conciencia de la nueva sociedad en su participación plena. ²¹

Para los entrepisos abovedados el uso frecuente y notorio fue en sotocoros (sistemas abovedados de torres) que funcionaron como entrepisos. Las bóvedas de coro, en realidad seguían una función especial a nivel estructural debido a que uno de sus partes se apoyaba sobre el arco del sotocoro. Estas bóvedas no se fabricaron muy peraltadas, su diseño correspondía a las de arista o de pañuelo. Su sistema constructivo consistió en la colocación de aligerantes en los riñones a manera de (uso de casetones de gruesos ladrillos o de ollas de barro). Los arcos formeros y el situado hacia el costado interior del frontispicio ordenaban una gran estabilidad, simplemente el arco del coro integraba la unidad cubriendo uno de los puntos claves, descargando los empujes sobre gruesas pilastras adosadas a los muros del sotocoro. Las bóvedas al ser requeridas de menor peralte en el coro se efectuaron con minuciosidad, tabicadas o con sillares de mampostería dispuestos y cortados para lograr recibir los esfuerzos directos de compresión; por tanto es frecuente observar variada la geometría y por lo que la disposición de las hiladas.

Las cubiertas de madera:

El periodo virreinal es singular ya que en este donde se amalgaman frutos de otras culturas pero no como dominio o carga ideológica; pero para desarrollar mejores soluciones de estructura, con vías a proporcionar una respuesta óptima y práctica. Por tal razón lo español trae consigo, ya que con experiencia propia y la adquirida a través del Islam occidental. Por otra parte lo indígena desde el siglo del contacto permanece con sus aportes; dejando cada cultura lo mejor que tenía que dejar. Para las soluciones en madera a

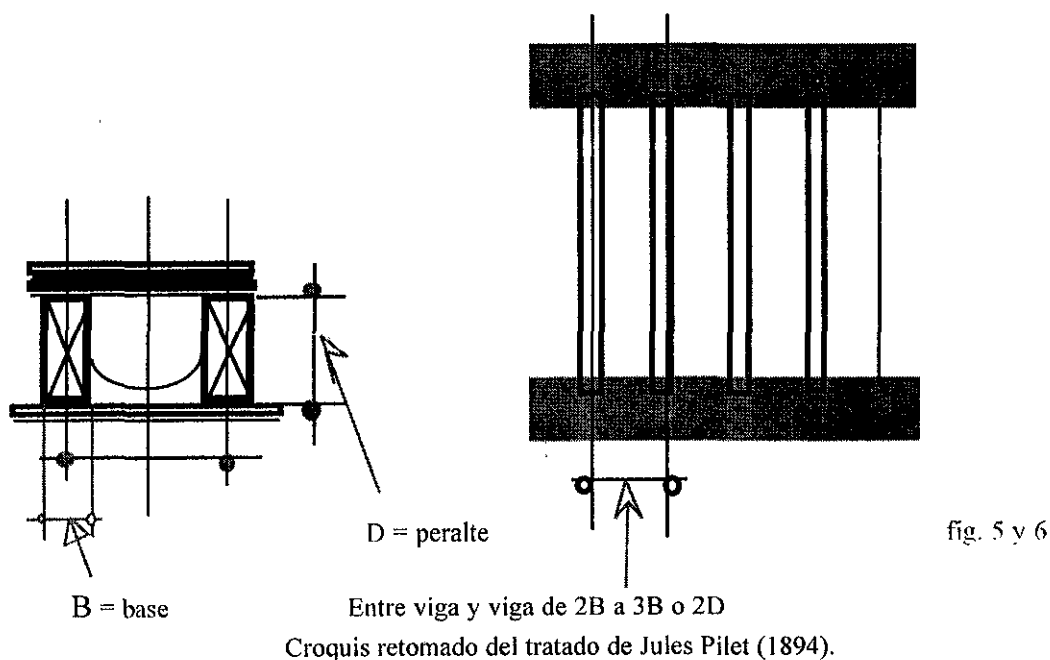
21

Josefina, Muriel, *Cultura Femenina Novohispana*, Página 239.

"En el pensamiento de Sor Juana no se confunden, para ella la ciencia se forma con las verdades, pero con verdades que son evidencias en la conciencia".

lo que se denominó carpintería de lo blanco, predomina la maestría mudéjar; mientras que en las soluciones por geometría de la construcción cuenta lo europeo, (particularmente lo español por línea directa en tanto a discurso, con la afluencia de otras regiones del sur de Europa como Italia), y en tecnología en cimentaciones y urbanística antisísmica lo mesoamericano.

Los entrepisos de envigados siguen la tradición franciscana son viguería dispuesta modularmente sobre de estas un tablado o una bóveda plana de ladrillo y un terrado, para terminar con un piso de madera enduelado, los empotres de los muros eran de aproximadamente un quinto del claro de la viga, la separación entre cada viga era un modulo de peralte de viga o tres de su base. Este sistema de apoyo obtiene una estructura donde los traslapos sobre el muro, como teclas de un piano cuando hay movimientos diferenciales podrían desplazarse si se presentara un asentamiento. (fig. 5 y 6)



Con esto se integraba una unidad estructural basada en la rigidez de los muros, pero que en conjunto y por partes contaba con la resistencia de los mismos muros, con esto se lograba una mayor capacidad de carga por su relación de esbeltez; formando diafragmas en cierta medida deformables e independientes entre si, pues cada parte o sección trabajan siempre independientes.

En torno al siglo XVII se manifestaron cubreras realmente increíbles resueltas a

base de madera; he mencionado que este tipo de construcción preferentemente se desarrollo en la primera mitad del siglo, hecho que demuestra madurez constructiva, el ir conociendo los tipos de suelo, experimenta nuevas alturas con muros de carga y conteniendo espacios internos, siempre fue mas fácil construir este tipo de estructuraciones más facil por lo tanto fueron las primeras grandes construcciones en madera que sirviendo de modelo para una siguiente generación de edificios o simplemente se reestructuraron para reutilizar o substituir estas cubierta. Las techumbres de vigueria, fueron las más sencillas; se construidas desde el siglo anterior y únicamente se disponían descargando a lo largo del claro de la nave las cargas en vigas dispuestas rítmicamente y empotradas en sus extremos. Se colocaron sobre fuertes verdugones tabicados los que a su vez contenían un arrastre para recibir uniformemente las cargas concentradas de las vigas y conteniendo los esfuerzos que por empotre se presentaban.

Los cabezales se contenían en grandes mechinales hechos en ladrillo completándose y cubriéndose hasta llegar al pretil con una mezcla frabricada con ragmentos de tezontle y rica en mortero de cal, con espesores mayores que en la parte central del muro. Al igual que los terrados con entrepisos del tipo franciscano, este sistema no genera empujes ni se opone a los hundimientos diferenciales de los suelos optando por llevar y adaptarse a las nuevas solicitudes estructurales. Se tienen ejemplos de este sistema en capillas anexas a los conventos, características del periodo. Para las cubiertas con armadura y alfarjes, como los artesonados, se funden en su solución conocimientos de construcción, geometría y matemáticas del Islam occidental. Se sabe por documentos que los indígenas eran buenos carpinteros pero el tipo de soluciones constructivas desarrolladas por técnica mudejar, en su detalle se presentaron mas complicadas o desarrolladas en lo mudéjar, pues los empalmes detalles y diseños de un alto grado de complejidad se presentaron como innovación, así se muestra en la obra de Fray Andrés de San Miguel.

Para las cubiertas resueltas con armaduras y cubiertas a dos aguas, su respuesta estructural fue la mas directa, siempre se presentaban estáticamente determinadas, con su cuerda inferior como tensor, torna punta y diagonales; o mas simplemente las dos cuerdas superiores con su tensor, para formar el clásico par y nudillo. Sobre estos se colocaba una cama de madera y tejas, a diferencia que en la provincia se colocaba fajillas de corteza o tejamanil, o simplemente paja; estos últimos sistemas eran comunes y aplicados desde la antes de la llegada de los europeos.

El alfarje es un sistema más desarrollado que el anterior, puede estar resuelto a cuatro aguas; los principios mecánicos de la estructura son los mismos; solo que más complementados y con desarrollos al detalle esto se nota, incluso con la introducción o uso por ejes de bóvedas del mismo material y la cual es una característica. En este tipo de cubiertas destaca la secuencia de grandes tensores dispuestos pareadamente y doblemente armados, ejemplo de la cubierta de la iglesia de Tlaxcala, con la impresión de desarrollar lazos finamente decorados. Como diría Viollet-le-Duc, *cada elemento tiene una razón de ser*, tanto en sus empalmes como empotres y apoyos para garantizar la mayor estabilidad de cada elemento estructural, los cuales se encuentran ligados configurando un entramado que a su vez tiene una función diafragmal, evitando el volteo garantizando por las zapatas el mejor punto de descarga cuya continuidad se ejerce a todo lo largo de la línea de base de las cuerdas inferiores o tensores pareados. Manuel Toussaint, dedica un especial análisis para percibir cada una de las partes de las que cita reminiscencias góticas y mudéjares en la arquitectura mexicana, principalmente la realizada durante el siglo XVI, impactando tanto en los detalles como la gran obra logrando así una importancia única el aporte árabe en los trabajos de la madera.

Para infinidad de construcciones se pensó que estas cubiertas eran provisionales. En la mayoría de los casos ahora diríamos que se encontraba en proceso de construcción o simplemente que eran sustituibles. Sin embargo el análisis de cualquier tipo de edificación junto con sus materiales guardan y manifiestan como modelo el camino a seguir, y por ello se plasma la huella de su momento. La construcción de otro tipo de cubiertas como las bóvedas se desarrolló posteriormente no porque fuese mejor, sino más bien porque correspondía a los modos de pensar, como los nuevos requerimientos no influyeron en todos lados, tan es así que en extensas regiones como Chiapas y muy especialmente Michoacán plasmaron un modo de vida que incluso por tradiciones es propio de la llamada arquitectura vernácula, siguiendo la tradición de las cubiertas de madera.²²

Como símbolo, la construcción resuelta en madera busca la sencillez, más no lo simplista, es el sinónimo de estabilidad práctica que se sujeta a condiciones ideales como respuesta a determinantes sísmicas y terrenos suaves. Es en esencia respuesta a un carácter clásico por la manera y forma de construir. Muros elaborados con discretas portadas y coronadas por las cubiertas que responden únicamente a lo útil, a lo necesario.

22

Manuel, Toussaint, *Reminiscencias Góticas y Mudéjares en la Nueva España*, pág. 21 - 29.

Fray Andrés de San Miguel se obtiene un modelo mexicano prácticamente único e ideal para el lugar, acompañadas de humildad y cuyas respuestas de esta manera de cubrir son por sus espacios internos lógicos a su antropometría; donde solo existe lo que se tiene y que por ser no es lo superfluo, por tal razón el clasicismo florece como parte de las manifestaciones novohispanas de la época y más impresionante resulta tal periodo de maduración teniendo este inicio que abre el barroco, cuyos motivos son ya pertenecientes a la forma de ser del pensamiento mexicano. Los artesonados son un capítulo en cada detalle, la manifestación artística y el dominio en la maestría constructiva es nueva para el indígena, unida a su vocación y extensa practica en el ejercicio de la carpintería se conjuga el labrado de la madera en donde se configuran diseños geométricos, integrados a las bases de las estructuras, para integrar en su totalidad las artesas; se tienen ejemplos como los que se encuentran en la sacristía del exconvento carmelita de San Ángel, también lo hay en el claustro del convento de Atzacapotzalco, al igual que las manifestaciones de Michoacán y Chiapas cubriendo ampliamente los ideales del arte puro de lo blanco con un puro sello propiamente nacional.

Los recursos geométricos del diseño y la construcción:

A nivel tecnológico Los sistemas abovedados son los recursos mas impactantes del siglo XVII, en ello se manifiesta la mentalidad de un periodo de maduración tecnológica. Con exactitud tales sistemas acrecentaron la exigencia de la participación de alarifes y constructores en edificios como las catedrales; de hecho el periodo tiene su inicio a finales del siglo XVI, cuyos ejemplos de mayor unidad en el diseño y geometría se encuentra en Mérida. Mencionamos en otros párrafos la importancia tremenda a nivel tecnológico y espacial de la cúpula en Xochimilco, autores y artistas lo han manifestado como el *Dr. Atl*, que dice es el ejemplo mas vivo en América de la cúpula de Santa María de las Flores en Italia por lo que, es en si una muestra en México del renacimiento italiano y por lo tanto del cambio de mentalidad. En torno a las bóvedas centrales o cúpulas, en muchos ejemplos de la arquitectura eclesiastica estas se realizaron en los siglos XVII y XVIII, con o sin tambor. Su construcción acentúa elementos puntual denotan la culminación de la época

medieval y el inicio del periodo dedicado al humanismo.²³

El siglo XVI, tendrá esa característica particular, la arquitectura con todas sus manifestaciones artísticas y tecnológicas fielmente prefiere a esos elementos definiendola en tipologías estructurales y constructivas. La estructura basada en fundamentos de la geometría de la construcción, se encuentra constituida por materiales y procesos aligerantes, en sitios donde se necesita un gran volumen de material pero con poco peso.²⁴

El mayor éxito logrado por estas estructuras es el trabajo a la compresión pura, con muros y elementos de ladrillo o tabicados, ordenados con forme a la bajada de cargas de cubiertas abovedas configuradas con tezontle. El logro de una estructuración rígida pero al mismo tiempo con puntos de cierta elasticidad, en la dinámica ofrecen elementos de menor masa debido al peso volumétrico de sus materiales. Esto origina sistemas ideales resistentes tanto a sismos como a hundimientos de terrenos. Junto con el sistema de verdugones, cadenas en ángulos alternados con tepetate o hiladas de ladrillo, la obtención de un sistema constructivo con grandes cualidades tanto de resorteo como de amortiguamiento; y de tener la facultad de ir ordenando fielmente la transmisión de cargas hacia las bases de los cimientos, con lo que se tiene la facultad combinada de obtener estructuras rígidas con propiedades elásticas, fabricadas con materiales de mucho menor peso.²⁵

En la Nueva España, la geometría de la construcción, contiene sus propios aportes, por ejemplo el diseño sistemas constructivos donde se integran cualidades de materiales para hacer menos pesada una estructura; estos procedimientos son combinados con verdugones o arcos de descarga que van desde los muros y contrafuertes a los riñones de las bóvedas, las cuales con una alternancia fueron tabicadas en los puntos claves de ruptura; es decir en la clave y riñones que tienen una particular atención. Pero siempre siguiendo los fundamentos de la geometría estructural, tradición constructiva fuemente conservada incluso en el siglo XIX.

23

Jorge, Alberto, Manrique, Autor, Fco., Del Solano Director: *Historia Urbana de Iberoamérica*, Tomo II- 2, *La Ciudad Barroca*, Análisis Regional, 1573 - 1750, España, 1990, Quito Centenario, C. S. C. A. E. 575 p. p. 215:

“Las bóvedas suelen construirse de ladrillo o de tezontle cortado para aligerar su peso. A partir del tercio del siglo XVII, se hacen absolutamente generales en las iglesias, con excepción de la región de Michoacán”.

24 Apud. Werner, Rosenthal, *La Estructura*, España, 1980, Ed. Blume, págs. 39 - 43,

25 Apud. Francis, A. J. *Teoría de las Estructuras*: Op. Cit., México, 1984. Trillas

De esto tenemos los ejemplos de Ramée Daniel que en 1885 (fig. 7), presenta una síntesis de cargas en mamposterías de arcos o bóvedas, encontrando los puntos ideales y desfavorables según el trabajo mecánico del sistema. Denfer en 1891 (fig. 8), retoma la tradición de constructiva y aplica los estudios de Jean Rondelet y combina la geometría y la mecánica. Finalmente Leonce Reynaud en 1875 (Fig. 9) muestra la interpretación geométrica en la acción de las mamposterías para determinar las líneas de presión, en el punto de acción en torno a la factibilidad de la resultante final, sintetizada en un corte esquemático de la misma construcción.

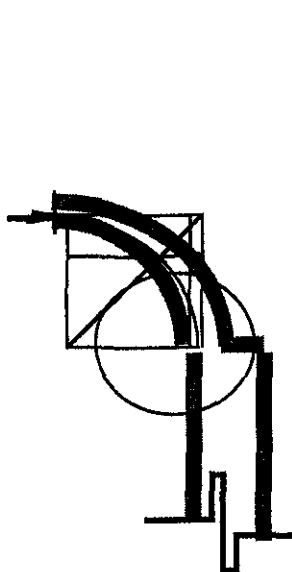


figura 7
Ramée Daniel 1885

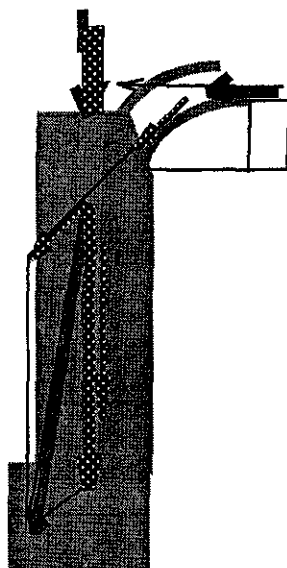


figura 8
Denfer en 1891

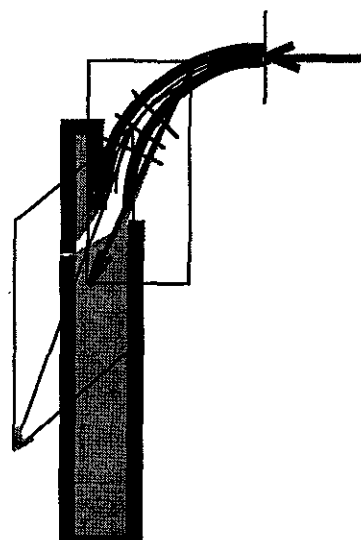


figura 9
Leonce Reynaud 1875

De esta forma se edificaron bóvedas de pañuelo y de arista; sostenidas sobre ejes determinados perimetralmente en arcos formeros y torales. En cuanto a cantidad el morteros de cal y tezontles se hacía mayor tanto en las bóvedas como coronamientos de muros.

Varios ejemplos ya citados de los siglos XVII y XVIII, se estructuraron con tensores de madera recubiertos con caballetes de mampostería en la parte superior; estos elementos sobre la cubierta, siguen los ejes constructivos; los que por ciento se amarran en los remates de los contrafuertes, colocandoles rejillas en los cabezales de los mismos tensores, sistema implementado para evitar su deterioro. Tanto en torres y cada uno de sus cuerpos, como en la parte baja de los tambores se tensionaban a base del mismo sistema de amarre. Es por tal razón frecuente encontrar rejillas realizadas con ladrillos en los puntos cercanos a los cabezales. Las bóvedas por lógica se iniciaban con la fabricación

de sus puntos de apoyo, sirviendo como ejes fundamentales; posteriormente se construían secuencias de arcos tabicados para adicionarles capas de conglomerado en mampostería; en otras simplemente se creaban las hiladas, siguiendo el diseño de la bóveda, ya fuera de arista o pañuelo. En los primeros elementos levantados de una bóveda era fundamental el fabricar una obra preliminar con cimbrados de arcos o ejes maestros, en otras ocasiones y sin la necesidad del cimbrado se levantaban sistemas abovedados hasta cubrir el área con el cierre del punto clave.

Los recursos de la geometría en la construcción, incluyendo el uso de los materiales regionales como es el *tezontle*, prácticamente son clásicos del periodo virreinal, ya que su uso fue continuo por mas de doscientos años, pues abarca incluso el siglo XVIII. Son su utilización un aporte exclusivo de este periodo; además de denotar una aplicación de la tratadística de la arquitectura de su tiempo, es decir de la exigencia del ejercicio de la profesión como arquitecto que utiliza recursos y nociones, por tanto es la antesala a la creación de la academia.

El dominio de la construcción antisísmica, pues a pesar de experiencias con derrumbes o fallas, las estadísticas muestran la madurez en el arte de la construcción abovedada, pero sujeta a empujes adicionales debidos a cargas accidentales. En las regiones como Oaxaca y Chiapas, la respuesta es mas directa ya que en análisis recientes se ha probado que las mismas portadas funcionan como verdaderos estribos y las torres en su proporción se encuentran dimensionales a una altura cuyas oscilaciones no generaran mayores vibraciones, en terrenos donde los temblores de tierra tienden a ser combinados.²⁶

Influencias y predominio en el diseño:

El siglo XVI es como un puerto de llegada y partida de fecundas manifestaciones de la arquitectura y por lo tanto de la construcción. Por ello aun se presenta el llamado plateresco o protorrenacimiento; culminan en este siglo la inspiración que recuerda lo medieval, pero retomando sistemas mudéjares, se asumen en las envolventes criterios sencillos que resultan el seguir una arquitectura pensada y ordenada a los cánones de los tratados, es por ello que el siglo XVII plasma, el manejo del clasicismo dentro de el aparecen las enjutas en las portadas (elementos que se salen de una regla), pues apuntan

26

Apud. José, Creixell, *Construcciones Antisísmicas, Op. Cit.* México, 1981, y cuarta edición 1994. Compañía Editorial Continental.

una manera de hacer las cosas; hasta cada momento cubrirlas mas y retomar conforme pasa el tiempo una manifestación ya propia del barroco en una proporción que se humaniza cada vez mas. La búsqueda de una respuesta lógica en cada uno de sus elementos constructivos y estructurales, es el motivo de nuestro interes.

Se ha mencionado que con Juan de Herrera y su gran intervención del *Escorial*, se desarrollo un modelo propio; pero mas que eso la arquitectura del siglo XVII en México, presentó sus manifestaciones propias, y mas que ser continuación de la labor herreriana, se siguió un clasicismo, fruto de la razón con lo que se manifesto únicamente lo necesario en sus soluciones arquitectónicas, sin embargo no por ello dejo de ser variado pues también dio el inicio y desarrollo del barroco novohispano.

Cada zona tiene sus características, tanto por su topografía como por los efectos sísmicos, en Chiapas se manifiesta una arquitectura con cubiertas de teja, mientras que en Oaxaca la construcción se proporciona diferente, es baja y de grandes dimensiones en sus bases, de baja altura e incluso las portadas tienen una razón estructural. Mas aque formal en todos los casos donde se incluye la ciudad de México los efectos sísmicos combinados o de la herencia constructiva y urbanística, de la época virreinal tienda las soluciones de cubiertas de madera y a la realización de las bóvedas, incluyendo el trazo sobre de cubiertas de planta de cruz latina, respondiendo a un mayor conocimiento y puesta en práctica, que requirieron de una tecnología que creció conforme se conocieron y dominaron las formas del arte de construir en cada región del país. ²⁷

Conclusión:

El diseño de las estructuras de construcciones en este periodo de tiempo contiene nuevas aportaciones, tales como templos con plantas de una sola nave, de cruz latina y basilical. Edificios que se pueden regionalizar por zonas sísmicas respondiendo con torres achaparradas y construcciones bajas, estructuradas los muros maestros contraventeados, así mismo en otras zonas. Los patios y claustros al ser un elemento variante predominan los de en dos niveles, es decir planta baja y primer nivel con arcadas continuas que absorben y desbordan los empujes accidentales; siendo los mas notables los casos de conventos femeninos.

Escala y proporción tiende a cambiar, con una arquitectura resuelta y limitada por

27

Apud., José, Creixell, *Estabilidad de las Construcciones*, Op. Cit México, 1979 y cuarta edición 1993, Compañía Editorial Continental .

su condición dentro de un solar, con lo que comparte los muros de carga colindantes; la construcción es al bajar sus alturas y claros a salvar tiende a ser menos masiva, haciendo que sus apoyos sean de menores secciones respecto al siglo XVI, pese a que se comprenden por lógica similitudes en el periodo virreinal las tendencias en las proporciones arquitectónicas son regularmente también de menores dimensiones menos generosas alas del al siglo XVIII respectivamente.

Las grandes construcciones las principales ciudades de la Nueva España el uso de muros de mampostería es el preferido, juntadas con morteros de cal resistente pero elásticos. La continuidad de las cargas se resuelve constructiva y formalmente, por medio de jambas prolongadas, dinteles, arcos y arcos de descarga; mientras que en los elementos altos como pretilos, espadañas o torres y almenados se fabricaron, con materiales pétreos de menor peso volumétrico, como el tezontle, auxiliándose en todos los casos de juntas con mezclas que proporcionan de mas separación, logrando entre el trabajo de las mamposterías mayor elasticidad.

La estructura y su estabilidad aplicados a la construcción de la arquitectura durante el siglo XVIII es muestra de la intelectualización en la edificación. Puesta en práctica por en conocimiento de la geometría y el ejercicio de la profesión la enseñanza se iniciada durante este siglo XVIII en nuestro país y ampliamente desarrollada en los manuales y tratados especializados del siglo XIX.

Esta tecnología, presenta variantes notables con claros signos de cambio o revolución en las tipologías constructivas. La aplicación de conocimientos surgido de los *gremios*, así como de las *ordenanzas*, con la influencia los tratados. Se desarrollo ampliamente sistemas de trazo y proporción y influyeron en la carpintería y en la albañilería.

El barroco como estructura y espacio se inicia durante el siglo XVIII, con una sobriedad tal que posteriormente se complementa, realizándose edificaciones basandose en esta manera que se hace puntual. Se tiene la tendencia de cambiar los sistemas constructivos, sobre todo en las cubiertas iniciándose una nueva concepción estructural y espacial con el uso de cúpulas, obligando a considerar por tanto cambios tecnológicos necesarios para contrarrestar los empujes.

El siglo XVII y XVIII es el periodo de construcción de las grandes obras en la Nueva España, con ello se le da importancia al oficio del arquitecto como profesión ya que

como dirección, contó con cada una de las especialidades en las obras. La tecnología para la arquitectura y la ciudad se deben a una gran unidad entendida en el lugar con formas de organización, obtención de materiales y el transporte.

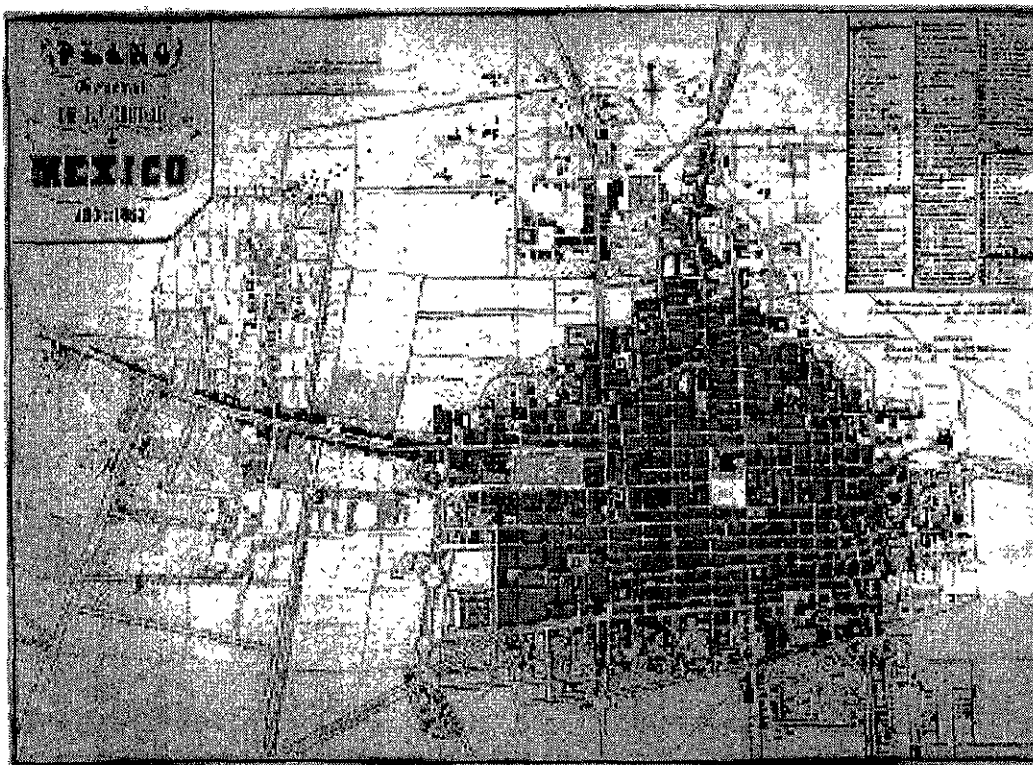
Se presentan nuevos aportes en el diseño arquitectónico de géneros, como colegios, conventos de monjas, edificios civiles y arquitectura doméstica, directrices como el espacio interno, relación con la construcción a un entorno urbano, los edificios por lo tanto tienden a ser sobrios y sencillos pero guardando tendencias de más modelos clasicistas, fenómeno que después retoma y se transforma en un movimiento que busca la verdad a través de las ciencias en el siglo XIX, pero con el modelo francés como camino a seguir, sin perder la esencia regional adaptándose a situaciones naturales para solventar los problemas, con tradición constructiva y la suma en avances tecnológicos aplicados a la estructura.

2 B).- Construcción del siglo XIX:

Introducción:

Construcción de una ciudad

La ciudad de México desde el periodo virreinal, mantuvo hasta mediados del siglo XIX sus dimensiones, mas aún los perfiles urbanos poco a poco se transformaban, por ejemplo la sustitución de los viejos acueductos por redes de distribución de aguas traídas desde Xochimilco y la abertura de nuevas calles, paseos y avenidas fueron dirigidas hacia nuevos horizontes. El descontrolado crecimiento de la ciudad es iniciado en la segunda mitad del siglo (fig.1) cuya administración cambia constantemente de cuarteles a colonias, concentrando actividades industriales y de diversas índoles en búsqueda de la modernidad.



(Fig. 1), Plano General de la Ciudad, 1863 Anónimo, Smurfit-INAH,
Compilador: S. Lombardo: *Atlas Histórico de la Ciudad de México*.

Desde los orígenes de su fundación la ciudad de México, ha impuesto sobre su configuración natural la constante organización de grandes espacios abiertos por colonias, de esta manera se unieron, los pueblos como Coyoacán, Tacubaya, Tlalpan y Xochimilco en los cincuenta años del siglo XX, a costa de esta situación los servicios se fueron multiplicando y las demandas de abastecimiento de agua potable contrajeron mayores alteraciones en el medio natural iniciado desde mas de doscientos años antes; el drenado del valle de México que otro factor que motiva modificaciones a *la arquitectura de la tierra*. 1

Fue un caso particular el caso de la ciudad, por su indeterminada mecánica de suelos y sismicidad; fué un campo desconocido para los diseñadores de estructuras y cimentaciones realizadas en el periodo final del siglo XIX, por lo que se mostraron ciertas incertidumbres en realizaciones como el *Palacio Legislativo* y el *Teatro de Bellas Artes* entre otros importantes edificios, la tendencia era romper con la tradición de construcciones bajas y solo competían con la monumentalidad de algunos los templos, capillas y la catedral; esto propicio tanto para los constructores nacionales y extranjeros realizar diversos estudios y experimentos que a futuro tuvieron importantes aportaciones para la ingeniería de la construcción y la mecánica de suelos sobre todo logradas por el ingeniero Manuel González Flores. 2

Los materiales y procedimientos:

En toda época la tecnología y material aplicado en su momento correspondiente, ofrece la solución más óptima y operable, de esta manera el conocer las propiedades como resistencia, durabilidad; son factores indispensables del sistema de la estructura para asegurar su estabilidad.

1 Nota: El autor, A. J. Francis, nos habla sobre la maduración en los estudios de mecánica y la importancia de conocer los problemas geológicos de un lugar determinado.

Los trabajos de *Coulomb*, fueron en parte los iniciales del estudio del comportamiento de los suelos; pero no fue sino hasta el siglo XIX cuando se tomaron medidas del orden científico; y como cualidades especiales los terrenos del valle de México llamaron la atención a nivel mundial.

Define como Arquitectura de la tierra a la configuración estructural constitutiva de las capas geológicas, que directamente influyen en la cimentación y acción sísmica en los edificios.

A. J. Francis: *"Teoría de las Estructuras, para Arquitectura e Ingeniería, Op.Cit, México, 1984, Ed. Limusa, ILUS, 316 páginas.*

2 Apud. N., Tedesco y V. Forestier: *Manuel Theorique et Pratique du Constructeur en Ciment Armé, Avec une note sur le calcul des Arcs*, France, París, 1909, 535 páginas, ILUS. (Libraire Politechnique C. H. Beringer, Editeur, 535 páginas,) p. 194 - 195 - 196

"Al ser un caso interesante la ciudad de México por el tipo de suelos como respuesta a los fuertes temblores, requiere una reflexión particular; mencionaremos un caso reciente:

Los trabajos se deben lógicamente a la obra realizada principalmente en la época de los cincuentas por el arquitecto Felix Candela y que derivado de ellos se tuvieron impactos importantes en el diseño estructural contemporáneo altamente desarrollado y que por cierto tienen bases en los estudios que tal autor hizo respecto de la geometría constructiva de las bóvedas de las iglesias, en España y México".

A. J., Francis: *"Teoría de las Estructuras, Op. Cit., México, 1984, Ed. Limusa, ILUS, 316 páginas, página 193:*

"En países como México se utilizan como cimentación paraboloides hiperbólicos invertidos o cascarones cónicos de concreto reforzado colados directamente en el piso, como columnas independientes, y para líneas se han empleado cascarones cilindricos invertidos"

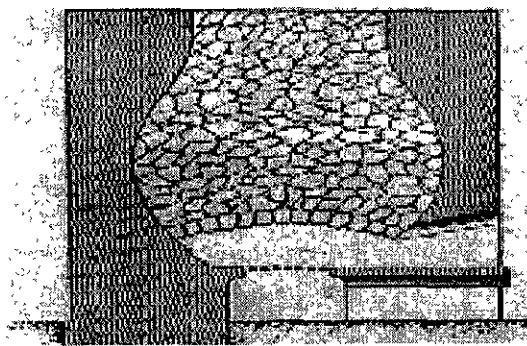
El siglo XIX fue experimentado el uso de los materiales, descubriendo sus propiedades físicas.

Los tratados y manuales presentaron una serie de tablas, tanto de los esfuerzos a la ruptura como a los esfuerzos de trabajo, con la aplicación de coeficientes. Se extendió el conocimiento, ligando la tradición constructiva y la nueva ciencia analítica, tomando especial atención en su despiece y unión en cada parte de sus materiales, y así conocer la menor capacidad en su resistencia. Esta situación se complemento con el conocimiento de la geometría constructiva y marchó a la par en los procedimientos analíticos y gráficos, cuya finalidad fue ante todo obtener una respuesta científica tanto en los materiales, como en los procedimientos constructivos. ³

Con la aparición del nuevo lenguaje matemático, se perfecciona el conocimiento en los factores de seguridad, con pruebas de laboratorio, para saber en que condiciones trabajaba mejor el material (tracción, compresión o combinación de ambos) esfuerzos.

La experiencia constructiva de los materiales tradicionales, proporcionaron una relación modular de las columnas, para determinar *la esbeltez*. ⁴

Durante la segunda mitad del siglo XIX, se conocían por primera vez las cualidades del cemento Portland, buscando materiales de mayor desarrollo industrial. La configuración en las construcciones ofrece cambios por su gran rigidez y por trabajar en conjunto con continuidad de momentos. El mortero fabricada a la cal, en las construcción tradicional le otorgo a la estructura en sus apoyos continuos y cubiertas realizadas en mampostería, cualidades de elasticidad entre la unión del mismo aglutinante y el material petreo, con una alta aplicación en la obra moderna para todo tipo de muros. (imagen siguiente fig. 2).



(fig. 2)

Horno para apagado de cal, Gustave Oslet, 1880, *Cours de Construction*, pág. 490

³ Jean, Rondelet: *Traite Theorique et Pratique de l'Art de Batir*; Libraire de Firmin - Didot et Cie., Imprimeurs, de L'Institut, Tome Premiere, Paris, France, 1802, (libro IV y IX) XVIII. - XXVI

“C'est aux mathematiens du siècle qui vient de s'écouler d'aborder et de résoudre ces questions difficiles. La théorie des voutes fut le premier objet des recherches de la science. L'art de batir consiste dans une heureuse application des sciences exactes aux propriétés de la matière.”

⁴ Apud., F. Reuleaux, V.: *Tratado General de Mecánica, (para uso de Ingenieros, Coinstructores, Maquinistas, Arquitectos)*. Aumentado con la *mecánica práctica* y aplicada más moderna y universalmente adoptada por las naciones más industriales, Barcelona, España, 1887 Dr., Francisco Nacente y Soler, Ed., tomo I, 348 p., Atlas LAM.. Tomo II segundo, 444 pag., 60 LAM. del Atlas,.

Debido a los efectos de la transmisión de carga y peso, le ofrecen resistencia a la fricción, por la adherencia entre los materiales, como la presión ejercida entre ellos y ordenados por su geometría; le suman la propiedad de resistir tracciones. Esta acción explica porque varias edificaciones son aún estables en condiciones de graves afectaciones estructurales.

Los efectos de deterioros se manifiestan como articulaciones o disposiciones que buscan un nuevo orden de equilibrio, adoptando medidas indicadoras de fallas por tramos o secciones.

Al detalle las juntas de los morteros, disposición de hiladas, cambios de material y refuerzos (como los verdugones, cadenas en ángulo, arcos de descarga, nervaduras), reordenan el camino y distribución de cargas, integrando su configuración estructural.

Una nueva clase de morteros con *cemento*, aparecen formalmente en la segunda mitad del siglo XIX, de mayor resistencia pero sin propiedades de deformación. Estos se utilizaron para fabricar tanto muros como integrar concretos, llamados en francés, "*betón*". Mezcla la cual se compuso por una base de cemento, cal y arena, reforzada al interior por restos de piedras, tejas. 5

El ladrillo, a lo largo del tiempo ha cambiando en sus dimensiones, con formas de acomodo y amarres dados por la experiencia constructiva, mejorando durante el siglo XIX diferentes diseños de ligas, empalmes y resistencias. Su fabricación adicionó un origen industrial o unido a otros materiales como el tepetate, piedra etc. para repartir y/o amortiguar las cargas. Se tienen ejemplos con refuerzos de perfiles metálicos como castillos, pilastras, arcos de descarga, cadenas continuas y en ángulo. La diferencia fundamental en el siglo XIX consistió en el tipo de junta lograda con morteros de cemento y el uso de ladrillos prensados.

El tepetate es uno de los importantes materiales del siglo XIX en la fabrica para los apoyos continuos, tanto como elemento complementario en muros de mampostería, dispuesto en hiladas para lograr uniformidad e igualmente amortiguar y obtener una estructura menos pesada. O como material fundamental, con la integración de ladrillo, en cadenas continuas y angulares, salvando los vanos con platabandas o arcos escarzanos, logrando una importante estructura reordenadora de las cargas y esfuerzos, confinando la unidad portante que hacia la parte de cadenas y castillos elásticos. En estos casos predomino el uso de arcos de medio punto o

5

Nota: Del Director de Obras Publicas y Profesor de *mecánica racional y mecánica aplicada a las Construcciones*, de la Escuela Nacional de Bellas Artes.:

Antonio, Torres-Torija, "*Introducción al Estudio de la Construcción Practica*: México, 1890, Oficina Tipográfica de la Secretaria del Fomento, 140 paginas: 44 - 45

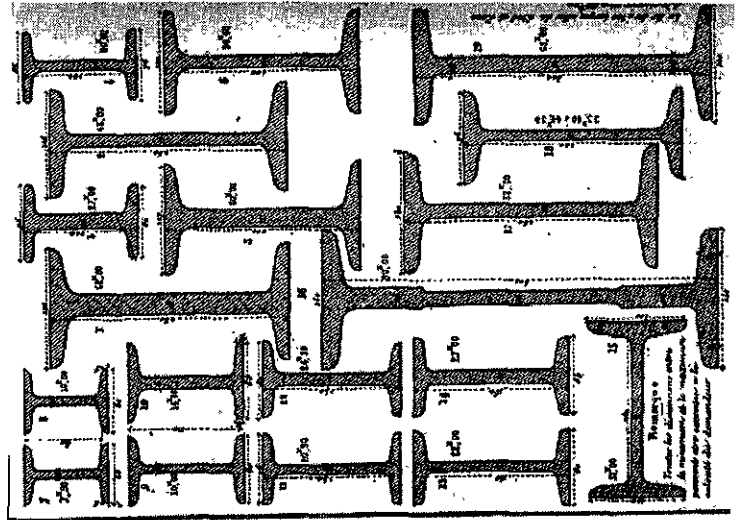
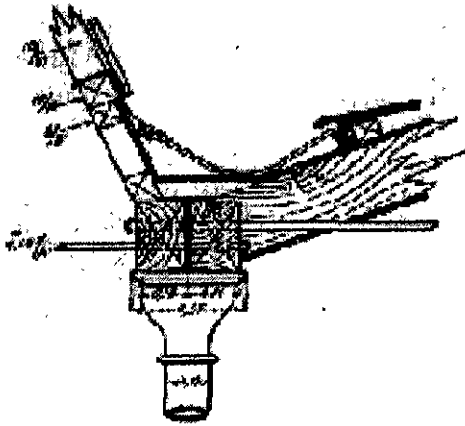
"El beton no es otra cosa que un mortero al cual se le agregan restos de piedras, de tejas, o guijarrones, a medida que se forma la mezcla..

Cuando el beton esta bien hecho adquiere mucha tenacidad y dureza, y tiene la propiedad de endurecer pronto y ser impermeable al agua. La bondad de los *betones* así como de los morteros, depende de muchas causas: 1, la proporción,,, 2, manipulación,,, 3, la macización,,,, 4, la desecación,,, y 5, la influencia del tiempo".

rebajados.

Una derivación de tal material fue la fabricación de bloques de tepetate combinados con morteros integrales a base de cal y cemento, junto con el ladrillo es el material más común para las estructuras de la arquitectura doméstica.

La madera como material tradicional de construcción fue al igual que en la época colonial utilizado tanto en entresijos como en cubiertas, incluso existen algunos ejemplos tardíos construidos al iniciarse el siglo XX, de los cuales se siguieron los mismos principios de orden y disposición.⁶ Las armaduras tienen su máxima expresión como símbolo de la época industrial en el uso de la madera, ya que se utilizaron para substituir las grandes gualdras de madera. Igualmente complementaron en detalles constructivos con armaduras combinadas en barras o secciones de hierro y madera (fig. 3, 4).



Gustave Oslet, 1880, *Carpente en Bois*. pág. 301

(fig. 4) Gustave Oslet, 1880, *Cours de Construction*, pág. 340

Como aporte del siglo XIX, presento la edificación de cubiertas resueltas con armaduras de madera o metálicas, procurando salvar claros mayores de nueve metros, preferentemente para estaciones de carga y andenes, al igual que en talleres, e incluso templos integrados por muros de carga o postes metálicos; este sistema soportan cubiertas ligeras a base de laminas de zinc.

La introducción de estructuras a base de armaduras o elementos continuos resueltos por

⁶ Jean Rondelet, Supplement G. Abel. Blouet, *Traité Theorique et Pratique de L'Art de Batir*. Tome Premiere: París, Libraire de Firmin Didot et Cie. Imprimeurs de L'Istitut, 1881 (Edición), 326 pág. (suplemento del tomo 1) 364 (páginas), LAM.

Nota. Respecto a las cualidades de los materiales Rondelet, muestra la geografía por regiones de los mismos, tomando en cuentas las diferentes tecnologías o procedimientos. Por ejemplo como materiales exóticos en el tema relativo a las maderas nos dice lo siguiente: (Pág. 193).

"Bois de *Campeche*. Bois de Inde, ou Bois de la Jamaïque, il provient d'un grand arbre dont les feuilles ressemblent a celles du laurier ordinaire."

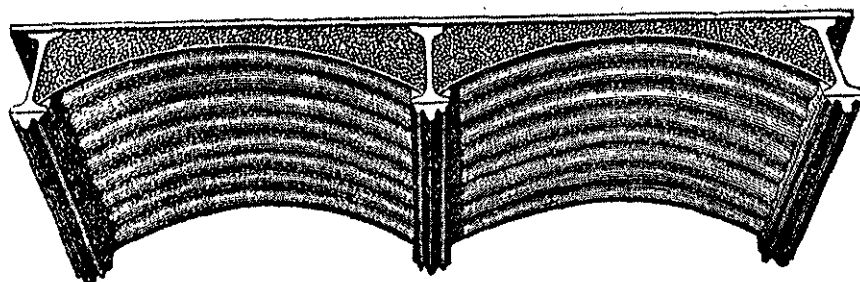
vigas metálicas con apoyo ya fuera por pilares, columnas o postes metálicos o simplemente en muros de carga es en esencia el aporte singular del siglo de la independencia y la construcción de un país. Esto es para mi la mayor diferencia lograda en las formas y procedimientos constructivos del siglo XIX, como de el cambio de materiales aunado el análisis previo de cálculos gráficos o analíticos forman parte de una manera de ejercer las especialidades. Otro mas es que se utilizaron sistemas prefabricados importados desde Europa, especialmente de Francia y Alemania.⁷

Los nuevos materiales:

La construcción de la arquitectura religiosa declino para abrir paso a los nuevos teatros, palacios, estaciones de ferrocarril y demás edificios públicos, sin dejar de impactar en la arquitectura doméstica en todos sus niveles. Es por este periodo edificios religiosos se modificaron, destruyendo o alterando monumentos. Al final del siglo y antes de terminar el periodo porfiriano se reinició la construcción de género de inmuebles novedosos, presentándo las modalidades de la época, en lo que fueron en aquel entonces las nuevas colonias y barrios de la ciudad, con conceptos espaciales propios de una arquitectura innovadora.

Los aportes tecnológicos y los nuevos materiales, hierro, acero estructural y concreto armado, dieron las pautas y alternativas para crear una arquitectura de espacios flexibles y de claros nunca antes logrados, con espesores mínimos en sus elementos estructurales.

En la segunda mitad del siglo XIX prácticamente el hierro substituyo a los envigados de madera. En grandes edificaciones se realizaron por primera vez las estructuras de entramado, recubiertas por elementos de cantera. La bóveda catalana fue un sistema común desde 1878, incluso este procedimiento se implemento en algunos edificios virreinales para substituir cubiertas tradicionales. (imagen 5).



Los grandes claros fueron salvados con estos sistemas experimentados desde la primera parte del siglo XIX con armaduras, tanto estéticamente determinadas, como sistemas de redes de

⁷

Nota (El punto se desarrolla y complementa en el tema de *La configuración estructural*).

vigas de celosía indeterminadas y solo en las iglesias se continuo el ya viejo sistema a base de bóvedas de mampostería realizadas en tezontle y principalmente de arista y con crucero de cúpulas sobre tambor como ejemplos mas comunes.

La manifestación del primer ejemplo logrado en geometría de la construcción, que cumple lo optimo en el diseño al limite del claro máximo se logro en la iglesia de Loreto en la ciudad de México, con el juego de volúmenes que descargan los empujes, logrando una perfección en su geometría la cual *imagina* la composición de carga y descargas hacia las bases encontradas de los muros y fundamentos en una forma perimetral. Dicha cúpula se encuentra inspirada en el cierre, proporción y dimensión de la cúpula de la catedral de México, por parte del célebre arquitecto Manuel Tolsa. La construcción de la iglesia de Loreto, con un rigor neoclásico, también inicia una nueva forma de enfoque de diseño estructural sobre la aplicación del cálculo matemático; persistiendo la manera tradicional con la experiencia de las generaciones anteriores; culmina así un sueño iniciado en México, con la cúpula renacentista de San Bernardino de Siena casi doscientos años antes.

El desarrollo del hierro y acero en la arquitectura fue anticipado al proceso industrial del país, por lo que en aquel tiempo se importaron desde rieles hasta estructuras completas de Europa; no fue sino a principios del presente siglo cuando la fundidora de Monterrey en corto tiempo produce una gran cantidad de hierro y acero, llegando casi a las 20 000 toneladas al mes, con la producción de metal laminado aproximado de 30 000 toneladas en el mismo tiempo.⁸

Con este material se realizan estructuras porticadas de varios niveles, pero en general revestidas con cantería, como es el caso de pilares chapeados o incluso integrando muros con armados integrales. El cambio pareció magnifico a los diseñadores, pue spor primera ves lograron una transparencia en sus espacios, al abror vanos considerables de lado a lado, transformando el diseño arquitectónico. Desde luego que el entendimiento estructural es un artesonado a base de columnas o pilares metálicos, los cualles reciben en continuidad vigas o armaduras sujetas a flexión. Aún asi prevalece la rigidez en los elementos portantes, realizando los grandes vestíbullos de las áreas comunes, tales como teatros, grandes tiendas y almacenes.

Con el desarrollo de puentes y grades claros en la arquitectura, así como la tendencia a realizar mayores alturas en la misma. El ingeniero se dedica al diseño estructural principalmente. haciendose cargo y tomandolo como parte de su profesión, mientras que el arquitecto continua con la preocupación del diseño y tendencias en el uso y manejo de espacios. No deja su labor,

⁸ Apud. Israel, Katsman: (*Op. Cit.*): *Historia de la Arquitectura del Siglo XIX en México*, Vol. I, México, 1980, UNAM.

pues incluso se dan arquitectos la tarea de dominar criterios estructurales y tecnológicos de alto nivel, solo que por primera vez comparte un trabajo multidisciplinario, que lo hace necesario el nivel de especialidades.

Con el hierro y el acero, el desafío es fuerte para los arquitectos, no solo para el diseño arquitectónico y estructural, sino también por actualizarse y situarse en la vanguardia, denotada principalmente por los tratados franceses.

Los proyectos para cubrir grandes claros se llegaron a elaborar con relativa facilidad; no así el la labor edilicia, pues se encontraron fuertes complicaciones, principalmente por el tipo de terrenos; más sin embargo se construyeron bóvedas falsas tanto en el teatro de *Bellas Artes*, como el *Palacio Legislativo*, alcanzando proporciones y efectos nunca antes logrados.

Por lo que respecta al concreto armado; justamente al iniciarse el presente siglo tiene su desarrollo por el gran constructor francés Hennebique en el año de 1901, apoyado por los arquitectos mexicanos se edificaron las primeras estructuras de este material, el cual a finales del siglo pasado carecía de la confianza por considerarlo por parte de los constructores, como un material exclusivamente útil para acabados de gran economía y durabilidad.

A finalizar el siglo XIX la teoría estructural del concreto armado la desarrollo altamente el arquitecto Manuel Torres-Torija, planteando igualmente el la academia de San Carlos sus especificaciones, como procedimientos constructivos. Fue abierto como el material de futuro. Contando con un alto desarrollo y aplicación en la década de los treinta del presente siglo y consquistando todo tipo de obra, desde las artesanales, hasta las edificaciones con alta complejidad en sus soluciones constructivas.

Con el tiempo el concreto armado mostró sus posibilidades y conveniencias como material resistente para el uso de estructuras, la arquitectura "*Art Deco*" tomo dentro de su gama y desarrollo fundamentalmente el concreto mostrándolo aparentemente en muchos casos. Desde luego que el cemento como material activo del concreto tuvo la importancia en forma determinante en el triunfo de este material que para nuestro país marco junto con el hierro y acero una etapa dada la arquitectura monumental. 9

Construcción de la arquitectura por géneros:

Arquitectura doméstica: 10

A).- Rural:

Los asentamientos que ahora se encuentran conuebados propiamente dentro de la ciudad de México como: Tacubaya, San Angel, Coyoacán y Xochimilco, entre los mas importantes presentan dentro de la construcción sus características propias, debidos a sus sitios y lugares donde se ubican las cuales con sus manifestaciones plasman su identidad.

El caso de la zona de Xochimilco, el género de arquitectura doméstica de carácter rural, se encontró representada por la casa de campo, casita, cabaña o jacal, estos ejemplos presentan en general esquemas que tienen origen era remoto e incluso por su urbanística guardan el modelo mesoamericano que corresponde a una zona lacustre, con la edificación al centro del predio sobre una chinampa; por tal motivo fueron sus construcciones estructuras flexibles compuestas de varas y troncos de árbol buscando soluciones ligeras o de menor peso, resultando ejemplos mas sencillos que conservaron el uso del cuarto redondo, mismo que servía para desarrollar todo tipo de actividades, contando con una área adicional de granero, una pequeña granja. Toda la región chinampera, la utilización de materiales son los mismos, a excepción de las edificaciones levantadas sobre terreno firme y desplantadas en las manzanas anexas propiamente el centro urbano. Delimitan los predios con muros medianeros y de apoyos predominando el uso de mamposterías: En las cubiertas, los tapancos de viguerías, morillos o troncos y en algunos casos con bóvedas, tejas, viguerías y bóveda catalana.

Las edificaciones de Xochimilco, a pesar de sus variedad de estructuras (flexibles o pesadas) con muros de carga; por la tipología de su organización en el predio conservan reminiscencias muy locales, ya que cuentan con un partido arquitectónico relacionado con las áreas exteriores de cultivo, granja, comedor o patio porticado y lo que es propiamente la habitación. Este tipo de construcción aunque sencillo, es importante; ya que si consideramos que la mayoría de la población de nuestro país a finales del siglo XIX, aun desarrollaba su vida

arraigada a costumbres rurales y no urbanas como hasta ahora.¹¹

Las formas constructivas en otra población como Coyoacán, San Angel y Tlalpan; la edificación común en sus apoyos fue la tradicional a base de muros de adobe, ladrillo, tepetate y mampostería, acabados a base de aplanados y pintura a la cal, las cubiertas de viguería o bóveda catalana fueron las más comunes. ¹²

A diferencia de Xochimilco, el predominio de muros de materiales diversos y cubiertas de vigas, con los que se desarrollaron en uno a dos niveles.¹³

B).- Casa habitación (unifamiliar):

La edificación de estos géneros fue realizada con los materiales a los ya enunciados, incluyendo materiales industrializados como tabiques o block prensados traídos de Europa o fabricados en el país desde el siglo XIX, como materiales aparentes, con sus respectivos refuerzos y soportando preferentemente entresijos y cubiertas de bóveda catalana o escarzana; sistema constructivo muy común en la ciudad de México hasta el uso del concreto armado en la década de los treinta (siglo XX). Sin embargo, en este tipo de edificaciones continuo el uso de sistemas en vigas. Realizaron con estos sistemas de edificación de uno a tres niveles, la proporción de los muros de carga estaba fundamentada en la experiencia constructiva, así como en los tratados y manuales técnicos de la época.

En estas edificaciones, participan arquitectos, maestros y alarifes, cuyas normas basadas en la practica garantizan: seguridad y durabilidad, la adición de uso de materiales industrializados;

11

Guillermo, Boils: *Las Casas Campesinas en el Porfiriato*, México, 1982, Cultura/SEP, MC, Martin Casillas Ed., 74 p., página 12 - 14 .

"A lo largo del último cuarto del siglo XIX, la sociedad mexicana transcurre bajo una posible apariencia, que en sustancia viene a ser como las dos caras de una misma moneda: Una la porfirista, frente a ellos una masa empobrecida".

12 Victor, José, Moya Rubio: *La Vivienda Indígena en México y en el Mundo*, México, 1982, UNAM, (241 p.), páginas 33 - 34

"La cal en estado natural se encuentra mezclada con otras sustancias como piedra calcárea, creta, mármol o espato calizos, en casi todo el país. Aquí nos referimos a la cal viva, deshidratada, producto de la calcinación de piedras calcáreas, y, a la cal apagada, que se obtiene después de agregarse agua,..... (mientras que sobre los adobes nos dice el autor)."

Los adobes se hacen siguiendo el proceso ancestral que seguramente no ha cambiado desde tiempos precortesianos, pues según el relato que hace Sahagún en su: *Historia de las cosas de la Nueva España*, en aquella época los aborígenes la conocían".

13 Eugene, Raskin: *Arquitectura, su panorama Social, Ético y Económico*, México, 1978, LIMUSA, 203 p., ILUS, página 151:

" En el caso de la arquitectura la verdad básica es la estructura, antes que un edificio sea cualquier cosa debe ser construida. y estén en armonía con las técnicas necesarias para construirlos"

reafirman una tipología estructural a base de muros de carga. 14

C).- Multifamiliar:

Un reflejo del periodo de estudio que trascendió, fue la arquitectura resuelta a principios del siglo XX en multifamiliares. Tiene su mayor representatividad en el paseo de *Bucareli*, con los edificios: *Vizcaya, el Buen Tono y Gaona*. Sin embargo es hasta unos años durante la segunda mitad del siglo XIX, cuando se dieron las pautas intelectuales mismas que permitieron las soluciones estructurales y constructiva para lograr esta clase de edificios. Plasmadas en los tratados y manuales técnicos del *periodo porfiriano*. 15

Estos inmuebles presentaron innovaciones desde sus fundamentos con bóvedas invertidas reforzadas con perfiles metálicos, o simplemente con la ampliación tradicional de las bases de los muros, con viguetas o rieles en forma de trabes de cimentación, de allí partían los gruesos muros de carga integrándose en sus partes bajas a los sótanos, estos recintos tenían varias funciones una de ellas era la de conservar en un estado sano las base de la misma estructura, evitando humedades y al no estar destinados para sitios habitables estos permitían la disposición libre de los muros de carga mismos que eran interrumpidos por pequeños vanos y con un solo acceso.

Para este tipo la estructura consistió en muros, para tratar de disminuir sus espesores y obtener de esta forma construcciones menos pesadas se reforzaron con amarres del mismo material siguiendo el ejemplo de jambas prolongadas formando cadenas ligadas a verdugones, en otros casos el reforzamiento se amplificaba con elementos metálicos a la manera de castillos en los edificios mas altos (cuatro a cinco niveles), desde luego se siguió con la premisa de conservar ejes y muros de mayor dimensión en las partes bajas, pero sin sobrepasar los limites dados hasta la fecha basados en la tradición constructiva. De los paramentos de los muros sobresalían las pilastras que a su vez indicaban la descarga de una viga madrina la que sostenía el entrepiso o

14

Vicente, Martín: *Arquitectura Doméstica de la Ciudad de México, (1895 - 1925) Op. Cit.*, México, 1981, UNAM, pág. 44 - 45.

"La mayoría de las que se conservan, erigidas entre 1895 - 1925, corresponden a una clase social bien definida; pequeña y media burguesía, cuyas viviendas fueron construidas de acuerdo con un plan uniforme que se generalizo como tipo habitat de dichas clases":

15 (Sin nomina de autores): *Instituto Nacional para la Vivienda, INFONAVIT*, México, 1988, Páginas 252 - 252 "En tales páginas aparecen los edificios Gaona y Vizcaya, explicando su "Tipología, Diseño arquitectónico y características constructivas y estructurales".

cubierta de bóveda catalana mientras que en algunos casos se continuaba usando la viguería semejante a las construcciones virreinales. 17

La estructura de la planta baja, y de los pisos siguientes los procedimientos constructivos contienen un orden, tanto en su simetría como en la disposición de los muros. El criterio general de su disminución paulatina en sus secciones es con la tendencia de que en los últimos niveles de construcción sean menos pesados. El problema de la fachada se resolvió de dos formas, una haciendo la misma de semejante espesor en toda su altura, otra que fue común consistente en reducir el paramento al interior de ambas soluciones constructivas. Mientras que Jules Pillet nos presenta los cálculos de estereotomía tradicionales, adicionando la necesidad en la evolución estructural; Julian Guadet nos propone el camino hacia métodos de solución analítica; con exposiciones típicas de la época seguidas por los ingenieros y arquitectos mexicanos de la época; donde presenta los modos de cálculo de empotramientos de los entresijos sobre los respectivos muros de fachada e interiores; al mismo tiempo incorporo la revisión estructural de la estructura de apoyos corridos en todos sus niveles. 18

El trato de los pórticos y cerramientos es resuelto con una pilastra empotrada en el muro y estos en su diseño podrían ser de arcos tanto de medio punto como rebajados simplemente como platabandas aparejadas. A fines del siglo XIX se hizo común el uso combinado del arco y platabanda, fabricandose en cantera o tabicados con refuerzos interiores de rieles empotrados en la línea de impostas. Las cubiertas y entresijos predominantemente se resolvieron con bóvedas escarzanas o catalanas, con rellenos lo mas ligeros posibles, en la parte de pisos un enduelado y en la superior un falso plafón.

La cubierta dependía su solución del diseño ya sea que esta fuera plana o con manzardas, generalmente resueltas con viguetas y bovedillas, ya que la cumbrera en el nivel de las manzardas se terminaban con láminas de zinc y limitando con paramentos las habitaciones mas altas, con sus respectivos vanos resueltos en forma de lucarnas. Por lo que corresponde al sistema constructivo de los techos estos se integraron además del plafón, viguetas y bovedillas con sus respectivos

17

Nota: *Biblioteca Histórica del Palacio de Minería, facultad de Ingeniería de la UNAM.*

Los cortes constructivos de estos edificios corresponden por ejemplo a los presentados en los libros del ya mencionado Paul Planat y de una de sus obras más difundidas: *L' Art de Batir*, esto es lógico pues fue uno de los Tratados llevados a la práctica por se ampliamente consultados tanto por las Escuelas de Ingeniería, como por San Carlos. En donde para acentuar un mayor tono de modernidad entre los arquitectos mexicanos; muy especialmente impacto a labor en cuanto a teoría de la arquitectura el tratado de Julian Guadet.

18 Apud., Jules, Pillet, *Traite de Stereotomie (Charpente et Coupe des Pierres)*, Paris, 1887, Libraire Ch., Delagrave, 176 p. ILUS. Julien, Gaudet, *Elements et Theorie de l'Architecture*, Cours Professe a L'Ecole Nationale et Speciale des Beaux Art, Paris, 1894, Tomo I 663 p., Tomo II 712 p., Tomo III 601.p., Ed., Libraire de la Construction Moderne Aulier Editeurs, ILUS.

rellenos y entortados para terminar con dos capas de enladrillados, con el uso probable de impermeabilizantes industrializados. Estos sistemas estructurales de apoyos corridos son acordes al tipo de terreno, por tener cualidades de gran rigidez sobre un terreno altamente compresible, solo la complicación con el aumento de niveles, con la exigencia de la especialización en la academia de San Carlos y las escuelas de ingeniería fue indispensable el conocimiento y verificación de este género de construcciones cada vez más industrializadas y sofisticadas, por procedimientos venidos de Francia principalmente.

Para otras soluciones de vivienda agrupada ocurre un aspecto similar en el arte de ser construida, con una estructura a base de muros de carga, y con crujiás organizadas en torno a un patio con una a dos plantas, la mayoría de las ocasiones cuenta con un sótano, y cuyos materiales en su cimentación son de mampostería, muros de carga organizados con cadenas lineales y de ángulo, verdugones estos últimos recuerdan en cierta forma una reminiscencia de las jambas prolongadas del siglo XVIII.

La mejor función esta referida a la repartición de cargas como es el absorber esfuerzos accidentales; la unidad estructural se encuentra continuada en los muros por las jambas y con cerramientos escarzanos de medio punto o adintelados en los vanos de puertas y ventanas que funcionan como puntos de esfuerzo y articulación. Los muros fueron fabricados a base de tabiques prensados o combinados con ladrillos de barro recocidos u otro como el tepetate. Ejemplos de las anteriores tipologías, las encontramos en las colonias *Guerrero, Los Arquitectos, San Rafael, Santa María la Rivera*.

Otros edificios :

En edificios dedicados a museos, teatros, oficinas, tiendas y estaciones de ferrocarril, la estructura se fue transformando de tal manera que los procedimientos constructivos, que requerían claros considerables, marcan nuevas tendencias en sus soluciones, siguiendo principalmente los ejemplos extranjeros, como ejemplo de de esta corriente tenemos a la escuela de *Chicago*, de la que se toma la utilidad de postes, armaduras y vigas metálicas. Por tal razón los entramados de acero fueron la solución empleada para los edificios altos, revistiendo con características de los elementos estructurales con chapeos de cantera y reforzando entrejes principales con viguetas metálicas con mayor sección nominal. Mientras que los apoyos variaron columnas y postes formando pórticos, a sistemas combinados completos con muros de carga, de cuyos resultados ejemplos las estaciones de ferrocarril y los talleres industriales o de exposición.

El carácter modernista en la arquitectura generó edificios civiles y religiosos de mayores alturas que propiciados por el uso del concreto armado y el acero, con este criterio estructural se manifiestan, nuevos métodos de cálculo en las primeras décadas del siglo XX.

Arquitectura religiosa :

De este género de inmuebles tenemos los edificados sobre tipologías tradicionales con plantas de cruz latina o griega, de una sola nave o basilicales. En cuanto al uso de materiales y técnicas el uso de bóvedas de pañuelo con cúpula realizados en mampostería se pueden usar de ejemplos. En estas construcciones aparecen los primeros refuerzos metálicos sirven para absorber tensiones siguiendo con el sistema basado en la geometría de la construcción, tenemos la iglesia de la *Sagrada Familia* del arquitecto Manuel Gorospe y la capilla del Panteón Inglés serían las representativas de este sistema. Como ejemplos de las nuevas formas constructivas tenemos la iglesia del *Buen Tono* resuelta en su integridad a base de perfiles metálicos revestidos de cantera y mármol. Es una estructura de entramado con una cubierta que aparenta una bóveda, de la cual columnas o postes pasan continuos ligándose a la cubierta por medio de perfiles curvados hasta llegar nuevamente a la base de otro apoyo. 19

Ejemplos como el estilo *neogótico*, se fundamentaron, tanto en las experiencias constructivas tradicionales, como en los últimos aportes llegaron del extranjero. La capilla de antiguo Panteón Francés, los templos de *San Jorge*, *El Mesías*; solucionan su estructura con perfiles metálicos en forma de nervaduras y vigas armadas de madera, apoyadas sobre arrastres continuos en la corona de los muros y armaduras tipo *art nouveau* y sostenidas sobre pilares de alma de hierro, son ejemplos de esta influencia.

Para este género la nueva modalidad estructural fue la de una estructura portante de muros de carga de gran peso y rigidez con una cubierta ligera y flexible; en sustitución de las pesadas y masivas sostenidas a su vez por sistemas de arcadas que requerían grandes contrafuertes.

La reciente tendencia en la edificación, es realizarla con claros mayores resuelta a base de perfiles armados sujetos a esfuerzos de compresión o tracción, a la mayor brevedad posible, integrando de esta manera un diseño modulado y ordenado, cuyo origen es ya reflejo de la época industrial, con uniones a base de tornillos o remaches y montado en la obra; lo que significa un

19

Apud. Francisco de la Maza: *Arquitectura de los Coros de los Conventos de Monjas*, UNAM, 1969, Investigaciones Estéticas.

Nota: Se refiere a la iglesia del *Buen Tono* como un adfeso del cual se levanta sobre los escombros de otra, la original iglesia del siglo XVII. Tal situación la señala como mediocre y contradictoria, debido al pensamiento de la época que mira hacia los grandes monumentos del periodo colonial.

paso importante hacia la construcción prefabricada.²⁰

La iglesia de Loreto es una obra cuya estructura enteramente neoclásica, pero curiosamente de planta barroca, marca al siglo XIX llamado por los historiadores del arte el siglo de las contradicciones, *con su aporte en la innovación estructural*, logrando la síntesis en la bajada de cargas hacia los apoyos, a través de un equilibrio perfecto en su sistema de apoyos. De planta compuesta por una nave, la cual remata sobre una gran espacio radial, reordenada por muros encontrados, los cuales a su vez limitan en un gran eje de tramo que marca el sotocoro. La riqueza de la composición de la misma se debe a una respuesta estructural la cual recibe los empujes ordenados de la cúpula que corona la misma iglesia. La estructura neoclásica, que algunos autores mas bien dirían que por su planta conserva reminiscencias barrocas dirían algunos autores, encierra los nuevos criterios constructivos fundamentados en los avances de la geometría y mecánica, pero especialmente de una de sus partes, la estática, la admisión de recursos de la resistencia útil del material es la esencia de esta última. (Fig. 6)

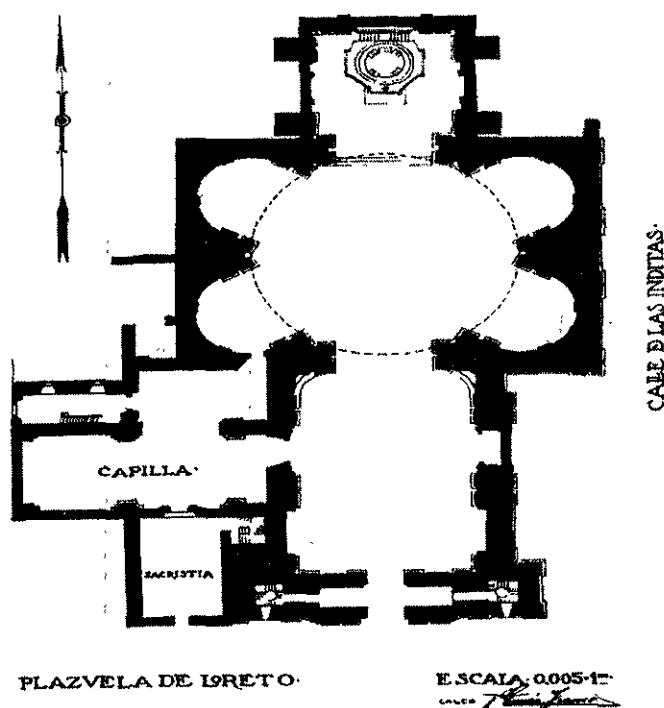


Fig.6, (Dibujo tomado del expediente de la C. N. M. H. del INAH).

20

Apud. Expedientes: Capilla del Antiguo Panteón Francés del arquitecto E. Desormes, Parroquia de la Sagrada Familia (Arq. Manuel Gorospe), en la colonia Roma, Parroquia de los Joséfinos en la colonia Santa María la Rivera, Templo metodista el Mesías: Archivo de la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos del I.N.A.H.

El templo de *Loreto*, diseñado por el arquitecto Ignacio Castera en 1809 y culminada en 1832, va a ser ocupado a 1850 debido a inclinaciones en su estructura, pero que una vez afirmada su estabilidad es abierta al culto. Su planta, para recibir una gran cúpula de tambor cilíndrico, ostenta una serie de absidiolos, cuatro por cada lado, cuyo juego geométrico no es mas que la bajada radial de cargas ordenadamente desde la linternilla hasta llegar a la forma encontrada de pequeñas bóvedas de medio casquete esférico, logrando con esta solución el discurso emanado mas puro de la academia de San Carlos, con la utilidad de la experiencia constructiva la cual emana ella la seguridad estructural, pero al mismo tiempo con la aplicación de las ciencias físicas en su diseño es lo que nos muestra esta obra. 21

En síntesis:

La innovación en la construcción fue la introducción en las estructuras en el siglo XIX, con el requerimiento de claros y alturas mayores. Conservándose preferentemente en los apoyos, los sistemas coloniales con muros de carga; adicionando en las naves centrales, columnas, pilastras.

Las estructuras de armaduras se calcularon por métodos principalmente gráficos, formándose una liga entre la proporción armónica, con los procedimientos actuales los que a su vez se podían verificar numéricamente; debido a una relación que nos recuerda el antiguo lenguaje geométrico, pero con otras consideraciones y principios dados por los estudios realizados en las armaduras, y con la búsqueda de la comprobación de lo ya construido como arcos y bóvedas estáticas, mismos que *modificaron los conceptos clásicos del criterio estructural* de la geometría de la construcción, sin dejar de mantener los fundamentos legados por la historia de la arquitectura y su tecnología, resultando mas que nada otro lenguaje, aparentemente mas científico y por lo tanto mas "práctico" pues nunca se dejaron de reconocer.

El como tratar y resolver la arquitectura en su forma estrictamente clásica resulta en muchos de los casos la aplicación de fórmulas empíricas basadas en la experiencia y o suposiciones o hipótesis diversas de solución para un mismo caso, descritas en los diferentes manuales u tratados del arte de construir en la época final al siglo XIX; con el aprovechamiento en

21

Nota: Este templo Rivera Cambas, le da créditos a los arquitectos Manuel Tolsa y Agustín Paz, con fechas de construcción de 1808 a 1817, con una dedicación en el año de 1832 y reubicación de la imagen de la Virgen de Nuestra Señora de Loreto el año de 1805, sin embargo el Libro de *Registro Público de Monumentos Históricos*, y firmado por el Dr. Efraín Castro Morales, Coordinación Nacional de Monumentos del INAH, como Israel Katzman otorgan los créditos al arquitecto Ignacio Castera.

Apud. Rivera Cambas, *México Artístico y Monumental*, Op. Cit., Vol II, pág. 108, 109, 110, 111 y 112.

Apud. Libro de "*Registro Público de Monumentos Históricos*" y firmado por el Dr. Efraín Castro Morales, Coordinación Nacional de Monumentos del INAH.

la introducción de nuevos materiales y tecnologías importadas desde Europa así como, con la dedicación especial de edificios públicos realizados con el lo destacando el uso de perfiles metálicos. 22

(Sin nomina de autores): *Instituto Nacional para el Fondo de la Vivienda*, INFONAVIT, México, 1988, ILUS, Fotos, 359 páginas, página 228.

"También se trajeron por barco otros materiales de construcción, como ladrillo refractario, estructuras metálicas y otros elementos más., Sin embargo, su utilidad en la vivienda es nula pues estas se aprovecharon en la construcción de de equipamiento de instalaciones industriales. Entre estas estructuras se encuentra la utilizada en el templo principal (Santa Rosalía, Baja California), obra del ingeniero Eiffel"

2 C).- Tratadística en la arquitectura del siglo XIX:

De la experiencia constructiva a los tratados:

En los tratados el lenguaje estructural se transforma dramáticamente, ya que van desde la representación mas pura basada en los ordenes, con sus módulos y proporción armónica, donde la geometría de la construcción era la expresión mas directa del criterio estructural y constructivo. La innovación aparece con el libro especializado que siguiendo los perfiles del tratado tradicional, solo que actualizado con un nuevo idioma: pues este pasa a ser del dominio práctico o geométrico al matemático.

El tratado de arquitectura se ve impactado con tal motivación, las ciencias físicas y matemáticas se expresan en un cúmulo, de leyes, principios, axiomas, teoremas, formulaciones, hasta encontrar su máxima expresión, cuyo fin será la utilidad práctica. Particularmente las expresiones algebraicas, la geometría analítica y el cálculo diferencial e integral, son más que un código, un idioma que explica las leyes universales, con la especialización que rebasa la los métodos cotidianos para la arquitectura y construcción.

Es por esto que, la ingeniería asume un papel importante en el desarrollo de la arquitectura industrial. El lenguaje adquirido es propiamente la exigencia al detalle de procedimientos netamente constructivos, *Gaspar Monge* en Francia propone la geometría descriptiva como una forma de descripción integral, motivada durante la *Revolución Industrial*, y que lo iniciada en Inglaterra.

El desarrollo del análisis estructural, por su naturaleza necesitó de un fuerte apoyo de la experiencia. Esto quiere decir que el inicio de los procedimientos de calculo mas notables de la actualidad por lógica tienen bases bien sólidas en los ordenes de la arquitectura y que al ir evolucionando en documentos históricos especializados, resultaron interesantes tratados, manuales y libros técnicos, cuyo particular idioma tiende a ser de carácter científico, culminando con las matemáticas considerado como lenguaje del siglo XIX.

No solo se basaron y retomaron los modelos presentados en los tratados como Vitruvio o Vignola etc., sino que recreando la relación de proporción y modulación de la arquitectura con lo que se explicaron ampliamente los sistemas constructivos. Por ser propicio un lenguaje clásico cambiante junto con la evolución de la ciencia y tecnología derivados por la preocupación por

conseguir un discurso propio, entre la edificación misma y su estabilidad. Tales antecedentes los podemos observar con mejor claridad, en las consideraciones para columnas de hierro vaciado y que dependiendo desde luego de la relación de su esbeltez. 1

En contraste a este criterio, se abrieron otros caminos, evolucionado sorprendentemente, pero en muchos casos ligadas a datos complejos; y a la abundancia de un mar de textos dedicados al cálculo estructural. Actitud motivada tanto por la gran especialización, como por el desarrollo tecnológico, resultado de ello son libros y reglamentos que son interesantes documentos de un alto nivel matemático, pero completamente alejados de la realización constructiva y del lenguaje más común para el arquitecto.

En cierta forma la geometría analítica y el cálculo diferencial e integral dejaron de ser herramientas de trabajo, alejándose de los metas y objetivos, hecho que se presenta desde la segunda mitad del siglo pasado se venía presentando, de esta forma la genialidad de la arquitectura histórica se desvanece por el olvido, ya que los libros actuales responden a posibilidades aplicadas a la vida moderna. El problema principalmente dedicado a la restauración, urbanismo y tecnología que entre otras especialidades, ciencias y artes, les corresponden integrar a la sociedad, la gran cantidad de monumentos históricos con diversos usos, entendidos muchas veces como edificios mal contruidos, pero con una gran actualidad que por tal razón requieren una reflexión especializada. 2

Los tratados:

La Ilustración se alejo del dogmatismo escolástico y con esto el resultado de la aplicación de las matemáticas a la arquitectura, fue alimentada por las escuelas de minería y de ingeniería militar, y que particularmente para México tuvieron un desarrollo vital para las ciencias con sus aportes a nivel mundial; situación que es poco reconocida en la actualidad. De esta forma se

1 Tal (cita de Creixell). Expresión se encuentra basada en la experiencia constructiva, relacionada con el cálculo matemático, y como el mismo autor indica, su deducción se debe a resultados obtenidos de la experimentación; originada desde Jean Rondelet y continuada por tantos autores y tantos autores de: *tratados de arquitectura y manuales de construcción*, como Nacente, Planat, Reynaud, Rebolledo, Boix, Reuleaux y Pillet, que muestran procedimientos altamente desarrollados y apegados a los principios similares y con la búsqueda de soluciones lo mas prácticas y fáciles de entender.

José, Creixell, *Op. Cit. (E. C.)*, páginas 35 y 36:

"Una fórmula recomendable, empírica para obtener en esta clase de columnas largas el coeficiente de trabajo k' , es la que sigue:

$$k' = 700 / 1 + L^2 / 10\ 000r^2"$$

2 Antón, Capitel,: *Metamorfosis de los Monumentos y la Teoría de la Restauración*, España, 1990, serie Alianza Forma, No. 75, Ed., Alianza, 172 páginas, p. 75

"La sagacidad del arquitecto, que tiene simplemente la posibilidad de conciliar el papel de restaurador, con el del artista encargado de satisfacer necesidades no previsibles. El mejor modo de construir un edificio es encontrar un destino, y satisfacer de tal forma las exigencias del mismo que no haya motivo alguno para otros cambios,"

generan fundamentaciones teóricas apoyadas en la experiencia constructiva, de tal manera y por primera vez el arquitecto en la misma academia de San Carlos tienen diferentes criterios, que se cuestionan para seguir de una manera u otra una formación y ejercicio de la profesión más ingenieril que artística. En cierta forma se presenta una crisis en la enseñanza de la arquitectura. Todo lo anterior se encuentra dado por nuestro devenir histórico, y nuestro bagaje cultural, es decir se manifestó siempre lo que somos como personas o país y lógicamente en cuestión de una respuesta tecnológica y estructural se busca lo mejor para cada caso. 3

Mientras que las tendencias del siglo XIX en el mundo occidental, se deben justamente a un periodo de contradicciones, cambios y crisis; al mismo tiempo presentan sus aportes de nuevas tecnologías y materiales basadas en una total fundamentación científica, que son reflejo de movimientos universales anteriores y que como movimiento humanístico en especial en la arquitectura como un arte, dejan su huella. 4

"La culminación del dominio español justamente se encuentra relacionada con la Ilustración, periodo puntual que señala los inicios de la edad contemporánea, y la búsqueda de la igualdad de los Derechos del hombre; iniciando la cultura neoclásica, la que responde a un pensamiento liberal y científico". 5

El pensamiento del siglo XIX; algunos autores lo destacan como el de la oscuridad e incluso de mal gusto, con esos adefesios desproporcionados, como ejemplos concluyendo en una época sin aportaciones. Es justo y muy importante recordar que al ser un periodo de cambio se

3

Mario, Jesús, Contreras: (Compiladores), *México en el Siglo XX: 1900 - 1913*, Tomo 1, México, 1981, Antologías, Lecturas Universales # 22, 540 páginas, Antonio Caso: *El Problema Social*: p. 524

"Los hombres todos, mexicanos buscamos siempre lo que creemos mejor, y, claro está, tendemos a ensayarlo en nuestros propios asuntos y problemas; pero las condiciones de México hicieron que, como no se había resuelto aún el problema de la conquista. (la unificación de la raza, la homogeneidad en la cultura), el esfuerzo democrático resultara fallido ¿culpa de quien? De nadie; de la fatalidad histórica que nos refirió a la cultura europea desde el Renacimiento y que nos hace venir dando tumbos sobre cada uno de los episodios de nuestra historia atribulada".

4 H., Scholfield, P.: *Teoría de la Proporción en Arquitectura*: España, 1971, Ed., Labor, Colección Biblioteca universitaria Labor, 176 p., ILUS, Fotos. página. 97:

"El colapso de la teoría de la arquitectura durante el Renacimiento y el de la teoría de la proporción que formaba parte de ella, dejó a los arquitectos y constructores en Inglaterra frente al más vasto programa de construcción que el mundo había visto hasta entonces, sin unos principios intelectuales coherentes que les guiaran,...

Su actitud refleja las tendencias científicas del siglo XIX y estaba en oposición con el desastroso y rápido crecimiento de la escisión entre el arte y la ciencia."

5 Apud. José, Luis, Benlliure, Galán: *Cuadernos de Arquitectura*: Op. Cit., INBA, México., 1983.), S. E. P.

Comentarios dentro de los cursos de Historia y Taller de Proyectos en la Escuela Nacional de Arquitectura, (publicado en los Cuadernos de Arquitectura, INBA, México, 1983), 1975, UNAM, en el Taller: *Max Cetto*. de la UNAM. y Julia Cardinali, Seminario, tema: *Antecedentes e ideologías de la arquitectura mexicana en la época colonial*. Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM,

presento con un cierto rompimiento por la nueva ideología quizás fue una contradicción pero al mismo tiempo, ese nuevo criterio del siglo XIX plasmo definitivamente una arquitectura propia de su tiempo, muy especialmente en el periodo del porfirismo, pues este al dirigirse a nuevos caminos mas universales cuenta con una participación ya no solo de España, como lo fue en el periodo virreinal; sino de toda Europa. 6

De los tratados a los libros especializados:

Como sabemos los tratados fueron tanto fundamentos teóricos y técnicos para como documentos ordenadores, así desde Vitruvio en la antigua Roma hasta los tratadistas del periodo moderno cumplieron la función para el que fueron creados en su momento, de esta manera la tratadística fue actualizándose a la par el conocimiento científico y tecnológico, de esta forma los tratados se fueron intelectualizando y especializando acentuándose tal hecho en el renacimiento. Con Diego Sagredo, Sebastian Serlio y Andrea Palladio, se vive y continua esta corriente hasta la llegada del periodo neoclásico, donde se establece a la máxima expresión al detalle, pero aun basada estrictamente en los ordenes de la arquitectura, la puesta en la practica por los arquitectos que se apegaron a ese dogmatismo organizado y dirigido como un camino a seguir al no existir escuelas tales documentos resultaron una herramienta eficaz para los gremios, de este modo se contenían en los mismos proporciones de los elementos arquitectónicos que definían espacios con esa libertad de interpretación para el diseño y formas constructivas, pero con soluciones formales, cerradas y respuestas constructivas profundamente estudiadas por la naciente aplicación de geometría descriptiva a la arquitectura militar y de cuyo ejemplo se tiene la obra de Belidor de

1739. 7

6

Rafael, Lopez, Rangel: *Contribución a la Visión Crítica de la Arquitectura*, México, 1977, Depto. de Investigaciones Arquitectónicas y Urbanísticas U. A. P. 212 p. páginas 66 - 67

Lo peculiar del europeísmo porfiriano es la manera abierta y sincera con que se admira y se introducen el Arte, la Filosofía y las costumbres extranjeras ... (y sobre el cambio y dinámica nos dice el autor, un poca mas adelante). En el curso de los tres primeros cuartos del siglo XIX, y concomitantemente a la afirmación definitiva del capitalismo industrial en Europa, sobre todo en Inglaterra, la región latinoamericana es llamada a una participación mas activa en el en el mercado mundial".

Apud. Vicente, Martín: *Op. Cit.*

Terminología utilizada por el profesor Vicente Martín en su libro ya citado de: *La Arquitectura Doméstica de la Ciudad de México*, *Op. Cit.*, Ed. UNAM, México, 1982, y el cual define perfectamente tipologías de la arquitectura según sus géneros, tendencias, influencias, materiales y tecnologías.

7

Apud. M. Belidor: *La Science des Ingenieurs dans la Conduite des Travaux de Fortification et d' Architecture Civile*, Paris, MDCCXXXIX, De Die au Roy, Livre Premiere, 80 pag, 18 LAm, libre Second, 64 pag., 8 LAM., Livre Troisieme, 96 pag., 10 LAM., Livre Quartieme, 104 pag., 8 LAm, Livre Cinquieme, 80 pag., 8 LAM.,

APUD., José Luis, Benliure Galan, Max, Cetto; *Cursos del Seminario de Taller de Proyectos*, Taller Cinco: Max Cetto, 1974, de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, y publicado en los *Cuadernos de Arquitectura* de INBA, (publicado por el INBA), México, 1983..

La geometría al ser desarrollada y depurada en nuevos lenguajes (descriptiva y analítica), forman otro horizonte que influye a la arquitectura por tanto sus problemas teóricos y constructivos, están ligados a las matemáticas llegaron a ser una nueva forma en la comunicación, con otro código o idioma que se encuentra unido al avance tecnológico y es aprovechado por la arquitectura como un arte libre que se abre a las nuevas posibilidades y formas de vida puesta de manifiesto a fines del siglo XIX en Francia, con lo que motiva la búsqueda de otras respuestas en la formación y ejercicio de la profesión. ⁸

Para su tiempo en los mismos libros se habían logrado como únicos documentos rectores en el diseño y arte de construir, cuya manera clásica de presentarse es el hombre y sus dimensiones con un modulo universal, con respecto al edificio fundaba su analogía, y su razón de ser, en los ordenes en su construcción y estática, es como que a partir de la columna se presenta el elemento rector de la arquitectura y por lo tanto de su espacio. Es una expresión llena de cualidades y significados en lo que respecta a proporción y armonía en el orden del cosmos, con lo anteriormente expuesto no se pretende disminuir al tratado sino acentuar su importancia y más que ello se necesitaban además de los mismos, publicaciones especializadas o escritas por ramas de enseñanza como los exigía la época, que para el siglo XIX el descubrir o entender la naturaleza y por lo tanto al universo en una forma enumerarla y clasificarla, la búsqueda de otra respuesta que no fuera del tratado y / o manuales.

Destacan importantes publicaciones, pensadas como grandes tratados de los cuales son fundamentales aportaciones científicas; tales son las obras de Jean Rondelet: *Traité Theorique et Pratique de l'Art de Batir* de 1881 (cuya primera publicación corresponde al año de 1802) obra fundamental ampliamente mencionada; de Leonce Reynaud: *Traite d'Architecture, Art de Batir* de 1875, Georges de Tubeuf: *Traite d'Architecture Theorique et Pratique* de 1880, y un libro citado por los especialistas de estabilidad de M. Navier titulado: *Resume des Leçons de Mécanique Donnes á L'Ecole Polytechnique* fechado en 1841; y de Paul Planat (1839 - 1909): *l'Art de Batir* desarrollado en cinco tomos. Este ultimo autor es el organizador de una de las primeras enciclopedias de la arquitectura, realizada unos cuantos años antes de su famoso Tratado, la cual se titulo: *Encyclopedie de L'Architecture et de la Construction* de 1877; una obra que merece particular atención la de M. Dupuit: *Traite de L'Equilibre des Voutes et de la Construction des*

⁸ G. M. Lamé: *Leçons sur la Théorie Mathématique de L'Elasticité des Corps Solides*, France, 1852, Paris, Bachelier, Imprimeur - Libraire, 335 p. ILUS. página 332.

"Les géomètres, préoccupés par l'immense travail nécessaire pour compléter la découverte de Newton, habitués à trouver l'explication mathématique des tous les phénomènes célestes dans le principe de la pesanteur universelle."

Ponts, publicados en 1870. Citadas ampliamente por autores mismo que lo igualan a la talla de Navier y Rondelet, conocidas y aplicadas sus fórmulas en la academia de San Carlos y la *Escuela de minería*. 9

La aparición de tratados con rigor científico, de Jean Batiste Rondelet, Leonce Reynaud, Paul Planat, Jules Pillet y Julien Guadet se presentan de una forma totalmente sistematizada con una exposición en el orden de las partes o temas, es decir de contener una modalidad sistemática y práctica, con detalles de soluciones reales, describiendo cualidades de materiales, con una ventana que muestra de estudio de los programas y proyectos de edificios tipo, según su genero, apareciendo la "composición" o diseño. El tratado cambia a ser matemático y constructivo, presentando por primera vez el comportamiento interno de los materiales y elementos con sus secciones fundamentales, prescindiendo del orden arquitectónico, pero al mismo tiempo lo presentandolo como algo universal, es decir ya conocido, sumando lo anterior se expone y se hace a fondo una explicación del arte de construir, mostrando una intención de llegar a la exactitud y lógica, mientras que los ordenes clásicos de la arquitectura ya tienen una visión histórica diferentemente interpretada; zonificandose dentro del conocimiento los nuevos materiales (hierro y concreto), a los que se incluye el terreno sustentante, y se exige por lo tanto una presentación de tablas de secciones, pesos adherencias.

El *Traite Theorique et Pratique de l'Art de Batir* del mismo Rondelet es uno de los trabajos mas citados dentro de las obras a lo largo del siglo XIX y principios del presente; que lo hace tener una vigencia de mas de cien años corresponde al producto intelectual del racionalismo del siglo XVIII, como lo cita Leonardo Benévolo lo que la hace una obra actual y por lo tanto clásica dentro de los libros especializados y tratados de arquitectura. 10

En esencia de múltiples citas el autor reconoce y demuestra la importancia de *Vitruvio*

9

E. D., Boix; *Estabilidad de las Construcciones de Mampostería*: Madrid, España, 1892, Ed. Establecimiento Tipográfico, de Gregorio Juste, 649 páginas, ILUS. página 336:

"Entre todas las Teorías la más racional y próxima a la realidad de los hechos prácticos, es debida a M. Dupuit, en su obra publicada en 1870: *Traité de L'Equilibre des voutes et de la Construction des Ponts*".

Vease: En el apartado de: Bibliografía: Literatura consultada por temas: *Biblioteca Histórica del Palacio de Minería de la Facultad de Ingeniería. UNAM*, durante los años: 1991- 1994.

10 Jean, Rondelet: *Traite Theorique et Pratique de l'Art de Batir*, Tomè Premiere, France, 1881, (Ed. Original 1802, Libraire de Firmin - Didot et Cie. Imprimeurs, de L'Institut, Op. Cit., lam. xxij. y xxiv .

"A la suite des cinq ordres d'architecture, la connaissance des monuments antiques commença insensiblement a se repandre; et le gout de la grande architecture se developpa de plus en plus avec elle."(pag. xxij). "c'est aux mathématiciens du siecle qui vient de s'écouler qu'était reservee la gloire d'aborder et de résoudre ces questions difficiles. La theorie des voutes fut le premier objet des recherches de la science, et l'occasion qui se presenta bientot d'en appliquer les resultats a plus grand monument moderne, revela a tous les esprits l'importance des donnes sur lesquelles se fondent les operations de l'art de batir".

como una obra clásica que a pesar de los cambios y desarrollo de la tecnología, en su contenido es una obra actual.

Los tratados de tipo enciclopédico son los que tienen mayor éxito, pues además de contener el estudio clásico de la arquitectura, se integran por libros o volúmenes temáticos perfectamente especializado, presentando la resistencia de materiales y puntualmente mostrando por tipologías procedimientos en postes y vigas, complementados por tablas y atlas de dibujos y detalles de edificación y cálculos por . (fig. 1)

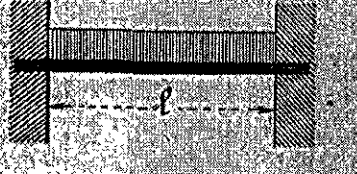
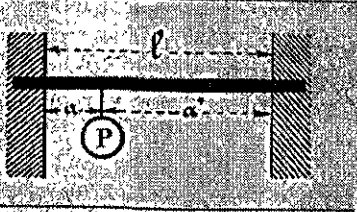

	Les 2 extrémités encastrées. Charge uniformément répartie sur toute la longueur.	$\frac{p \cdot l \times l}{12}$
	Les 2 extrémités encastrées. Une charge concentrée en un point quelconque de la poutre.	Si a plus grand que a' $\frac{P \cdot a \cdot a'^2}{l^2}$ Si a plus grand que a' $\frac{P \cdot a^2 \cdot a'}{l^2}$
	Les 2 extrémités encastrées. Une charge concentrée au milieu de la portée.	$\frac{P \cdot l}{8}$

Fig. 1 del Manual: CROS, RAYMOND
LES GRANDS BAREMES DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE:

Otro tipo de obras con el mismo enfoque de libros de arquitectura e ingeniería; pero ampliamente especializados como: *Elements de Mecanique te de Phisique* de A. Parent, texto que data de 1700 y que marcando los inicios de la teoría moderna del cálculo estructural. El *Traite de la Stabilité des Constructions* de 1864; de Vierendeel, de un título similar: *Stabilité des Constructions* de 1905; de Marva y Mayer, *Mecánica Aplicada a las Construcciones* de 1894; de Boix E.: *Estabilidad de las Construcciones de Mampostería* 1892; y de Jules Pillet: *Traite de Stabilité des Constructions* obra de dos tomos realizada en 1895. 11

Al mismo tiempo, otra serie de publicaciones que son las revistas sobre las exposiciones y adelantos mundiales, que a diferencia de las actuales, son de una literatura especializada a la altura

11

Apud. Nota: Bibliografía: Literatura especializada de la Biblioteca Histórica del Palacio de Minería de la Facultad de Ingeniería, Vease en el apartado de trabajo de consulta realizado en los años de 1991 a 1994.

de grandes libros, la obra dedicada a León Vaudoyer, la cual presentan cortes de armaduras indeterminadas, muy usuales en ese tiempo es un ejemplo de estas. 12

Con la existencia de otras obras como: *La Tour de Trois Cents Metres*, realizada en 1900 por el célebre ingeniero G. Eiffel, donde presenta el cálculo detallado de la famosa torre de París, esta obra se sustentan en teorías de autores como, Navier y desde luego el Maestro Rondelet. 13

Las diferencias en conceptos de formación académica, no solo se dieron en las aulas, sino también en la producción arquitectónica, la cual en forma libre, el diseño surge presentando nuevas alternativas, mientras que para la construcción, se plasma el predominio de edificios de género religioso. Pero también se ve inclinada en la promoción de una nueva arquitectura doméstica, con tendencias variadas en sus esquemas de estilos históricos y eclécticos que buscan desde soluciones regionales hasta cosmopolitas. 14

El desarrollo en la edificación, a finales del siglo XIX tiende a traspasar los sistemas de ordenes de la arquitectura reafirmados desde Vignola; la cual expone los elementos de la gran arquitectura buscando la fidelidad en la proporción expresados gráficamente en dibujos detallados que muestran, a la manera clásica la razón de los tratados, se interpretan buscando otros lenguajes basados en formulas matemáticas que según son mas "*fáciles de entender*" hasta llegar a la manifestación de un manual presentando situaciones un tanto contradictorias pero que tienen un mismo origen, la armonía y proporción expresadas numéricamente mas que del módulo se preocupan de las secciones, hasta llegar a la contraposición de los manuales dedicados únicamente a tablas que presentan espesores, por ejemplo de bóvedas, con métodos y soluciones por elementos de armaduras vigas postes que cada vez mas se alejan del lenguaje practico y clásico del tratado tradicional.

12

Apud. León, Vaudoyer,: *Revue Générale L'Architecture et des Travaux Publics*, France, 1873, Vol. XXX, (págs.) 29 - 30, 37 - 38. (detalles constructivos de armaduras indeterminadas).

13 Vease: Gustave. Eiffel: *La Tour des Trois Cents Metres, Op., Cit.*, France, 1890, Ilus.,

(En tal obra se presenta el Libro de fabrica de la misma, incluyendo los criterios de diseño estructural y de construcción de la misma a torre; en el Apéndice del presente trabajo, muestra los elementos, fundamentos y principios del diseño de la torre.

14 Nota: Israel Katzman, afirma que las tendencias en las construcción favorecen a la arquitectura civil. principalmente a la construcción de edificios de gobierno y casas habitación, sin envargo Ramón Vargas, sitúa las tendencias en el crecimiento es hacia la construcción de templos; ambos autores están en lo cierto, lo que más bien, podemos decir que el primero sitúa su explicación en el ejercicio neto de la labor edilicia, mientras que el segundo en el ejercicio propio de la profesión de arquitecto, plasmada en los grandes monumentos religiosos, Apud. Israel, Katzman: *Historia de la Arquitectura del Siglo XIX en México, (Op. Cit.)* Vol. I, Ed. UNAM, México, 1980. y Ramón, Vargas: *Historia de la Teoría de la Arquitectura del Porfirismo, Op, Cit*, México, 1989, 221 p. U, A, M.

Se agregaron a cambio experiencias novedosas como la bajada de cargas y esfuerzos de deformación producida por diferentes acciones de esfuerzos, sistemas de fuerzas, reacciones y resultantes buscando el equilibrio de un conjunto u orden. Se estudian también propiedades de las secciones, presentando los fundamentos de la estabilidad como ciencias nuevas para la tecnología constructiva teniendo a una afinación y síntesis del conocimiento de la arquitectura histórica. Se presentan diversas hipótesis de soluciones de arcos, bóvedas y entramados que finalmente llegan a la aplicación de la mecánica con sus métodos debidos al desarrollo científico, apoyados en el cambio generado por la disposición tecnológica, considerando hipótesis en soluciones de procedimientos dedicados para elementos constructivos universales y estandarizados buscando métodos simplificados tendientes a generar obras de arquitectura con un espíritu meramente científico, así el siglo XIX muestra varias geometrías que no son de aproximación sino de exactitud cuyo camino es la verdad en el hacer constructivo de la arquitectura, todo esto debido a las aportaciones resultado de la forma de pensar de la época que influyo posteriormente en el siglo XX.¹⁵

Estudios y publicaciones especializadas:

Junto con los estudios de otras ciencias que buscan respuestas del universo y de la misma naturaleza, encuentran a través de la geometría analítica y el cálculo diferencial e integral un espacio para la explicación y comprobación de sistemas estructurales.¹⁶

La existencia de documentos que motivaron el cambio en los tratados clásicos, son los libros especializados dados a conocer en los inicios del siglo XVIII; los cuales explican sobre puntos específicos una nueva lectura moderna exacta y por lo tanto necesaria para la labor de la enseñanza, así como de la misma ejecución constructiva; el libro publicado en 1700 titulado en francés "*Elements de Mecanique et Physique*" de A. Parent, con sus estudios basados en la geometría y la estática explica los fenómenos de las fuerzas que actúan sobre cuerpos cualesquiera, resultando una nueva herramienta para el estudio estructural de la arquitectura se introducen a las ciencias de la ingeniería, como Joseph Claudel que da a conocer en sus múltiples obras. Sumado a este aspecto el estudio de nuevos materiales como los metálicos que desde

15

Christian, Norber Shulz.: *Existencia, Espacio y Arquitectura*, España, 1975, Editorial Blume, 250 paginas, ILUS., Fotos., p. 10

"La idea de que la geometría euclidiana da una representación fidedigna del espacio físico se vino abajo con la creación de las geometrías no euclidianas, en el siglo XIX y con la teoría de la relatividad."

16 Apud. *Biblioteca Historica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.*, Bibliografía consultada desde 1990 a 1994, en donde se localizaron y consultaron documentos históricos especializados, como el libro de A. J. Paren fechado en 1700. y que era la fuente de consulta de los alumnos de ingeniería y arquitectura de la misma universidad de México. (como lo es para la investigación actual).

finales del siglo XVIII ofrecían grandes posibilidades por sus cualidades de gran resistencia. 17

Antecedentes directos de los tratados ordenados con el criterio moderno de libro especializado, aparecieron en el siglo XVIII como: el libro de Agustín D'Aviler, con su obra: *Cours d'Architecture, Art de Batir* de 1760 donde se conjugan los órdenes clásicos con las tecnologías aplicables. Aquino da Carolo quien ampliamente cita a Vitruvio escribió en 1734; su libro en latín titulado: *Vocabularium, Architecturae, Aedificatoriae*; en forma de diccionario donde pone las pautas para tratados posteriores como los de Viollet-Le-Duc, y particularmente una obra que abre el nuevo camino de la arquitectura y la ciencia de la construcción es la de M. Belidor titulado: *La Science des Ingenieurs dans la Conduite des Travaux de Fortification et d'Architecture Civile*, realizado en 1739, con seis libros, contiene la presentación de análisis matemáticos y constructivos sobre bóvedas, muros, etc; presentando los órdenes clásicos pero hace un particular énfasis a los detalles constructivos y estructurales, curiosamente no cita a los anteriores tratadistas, por su planteamiento los debió de conocer a la perfección; los órdenes los muestra en su forma más pura; es decir basándose en los modelos de las columnas y entablamentos de monumentos griegos y romanos.

Es evidente que en los tratados de arquitectura, su principal objetivo sea la enseñanza y en la práctica de la construcción resultan fundamentales ya que son de apoyo para su correcta aplicación, sin embargo, en innumerables ocasiones se han mal interpretado la existencia de los mismos en el siglo XIX tras de ser sustentados por el pensamiento positivista, recopilador y organizador del conocimiento humano hasta entonces, cayeron en dogmas o reglas. Los auténticos tratados nunca dejaron de abrirse a toda creatividad, pues no se presentaron nunca como revistas de moda.¹⁸

La tratadística del siglo XIX contiene un estudio completo de la arquitectura histórica, con

17

A., Parent: *Elements de Mechanique et de Physique; Où l'on donne geometriquement les principes du choc, de équilibres entre toutes fortes des corps*, France, MVCC, (1700), par M. de l'Academie ROYALE des Sciences a Paris, Chez Florentin et Pierre Delauline, 449 p. ILUS.,

"Si deux corps se choquent avec équilibre, étant de matieres homogenes, a de figures semblables, il arrivera la meme chose à l'égard de chacun, que s'avoit choqué un obstacle né branlable; a de meme lorsqu' étant de matieres heterogenes l'un en pourra font dé truire la figure de l'autre par le choc.. ,,,

Proportion des ponds des colomnes de l'air avec le rapport des progressions geometriques, arithmetiques a harmoniques."

18 George, Kubler: *Op. Cit.*: (pág. 109)

"Se ha observado que el aprendizaje de técnicas y métodos arquitectónicos a través de obras escritas propicia una arquitectura que tiende al conformismo y cuyas normas y cánones permanecen sin modificaciones, siendo las observaciones de la norma establecida relativamente escasas. Sin embargo, la proliferación escrita de cánones arquitectónicos excluyentes lleva a su anulación colectiva. Teóricos y practicantes regresan los estudios fundamentales y a reconsiderar el diseño arquitectónico en términos de las necesidades humanas"

la explicación metódica del arte de construir y sus tipologías en las edificaciones, de tal forma que tales libros sean utilizados con criterio combinandolos los motivos arquitectónicos con libertad mas que como un recetario. A la vez la restauración, aparece como una respuesta al estudio de los mismos (monumentos); de una manera filosófica la arquitectura como una de las artes que requieren fundamentos científicos como tal se presentan textos con temáticas desarrolladas en tablas o manuales, con secciones primordiales como lo son las del cálculo analítico con los sistemas de la construcción. Mientras que el diseño llamado el arte de la composición figura exhibiendolo a través de esquemas de plantas tipo; reconociendo los lenguajes clásicos dados por los ordenes y ampliamente documentado en los estudios publicados.

A fines del siglo XIX son aceptadas las ideas de Viollet-le-Duc en la academia de San Carlos, reafirmando al dogmatismo escolástico nuevas perspectivas, tanto de la enseñanza de la arquitectura como de la práctica de la construcción.¹⁹

Los estudios en el siglo XIX son como el modelo en la comprobación científica actualizada y puesta en práctica de la estabilidad de la construcción; por esta razón al igual que los tratados clásicos son documentos fundamentales de análisis; tanto para la enseñanza de la arquitectura como para la labor práctica de la edificación, A diferencia de su sorprendente y casi desaparición en el siglo XX, motivada por la búsqueda de nuevos horizontes en la arquitectura. Con la presentación por materias debida a la alta especialización, desarticuladas en cierta medida del diseño arquitectónico e integral y mas que nada a la falta de comprensión en los objetivos de las mismas publicaciones, ya que en muchas ocasiones fueron interpretados como simples abecedarios o recetarios anunciabando aspectos repetitivos y formales de la arquitectura con una exclusiva de monumentos históricos de Grecia y Roma, culminando con la crisis de su propia didáctica. Tales apreciaciones son delicadas y relativas, pues la labor intelectual de la arquitectura a continuado a lo largo del presente siglo y nuevamente ha surgido la importancia de los tratados como documentos fundamentales de análisis para la arquitectura y su especialización.

Estudios publicados en el siglo XIX son un conjunto de exactitudes de modelos constructivos donde se explica el sistema edificatorio con la precisión matemática de "*la unidad estructural*", de juntas rígidas con momentos de empotramiento, gestandose así los fundamentos de la teoría elástica; con sus formas de trabajo por elementos arquitectónicos, apuntando las

19

Israel, Katzman: *Arquitectura del Siglo XIX, OP. CIT.* página 129:

"Indudablemente que las publicaciones francesas sobre arquitectura en el siglo XIX fueron bien conocidas en México; existían no sólo en las bibliotecas públicas, como la academia de San Carlos, sino en la biblioteca particular de cada arquitecto".

cualidades experimentadas en los materiales, mediante la explicación detallada resuelve analíticamente por diversos caminos ejemplos tipificados que a partir de las hipótesis planteadas llegan a soluciones. Inicialmente tales procedimientos fueron de lo más sencillo situándose en la suposición y tanteos que como gran acervo se respaldará siempre de la experiencia constructiva, poco a poco y a la par descubrimientos dados por las experiencias en laboratorios fuertemente influenciados por ciencias como la física y la química, ampliando la maduración en la teoría estructural. 20

Los tratados como fundamento, contienen la explicación de conocimientos de la proporción armónica de los ordenes de la arquitectura, acompañados con explicaciones profundas del arte de la edificación y de tales se originan nuevos universos. La experimentación en métodos gráficos y analíticos trae consigo dos ámbitos o lenguajes, fundamentados en la geometría: *descriptiva y analítica*.

Si meditamos al respecto esto es trascendente, pues que mejor que al igual de los ordenes de la arquitectura representar las formas de revisión dibujadas con la precisión que requiere el dibujo arquitectónico. De esta corriente se presentaron publicaciones completas e incluso en los tratados dedicados con estudios matemáticos se mostraron apartados con ejemplos típicos según fuera el caso y curiosamente expuestos de ante mano al estudio numérico, esto se dio para hacer del método gráfico una herramienta previa que hiciera fácil el entendimiento tanto del trabajo estructural como del análisis definitivo. 21 (fig. 2 y 3)

Autores, como Villanueva Batrina, Paul Planat e incluso *Eiffel*, hacen notar que para el estudio de armaduras y varias clases de pórticos, prevalece el cálculo gráfico; para cúpulas, de bóvedas, arcos, contrafuertes y muros de contención, que se encuentran más cercanos a la realidad

20

José, Marva y Mayer: *Mecánica Aplicada a las Construcciones*, Madrid, 1884, Litografía de Julian Palacios, 2a. Ed. 1336 p., p. 17 .

Las construcciones no pueden ser de una sola pieza, sino que se componen de partes enlazadas, según los preceptos de la estereotomía, tal sucede en una bóveda, que se compone de devedas, con un muro formado de sillares o un entramado de madera o hierro, ... "

Sumando lo anterior sobre el pensamiento científico del siglo XIX:

Gastón, Bachelard, *Op. Cit.*, página 55 :

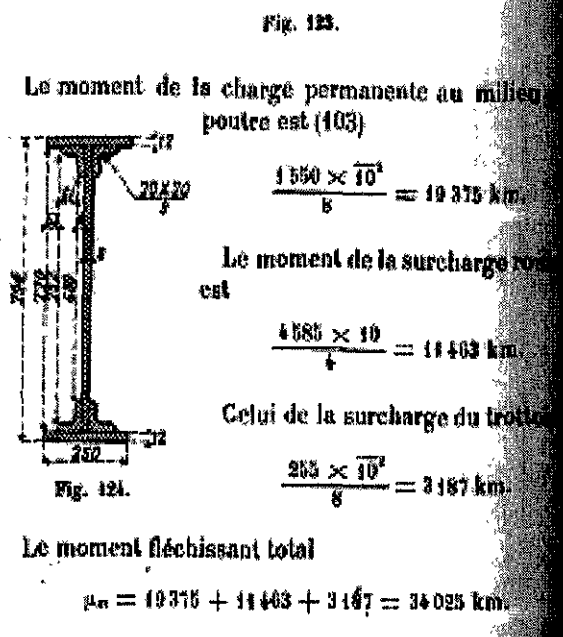
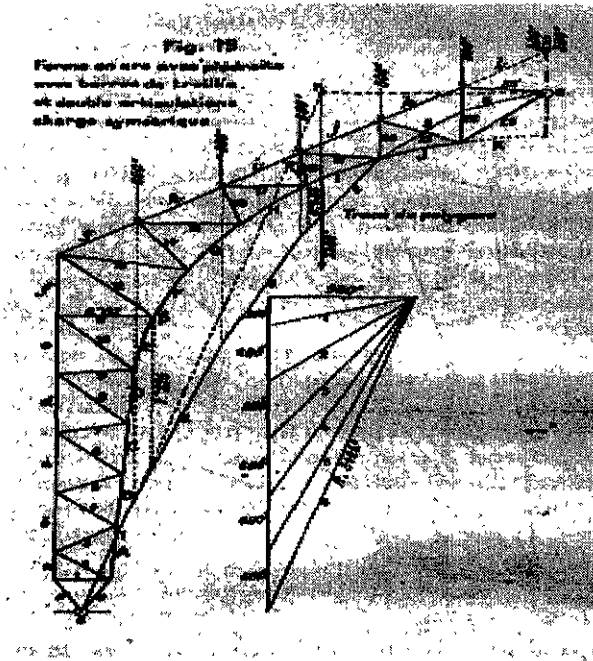
"En el siglo XIX todos los historiadores de la química se han complacido en reconocer el furor experimental de los alquimistas; han rendido homenaje a algunos de sus descubrimientos positivos; han mostrado finalmente que la química moderna ha surgido lentamente en los laboratorios..."

21 Paul, Planat, *Op. Cit.* Tomo Cuatro, France, (1875 - 1890), página 174 :

"Dans la pratique de la Mécanique appliquée a été exposé la théorie exacte dont on doit faire usage en pareil cas, ainsi que, la manière, relativement simple, dont on peut en traduire les résultats au moyen de procédés graphiques"...

Apud.: Claudio, Castro: "*Apuntes de Estabilidad de las Construcciones*" (documento Original) tomados por los Alumnos G. Bazan, C., Gayo y E. Montero 1910, Biblioteca Histórica del Palacio de Minería, Facultad de Ingeniería de la UNAM., p. 233.

constructiva, se utiliza el cálculo numérico al mismo tiempo no se requieren procedimientos complicados y laboriosos. 22



Imágenes de Paul Planat (1875), Tomo IV y Jean novat (1903), pág. 372. (fig. 2 y 3)

La escuela francesa es la que tiene la pauta en el siglo XIX, en el desarrollo teórico y científico de la arquitectura incluso asume y reconoce de una forma universal los estudios logrados en Alemania e Italia. En Francia donde se dan cita grandes exposiciones de carácter tecnológico, mismas que propician el desarrollo de la arquitectura metálica industrial, poniendo en ejecución las grandes obras, cuya explicación se encuentra en los textos antes mencionados. Así no solo el citado Paul Planat; sino grandes autores como Jules Pillet, Reynnaud, Rondelet, Navier entre tantos otros el célebre ingeniero Eiffel, con cálculos dedicados desde pequeños elementos estructurales a grandes edificaciones como la torre de París muestran el criterio de diseño estructural que ha generado los actuales conceptos. 23

22

Apud. Luis, Villanueva, Batrina: *Consideraciones Acerca del Comportamiento Mecánico de los Arcos Pétreos*, España, 1965 ILUS, Fotografías, 195 p.

Vease: Apéndice: Gustave Eiffel.: *La Tour de Trois Cents Metres, Op. Cit.*, France, MDCCC, 368 p. ILUS, 14 LAM., Imprimeries Lemercier.

23

Nota: Análisis dinámico y estático por secciones, con las determinaciones de construcción de la Torre Eiffel; en el Apéndice correspondiente:

Apéndice: Gustave, Eiffel: *La Tour de Trois Cents Metres, Op. Cit.*, France, MDCCC, 368 p. ILUS, 14 LAM., Imprimeries Lemercier.

Apud. Pedro, M. Castro, Rodrigo.: *Estática Gráfica*, Ed. Ceac, España, Barcelona, 1969, 115 páginas. ILUS.

Apud., Enrique, Panseri.: *Curso de Estática Elemental.* Argentina, 1961, Ediciones Sudamericanas, ILUS, 306 p.

Con el estudio de los libros de arquitectura el camino se hace mas fecundo pero tornando un tanto árido y ambiguo, debido a la necesidad que implica la aplicación del análisis matemático de edificios ya construidos, se hace patente los que ofrecen mayores dificultades de solución, como lo son los de grandes bóvedas y precisamente San Pedro de Roma inicia el debate sobre su explicación dentro de la lógica del lenguaje de moda. Por este periodo la crisis de la enseñanza de la arquitectura se presenta en diferentes escuelas de artes, ejemplo de ello es México con la Escuela Nacional de Bellas Artes de San Carlos. que a través de una fuerte influencia europea especialmente de la *L'Ecole des Beaux Arts de París*, se abren nuevos caminos en el arte de la construcción. 24

El estudio especializado en México:

Lorenzo de la Hidalga a mediados del siglo XIX presento estudios que evolucionaron el análisis estructural, actualizando los procedimientos de cálculo; ya aún por ese tiempo se consideraba que lo estable era lo más pesado. Es decir que para la aplicación de los métodos matemáticos se dieron diferentes etapas de desarrollo, tanto de los primeros fundamentos de la estática, hasta las teorías de la elasticidad que culminaron con el diseño de vigas continuas y marcos rígidos; este tipo de estudio correspondió no sólo a la ideología de la época, sino también a su desarrollo económico e industrial del país.

Con el diseño integral (arquitectónico y estructural) de la cúpula de Santa Teresa la Antigua, marca en México, el inicio del análisis matemático, aplicado a las edificaciones.

En substitución de la visión exclusivamente por geometría de la construcción, demostrando hasta la fecha mayor eficiencia en la resistencia a sismo que la cúpula original, destruida por el fuerte temblor de 1846.

El arquitecto mencionado en el párrafo anterior, destaco por su gran obra dejando prácticamente una escuela; su obra con el libro: "*Paralelo de las Penitenciarias*" trabajo publicado en 1850, nos muestra sus ideas de *programa arquitectónico y proyecto*, mismo que cita Israel Katzman. 25³

8

Enrico, Tedeschi,: *Teoría de la Arquitectura*, Argentina, 1977, Ed. Nueva Visión, 311 p. Página 16:

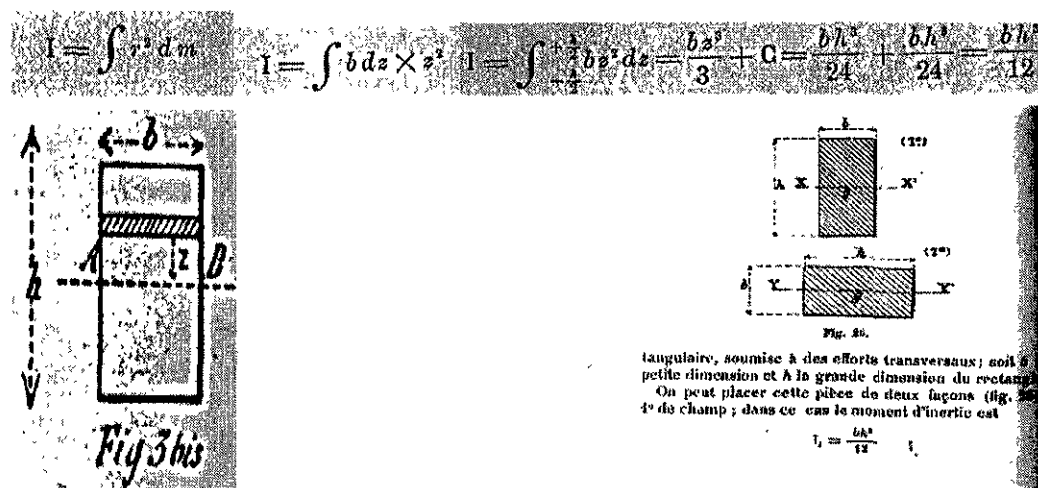
"No debe olvidarse que en el siglo XVIII se creo una institución de enseñanza que debía, aunque indirectamente, hacer sentir su influencia en el futuro camino de la arquitectura. Aludo a la escuela de ingenieros. Fue creada inicialmente por una escuela puramente técnica, con una especialización dirigida a la construcción de puentes y caminos: pero el progreso que se manifestó en el siglo XIX en los distintos sectores de la técnica atrajo poco a poco a su ámbito a todas las ramas de la construcción"

25 Apud. Israel, Katzman: *Historia de la Arquitectura del Siglo XIX en México*, (*Op. Cit.*) Vol. I, Ed. UNAM, México, 1980.

El ingeniero Antonio Torres-Torija, presenta la importancia de la aplicación matemática para la arquitectura, en su curso de mecánica racional y aplicada en la academia de *San Carlos* (1894) señalando: "*Sus teorías con más lógica y método*", a comparación los sistemas y soluciones gráficas que a su forma de ver no son sino útiles para los: *Avant-projets*, es decir para dimensionamientos previos.

En un principio el hijo del ingeniero: El arquitecto Manuel Torres-Torija, continuo la labor de su padre de una manera más ambiciosa, ya que presento las primeras bases en la academia de San Carlos sobre las teorías de la arquitectura, abarcando desde aspectos del urbanismo hasta la aplicación del cálculo diferencial e integral para el diseño de estructuras. 26

Los Torres-Torija, respectivamente; escribieron tres obras importantes: "*El Desarrollo de Cálculos del curso de Construcción*" de 1894; cuya respuesta se debe a las importantes anotaciones y aportes del investigador y arquitecto frances: *N. DE Vos*, cuyo nombre aparece en el libro incompleto. En el se presentan los cursos desarrollados durante los años 1864 a 1874 en la academia de París; presentando importantes comentarios al respecto y con ejemplos prácticos para el desarrollo de cálculos en la construcción. La segunda obra se tituló "*Introducción al Estudio de la Construcción Práctica*" de 1895, la cual es una continuidad de la anterior, solo que se introduce, como su nombre lo indica en los materiales y procedimientos constructivos, con un amplio apego al cálculo y criterio estructural. Un fragmento de la obra citada es el dedicado a determinar el momento de inercia de una sección rectangular (fig. 4 y 5).



Antonio Torres-Torija (1894) *Op. Cit.*, fig. 4, (pág. 19 - 20)

Jean Novat *Op. Cit.* (1903) fig. 5.

Poco después continúan su obra con un libro dedicado a su famosa síntesis profesional: "*Teoría Científica del Arte*". Obra que trata de responder al porqué de la arquitectura y su razón de ser. Es la primera disertación entre la necesidad de una teoría de la arquitectura y su relación con los fundamentos científicos del cálculo estructural y la tecnología. Entre otros artículos relacionados con el tema, publican en el año de 1912: "*El Cemento Armado*". Ambos profesionales muestran su mayor labor intelectual a partir de 1894; su obra escrita es en la actualidad una importante documentación histórica de gran significado; porque nos muestra la manera de pensar del momento e indudablemente, son los fundamentales de la enseñanza del cálculo analítico en las estructuras y la teoría de la arquitectura en la academia de San Carlos. 27

El ingeniero Manuel Rebolledo que destacó con publicaciones y conferencias, dio a conocer las cualidades del concreto armado; colaboró estrechamente con el famoso arquitecto francés Hennebique uno de los precursores del "*Beton Arme*".

Otra obra digna de mencionar es aquella que ligo los aspectos de la construcción, estructura y legislación fue: "*Tratado de Legislación de Edificios y Construcciones*", publicado en 1907 y realizado por el arquitecto M. Rincón Miranda.

La obra que define la labor y la razón de ser del arquitecto e ingeniero, y que muestra la ideología de la época porfirista es la del arquitecto Federico Mariscal, publicada en 1929 es la titulada: "*Necesidad de Reglamentar el Ejercicio de la Profesión de Arquitecto*". 28

Los arquitectos Adrián y Mariano Tellez Pizarro que al igual de la generación de los Torres-Torija; nos legaron estudios importantes una de ellas se titula: "*El Arte y La Ciencia*", con la presentación de artículos y un libro dedicado a los fundamentos de las construcciones titulado: "*Las cimentaciones de la ciudad de México y sus problemas*", lo convierte en consulta obligatoria. 29

Jesús Galindo y Villa con su obra: "*Apuntes de Ordenes Clásicos y Composición de Arquitectura*", publicado en 1898, a pesar de que su desenvolvimiento teórico es repetitivo, nos relata el pensamiento y nos sitúa en la época de estudio; pues se basa fielmente en Vitruvio y habla de los ordenes a la manera de Vignola, Serlio, Palladio y Scamozzi, presenta lo que para él son los principios de la composición. Manuel Gargollo y Parra presenta en 1878 su obra: "*Estática de las Bóvedas*", la cual es un resumen de las lecciones orales dadas en los años de 1860 en la *Academia Nacional de San Carlos*, misma que muestra en general el carácter en la enseñanza de la

27

Apud. Manuel y Antonio Torres-Torija, *Op. Cit.*

Profesores de las clases de Mecánica Aplicada a las Construcciones: de la Academia de San Carlos, *Op. Cit.* *Cálculo de los Cursos de Construcción*, de N. de Vos, México, Oficina tipográfica de la Secretaría del Fomento, 294 páginas, ILUIS., 1894, Y comentarios de: Israel Katzman en su obra ya citada de: *Arquitectura del Siglo XIX en México*, Vol. I.

28 Apud., Israel: Katzman: *La Arquitectura del Siglo XIX en México*, *Op. Cit.*, 1973, Ed. UNAM, 24 - 33.

29 Apud. Adrián: Tellez, Pizarro: *Cimientos de los edificios de la Ciudad de México*, México, 1894, 81 páginas, Ilus, Academia de San Carlos y Fundación Científica Alzate.

materia. 30

Particularmente existe una obra significativa e importante que data de 1910, la cual trata de un trabajo directo con letra manuscrita titulada: "*Apuntes de Estabilidad de las Construcciones*"; de las materias impartidas por el profesor ingeniero Claudio Castro y tomadas en la clase por los alumnos Guillermo Bazan, Carlos Gayon y Enrique Montero, es un documento histórico que muestra los criterios tanto de la enseñanza como del diseño estructural, que fueron actuales no solo a principios del presente siglo ya que se fundamenta en autores como Navier, Planat, Rondelet etc, y contiene principalmente los estudios y practicas constructivas vigentes desde la segunda mitad del siglo XIX. 31

Las anteriores publicaciones relacionadas con temas específicos de la arquitectura y sus tecnologías, al igual queda la labor constructiva; son una de tantas demostraciones sobre la labor científica dadas en México, impulsadas por asociaciones civiles, academias y escuelas de la entonces, como comparación del desarrollo de la minería presento sus grandes aportes y avances. Si bien es cierto que la labor intelectual tenía una inclinación hacia las tendencias de la arquitectura europea, especialmente la francesa, también se presentaron estudios y construcciones cuyas aplicaciones son un aporte a nivel local que trasciende el mundial, tal es el caso por ejemplo de las soluciones dadas a las cimentaciones de edificios sobre terrenos altamente compresibles y de naturaleza lacustre. Son aportes científicos y prácticas constructivas demuestran un amplio conocimiento tanto de los aspectos en terrenos especialmente del valle de México y fundaciones como de la aplicación de problemas sísmicos, poco conocidas a un nivel fuera de la cuenca. 32

30

Jesús, Galindo y Villa: *Apuntes de Ordenes Clásicos y Composición de Arquitectura*, México, 1898, Secretaría del Fomento, Sociedad Científica, Antonio Alzate.

31 Apud: Claudio, Castro, *Op. Cit.* 1910,

Tal documento en su original, se encuentra en la Biblioteca Histórica del Palacio de Minería de la UNAM. posteriormente se harán algunos comentarios de los temas que tratan los mismos apuntes.

32

Apud.: Tellez, Pizarro, Adrián: *Cimientos de los Edificios de la Ciudad de México*, 1894, México, Academia de San Carlos, y Fundación científica Alzate, *Op. Cit.* Análisis sobre el desarrollo histórico del México antiguo y sus problemática en las cimentaciones; y al mismo tiempo sobre configuración e impacto urbano en la ciudad de México: Apud. Martín, Vicente, *Arquitectura Doméstica de la Ciudad de México*, (*Op. Cit.*), 1981, Ed. UNAM, p. 12, 15

2 D).-La arquitectura y su metodología estructural:

Antecedentes del análisis estructural:

La observación, el estudio constante y principalmente la práctica constructiva, dejó como resultado criterios y métodos de diseño estructural, basados en la geometría de la construcción. Tales criterios determinaron lineamientos de diseño, con resultados efectivos sin la necesidad de llegar a la exactitud minuciosa del cálculo matemático.

El cambio trascendental del criterio estructural, se presentó con la influencia de los nuevos filósofos y pensadores que a finales del siglo XVIII, los enciclopedistas, como los adelantos científicos, que muestran un nuevo enfoque de resolver nacionalmente y con exactitud los problemas. Paulatinamente el arquitecto comprendió la estructura con una lógica matemática, sin por ello abandonar dentro de la creación el punto de vista de un artista. Este espíritu fue fortalecido en el periodo renacentista el cual dio sus frutos posteriormente, tanto en el campo científico, como en la práctica de la construcción. 1

1 Apud., Alexis, Lemaistre, *L' Ecole des Beaux - Arts*, France, París, 1889, Libraire Firmin - Didot et Cie., 407 p., ILUS. Benévolo, Leonardo, Op. Cit. Historia de la Arquitectura Moderna,

Leonardo Benévolo nos dice a lo largo y en su obra ya citada, sobre el periodo histórico y a grandes rasgos que El Renacimiento como gran antecedente, gestó esta nueva corriente en cierta manera con la obra colosal de Galileo Galilei (1564 - 1642), que sobre el tema introduce "*Una Nueva Ciencia*", y publicada en 1638, cuyo tema básico es la resistencia de los materiales. Leonardo da Vinci (1452 - 1519), presentó uno de los primeros bocetos sobre las estructuras y más adelante Isaac Newton (1642 - 1727), perfecciona el lenguaje matemático, vinculando la geometría tradicional y aprovechando los estudios de Rene Descartes (1596 - 1650), culmina con el inicio de la estática tradicional a finales del siglo XVIII. las propiedades físicas y químicas de los materiales de construcción son determinadas y conocidas para aplicarlas a la estabilidad de las construcciones.

Varios autores como A. J. Francis y Leonardo Benévolo señalan la importancia de la primera práctica de análisis estructural lograda en el periodo 1742 - 1748, con la cúpula de *San Pedro* y posteriormente en la iglesia de *Santa Genoveva* en los años de 1755 y 1770; Jean Rondelet (1743 - 1829).²

Toda la erudición adquirirá de la arquitectura, se debe a la solida enseñanza reordenada y puesta en practica en el siglo XIX, en Europa y especialmente en Francia, cuyos conocimientos tienen sus origenes doscientos años antes.³

Los estudios de mecánica se incorporaron a los centros de estudio de las principales universidades de Europa, consolidandose así las teorías sobre el análisis de estructuras, con aplicaciones de resistencia de materiales, publicadas por Louis-Marie H. Navier (1785 - 1835).⁴

Lagrange, (1736 - 1818) y un poco después, Luis Poisson (1777 - 1859), complementan el procedimiento matemático y al mismo tiempo fundamentan nuevos conceptos gráficos de la estática. Tienen diferentes criterios de enfoque que la anterior rama de estudio basada en la geometría,⁵ cuyo análisis se encuentra motivado sólidamente con *Viollet-le-Duc*, quien a través de la comprensión de las construcciones históricas, lograr plantear un camino la restauración., el cual

2

Jean, Rondelet: *Traite Theorique et Pratique de l'Art de Batir*; Libraire de Firmin - Didot et Cie., Imprimeurs, de L'Institut, Tome Premiere, Paris, France, 1802 (XXIV).

"Un Edifice du meme genre. Sainte Genevieve vint ensuite solliciter chez nous l'etude de ces hautes theories".

3 Vicente, Martín: *Arquitectura Domestica de la Ciudad de México*, 1895, 1925, México, 1981, UNAM, 350 páginas, ILUS, Fotos, Página 253:

"La enseñanza de esta disciplina es orientada, junto con los restantes conocimientos; hacer del arquitecto el instrumento eficaz y dócil para servirlos.

Podemos comprobar esta relación desde que aparece la primera escuela de oficial: La academia de arquitectura creada en París por Luis XIV en 1671".

Christian Norberg Shulz: *Espacio, Existencia y Arquitectura*, España, 1975, ed. Blume, 250 p ILUS, Fotos, p. 63.

Nota. El motivo de la estrella irradiado desde un centro fue desarrollado por los arquitectos franceses durante el siglo XIX y llegó a predominar en los ambientes humanos.

4 J. B., Krantz: *Murs de Réservoirs*, France, 1870, París, Ed. Dupon, Ilus., 34 lam., p. 79

"D'après les theories de Navier, sur la flexion toutes les sections qui etaient planes avant la flexion, restent également planes sous l'action de la flexion."

El respecto sobre el mismo tema; desarrolla puntos importantes el siguiente autor: Fritz de la Orta, Fritz de la Orta: *Estática de las Construcciones*: México, 1970, UNAM, Ed., Gustavo Otto Fritz, 511 páginas, ILUS, Fotos. p. 1 - 2

Uno de los centros de mayor importancia en el estudio de la estática, fue la Ecole Polytechniqu, fundada en París en 1794. La estática y la resistencia de materiales fueron amalgamadas en 1826 por Navier, cuando publica sus importante obra:

"Resume de leçons données a L'Ecole des Ponts et Chaussées" (la primera revista dedicada a la Estática), publicada en 1831.

5 Otto, Fritz de la Orta: *Estática de las Construcciones*: México, 1970, UNAM, - Ed., Gustavo Otto Fritz, 511 páginas, ILUS, Fotos. p. 2 - 3

"El iniciador de la Mecánica fue Lagrange, (1736 - 1818) y que llevo a la ciencia en su grado más alto".

El estudio matemático del principio de los deslizamientos virtuales fue el iniciador *Jean Bernoulli*, (1667 - 1748), y apreciara con gran amplitud *Lagrange*. Este principio es de gran importancia para el análisis de estructura indeterminadas":

desarrolla en la practica con una interpretación fundamentada, tanto en la geometría, como en las matemáticas. 6

En la Nueva España con la fundación de la academia de *San Carlos* a fines del siglo XVIII, se inician las tendencias racionalistas que marcan fuertemente la búsqueda de la verdad, en el conocimiento de las artes y ciencias.

Los adelantos industriales aceleran el cambio en la arquitectura que cada vez tiende con grandes ejemplos a una construcción sistematizada y modular, alejándose de las soluciones domesticas sencillas, aplicando los adelantos tecnológicos que desde ese tiempo empezaron a ser determinantes y de ahí la relación es de buscar y utilizar un sistema y método que llegara a una solución lo más rápida posible y exacta, preferencia que se vio manifiesta en el conocimiento matemático. 7

El siglo XIX fue diferente y al mismo tiempo autentico, pues retomo el valor histórico, artístico y científico. Los valores cambien y con ello nace la historia de la arquitectura, la restauración y el cálculo moderno, definiendose un modelo o e la necesidad de establecer un estilo; es decir una forma de vida. 8

Metodología estructural:

La aplicación de la mecánica y los métodos gráficos a las soluciones de la arquitectura;

Apud., Louis, Poisson, *Elements de Statique*, Paris, 1848, Bachelieur, Imprimeur, Libraire, 526 p. ILUS., Ecole Polytechnique du Bureau des Longitudes...

6 Bruno, Zevi: *Saber Ver la Arquitectura*, España, 1978, Ed. Poseidon, Ilus, Fotos, 222 p., página: 128: "la filosofía de la Simpatía ha dado nuevo prestigio a tres lugar a todas las elucubraciones de E. Viollet-le-Duc, Thiersch, Zeising y Ghyka."

7 Apud: Leonardo, Benévolo, *Op. Cit. Historia de la Arquitectura Moderna*, página: 44,

"Leonardo Benévolo cita del libro ya mencionado a la misma, en la página 44 y titulada: *"Memoria sobre la búsqueda de los medios necesarios para construir grandes arcos de piedra de doscientos, trescientos, cuatrocientos y hasta quinientos pies de luz"*. Tal obra demuestra el gran interés por conocer y desafiar lo antes construido." Al igual Navier, Rondelet y Jean-Ron Perronet (1708- 1794); escribieron sobre el tema con la misma intención de búsqueda".

8 A. Riegl: *El Culto Moderno a los Monumentos*, España, 1987, (primera Edición, Austria, 1903), Ed. Balsa de la Medusa, páginas 99. página: 40

"Pero el siglo XIX no solo ha intensificado al máximo la valoración del estilo histórico, sino que también ha intentado introducir su protección legal. La creencia en un canon artístico objetivo, que había empezado de nuevo a tambalearse a partir del renacimiento, porque *la antigüedad clásica*, que anteriormente había desempeñado este papel, a la larga no baba pruebas de poder mantenerse este titulo,... lo que también explica el auge inaudito de la investigación histórica - artística en esta época. Pues según las concepciones del siglo XIX cada estilo artístico comprendería una parte del canon eterno".

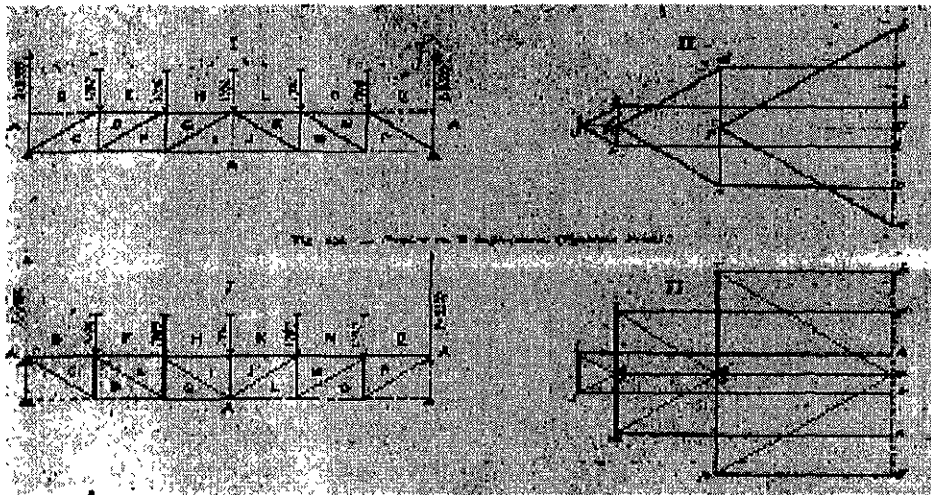
Apud. Antón, Capitel, *Metamorfosis de Monumentos y Teorías de la Restauración*, España, 1988, Alianza Forma, 172 p., página : 47:

"La discusión en torno al tratamiento de las arquitecturas valiosas del pasado, en el examen de la polémica entre las doctrinas básicas acerca del impreciso concepto de restauración, no puede concluirse a favor de una de las escuelas del pensamiento".

Apud., José, Villagran, Garcia: *Teoría de la Arquitectura*, México, 1988, Facultad de Arquitectura de la UNAM, 530 p. fotos, ILUS.,

fueron la respuesta a este tipo de estructuras racionales, donde el aprovechamiento del material a su máxima expresión sin la admisión de desperdicio o uso de elementos sin función útil que corresponda a un capricho. Aún el siglo XIX tuvo sus contradicciones, ya que por un lado se buscaba la innovación de las ciencias y las artes, por el otro lado se buscaban y seguían esquemas antiguos adaptándolos a la tecnología de la época.

Con la exigencia de la demostración racional de lo indagado en esta época alejaba de todo lo que parecía casual u "ostentoso". Los estudiosos y dedicados al diseño de estructuras mostraron su enfoque de dos maneras, unos con métodos gráficos; un segundo grupo se inclinó por los cálculos matemáticos apoyándose desde luego en las teorías de la estática y resistencia de materiales, este último grupo de estudiosos fue el que tuvo mayor aceptación, debido a que contemplaba de una manera muy completa el análisis de estructuras tanto de concreto armado como el ya experimentado hierro y acero estructural, mientras que los métodos gráficos solo se aplicaban con éxito en el diseño de armaduras (fig. 1).



Jules Pilet (1894) *Op. Cit.* (fig 1)

Para finales del siglo XIX, las teorías de cálculo de estructuras se encontraron en un adelanto tal que prácticamente podemos decir que casi se conservan los mismos conceptos tales como: Propiedades de las secciones (área, momento estático, momentos de inercia). Resistencia de materiales (resistencia instantánea, módulos de elasticidad, momentos resistentes, flexión, esfuerzo cortante y torsión). Estática y dinámica (equilibrio, sistemas de vigas y armaduras, cálculo de arcos y bóvedas, cables, análisis de masas y aceleración). Solución por tablas de manuales con elementos constructivos y secciones (en vigas, columnas, armaduras, muros). Criterios sísmicos (aparece a principio de siglo las escalas por grados de los temblores).

Con la depuración del cálculo estructural, se presentaron los manuales que buscaban hacer mas fácil, accesible y rápida la solución de diversos problemas, con esto no solo se acompañaron de gráficas y tablas para su utilización, pues se daban en todos los casos ejemplos típicos de resoluciones de vigas, postes, columnas, pilastras, y pórticos y desde luego incluyéndo muros, cimientos y bóvedas de mampostería, tratando de eliminar o disminuir problemas. En si, el principal aspecto a resolver los niveles de dificultad de cálculo numérico, es decir la complicación que requería de conocimientos de álgebra, trigonometría y sobre todo el cálculo diferencial e integral, idiomas poco accesibles, ya que requieren de una constante y sólida preparación. En muchos casos tal fue la complejidad de las soluciones matemáticas, lo que hacia que se alejaran de entender el objetivo de las mismas y por lo tanto el problema era visto ya analizado a un extremo para buscar la exactitud. 9

El cálculo evolucionó conforme lleo el fin del siglo, con criterio ya era maduro pero en muchos casos complicado, de ahí que los ingenieros tomaron la importancia en el desarrollo y aplicación a las estructuras desplazando a los arquitectos.

Los sistemas constructivos se fundamentaron en las memorias de cálculo, gracias a la intervención de varios especialistas de estructuras, sofisticando cada vez más los métodos de análisis gravitacionales y por viento, detallando por temas el estudio de fundaciones, muros, postes, columnas, entresijos y cubiertas variables, de viguerías a armaduras de grandes claros e incluso; buscándose sistemas de refuerzo para evitar daños en la estructura y con esto evitar deterioros causados por sismos o hundimientos, es con esto como a principios de siglo presente que se género la nueva aplicación no solo de la estática y resistencia de materiales, sino de la misma de la dinámica. 10

El cambio de criterio de diseño en una estructura pensada por geometría de la construcción o por el cálculo analítico dio como resultados desarrollos diferenciados; por ejemplo con la geometría de la construcción se llegaron a soluciones sencillas, basadas en los fundamentos de la

9

Apud.: Claudio, Castro: *Apuntes de Estabilidad de las Construcciones, Op., Cit.*, (dadas por el Ingeniero Claudio Castro y tomadas por los alumnos Bazan, Gayon, Montero), en 1910, *Manuscrito original de la Biblioteca Histórica del Palacio de Minería.*

10

Otto, Fritz de la Orta: *Estática de las Construcciones*: Ed. UNAM, Gustavo Otto Friz, 1970, 511 páginas, ILUS, FOTOS. p.1 - 2

"Los orígenes de la estática son anteriores a Jesucristo. El mayor impulso de la época moderna se tuvo con la obra colosal de Galileo - Galilei, (1564 - 1642), quien anunció el principio de la Inercia, descubierto en forma accidental, aunque no se distinguió entonces la masa del peso. Tras él aparece la figura de Isaac Newton, (1642 - 1727). A quien se deben las funciones de la dinámica, y que considero la masa como cantidad de materia por unidad de volumen, notó que los puntos materiales tenían una característica constante diferente de su peso, que es la masa."

estática, abotonándose como resultado estructuras sujetas a esfuerzos simples de compresión pura, (a excepción de las vigas de madera), aprovechando al máximo el trabajo del material (bóvedas y arcos). para el estudio matemático (influenciado por las posibilidades que tienen del concreto armado y hierro estructural), se desarrollo un tipo de estructura trabajando a la flexión, es decir materiales sometidos a una combinación de esfuerzos (tracción y compresión), encontrándose son sistemas de entramado con espesores mínimos, que ahora podemos decir son el antecedente de las estructuras laminares.

La tradición y el avance científico en el siglo XIX dieron el encuentro y la riqueza de dos líneas. La geometría de la construcción y el cálculo analítico, cada uno de ellos se integraron de lo siguiente:

Geometría de la construcción en: Esfuerzos directos de compresión (construcción maciza con muros de carga o columnas de mampostería), arcos y bóvedas, contrafuertes, botareles, dimensionamientos en base a proporciones y relaciones, práctica de la construcción, tratadistas de la arquitectura (influencia y aplicación).

Mientras que el cálculo analítico de: Combinación de esfuerzos (flexión), construcción de entramado, armaduras, viguetas y columnas, dimensionamiento por comprobación matemática, desarrollo tecnológico e industrial, tratadistas de la construcción, estructuras y manuales.

Métodos y criterios gráficos y analíticos:

A).- Los métodos gráficos: 11

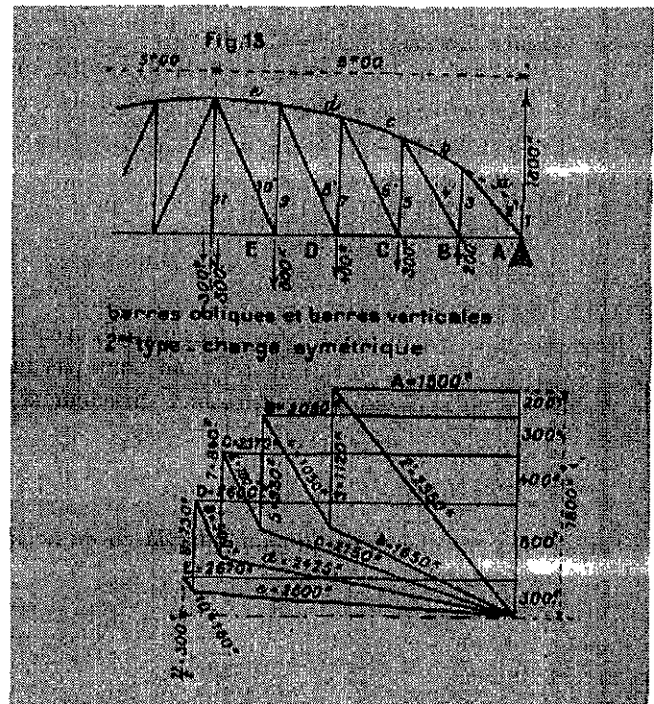
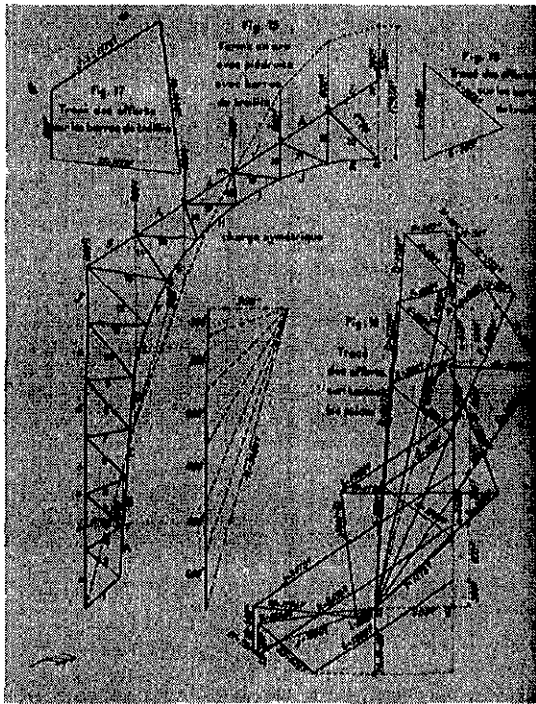
La solución común representadas por sistemas reticulados, indica que cada procedimiento tiene sus ventajas dependiendo tanto del tipo de armadura como del elemento estructural de barras y nodos a resolver. Todos estos sistemas parten de un mismo principio, el equilibrio estructural, con cargas y reacciones. Paul Planat recurre al diagrama Cremona o a los métodos

11

Otto, Fritz, de la Orta: *Estática de las Construcciones*: UNAM - Gustavo Otto Fritz de la Orta, México, 1970, 551 páginas, ILUS, Fotos., p. 3

"En esta época introduce Poisson, (1777 - 1859), el concepto de par de fuerzas como elemento irreductible, lo que permite comprender mejor el equilibrio de las fuerzas. El polígono funicular fue establecido por Varignon, (1654 - 1722), de la observación del equilibrio de un hilo solicitado por pesos diversos. La correspondencia de dicho polígono de fuerzas, permite el análisis de estructuras simples, en principio y más tarde, de estructuras más complicadas. A partir de este conocimiento se funda la *estática gráfica*, de gran eficacia en el estudio de las construcciones, impulsada ampliamente por Cremona, (1830 - 1903), y por Culmann, (1821 - 1881); quienes fundamentan métodos para resolución de armaduras, hoy en día de gran aplicación".

Culmann o Ritter, e incluso se vale de la combinación de tales como procedimientos auxiliares. Particularmente interesante es la dedicación en infinidad de ejemplos de armaduras y de pórticos empotrados o articulados, que incluso son las soluciones más sencillas y fundamentalmente prácticas, y es por esta situación que los procedimientos gráficos son preferidos sobre los análisis matemáticos por los arquitectos, ingenieros y constructores (fig. 2 y 3).



Dibujo de Paul Planat, (1875), Tomo IV, pág. 167 (fig. 2 y 3).

Durante el siglo XIX, los sistemas gráficos se actualizaron con la ayuda de la geometría descriptiva, reforzándose por la corriente de autores que preferían seguir estos procedimientos. Existen por lógica principios en ambos géneros estructurales, por ejemplo, el trazo del funicular de fuerzas sobre un sistema equilibrado que a diferencia de ser diseñado a esfuerzos directos o la combinación de ambos, es más ejemplificado y objetivo el diseño, escala y proporción del elemento estructural, el cual se representa estático y en un principio concebido independientemente de los esfuerzos internos que actúan en el mismo.¹²

Los procedimientos gráficos como posibilidades presentan para cada ejemplo la muestra de fuerzas y reacciones, traduciendo directamente la transmisión de las cargas, con las líneas de deformaciones y puntos críticos o de colapso y de una forma casi intuitiva el diseñador de la

¹²

Apud. Luis, Villanueva, Batrina., *Consideraciones Acerca del Comportamiento Mecánico de los Arcos Pétreos*, Op. Cit., España, 1965 ILUS, Fotografías, 195 p.

estructura percibe como si se tratase de una radiografía de un organismo vivo, los requerimientos para confirmar o remodelar el sistema permitiéndole observar la tan importante "*unidad estructural*". Con sus variadas actitudes ante las cargas, claros, forma, proporción etc. esta situación en los métodos gráficos es fundamental pues se puede decir que trabajan con un modelo que permite conocer el comportamiento de la misma estructura antes de ser construida, así lo manifiestan los autores en sus tratados de arquitectura; y por cierto este recuerdo de la tan importante visualización gráfica lo tienen los procedimientos actuales de cálculo numérico con las representaciones de momentos flexionantes y esfuerzos cortantes.

Aunque existen textos dedicados a procedimientos gráficos o analíticos, con exactitud no podemos decir estrictamente que durante el siglo XIX tajantemente se diese una separación en los métodos analíticos y gráficos, pues en ambos se presenta una relación que los complementa con secuencias creadoras en todos los casos, con las gamas de tonalidades como si fuesen parte de un arcoiris, en la búsqueda de el mejor camino hacia la verdad del conocimiento.

Lo que observamos es que en la literatura especializada la tendencia marcada hacia la presentación analítica pudiera ser debido al alto desarrollo de la física y la preferencia de las matemáticas, como herramientas exacta de uso cotidiano principalmente en la ingeniería militar, civil y arquitectura industrial apoyada por los nuevos materiales. Es por este hecho que en la mayoría de los autores contemporáneos prefieren la matemática. Los cálculos gráficos quedaron en cierta forma como procedimientos auxiliares.

Los métodos gráficos parten generalmente del dibujo, ya sea armadura o bóveda por ejemplo. bajo los principios de la estática se trazan las fuerzas y reacciones en cada apoyo, con sus magnitudes, direcciones y sentidos a escala. Fueron estos motivo de mayor atención como ya se menciona, por su facilidad de solución como ejecución práctica para llevarlo a la obra, los cables Polonceau y los llamados "*Fermes*", tan famosos en las edificaciones de las magníficas galerías de exposición en París, con sus apoyos y claves empotrados, continuos o articulados. Dichos procedimientos universales son, dependiendo del tipo de modelo y a partir del trazo del dinámico, con la nomenclatura para cada cuerda, sección; según lo requiriera el caso, como pasos auxiliares para llegar a la solución final. Con la obtención de las magnitudes de las fuerzas y clase o sentidos para determinar las secciones, singularmente trabajados en esfuerzos directos de compresión o tensión por cada barra y sección, en una armadura o pórtico sujeto a momentos

flectores. 13

La soluciones de elementos como las bóvedas, arcos, contrafuertes así como construcciones de varios pisos es particularmente interesante, métodos apegados a la estática clásica dibujada por trazos geométricos, por el dinámico, funicular para obtener la línea de presiones dentro de los límites propios del llamado tercio medio, como camino ideal para la bajada de cargas, resumidas en resultantes actuando sobre apoyos, marcada sobre cortes constructivos, promueven la solución integral desde la cubierta ya fuera abovedada, de armaduras o vigas, transmitiendo sus pesos a lo largo de los apoyos hasta la cimentación. Estos ejercicios son el estudio que tiende a seguir las formas y modelos construibles, como máxima expresión en el diseño estructural de geometría constructiva; conducidos exitosamente a la ejecución de la obra, por ser un procedimiento mayormente integrado al proceso de diseño arquitectónico, y actualmente casi en desuso.

Al igual que para las soluciones gráficas de las vigas, en la actualidad se recomienda el uso de dinámico de fuerzas, para visualizar los esfuerzos en bóvedas arcos y cúpulas, recomendándose en las partes que son con mayor frecuencia sujetas a la falla debida a tracciones, presiones y fricciones.

Sobre el porque fue la preferencia en los sistemas numéricos, algunos puntos ya se han marcado y entre tantos los motivos, el lenguaje matemático es el que responde al pensamiento científico originado a finales del siglo XVIII y reafirmado en el transcurso del siglo XIX, con resultados concretos para la edificación, mostrados por ejemplo en experiencias de laboratorios de materiales, el mismo desarrollo de la construcción metálica y del concreto armado, con sus detalles constructivos y quizás lo las importante, el cambio en los conceptos de la "*unidad estructural*", comprendida a base de empotramientos, y posteriormente, traducidos de sistemas entramados resueltos ya no por geometría, sino análisis de continuidad de momentos, basados en un plan mas amplio, no solo de la estática, sino de la mecánica, hasta llegar a las teorías de las estructuras, propias en expresiones numéricas un tanto abstractas y subjetivas para el arquitecto, derivándose en nuevos caminos manifestó en los tratados dedicados ampliamente en sus contenidos al cálculo

13

Nota: Los conceptos de la unidad estructural de una manera universal, tienden a transformarse y retroalimentar los conocimientos: (De esta forma lo explica Marva y Mayer):

José, Marva y Maye: *Mecánica Aplicada a las Construcciones*, Madrid, 1884, Litografía de Julian Palacios, 2a. Ed. 1336 p. p. 328 - 329.

"La hipótesis de continuidad equivale, partiendo de la pieza definida en trazos, a la introducción de unos pares de cuerpos a cuyos momentos llamamos momentos de flexión de apoyos, ... hay pues en cada apoyo un momento de flexión."

de construcciones, motivos que se desbordan en una crisis por la transición de misma carrera de arquitectura, debido al diseño estructural configurado con un ejercicio actualmente especializado, mientras que la ingeniería en cambio va ocupando un lugar importante en la edificación. A lo anterior se van sumando la desaparición de técnicas y materiales tradicionales desplazados paulatinamente por el desarrollo industrial.

B).- Criterios analíticos del siglo XIX:

La importancia de Navier, Poisson y Rondelet y de tantos otros autores que se encargaron de perfeccionar los métodos de análisis formaron parte de la evolución tanto de la enseñanza, como de la práctica del arte de construir plasmado en los tratados de arquitectura. Al iniciarse la segunda mitad del siglo XIX. Se tiene de hecho un alto nivel de estudio por las obras publicadas y llevadas a la práctica, mientras que Navier resume en esencia una metodología científica para el cálculo estructural, Rondelet sintetiza el primer compendio de carácter enciclopédico que marca una nueva etapa en la teoría de la arquitectura y la edificación tales textos son *el punto de partida de la nueva generación de tratados*. Ese radio de acción se encontró favorecido por los amplios descubrimientos, asumidos y complementados por las obras posteriores, cuya fecunda labor cada vez mas aclara principios y enunciados con anteriores ambigüedades y empirismos. 14

Los arquitectos y constructores se actualizan y en respuesta a ello profundizan no solo en problemas tecnológicos derivados del cálculo estructural y materiales, sino en un análisis sobre conceptos de teoría de la arquitectura. Basados estos en los cánones clásicos, y a pesar de múltiples contradicciones en definiciones y estudios de carácter filosófico, entre las artes y ciencias.

La teoría se consolida, impulsada por el auge eminentemente especializado, y como respuesta a ello se presenta la nueva generación de documentos posteriores a Jean Rondelet, el

14

A. Devillez, Barthelemi: *Elements de Construction Civiles, Art de Batir*, Paris, 1882, Ed. Gauthier Villars, tomo I, 384 p. p. 10

"Afin que l'architecture ne s'expose pas à faire de Beaux projets inexecutable ou des édifices qui tombent en ruine avant d'être achetés; ainsi, il doit connaître la poussée des voutes, la nature des pierres, cimentss, bois, mortiers et des autres matériels dont faire usage, leur résistance aux efforts divers aux quels ils peuvent être soumis et leur résistance à l'action destructive des éléments qui tendent sans cesse. A détruire les ouvrages de l'homme,,"

Apoyandome en los principios que maneja el célebre Navier:

E., M., Navier: *Resume des Leçons de Mécanique, données à L'Ecole Polytechnique*: (Membre de L'Académie des Sciences, Professeur d'analyse et de Mécanique à L'Ecole Polytechnique, Inspecteur, Divisionnaire des Ponts et Chaussées, Paris, Francia, 1841, Carlain, Goeuru et Vor., Dalmont Editeurs, Libraire des Corps Royaux des Ponts et Chaussées et des Mines, France, Imprimeurs de L'Université Royale de France., 491 p.

cual por cierto permanece actualizado aun en las primeras décadas del siglo XX. Leonce Reynaud, Jules Pillet, Julien Guadet, Francisco Nacente y Paul Planat son principalmente los protagonistas de obras magníficas y con este ultimo autor, inicia la explicación de con un estudios gráficos cuales integran los dinámicos como parte previa al análisis de cada armadura (fig. 4 y 5). 15

Dinámico inicial el cual determina la carga total, empuje y resultante:
(fig. 5)

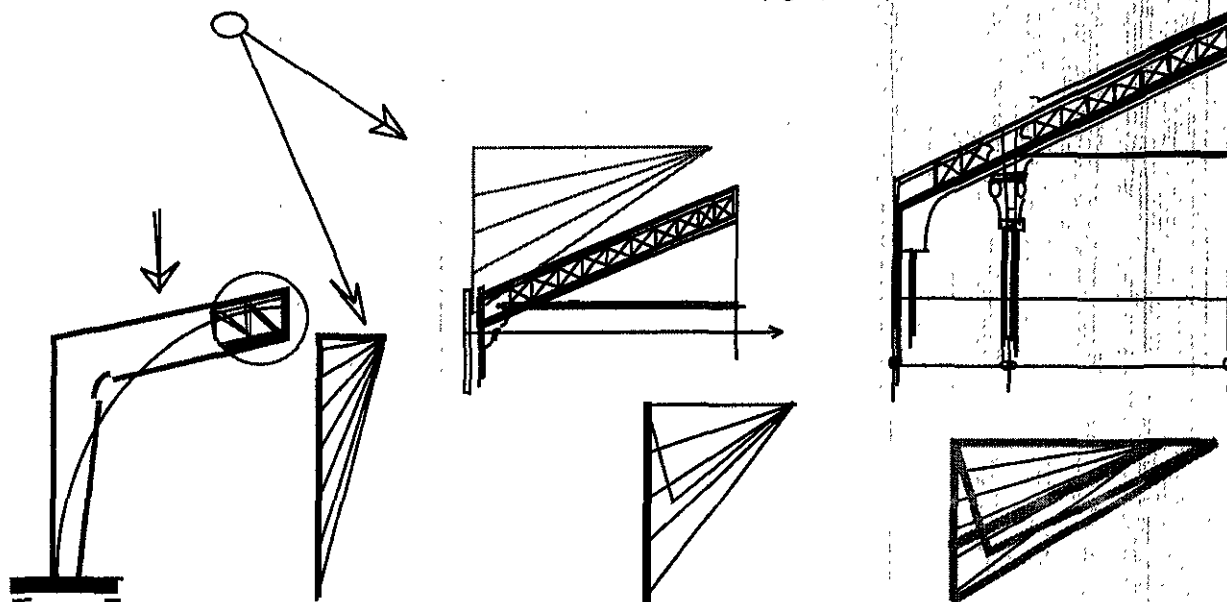


Figura (croquis retomados del tratado de Paul Planat, 1875, tomo IV Op. Cit.):

Para los diferentes clases de "fermes", generalmente se presentan ejemplos, con una a tres soluciones por cada tipo de armadura, con apoyos y materiales variados, como lo son: columnas de acero, postes de hierro colado o bién como un pórtico articulado en uno o dos extremos.

Auxiliándose por el diagrama de momentos por primera vez se determinan las secciones a partir del trabajo del material y el *modulo de sección*. El sistema de cálculo en el siglo XIX, contiene los fundamentos teóricos del análisis actual, con la diferencia de sustentarse en los fuertemente en la experiencia. 16

15

Julien, Guadet, (1834 - 1808): *Eléments et Théorie de L'Architecture, Cours Professé a L'Ecole Nationale et Spéciale des Beaux-Arts*, Tomo I, Paris 1894, Librairie de la Construction Moderne, 663 páginas. p 7

"L'architecture n'a qu'une raison d'être, bien nette, bien visible: Construire. Ce mot resume toutes les fonctions, entretenir, réparer, restaurer, c'est encore construire."

16

Francisco, Nacente: *El Constructor Moderno, Op. Cit.* España, 1889, tomo I, Ed., Jaime Sola, 539 p. ILUS: página 173:

"No nos extenderemos sobre las demostraciones que sirven para calcular el grueso que debe darse a las paredes según sus espesores; porque tales resultados se han calculado de una manera hartó empírica por regla general. Basta conocer aquellos datos consagrados por la experiencia, como quiera que sean los más seguros".

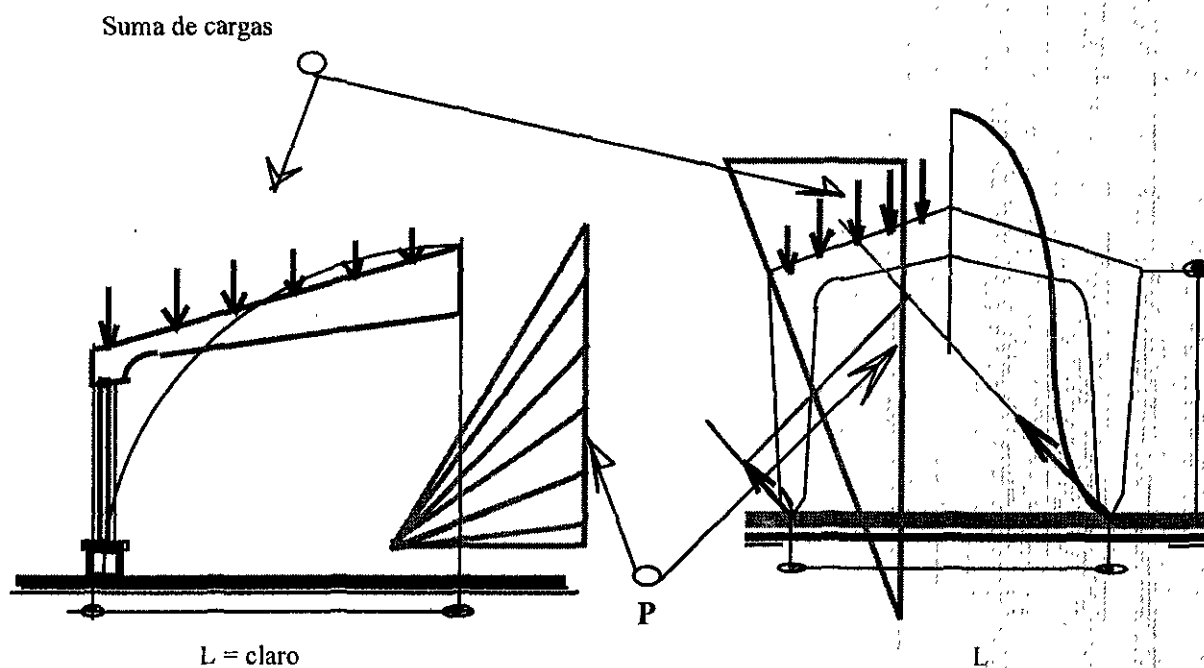


Figura 4, (croquis tomados del tratado de Paul Planat, 1875, tomo IV, *Op. Cit.*).

La arquitectura como profesión durante el siglo XIX:

1.- Arquitectos, ingenieros y constructores motivados por los avances científicos, tecnológicos y la especialización, se preocuparon por el desarrollo de las estructuras, mismos que favorecen los estudios por materias.

2.- Estudiosos que en su mayoría se dedicaron tanto a la práctica del diseño y la construcción, como a la labor académica.

3.- Alarifes, maestros o constructores que con una gran sencillez se dedica a elaborar gran parte de la arquitectura doméstica, así como de pequeñas construcciones civiles en las que incluyen templos de poblados cercanos a la ciudad de México, mismos que son la tradición constructiva y seguridad estructural debida a la trasmisión de generaciones en generaciones.

El periodo se destaca por denotar un cambio estructural y tecnológico, pudiendolo constatar en cierta medida en las afueras de la ciudad de México, y más puntualmente en la villa de Guadalupe con la edificación del *Pocito* (1797), con el denominado barroco más puro, el cual poéticamente como manifestación de la arquitectura llega a su termino. La apertura de una nueva lectura con la gran cúpula de Loreto sirve de comparación, pero siempre la arquitectura como oficio a través de su misma historia, reordena y suma tendiendo a los conocimientos constructivos y del

diseño" 17

La academia de San Carlos exige más que la presentación de montañas, el estudio estructural y la experiencia constructiva basada en visitas constantes a las obras. Hay que recordar que el mismo siglo XIX para el país, fue difícil por eventos como la independencia de España o la invasión norteamericana, hechos que perjudicaron y sobre todo influyeron tanto en la misma academia, llegaron a interrumpir varias veces los estudios, mientras que en Europa con el avance científico y la experimentación de nuevos materiales se presentan con mayor rapidez cambios violentos y de vanguardia, por ello una ventana de intelectuales, como el de los arquitectos lo fue siempre el viejo continente. Las escuelas de *Beaux Arts* y el *Politechnique* de París, figuran como un timón que entre otros centros de conocimiento producen una nueva versión de los tratados de arquitectura, con tablas, manuales y atlas, denotando una vital importancia de las secciones nominales con sus diferentes empalmes, detalles constructivos. 18

Las teorías de cálculo se llevaron a la práctica para resolver el problema sísmico, se trataron de comprender y traducir los empujes transmitidos por el coceo de bóvedas, viento o temblores ya que en un principio se solucionaron simplemente con muros cada vez más gruesos o con pilastras, este tipo de reforzamiento se continuó haciendo, pero además se encontraron soluciones más variadas como por ejemplo: muros de tepetate con refuerzos que simulan castillos y cadenas realizados en ladrillo; pilastras con sillares, vigas empotradas en los muros tanto en posición horizontal o vertical, a la manera de entramados y esqueletos metálicos o de concreto armado muy comunes a partir de los primeros años del siglo XX, en la colonia Guerrero las soluciones con perfiles metálicos incrustados en los muros son su respuesta a esta modernidad. Con este criterio se reestructuraron o reconstruyeron viejos edificios coloniales, haciendo las

17

Apud. José, Luis, Benlliure, Galán,; *Cuadernos de Arquitectura: Op. Cit.*, INBA, México, 1982: Comentarios dentro de los cursos de Historia y Taller de Proyectos en la Escuela Nacional de Arquitectura. (publicado en los *Cuadernos de Arquitectura*, INBA, México, 1983), 1975, UNAM, en el Talle: *Max Cettò*. de la UNAM.

18 Apud., Lemaistre, Alexis; *L'Ecole des Beaux - Arts, Op., Cit.*, France, París, 1889, Librairie Firmin - Diodot et Cie., 407 p. ILUS.

Justino, Fernandez: *El Arte del Siglo XIX en México*, México, 1983, UNAM, 256p 343 LAM., Página 173:

"En materia de arquitectura, esta caracterizada por el último romanticismo proviene de *L'Ecole des Beaux-Arts* de París, de que participaron tanto arquitectos mexicanos que allí estudiaron como los franceses e italianos que vinieron a México. Porque abra de distinguir tres grupos de profesionistas que contribuyeron a cambiar la fisonomía de la capital y aun de otras ciudades de los estados; los académicos mexicanos, los franceses y los italianos. Sin embargo, no todo fue de academia y romanticismo, pues también las tendencias más modernas del tiempo dejaron huella"

modificaciones que se creyeron necesarias. 19

2E).-Estabilidad y Restauración:

El siglo XIX con nuevos tratados y enfoques arquitectónicos, manifiestan en las obras escrita una nueva intención, según esta época son documentos que tienden a ser mas científicos y universales, sin dejar de tener presente la memoria histórica, todo esto a través del estudio de los monumentos (Rondelet, Gaudet, Piranesi, Le Duc) y su restauración a un nivel científico que motivan el inicio del estudio matemático. 20

La nueva teoría estructural aplicada del siglo XIX; y al mismo tiempo la ruptura del pensamiento que se dio por una creación innovadora, dejando en segundo termino la aplicación constructiva tradicional. No por esto se dejaron de reconocer los edificios históricos como tales; de ahí el inicio de la *restauración* con una fundamentación científica, como una preocupación contemporánea que tiene su importancia en la actualidad la que se sosteniendo en sus principios desde aquel tiempo con *Viollet-le-Duc*, con sus reflexiones en torno a la estructura de los monumentos. 21

En cierta medida el nacimiento de la *restauración* como concepto moderno del siglo XIX, es un camino de regreso hacia la *arquitectura histórica*, pero actualizada y que unida a la arqueología como disciplina social presentan con un apoyo científico una óptica diferente, y por ello la arquitectura como arte y construcción no puede explicarse únicamente en tratados dados

19

Apud. Max Cetto,: *Cuadernos de Arquitectura*: (INBA, México, 1983), S: E. P.; Escuela Nacional de Arquitectura, de la UNAM, 1975, Taller *Max Cetto*.

Comentarios del curso de Proyectos, sobre la importancia de reconocer los factores del medio, especialmente de los fenómenos urbanísticos que hacen necesarios un adecuado diseño urbano a las cualidades de los tipos de terrenos en la ciudad de México. (publicado en los Cuadernos de Arquitectura, INBA, México, 1983.).

20 Leonardo, Benévolo: *Historia de la Arquitectura Moderna*: Barcelona España, 1982, Gustavo Gili, p. 51

"A partir de la Restauración se extiende en Francia, el uso del hierro a un gran número de edificios. En 1824, Vignon construye con hierro la cubierta del mercado de la Madelaine."

21 Leonardo, Leonardo: *Historia de la Arquitectura Moderna, Op. Cit.*

Leonardo Benévolo nos dice en su libro de *La arquitectura moderna*, que a partir de la segunda mitad del siglo XIX y hasta culminar con este se sigue esta modalidad que ordena y determina las tendencias arquitectónicas y constructivas.

los niveles de especialidad requeridos en la nueva época. 22

Es curioso increíble y poco reconocido, que a través de la restauración se le deban en su inicio la práctica y puesta en uso de los nuevos materiales y tecnologías como lo es la estructura metálica. Es al mismo tiempo necesario reconocer que el nacimiento del cálculo estructural se debe en gran medida esta disciplina. Ofrecida por las múltiples discusiones venidas desde finales del siglo XVIII, entre las diversas tendencias de los grupos de artistas y técnicos. Cuyas pautas las da precisamente Rondelet en 1802, aunque ya puestas en practica en 1755 y 1770, derivadas de cálculos de proyectos y ejecución de obra de *Soufflot*. 23

De esta forma cada obra requería la exigencia de su estudio estructural para comprobar con veracidad su estabilidad, la búsqueda tanto de la explicación de fallas estructurales como la razón de ser de las mismas edificaciones, así se debieron múltiples trabajos, para después de su entendimiento traducirlo a las nuevas ciencias, basadas en las teorías matemáticas y con ello demostrar su solidez para aplicarlo a los recientes proyectos y construcciones. Con esto nace otra clase de libro o tratado cuyo tema fundamental ya no son los ordenes de la arquitectura sino la *mecánica*, con sus estudios especializados de *estática* y la *resistencia de materiales*; en su origen basados en la tipología a mi juicio mas antigua e importante de la *restauración*, que es la reestructuración, debida a la propia estructura portante.

La situación que intereso fue la dedicación cada vez mas profunda al conocimiento de los materiales en sus propiedades físicas y naturalezas en cuanto a comportamiento, sumándose a tal es hechos los materiales actuales y novedosos como el metal y concreto, aprovechando la experiencia constructiva se estudio cada vez mas el origen del porque y de donde partió la manera de hacer la construcción tradicional, pues su observación ordenan y corresponden a soluciones lógicas, sencillas y pragmáticas, cuya máxima expresión a mi entender se encuentra plasmada en las bóvedas renacentistas; pero con el tiempo casi desconocidas en su solución técnica, tal

22

Bruno, Zevi: *Saber ver la Arquitectura, Op. Cit.*, España, 1978, Ed., Poseidon, 222p. Página, 122,;

Bruno Zevi: motivado por las interpretaciones materialistas, hace un comentario que: aunque no toca directamente con la restauración, mas bien se sitúa con la lectura de la arquitectura: veladamente nos habla de ella: nos dice lo siguiente:

"¿y el neo-gótico? En Francia está conectado con la obra que, en la segunda mitad del siglo XIX, de *Viollet-le-Duc*, en Inglaterra con la influencia de Roskin que, en la segunda mitad del siglo XIX, corroboró la decisión de Sir Charles Barry y Pugin de reconstruir el Parlamento inglés en el estilo peculiar."

23 Apud. José Luis, Benlliure, Galan: *Cuadernos de Arquitectura*, INBA, México., 1983.), S. E. P, Cuadernos de Arquitectura: Cursos impartidos sobre historia y proyectos de arquitectura: El afirmo contundentemente que mas que una teoría de la arquitectura el camino ideal es conocer la arquitectura a través de la misma arquitectura histórica, desde luego sus fundamentos ampliamente sustentados por su constante oficio, obra y conocimiento académico. El camino iniciado en Europa y Asia Menor; sobre las restauraciones de monumentos y quien a su vez citó a Leonardo Benévolo sobre sus análisis histórico y al mismo Viollet-le-Duc, sobre sus aportaciones en la práctica de la restauración..

situación llegó a un camino encontrado. Por un lado se experimentaba con los materiales en laboratorios tomando mayor cuidado en las propiedades especialmente en los de moda como los metales y el concreto, así igualmente se experimentaba con la nueva tecnología mientras que otros materiales y técnicas quedarían paulatinamente en desuso.

Apoyandome en lo anterior con la práctica de la restauración nace el análisis estructural, misma que propicio la aplicación de nuevas tecnologías y materiales, buscando desde su origen respetar el trabajo original y la misma reversibilidad, desde luego esto abrió caminos y problemas en la intervención que propicio el desarrollo de su propia teoría.

El resultado de la arquitectura en el siglo XIX es compleja, por tal hecho se presentaron desde ejemplos clasicistas, principalmente en las primeras décadas, hasta los ejemplos que corresponden a las nuevas tendencias, como el neogótico de proporciones y escalas bien distintas a los esquemas originales, edificaciones logradas a fines del siglo pasado. 24

El siglo XIX es diferente, no solo por su indiscutible avance científico y tecnológico en la construcción; un tanto lleno de contradicciones, de cambios y tendencias hacia una arquitectura y urbanística, comprendida y creada en nuevos conceptos espaciales que buscan en lo más profundo la universalidad, en los modos de vida modernos y cada vez más ciudadanos, ligados aún a la naturaleza a pesar del desarrollo industrial se abren las puertas del siglo XX. 25

Restauración y análisis estructural:

En Europa se abre la moda a una de las especialidades de la arquitectura motivada fuertemente por los descubrimientos arqueológicos. El siglo XIX es por lo tanto un mosaico de múltiples tonalidades por los cambios debido a la tendencia del hombre por una respuesta científica de orden y clasificación y con ello la especialización por materias. 26

Los estudios de artes se encuentran en una encrucijada, situación motivada entre las

24

H. Scholfield, P., (*O. Cit.*) *Teoría de la Proporción en la Arquitectura*: página, 98:

El mayor aporte del trabajo realizado en el siglo XIX sobre la proporción en la arquitectura, se debió a los estudios arqueológicos sobre edificios griegos y góticos, con motivo de su restauración.,,,,

Este énfasis sobre el sentimiento nos muestra a Ruskin como individualista romántico, pero su obtención a las reglas definitivas y a la importancia que concede por otra parte a las infinitas posibilidades de la proporción no debió tener más significado que el veto a las reglas numéricas arbitrarias de las proporciones de ordenes. Veinte años más tarde, Viollet-le-Duc usaría palabras muy similares para condenar "proporciones fijas siempre iguales abogando por las infinitas variaciones de la aplicación de las leyes de la geometría"

25 Bruno, Zevi: *Saber ver la Arquitectura, Op. Cit.*, España, 1978, Ed., Poséidon, 222 p. página 98.

"Los espacios internos, del siglo XIX presentan variaciones del gusto, busca nuevas concepciones. Es una época de mediocridad, invención y de exterioridad poética.

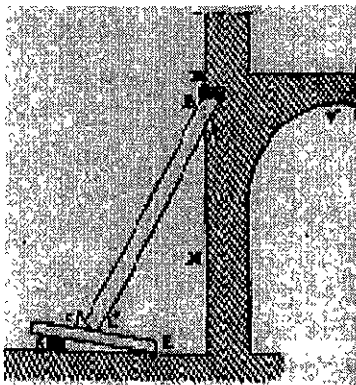
La verdadera redención del siglo XIX se realiza en los espacios exteriores del (mismo) siglo XIX"

26 Gastón, Bachelard: *La Formación del Espíritu Científico*, en la página 9:

"El segundo periodo, que representa el estado científico, en preparación a fines del siglo XVIII, se extendería hasta todo el siglo XIX y comienzos del XX."

disertaciones filosófica sobre el como encontrar las diferencias entre la ciencias y el arte. La arquitectura y su restauración particularmente se encuentran relacionadas por tanto en tales aspectos llevando consigo múltiples preguntas sobre problemas teóricos y tecnológicos. Actualizándose los tratados de arquitectura y por lo tanto la enseñanza y el mismo ejercicio de la profesión, cuyo oficio en el diseño arquitectónico se hace mas complejo, adaptándose textos en las escuelas de *Bellas Artes* como es el de *Teoría mecánica de las construcciones*. 27

Los nuevos materiales y tecnologías con el debate sobre lo edificado, ambos temas son protagonistas del movimiento moderno, parten del mismo interés pero paulatinamente se van separando. La construcción metálica sigue el camino industrial y es cada vez mas ordenada y sistematizada de ejecución a gran escala. La restauración durante el siglo XIX (fig. 6 y 7), con disertaciones y teorías contradictorias resulta una respuesta al análisis estructural y al mismo tiempo motiva al estudio dado por las diversas tecnologías. Lo anterior se confirma por estudios aparentemente encontrados, los que llegan a principios poéticos universales para el caso de Viollet-le-Duc que se intereso profundamente por las proporciones arquitectónicas como parte del análisis y estabilidad; a diferencia de *John Ruskin*, preocupado por la pureza de la proporción como parte de la armonía en los edificios antiguos. 28



Gustave Oslet, 1890 *Charpente en Bois*.

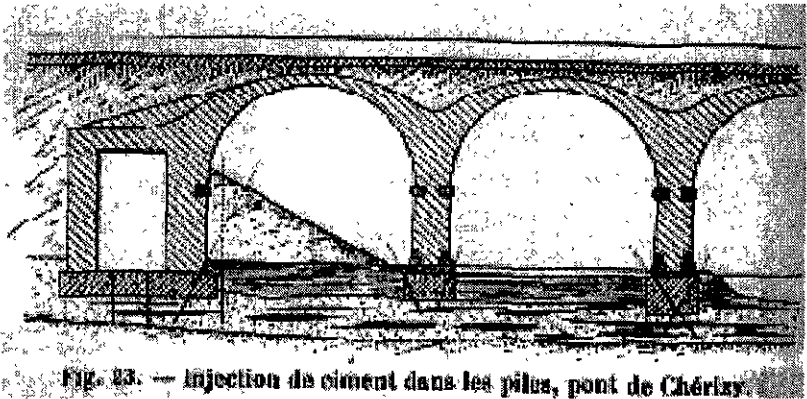


Fig. 43. — Injection de ciment dans les piles, pont de Chérlax.

Paul Planat 1875, Tomo I, *Op. Cit.*

27

Nota: Manuel y Antonio Torres-Torija. Por aquel tiempo, tales autores disertan sobre las diferencias de las ciencias y las artes, incluso en sus definiciones retornan a conceptos que van desde encontrar sus raíces y el porque de las cosas, debido a la crisis de la enseñanza de la arquitectura y si esta más que una de las bellas artes es una ciencia o requiere del apoyo de las ciencias exactas para ser comprobada fielmente. Una de sus publicaciones nos dice los siguiente:

Torres-Torija: *Cálculos del Curso de Construcción* (*Op. Cit.*) 1897. Academia de San Carlos: pág. IX:

"Cuyo objeto es el dar a conocer a los alumnos lo que en la capital se práctica, los materiales que comúnmente se emplean y aun la fraseología especial que se acostumbra en las obras y esta será la única utilidad que acaso pueda sacarse de estos apuntes"

28 H., Scholfield, P.,: (*Op. Cit.*) *Teoría de la Proporción en la Arquitectura*: página 106:

"Ya hemos podido que al igual que Ruskin: Viollet-le-Duc, se opone a las proporciones fijas del Renacimiento, aunque no ve dificultad alguna en el uso de las proporciones variables basadas en las matemáticas".

Hemos mencionado que a partir del análisis de la arquitectura histórica y propiamente de su restauración, con miras a encontrar mejores o más cómodos caminos; que de una manera actualizada comprendieran los proyectos de las nuevas construcciones incluyendo la de los materiales como los de origen metálico y sus tecnologías. Es precisamente en el siglo XIX Viollet-le-Duc, uno de los célebres investigadores de la arquitectura y particularmente de la restauración, muestra una de las mayores aportaciones en cuanto principios teóricos y a la intervención en el caso estricto de la estructura.

De ahí surge la reestructuración, como concepto de la *restauración*, anotando por experiencias en ejemplos de edificios históricos, las múltiples situaciones por atender.

En general el estudio histórico de la arquitectura en el siglo XIX es clasificado por períodos, particularmente comprendidos por las grandes culturas de la humanidad, iniciando con el antiguo Egipto, Grecia y Roma, resulta interesante la separación a partir de las etapas por los historiadores del arte del mismo siglo XIX la clasificación por estilos, situación quizás por lógica emanada por los ordenes de la arquitectura. Sin embargo los estudios aportados por en los tratados es la fundamentación científica del arte de construir, con la suma del estudio clásico de la arquitectura, heredadas a partir de Vitruvio como raíces básicas de los conocimientos teóricos y tecnológicos. Desde luego en los documentos del siglo XIX la proporción armónica es el origen y la directriz maestra del cálculo gráfico y estructural. Es también el lenguaje de la razón de la propia arquitectura como del arte, que busca los niveles hasta entonces comprendidos como mas sabios, pues se apoya no solo en las ciencias exactas, sino también en la historia, arqueología y antropología, por tal motivo la expresión mas lógica del mismo siglo es la arquitectura neoclásica.

3. - La Configuración Estructural del Siglo XIX.

- 3. A).- La estructura del siglo XIX, (introducción).
- 3. B).- La configuración estructural del siglo XIX.
- 3. C).- Diseño estructural en el siglo XIX:
- 3. D).- Arcos y bóvedas
- 3. E).- Comportamiento sísmico.

Tema 3

La Configuración Estructural del Siglo XIX

3 A).- LA ESTRUCTURA:

La unidad estructural:

Como ya lo plantemos en el capítulo anterior el siglo XIX desarrollo y se puso en practica el análisis de la estática y la resistencia de los materiales; es por ello que en la actualidad se conoce como pueden fallar los materiales, denotando importancia al esfuerzo cortante y momento flector; (precisando los detalles en la acción directa de una fuerza ya sea de tracción o compresión perpendicular a su sección y a su vez estas formas simples de falla se pueden combinar originando el flambeo), también existe el efecto del tiempo que actua sobre los materiales, dados por diversos factores que accionan, provocando en estos una adición debida a esfuerzos internos, tal puede ser el caso de la disgregación de una viga de madera; ya que no solo el material limita su resistencia útil, sino también disminuye su sección.

Ese gran avance si lo pudiéramos sintetizar en ejes puntuales de la historia diríamos que en el periodo clásico de la arquitectura, la estructura se logro con base a los principios fundamentales de la estática; posteriormente en el periodo gótico se logra comprender el conjunto del sistema dinámico, a través del cual fluyen las fuerzas para encontrar el equilibrio, resultado del dominio pleno de la *geometría de la construcción*. Esto es el Renacimiento con la reflexión de las cúpulas propone una comprensión mas afín entre la construcción y la matemática, aquí comienza la

traducción y búsqueda de nuevos caminos propiciados por el alto desarrollo de la geometría (*descriptiva y analítica*).

El inicio de la Ilustración se abre a la teoría estructural, con el análisis de la estructura total, y de los estudios de la resistencia propia de los materiales, serán su esencia mas profunda, tales desarrollos se inician con Rondelet, con lo que se logra una precisión en la aplicación metodologías a finales del siglo XIX. 1

Los materiales y esfuerzos se encuentran íntimamente ligados a su forma o diseño y evidentemente a las cualidades propias que les brinda su naturaleza. Desde la antigüedad se descubrieron estas propiedades en materiales como la piedra, madera, adobes, ladrillos, aglutinantes derivados de la cal y posteriormente los materiales metálicos y el concreto armado, es lo último desarrollado a partir del movimiento industrial, y masivamente aplicados a la construcción. 2

Por diferentes estudios sobre las estructuras realizados desde el siglo XIX, se ha comprobado la existencia de esfuerzos internos, producidos por los efectos de carga en los elementos, estos tipos de esfuerzo se oponen a la deformación y rompimiento del material. La existencia de otra clase de esfuerzos, motivados por circunstancias que contrariamente se suman a las acciones de carga, producida por efectos de deterioro como sucede en las edificaciones históricas. Cada presencia de falla o alteración, presenta a la escala natural, las diferentes acciones y reacciones de sus materiales resistentes, en especial de los elementos arquitectónicos que tienen una función determinante que nos anuncian su modo de acomodamiento, es decir la manera o forma de organización que conocemos como *unidad estructural*.

La unidad estructural es un análisis que busca la explicación del trabajo interno de sus materiales y secciones, comparandolos a mecanismos celulares vivos con afluencias de fuerzas y esfuerzos que tienden a deformar y quebrar las piezas en diferentes con formas y acciones. Es por lo tanto el camino, que a partir de preguntas e interrogantes, inicia primero con el análisis histórico estructural de la arquitectura para posteriormente aplicar a los proyectos aprovechando los avances de las tecnologías y materiales modernos, de esta forma se retroalimenta la información reconociéndose como punto de partida la representación mas pura y directa a

1

Apud., F., Stussi: *Statique, Apliquee et Resistance des Materieux*, París, France, 1957, Ed., Dunord, 287 páginas, ILUS.,

2 Narva y Mayer: *Mecánica Aplicada a las Construcciones*, Op. Cit. España; página 20 - 21:

"Todas las fuerzas son designadas en el nombre de fuerzas exteriores y que ejercen una acción al interior de los cuerpos y se llaman fuerzas interiores".

través de la misma arquitectura y sus tratados, a diferencia del lenguaje físico matemático de la ingeniería que adopta mayor ímpetu contenido en un nuevo universo dado por códigos que tienden a la exactitud expresado en *integrales* un tanto imaginarias para el arquitecto y constructor.

Si tomamos a los tratados clásicos con su representación lograda y entendida en *los cinco ordenes*. El entablamento y particularmente la columna como elemento de apoyo fundamental correspondiendo a una razón lógica de proporción modular. La respuesta es la resistencia presentada lo más directa a través del sistema establecido y legado por la experiencia constructiva definida por la creación como arte de la misma arquitectura, es también la síntesis estructural manifiesta del orden en inicial que a su vez configuro la unidad estructural es su perfecta armonía. Sabemos que la arquitectura al lo largo de la historia opto por modos y sistemas construibles, derivados por tendencias de los diseñadores, así de esta forma la unidad estructural fue cambiando hasta llegar a su máxima expresión con la geometría constructiva lograda en la época gótica y posteriormente con el Renacimiento.

Para el siglo XIX la exigencia estructural busco otros códigos y formas de lenguaje correspondientes a traducir los módulos clásicos en secciones nominales determinadas por coeficientes de ruptura, límite y de seguridad, reconocidos en los estudios de morteros, mamposterías, maderas y metales.

La unidad estructural como temática de estudio, cada vez trajo nuevas tentativas y caminos hacia su investigación derivado por el uso del concreto armado con la comprensión singular de los armados trabajando a tracción las partes que la nueva unidad se lograría a base de un trabajo más compartido. Por ello se llegó al trabajo monolítico, aceptando que los elementos a flexión dentro de cada parte se puede prevenir en su orden establecido que no permita la falta de un elemento con el otro y por tanto uniones o empotramientos son preponderantes.

Jean Rondelet, entre otros experimentó ingeniosamente sobre el trabajo de los materiales en laboratorios habilitando máquinas simples para ejercer los distintos tipos de esfuerzos y de ello presento gráficas cuyo inicio es la presentación de tablas que posteriormente culminaron con los manuales. Sobre el trabajo disímulo de materiales en una estructura a base de mamposterías, cuya unidad no se encuentra comprendida como en las actuales edificaciones de estructuras

continuas. 3

Tratados y libros especializados se preocuparon por estudiar científicamente los fenómenos de ruptura de los materiales; este fue un aporte singular del siglo XIX y de esta forma aparecen en publicaciones de arquitectura y sus especialidades los análisis de ruptura, y límite o trabajo el cual llamaron coeficiente de seguridad, y en relación a ello. 4

Las tablas y manuales demostraron una gran diferencia entre las resistencias de los materiales actuales y los considerados tradicionales, como las mamposterías y maderas a excepción de estas últimas su trabajo preponderante es de compresión pura, y que actualmente entendidos como frágiles, a diferencia de las obras usadas en las estructuras de acero y concreto armado.

De esta forma se descubrieron variaciones en su comportamiento. Con morteros a base de cal, se obtiene una óptima resistencia a la humedad; pero si lo tomamos como parte orgánica del conglomerado en un muro de mampostería, las cualidades de la estructura resultan magníficas en su elasticidad. Adoptando la edificación con estas mezclas deformaciones y agrietamientos que tienden a asumir nuevas disposiciones a manera de articulaciones en la misma.

Desde la antigüedad propiedades de compresión y aplastamiento entre cada uno de los materiales se conocieron; en el siglo XIX se demostraron las diversas posibilidades de resistencia a la fricción por ello en tratados como el de Rouche E., Rondelet, Marva y Mayer se consideraron cierta resistencia a la extensión, como una propiedad particular en las estructuras debidas a la adherencia.

Es en el siglo XIX cuando se desplazó el interés por el conocimiento de las propiedades de los materiales, pues con anterioridad, especialmente con respecto a estructuras abovedadas resueltas por geometría fueron su motivo principal, además de esto, la práctica constructiva y la proporción indicada en tratados. Se asumía al peso volumétrico debido al trabajo de los estribos y contrafuertes mismos que reciben directamente los empujes y de esta forma, transportar o dirigir

3

Narva y Mayer, *Op. Cit.*, 1894, página 116:

"Si hay heterogeneidad en los materiales elementales de una mampostería, tales como las piedras, ladrillos y morteros, en un punto de resistencia con mayor razón la habría en las mamposterías mismas, si se atiende además, a la influencia de detalles de ejecución, relación entre las cantidades de materiales empleados, antigüedad de la obra etc. etc.. Así pues los coeficientes de trabajo y fractura son difíciles de determinar y exigen se les conceda atención y estudio mayores que los que ordinariamente se les dedica."

4 Narva y Mayer, *Op. Cit.*, Páginas 116 y 117, :

"Generalmente los tratados de construcción (1894), se limitan... con datos de coeficientes máximos... no tienen exactitud alguna, pues no se consigna al mismo tiempo la naturaleza de las piedras, ladrillos, morteros y cementos, la edad de los mamposterías y otras mil causas que hacen variar la resistencia de la obra.."

las resultantes lo mas vertical posible hacia las bases. 5

Dentro de los aportes en la tratadística del siglo XIX, se encuentra no solo el concepto sobre lo analizado de coeficientes de seguridad sino el de *modulo de elasticidad*, con esta forma se conocieron los diferentes materiales y dentro de esta indagación de laboratorio se determinaron los límites elásticos. Estos estudios se debieron a necesidades derivadas por el empleo del nuevo diseño estructural a base de continuidad de momentos y materiales dúctiles como el hierro forjado, hierro colado, hierro fundido, acero y concreto; los que ofrecieron cualidades ideales para el diseño de marcos, armaduras, viguetas y columnas, montando grandes estructuras reticulares de alma abierta, de esta forma se aplicaron las nuevas ciencias a la construcción. 6

Una respuesta hacia el camino que busca códigos y lenguajes, científicos, "rectifica" anteriores imprecisiones que en los tratados clásicos se presentan, como lo es la exactitud matemática, pero cayendo en la ambigüedad y abstracción. A pesar de las nuevas complejidades se obtiene una riqueza sobre el análisis físico y matemático en torno a la arquitectura, la cual es la primera de las artes que desborda tantas inquietudes como especialidades, mas sin embargo los antiguos tratados demuestran misteriosamente cada vez mas su eficiencia y exactitud dentro de sus proporciones y diseño, esto lo presentan las demostraciones estructurales basadas en función de la experiencia constructiva y de los mismos ordenes de la arquitectura.

El desarrollo de la ciencia permitió que se llegase a cubrir estudios relacionado al comportamiento interno de la materia, o sea que a partir de la geometría y la estática surge la resistencia de materiales, tal situación lleva experimentaciones unidas a los descubrimientos de los materiales y sus posibilidades, por ello los efectos de ruptura o falla se estudian con una minuciosidad a tal grado que los efectos en acciones de fuerzas y esfuerzos llegan a ejemplos derivados de ensayos conducidos, de esta forma es que se conocieron directamente las deformaciones por acortamiento o alargamiento.7

Si bien la teoría de las estructuras tiene una evolución iniciada en el siglo XVIII, por un camino logico la experiencia constructiva a lo largo de la historia demostró las posibilidades en el

5

Apud., Eugene, Rouche,; *Elements de Statique Grafique, Encyclopedie des Travaux Publics*, Ed., Libraire Baudry et Cie., France, 1889, 284 paginas, ILUS,

6 Apud., M. Delaunag, M., CH.: *Curso Elemental de Mecanica, Teorica y Aplicada*, Madrid, Espana, 1879, Ed., Carlos Bailly - Baillierie, 710 paginas, ILUS.,

7 A. J., Francis, *Op. Cit.*, página 95:

"Por lo general las mejores soluciones de ingeniería provienen de una mezcla juiciosa de la experiencia práctica y la teoría.

A partir del año 1800 se lograron grandes adelantos en la ciencia del análisis de los esfuerzos, y en las postrimerías del siglo, fue posible calcular esfuerzos en los tipos más comunes de estructuras con una precisión razonable..

diseño, la tecnología por su parte permitió cambios paulatinos. Al presentarse cotidianamente en estructuras de mampostería deformaciones y agrietamientos frecuentes, el cálculo permitió la exactitud en cuanto a saber la cantidad necesaria de material para lograr la economía indispensable, por tal motivo se estudiaron las acciones internas en la materiales de construcción para reconocer y fijar a ciencia cierta su utilidad, dependiendo de los índices o coeficientes que marcaran rangos de seguridad. Por esta razón el camino en la transformación de los tratados de arquitectura principalmente los de finales del siglo XIX, cubrieron esa preocupación por ello el cambio lógico de estructuras lo mas "exactas o perfectas posibles" en un sentido estructural estrictamente hablando. Ya no se permitirían manejar o trabajar con edificaciones que rebasaran los limites por lo tanto no presentarían deformaciones o fallas perceptibles fácilmente.

Las tendencias en soluciones más comunes fueron las estructuras estáticamente determinadas, el camino hacia las soluciones continuas se extendió, abriéndose a todas las posibilidades. Por lo que en cierta forma los tratados de arquitectura se enriquecieron, cuyo discurso preponderante fueron las *matemáticas*, con la presentación de innovaciones tecnológicas y de materiales que ofrecen mayor rapidez y limpieza en la obra. 8

Al seguir el universo interno de los materiales estructurales se permitió encontrar situaciones típicas las que se presentaron como ideales, particularmente el estudio de las vigas con sus gráficas de esfuerzos cortantes y momentos flexionantes primeramente en la madera y posteriormente en el metal; esta situación permite el diseño de los perfiles con la preocupación de sus empotres y por analogía su aplicación al concreto armado, respuesta derivada como una abstracción que muestra en esencia a la estructura perfecta en el sentido estricto del trabajo del material, y de ello antes del colado el armado es un sistema diafragmal en forma de red que sugiere la absorción de esfuerzos, en este caso de tensión. Mas allá de ello se realizan estudios cuya complejidad ocurre nuevas sugerencias debido a la imaginación provocada por el lenguaje matemático, las gráficas de los momentos flexionantes y los esfuerzos cortantes son lo mas cercano entre el camino abstracto el de una expresión matemática y la solución constructiva para

8
Apud., Jose Luis, Benlliure, Galan: "*Cursos impartidos durante la clase de proyectos*": Taller Cinco "Max Cetto": 1974 - 1975: y publicados en los *Cuadernos de Arquitectura*, Op. Cit, Mexico, 1982, de INBA. Escuela Nacional de Arquitectura de la UNAM.

ser realizada. 9

A fin del siglo XVIII, los adelantos industriales logrados y el desarrollo de la *geometría descriptiva* junto con el de las ciencias; permitió la propuesta abierta de procedimientos, a base de la *estática gráfica*, a la par de los métodos matemáticos, con lo que se logra conocer por los sistemas la gravitación de las cargas actuando al interior de cada elemento. Lo más importante fue la de apuntar las partes críticas de la estructura; el análisis estático de arcos y bóvedas con la determinando la línea de presiones donde se indicaban los puntos de posible falla, al mismo tiempo la conducción de las fuerzas a lo largo del sistema cuya resultante final permitía proponer el equilibrio de todo sistema.

Tales estudios fueron un camino continuo al diseño donde uniendo la representación de la arquitectura con un amplio apoyo de la *física*, particularmente de las matemáticas, herramienta en el lenguaje de moda dominante; permitió favorecer el estudio interno de las acciones de fuerzas internas y externas, por elementos particulares o generalidades cuyos rumbos son lo que se llama *continuidad* de las estructuras. 10

Lo importante y trascendente en todos los casos es el concepto de permanencia, tanto la construcción como experiencia práctica y los tratados como la intelectualización de la arquitectura. Por ello los métodos modernos de análisis estructural y por lógica la misma evolución y desarrollo de estructuras actuales se deben y nacen de la reflexión de los estudios dedicados especialmente a análisis de colapsos o fallas, anunciadas en construcciones del pasado. sobre todo aquellas que sus componentes son de mamposterías y más si estas se encuentran resueltas por geometría, obedecen entonces a una razón lógica del trabajo correcto del material y al mismo tiempo teniendo una interpretación matemática. 11

El siglo XIX se caracterizo plenamente por ser, clasificador, ordenador y por lo tanto

9

Apud. Camilo, Guidi: *Teoria Dell' Elastica e Resisstenza dei Materiali.*, Parte Seconda; Torino, Italia, 1908, Ed, Torino Vincenzo Bona, 384 paginas, ILUS. Otras obras sobre el tema del mismo autor y que fundametan el avance de la teoria hasta aquel entonces: *Nozioni di Statica Grafica*, Politecnico di Torino, Italia, 1910, parte prima, 150 p. Ed., Torino Vincenzo Bona, ILUS., y: *Scienza delle Costruzioni*, Date Dall Ing. Prof. R. Politecnico di Torino, Parte Terza: *Elementi delle Costruzioni Civili*, Torino, Italia, 1911, Torino, Vincenzo Bona, tipografop dela Real Casa, 488, paginas, ILUS.

10 Apud., M. Mascart,: *Elements de Mecanique*: Paris, France, 1900, Libraire, Hachette et Cie., 196, paginas, ILUS., y J., L., Boucharlart: *Elements de Mecanique*, Paris, France, 1840, Bachelier, Imprimeur, Libraire, 463 paginas, ILUS.,

11 M. G., Lamé,: *Leçons sut la Theorie Mathématique, de L'Elasticité des Corps Solides*, France, 1852, Paris Bachelier, Imprimeur- Libraire, 335 p. ILUS, p 37 - 38.

"Tell'est la méthode suivante pour obtenir les équations générales de l'élasticite dans milieux solides. Mais cette méthode surfase évidemment la continuité de la matiere, hypothèse inadmissible. Piosson croit lever cette difficulté, en remplaçant l'intégrale en "Z", par une somme d'un nombre de termes finis et indéterminés, mais cette summation n' était qu' un signe (*integral*), et cela pour une seucle des integrations, un signe.."

científico, con el se abren nuevos caminos, plasmados en todas las manifestaciones, su influencia en la vida moderna aceleran su transformación, plasmada en la búsqueda de la enseñanza y aplicación de la misma con nuevas exigencias.

La tecnología con la experimentación científica utilizo los materiales en la arquitectura para lograr una modulación lógica a base de lenguajes analíticos. Por esta razón los tratados resultaron mas ambiciosos debiendose a que básicamente a esta trascendencia científica, creando una confusión y crisis, pero a la vez, descubren posibilidades nuevas con situaciones encontradas sobre el arte y ciencia y con ello las preguntas de cuales caminos tomar para su enseñanza, las ideas trascienden en las escuelas y academias de arquitectura y bellas artes, entre las cuales se encontraba la de San Carlos en México.

Al ser múltiples las respuestas de las que parten y de ello partien la especialización como ramas de apoyo a la naciente concepción de la arquitectura, a la par de los tratados se publican libros de estabilidad, primeramente con enfoques físicos, y posteriormente en los libros enciclopédicos que amalgaman la pureza de los tratados clásicos, con una aplicación constructiva. Nuevos adelantos en las ciencias como la geometría descriptiva, matemáticas y física, son la herramienta principal, de cuyos desarrollos creativos permiten el cálculo estructural dedicado al estudio de los nuevos conceptos que se desbordan en la grandeza de manifestaciones expresadas en fórmulas, como si se tratase de un nuevo lenguaje acorde con el sentir universal de todas las ciencias y artes. La base de módulos y proporciones se determina por secciones ideales basadas en la resistencia del material con su índice propio de seguridad.

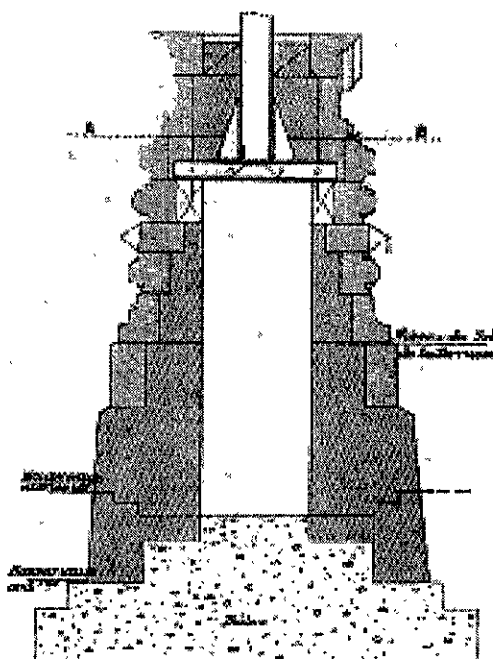
Al principio el análisis de las estructuras floreció como una pregunta que buscaba una lógica común a los de grandes ejemplos de la arquitectura a los que se presento como monumentos desafiantes, reflexiones que en la actualidad se han olvidado, con la desaparición de la practica cotidiana, materiales y los criterios de diseño han quedado fuera de nuestra comprensión las estructuras históricas.

El campo cada vez mas impresionante de la ingeniería, desplaza a las imágenes de la arquitectura idealizada. Pero mas que ello la definición como profesiones que se relacionan, pues al igual que la ingeniería la arquitectura se vuelve eminentemente actual al desarrollo tecnológico, con sus respuestas de diseño estructural que perfectamente dominan junto con la enseñanza de los ordenes clásicos a la misma arquitectura; por ello tenemos ejemplos iniciados, como ya lo expresamos, en 1802 con Jean Rondelet y continuados por Leonce Reynaud, dando la perfección en el diseño con temas un tanto ambiguos y subjetivos para el arquitecto y constructor como es

el cálculo estructural. A la par surge la moda por conocer el pasado y con ello aparece la *historia* de la *arquitectura* y la *arqueología*.

El interés por el análisis estructural, nace con el estudio de los *monumentos*; fervientes seguidores como Viollet-le-Duc encabezan la línea historicista tradicional, la cual está basada en el ferviente admiración por los llamados estilos antiguos como el *gótico*, con su análisis y agregando la posibilidad de restablecer con el uso y combinación de los nuevos materiales, como el metal, se aplican generalmente las posibilidades en la estabilidad. Las tendencias modernas, de avances técnicos como los sugeridos por Jules Pillet, Navier o Cremona con las estructuras; forman la línea innovadora, basada a su vez en tres escuelas o especialidades: La físico-matemática, la geometría y la edificación; todas ellas requieren no solamente del cálculo y la comprensión estructural si no también del reconocimiento del legado histórico de la arquitectura.

El camino se abre hacia las nuevas tendencias constructivas promovidas por los avances tecnológicos sin perder de vista que la tradición ya que es vital como fundamentos del diseño y arte de construir (fig. 1 y 2), de esta forma los manuales, libros y todo tipo de documentos especializados en torno a los tratados clásicos contendrán un acervo teórico singularmente científico, pero que emana de un origen inverso, debido a la gran maestra de la vida que es la experiencia, guardada como una Biblia concentrada o sintetizada en la literatura que cada vez se vuelve más especializada desde Vitruvio hasta la entonces vida moderna del siglo XIX.



Paul Planat, *Op. Cit.*, Tomo I, pág. 716, sobre cemento para poste de concreto (fig. 1)

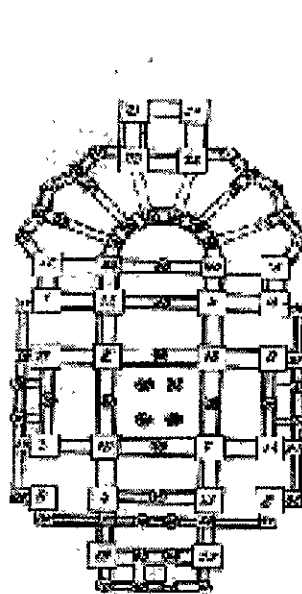


Fig. 24. — Plan des piliers encastrés au circonférence.

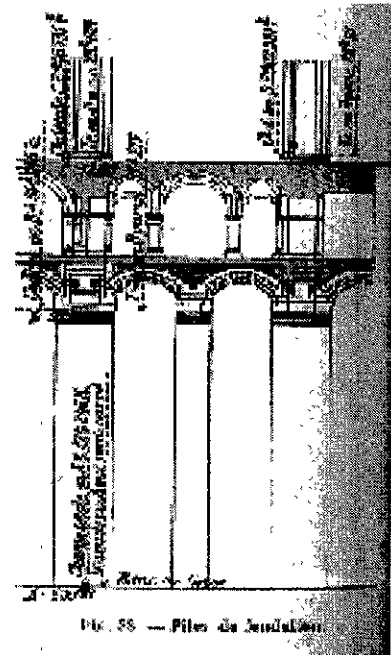


Fig. 35. — Piliers de Jérusalem.

pág. 558, Iglesia de Montmartre, estructura tradicional pilas concreto armado, Paul Planat, *Op. Cit.*, Tomo I. (fig. 2)

Por aquel tiempo la razón de ser de la estabilidad de las construcciones se vuelve una búsqueda de la perfección, e incluso el alarde constructivo llega a poner en gran duda los conocimientos del momento por encontrar su respuesta. Hemos explicado con anterioridad que de ahí partirán las primeras experiencias del análisis moderno matemático, así cada vez más, la ingeniería adopta una postura sólida y congruente, sin olvidar que existen proporciones universales de arquitectura, su construcción misma, plasmadas en los tratados y puestas en práctica de generación en generación.¹²

Su interpretación matemática y en el conocimiento de los nuevos materiales resultan de una increíble el resultado de la especialización. Así poco a poco se alejaron de las soluciones sencillas con la aplicación de las teorías de Polemi, Rondelet y Navier; que defienden la idea de utilizar racionalmente los materiales; integrándolos de esta forma nuevos cánones establecidos en unidades de resistencia.

La estructura al ser reinterpretadas matemáticamente, antepone nuevas situaciones debidas a los minuciosos análisis, cuyo entendimiento filosófico en su configuración llegando a puntos encontrados, con la confusión de la arquitectura y su construcción misma; como una manifestación creadora que se encuentra aparentemente más allá del arte mismo y posiblemente más relacionada con las ciencias. Es contundente la influencia en el avance y utilidad matemática y tecnológica, pero sobre todo la insistente especialización dedicada a materiales cuyas leyes e hipótesis se basan en postulados ya históricos.¹³

El cálculo estructural contienen sus primeros ejemplos prácticos en libros especializados del siglo XIX. Al igual que la concepción de la arquitectura en torno a dos secuencias alimentadoras. La primera es el estudio de la proporción arquitectural clásica, que valiéndose de los adelantos y de la utilidad de la geometría descriptiva así como de otras ciencias tratan de explicar a través de la experiencia y el uso de ciertas formulas debidas a los adelantos científicos del orden de la física y particularmente de la resistencia de materiales pero que definitivamente se basan en la tradición constructiva, donde la estática y la construcción por geometría adquieren una importante connotación, apegándose fielmente a las modulaciones derivadas y establecidas por los cinco ordenes, con fuertes arraigos en la historia y las artes. Mientras que la segunda, es

12

Nota: La experimentación en el campo estructural durante el siglo XIX, llega a estructuras redundantes y a veces fuera de la lógica, en contraposición con las estructuras tradicionales entendidas con esfuerzos directos como los muros, arcadas y bóvedas; que como máxima expresión lo manifiesta la arquitectura gótica, con su debida perfección y refinamiento en las cúpulas, logrado en el renacimiento italiano.

Apud. Narva y Mayer: *Mecánica Aplicada a las Construcciones, Op. Cit.* publicado en Madrid en 1894.; Imprenta y Litografía de Julian Palacios.

13 Vicente, Pérez Olama : *El Concreto Armado en las Estructuras*, México, 1994, Ed. Trillas, (pág. 23)

"La teoría convencional del concreto armado se deriva de el hecho de que en condiciones normales de trabajo, los esfuerzos de los materiales no pasan de sus límites elásticos. Es decir que existe proporcionalidad entre esfuerzos y las deformaciones."

fundamentalmente innovadora científica y clasificadora.

Ordena analítica o gráficamente los problemas estructurales. La estabilidad de los edificios la estudia por primera vez en partes esenciales: Las fundaciones o cimentaciones, los entrepisos, los apoyos y las cubiertas. Que a diferencia de la primera, busca una explicación mas cuidadosa en el estudio altamente desarrollado de lenguajes como son la geometría analítica y el cálculo diferencial e integral. Estos sistemas de idiomas son trascendentales pues, lo fueron para la ciencias físicas, expuestas por A. Parent justamente en 1700; así como el propio Navier y Louis Poisson.

La necesidad de conocer la aplicación de la *mecánica* (dinámica y estática), a la construcción y entendimiento de sus materiales son su esencia vital de percibir formas de romperse y resistencias deseadas para encontrar esfuerzos adecuados, para diseñar así las secciones necesarias según las cargas, con este criterio se estudian los sistemas tradicionales situándose en un desborde apoyado en el reconocimientos de principios que culminando con el análisis de elementos como las traveses, columnas y el sistema estructural mas significativo del siglo XIX, las armaduras y pórticos, que tienen la posibilidad de edificaciones de gran altura.

La búsqueda ideal de la continuidad basada en los momentos flexionantes y esfuerzos cortantes, tal y como hoy en día se visualiza la estructura y cuya finalidad en su momento es una perfección basada en la tecnología industrial de secciones nominales armadas y empotradas perfectamente seran el criterio con el que se desarrollan las soluciones en concreto armado.

Navier propone bases fundamentales del calculo estructural y Rondelet sintetiza para la practica constructiva su aplicación mas directa y fiel, tratando de conservar los ideales de la arquitectura, pero con un ferviente deseo por exponer los métodos constructivos basados en el conocimiento a través de la experimentación de los propios materiales, (tradicionales y modernos) como son los metales. Los fundamentos de las ciencias físicas y de la construcción redoblan la labor de la arquitectura, contraponiendose incluso, principios científicos a los del orden meramente inmersos en los conceptos del arte. 14

14

Jean Rondelet, Supplement G. Abel, Blouet, *Traite Theorique et Pratique de L'Art de Batir*, Tome Premiere: París, Libraire de Firmin Didot et Cie. Imprimeurs de L'Istitut, 1881 (Edición), 326 pág. (suplemento del tomo 1) 364 (páginas), LAM. página 257

"La propriete des corps solides... elasticité, c'est á dire á la faculte qu'ils presentent de changer un peu de figurer, lors qu'un effort est exercé sur une partie de leurs surfaces, de resister á ce changement, et de reprendre d'eux-memes, quand l'effort cessé, leur figure primitive".

En síntesis:

En el siglo XIX, el pensamiento dominante con sus atenuantes, discrepancias y contradicciones, corresponde a un mundo cambiante, esto se debe al avance constante de la tecnología por lo tanto la arquitectura se encuentra en una encrucijada de conceptos filosóficos. El desarrollo científico que se origina y dirige hacia otros rumbos, al anunciar y surgir la restauración como un concepto vital en la conservación de la arquitectura; ello se debe a que determina la importancia de los tratados clásicos como respuesta al origen y el porque de la arquitectura histórica; en busca de respuestas lógicas en los grandes monumentos.¹⁵

El nacimiento de la teoría estructural a través del análisis de la arquitectura del pasado y de sus primeras aplicaciones directas son esencia de la restauración moderna. Situación contradictoria en la actualidad ya que el desarrollo estructural ha olvidado la interpretación en sus fundamentos de las estructuras históricas referidas a su tan importante comprensión de su *unidad estructural*.¹⁶

Un principio poético, basado en una reflexión profunda de *Julien Guadet*, (principal opositor de Viollet-le-Duc) nos muestra en la introducción de su obra, el entendimiento de la arquitectura como universo totalizador, donde la labor constructiva plasma todas sus funciones. con las diversas tipologías emanadas propiamente de la necesidad del conocimiento de tecnologías no solo contemporáneas sino también históricas.¹⁷

Por ello el discurso de los tratados y libros especializados contienen un alto nivel científico, pues parten de la necesidad de conocer la arquitectura a través del tiempo. Analizar el porque de su estabilidad, hasta llegar a su definir su unidad estructural, con sus posibles deformaciones y afectaciones será la intención.

En este siglo el concepto de la restauración se presenta como un concepto moderno, con sus fundamentos históricos, se busca una explicación en términos científicos, por tal razón es un camino de retorno, para proponer al futuro edificaciones con memoria estructural, misma que explique matemáticamente su estabilidad, deformaciones y fallas, que como deterioros o

15

Apud., Alexis, Lemaistre,: *L'Ecole des Beaux - Arts*, Paris, 1889, (Francia), Libraire Firmin - Dido, et Cie., 407 paginas, ILUS, LAM.

16 Apud., Fernando, Lizzi,: *Restauro Statitico dei Monumenti*, Italia, 1981, Sagep, Editrice, 150 p. Fotos., ILUS., y Apud., Mastro, Dicasa, Sisto, *Dissesti Statici delle Structure Edilizie*,: Italia, 1983, Editore Ulrico Hoepli, 790 paginas, ILUS,

17 Julien, Guadet,: *Elements et Theorie de l; Architecture*; 1884. Tomo Uno, página,7 10:

"L'Architecture n'a qu'une raison d'etre, bien, nette, bien visible: construire. Ce mot résume toutes les fonctions de l'Architecture, par, Conserver, Entretienir, Réparer, Restaurer, c'est encore Construire"

Ramón, Vargas,: *Historia de la teoría de la Arquitectura del Porfirismo.*, México, 1989, U. A. M., Unidad Xochimilco, 221 páginas, página 89:

"Julian Guadet, que tal es el autor a quien Mariscal parafrasea, caracterizó el objeto a que se dedica la Teoría de la arquitectura, cátedra en la cual fue él uno de los grandes y reconocidos maestros de L'Ecole Nationale et Spéciall des Beaux Arts, ... para comprobar el conocimiento y el dominio que los arquitectos porfiristas tenían en la teoría de la arquitectura de Guadet."

alteraciones podamos determinar las resistencias reales. 18

Jacob, Feld,: *Fallas Tecnicas en la Construcción*, México, 1978, LIMUSA, 491 p. Página 46.,

El autor sobre el envejecimiento nos dice:

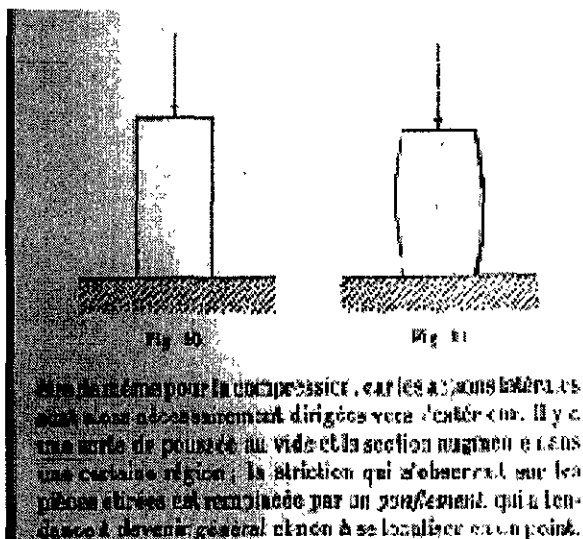
"Las fluctuaciones de temperatura, exposición en la lluvia, la humedad y las alteraciones químicas de las unidades y de los morteros de las mamposterías así como de formaciones elásticas y plásticas actuando todas en combinaciones múltiples en apariencias; las características contra la intemperie y hasta la resistencia de la mampostería."

3 B).- Configuración estructural del siglo XIX:

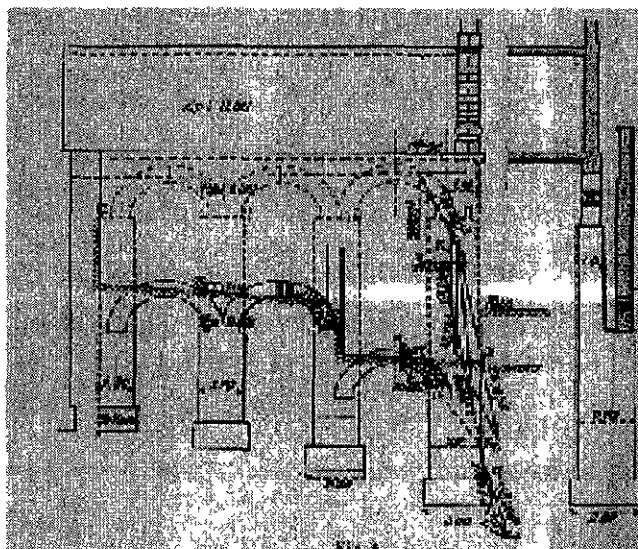
Generalidades:

Las ciencias y artes del siglo XIX recogen el fruto del nuevo saber transmitida a los arquitectos y constructores mediante nuevas obras, las que consisten en una ramificación especializada de los enciclopedias, manuales y libros cuyo rumbo se perfila hacia una pureza científica, entendida y sin tratar de quitar valor a los tratados clásicos, ya que suman a su contenido un lenguaje basado en el estudio físico-matemático de las construcciones.

Inicialmente la estabilidad de un muro se razonaba por sus proporciones, así como con la búsqueda de un mayor peso volumétrico en su masa para que de esta forma fuera más resistente a los empujes y cargas gravitacionales que se solicitasen. Tanto su distribución, como los espesores de los mismos, hacen determinante el fortalecimiento de la estructura de un modo continua e íntegra por muros que se amarran entre si; donde la cantidad de área en primera instancia define su resistencia, mientras que la longitud y especialmente la relación de altura en torno a su anchura son los parámetros de diseño esta construcción singular (fig.1 y 2 siguiente). 1



Tratado de Jean Novat, *Op. Cit.* 1903, fig. 1



Paul Planant Vol. I, *Op. Cit.* p. 678, fig. 2

1
Apud. Paul Vicat: *Op. Cit.*, Apud. Leonce, Reynaud: *Traite D'Architecture*, Premier Partie, Art De Batir, Deuxieme Partie, Composition des Edifices, Paris, *Op. Cit.* (Primera parte) 1875: LAM DYNOD EDITEUR, y sobre el mismo tema, el libro de: Jean Novat,; *Cours Pratique de Resistance des Matereaux: L'Art de Batir Op. Cit.* France, 1913, Libraire Polytechnique Ch., Béranger, Editeur, Professé a la Societé d'Enseignement Professionnel du Rhone,

Por tal hecho en las edificaciones de finales del siglo XIX, a medida que aumentaban los niveles, las partes bajas de los muros se construyen más gruesos. De esta forma al hacerlos con diferente espesor, la propiedad de resistencia no solo a cargas y a empujes es mayor (imagen anterior). A medida que de materiales y morteros se ordenan orgánicamente la disposición de cargas tiende a ser debido al gran peso volumétrico, la dominación de esfuerzos de compresión cada vez mayores en las partes bajas, actuando favorablemente la estructura como un sistema organizado con paneles que se encuentran unos con otros a 90 grados, solventando los vanos y claros con sistemas arcados integralmente, junto con el despiece ordenado ya sea por hiladas, o simplemente conglomerados de mampostería y morteros, que en ocasiones contienen la uniformidad de cargas, como verdugones, cadenas, pilastras, arcos de descarga, secuencias de materiales en hiladas dispuestos por capas, alternados con conglomerados; todos ellos unidos a aglutinantes a base de cal, para aprovechar las excelentes cualidades de elasticidad, amortiguamiento y fricción. Esta combinación se favorecía por la resistencia a la intemperie; ya que también se organizaron por otras cualidades que encontramos en el tezontle, utilizado como material desde épocas remotas. Lo anterior nos dice que estas obras, más que construcciones simples son construcciones sencillas que por sus cualidades y características tienen una gran resistencia incluso a los temblores.²

El estudio de las proporciones y gracias a los adelantos de la física, preocupó durante todo el siglo XIX, investigar especialmente la *mecánica* de las construcciones, definir y comprender el comportamiento interno de los materiales, así como entender y determinar científicamente sus propiedades estructurales, hasta llegar a la minuciosidad en el trabajo molecular e incluso el de la dilatación. Calificado de esta forma se llega a diversas organizaciones de estructuras y resistencias de materiales. ³

El estudio hizo necesario la traducción lo más directa posible la transmisión de fuerzas y

2

D. J. Dowrick en su obra citada: *Op. Cit. Diseño de Estructuras Resistentes a los Sismos; Para Ingenieros y Arquitectos*, México, 1984, Ed. LIMUSA : 410, p. (pagina 96)

"Los sismos han demostrado repetidamente que las estructuras más simples tienen la mayor oportunidad de sobrevivir. Hay dos motivos principales: primero la habilidad para entender el comportamiento sísmico del conjunto de una estructura es notablemente mayor para una estructura simple que para una compleja; y segundo la habilidad para entender los detalles estructurales es considerablemente mayor para los detalles simples que para los que sean complicados"

³ Nota: Aunque se ha demostrado que las mamposterías únicamente resisten a la compresión, las posibilidades de resistencia hacia otros tipos de esfuerzos se amplía y esto depende de varias cualidades, tanto del diseño como de la construcción misma, por ejemplo el ingeniero González Flores al visualizar la organización de este tipo de estructuras la misma secuencia de cargas en torno a sus elementos arquitectónicos estructurales se conduce hacia sus fundamentos y el mismo peso lo ayuda hasta cierta límite a resistir o eliminar tracciones.

Apud. Jules, Pillet, *Traite de Steriotomie: (Charpentie et Coupe des Pierres)*, París, France, 1887, Libraire, Delagrave, 167 páginas, ILUS.

esfuerzos, con ellos, las posibles deformaciones y rupturas del material constitutivo de la estructura, por lo que fue indispensable su descripción y solución gráfica a través de la *estática*, con posterioridad complemento también por medio de dibujos de vigas y pórticos mostrando diagramas con sus momentos y cortantes; deformaciones y posibles fallas en los puntos drásticos, que aún hoy se utilizan en el conocimiento básico de *resistencia de materiales* en el análisis vigas simplemente apoyadas. Mientras que para las vigas continuas y para el centro de los claros se tomaron mayores atenciones, especialmente se estudio los efectos de los empotes, reflexión singular que abriendo el conocimiento hacia la teoría de las estructuras, mismo que dominan hoy en día los criterios del diseño. Con el análisis estático de las construcciones se requirió de conocer nuevos conceptos como son el centro de gravedad, los momentos de inercia, y la resistencia natural del material a la tracción o compresión hasta definir el modulo de elasticidad y configurar las teorías de las estructuras.

Como importancia primordial el desarrollo en el estudio de todos los elementos arquitectónicos estructurales de los apoyos continuos retoma un giro, pues el análisis de vigas y la experimentación en laboratorio y en obra directa de materiales metálicos propicio el avance tanto a teoría, especialmente de los elementos sujetos a combinación de esfuerzos, producto de los momentos flexionantes. Igualmente a los constructores también les interesó la cohesión entre materiales, considerando la naturaleza de las superficies debidas al contacto que ejercen. 4

El criterio de diseño general que se presenta al originarse el estudio de proporciones heredadas de los tratados clásicos, toma por lo tanto, un cuidado en los alzados como en diferentes plantas. El estudio de la armonía con diversos trazos ordena cada una de sus partes, cuya correspondencia y unidad se encuentran comprendidas en un principio de composición y orden; por lo que *la simetría* en grandes construcciones casi siempre estará manifiesta en las plantas y alzados. 5

La aplicación de los tratados contiene una correspondencia que busca la continuidad en sus apoyos en ambos sentidos, simplificando la bajada de cargas hacia los fundamentos, para

4

Apud.,D. E. Boix: *Estabilidad de las Construcciones de Mampostería.*(Op. Cit.) Madrid, España, 1892, Ed., Establecimiento Tipográfico de Gregorio Juste, 649 páginas, ILUS.,

5 Arsenio, Fernández,; *Iglesias Nuevas en España, Op, Cit.,* España, página 87:

"La planimetría no supone sólo la proyección lineal de la obra sobre el suelo, sino también el alzado y la cubierta; es la concepción total de la obra mental o linealmente dibujada. Es, sobre todo, la concepción plástica del espacio. Es curioso notar que nuestra educación estética moderna puede leer con más facilidad la proyección lineal de un objeto que el vacío de los espacios, muy al contrario de lo que eran capaces los medievales, que sabían apreciar los distintos matices espaciales como formas dejándose impresionar por ellas".

determinando las secciones analíticamente, sin embargo aun se conserva como parte del diseño integral, el estudio de las proporciones y armonías heredadas, como de la experiencia constructiva.

Desde luego que para el siglo XIX, tales proporciones podían variar según los tipos de materiales y procedimientos constitutivos, experimentan varios campos, de tal forma que se consideraba, la ahora llamada *relación de esbeltez*, tomando en cuenta la resistencia propia del material a través de los índices de seguridad, y adicionalmente se obtenían mayores factores que definían una sección quizás de menor tamaño pero más aproximada a lo requerido. Si observamos, la mentalidad de la época manifestó la nueva razón del porque y demostrar científicamente el diseño de las secciones, abriendo un nuevo criterio en la proporción de las columnas; que tradicionalmente se habían comprendido como la síntesis en los ordenes de la arquitectura. ⁶

Las estructuras con mayor estudio, presentan robustos muros encontrándose diseñadas para fomentar desde el centro y en los elementos más altos hacia la parte perimetral, con una secuencia de flujos de cargas hacia los fundamentos, a través de todas las líneas de apoyo relacionadas entre sí. Al centro se tiene una cubierta resuelta con cúpula o abierta en forma de patio, tratando de conservar una simetría u orden. Esta manera de diseñar se produjo en el pasado con estructuras bastaste solidas, para los edificios resueltos con crujías y de un máximo de tres niveles de altura. Por lo que los problemas debido al viento o sismo no preocuparon para este tipo de soluciones pesadas, salvo al sur de Europa, en Italia el tipo de suelos provocaba efectos destructores en las construcciones rígidas hechas con muros de carga, pero al interesar la respuesta de las construcciones a fuerzas horizontales debidas al coceo de las bóvedas se atendía indirectamente tales solicitudes.

"La geometría en las estructuras a base de apoyos continuos se encuentra íntimamente ligada tanto a su construcción propia, como a sus materiales y formas de ligarse, con intersecciones dispuestas que responden a proporcionar resistencia en ambos sentidos, actuando libremente por entrepisos y cubiertas articulados diafragmalmente, eliminando su esbeltez, pero sin rigidizar como una losa continua, evitando la concentración de cargas hacia las líneas de apoyo, cuenta con la particularidad principalmente en los envigados de recibir en la

6

Nota: Jean Rondelet presento en 1802 las primeras fórmulas que como interpretaciones directas son el lenguaje franco que expresa matemáticamente las secciones necesarias que ayudan a obtener la proporción ideal del muro, cuya relación de esbeltez incluso en los libros contemporáneos para muros de mampostería, adobe y tepetate, no debe ser mayor a un octavo de su altura: $e = h/8$.
Apud. Jean Rondelet, *Traite Theorique et Pratique del L'Art de Batir*, Tome Premiere et Second, Paris 1881, Libraire Firmin - Didot et Cie., Imprimeurs. Op. Cit.

forma menos factible un posible impacto, pues por la gran rigidez de los apoyos encontrados estos tienden a asumir las diferencias." ⁷

En Europa, para conocer como se estudian sistemas a base de muros de carga, se implementan en escuelas y academias, estudian sobre ensayos de los materiales, cuyos planteamientos hechos sobre la práctica y escritos a manera de tratados; poco a poco se vuelven una especialidad. De ello son los ya mencionados tratados ejecutados en forma enciclopédica como el de Jean Rondelet basando en la búsqueda científica para encontrar respuestas lógicas expresadas matemáticamente de esta forma fue común la presentación de tablas o "*tableaux*" de resistencia específica dedicadas e inspiradas a exponer y conocer cada vez más los nuevos materiales. Mientras para el caso de los muros de carga, se presentaron resistencias contenidas en piedras y tabiques no solo al trabajo de compresión sino también a la tracción. ⁸

Como ya se conocían las diferentes resistencias de los materiales llamados tradicionales, por ejemplo para un muro de mampostería unido con morteros a la cal, se determinaba su resistencia del mismo con una especial atención a la mezcla como materia más frágil, para tal fin se expresaban no solo las resistencias medias, sino que además la llamada carga práctica, que eran los coeficientes directos considerando los índices de seguridad el cual oscilaba de 1/5 a 1/6 de la llamada carga de ruptura.

Al igual que Rondelet, otros autores continuaron su obra, complementando sus estudios de tal manera, se fueron conociendo más propiedades de los materiales, como la absorción, permeabilidad y composición química; e incluso al estudiar cualidades de comportamiento entre sí, su adherencia, fricción e incluso se introducen hasta la profundidad de los problemas derivados de la *elasticidad*.

7

Hector Pérez Espinosa, Jorge Rojas Ramírez: *Reestructuración del Exconvento de Tecamachalco*, Puebla, ENCRM, tesis de maestría en arquitectura, 1981. INAH.

8 Nota: Unas tablas que sintetizan con una gran eficacia para la práctica son por ejemplo las presentadas por Jean Novat: "*Cours Pratique de Résistance des Matériaux*", *L'Art de Batir*, escrito en 1913, pero por supuesto con fuertes antecedentes Rondeleanos designa los materiales en forma de lista dentro de cada "*tableau*" ordenandolos por su origen, peso volumétrico y los respectivos esfuerzos a la ruptura por compresión y tracción, mientras que en las siguientes tablas complementa aspectos de resistencias medias (como si se tratase de índices de seguridad, para piedras talladas y morteros considera 1/10 sobre la carga de ruptura). Complementa dichos enlistados con ejemplos del material y sistema utilizados e diversos edificios; estas tablas presentan verdaderos manuales o catálogos de construcción.

Jean, Novat: *Op. Cit.* France, 1913, Librairie Polytechnique Ch., Béranger, Editeur, Professeur a la Société d'Enseignement Professionnel du Rhone, página 37 :

"Michelot et Durand-Claye ont dressé en 1878 un Catalogue, résumant leurs expériences sur les divers échantillons de matériaux de construction réunis à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Durand-Clayet et Debray ont révisé ce catalogue en ce qui concerne les carrières de pierre de taille et ont publié le résumé de leurs essais dans l'ouvrage intitulé: Répertoire des carrières des pierres de taille exploitées en 1889".

Estudios descritos por D. Boix en: "*Estabilidad de las Construcciones*" (1892) y de Narva y Mayer: "*Mecánica Aplicada a las Construcciones*" (1894), consideran a las construcciones como sistemas de materiales unidos según los principios de la geometría, cuyas juntas integradas por mortero juegan un papel determinante dentro del eslabón. Donde las condiciones esenciales del equilibrio se encuentran en la forma de transmisión de las fuerzas interiores y exteriores, denotada en su organización estructural, como la relación y cualidades de sus materiales constructivos. 9

Nota: Durante el siglo XIX, siempre se busco una respuesta científica, concebida la construcción como un sistema ordenado de materiales, unidos, según los principios de la geometría; y cuya síntesis es la organización estructural; y de ello parte la necesidad de conocer su relación y cualidades de los materiales: absorción o permeabilidad, adherencia, fricción, resistencia, composición química, factores descubiertos desde el siglo XVIII y aplicados en los tratados del siglo XIX,; presentados por tablas y de las pruebas de laboratorio los tratadistas se basaron ampliamente en Jean Rondelet, (Op. Cit.), y cuya primera edición es de 1802. Apud. D. Boix en "*Estabilidad de las Construcciones*" (1892), Op. Cit., y Narva y Mayer en "*Mecánica Aplicada a las Construcciones*" (1894) Op. Cit.

3 C).- El diseño estructural en el siglo XIX:

Para comprender los criterios de diseño manejados en esta época que contienen de enfoques constructivos, es necesario conocer las fuentes escritas, logrados principalmente en el conocimiento de los materiales y expresados principalmente en fundamentaciones matemáticas.¹⁰

El cálculo estructural de muros, primeramente en principio partía de la planta tipo, su diseño era totalmente integral, incluyendo el manejo de los sistemas constructivos a la perfección. El mismo cálculo estructural consistía en una importante simplificación de teorías de la estabilidad fundamentadas por los grandes teóricos como *Poncelet*, *Love* y desde luego *Rondelet*.¹¹

Para finales del siglo XIX, era menester el estudio derivado de la resistencia de materiales, esta disciplina fue iniciada en forma cien años antes, así de esta manera se obligaba el análisis y conducción de fuerzas generadas a través de un cuerpo sólido y su relación.

Pero quizás aún las fuentes más puras sobre el estudio de la estabilidad es la desarrollada directamente en las acciones de la restauración y consolidación estructural de monumentos durante el siglo XIX, mismas que son derivadas del análisis de experiencias de consolidación y de

10

Paul Planat, *O. Cit.* primer tomo, página 9 :

"Comme on le vera, d'après les experiences anciennes de Rondelet et celles des laboratoires modernes, la résistance a l'écrasement est liée à la densité de la pierre; l'une est l'autre progressent dans le meme sens."

11 Nota: autores tremendamente importantes para los estudios en las clases de cálculo de ingeniería y arquitectura en México, tal y como lo presenta la enorme bibliografía consultada tanto en el siglo XIX, como las primeras décadas del presente, en la Biblioteca Histórica del Palacio de Minería, de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

J., L., Claudel: *Art de Construire Maçonnerie*, France, Paris, 1859, Ed. Dalmont et Dunod, Editeurs, 678 p., ILUS., p. 360.

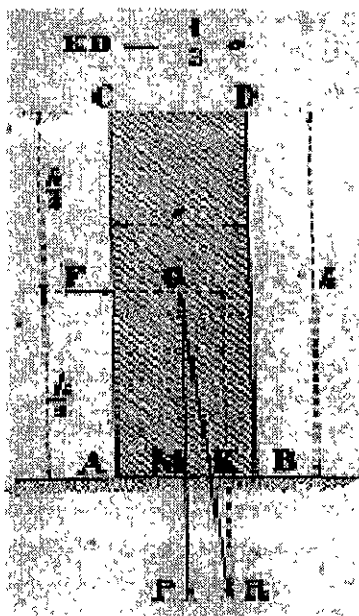
"Le murs d'enceintes non convertes- d'après les observations de Rondelet sur des edifices de tous genres, il resulte qu' un mur jouit d'une forte stabilite s'il a pour epaisseur le 1/8 de sa hauteur, que le 1/10, lui procure une sabilite moyenne, et le 1/12 le moidre degre de stabilite qu' il puisse avoir".

Apud.: L., Cornu: *Guide Pratique pour l'Etude et l'Execution des Constructions en Fer (A l'usage des Architectes, Ingenieurs, Condocteur de Travaux Eleves des Ecoles*, E. R. Paris, 1886, 227 p. Libraire Paul Dodont/ A. Neully, ILUS., p. 86 - 90

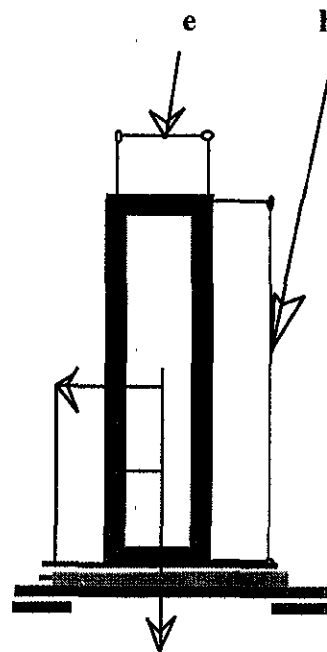
"Formules, M. Love conclusant des experiences de M, Hodgkinson que le maximun de resistance a la rupture de la fonte pouvait s'estimer en moyenne, a 8 000 kg./ cm²et celui du fer a 4 000 kg. cm.², en a depuis les formules et données suivantes pour la resistance des colonnes a la rupture, en kilogrammes,"

recimentación a cerca de la colocación de pequeños pilotes de concreto inyectados. 12

En este periodo existía una mayor atención al diseño de muros basado en estas recomendaciones, diferenciando los interiores, o de fachada etcétera y como base fundamental, los de una casa habitación. Todos los casos tenían su particular relación, que simplifica la proporción matemáticamente, por una simple pero significativa relación de proporciones, incluyendo el largo del muro (fig. 3 y 4).



G. Oslet y J. Chaix, Tomo III, (1850), pág. 400.
(fig. 3)



Jean Rondelet (1802), Relación de esbeltez en muros.
Ancho $e = h/8$ muros bajos. Ancho $e = h/12$ Altos.

Obviamente que para el diseño de estructuras abovedadas las proporciones se consideraban aún mayores para los muros, por la lógica de empujes y estos poderlos recibir sin mayor problema. Al considerar el diseño particular de casas, edificios habitacionales, con entresijos y cubiertas resueltas por vigas de madera o metálicas, las exigencias de los espesores fueron menores, por lo que las construcciones para este último periodo, se diseñaron con muros menos pesados al disminuir el espesor de los muros de tepetate, ladrillo y block prensados.

Al culminar el siglo XIX, se presentan los criterios de diseño de forma sencilla, uniendo cualidades del diseño arquitectónico y vinculando particularmente a casos de muros de carga: la proporción, simetría y armonía; en plantas, de entresijos y cubiertas son el universo que

contiene y dispone la fluidez de las cargas. 13

Para muros de fachada de edificios de tipo habitacionales, no era necesario preocuparse por el uso de contrafuertes, pues los entrepisos y muros encontrados tienen puntos de apoyo, recomendándose como mínimo 20 cm. dentro del muro, pues se supuso que, las cargas que se transmiten en el mismo no actúan en el eje del muro, de donde se convino establecer el punto de aplicación de las mismas fuerzas. 14

En el siglo XIX, se trabajó con áreas, a través de un análisis minucioso de plantas y alzados y fundamentalmente de los cortes, donde se disgrega la trayectoria de cargas como un corte anatómico en el que se desglosan los esfuerzos de la estructura (fig. 5). Dentro de él se considera un "eje neutro" como si fuese un viga o arco vertical en el cual se propone el punto de aplicación de cargas. Para el caso específico de empotramientos en entrepisos se tomó en cuenta el efecto del momento sobre la pieza incrustada, es decir con su posible flexión y la tendencia a deformarse o moverse, llamado a esta acción: *L'arete du mur* (fig. 6). El análisis de este punto señala la preocupación por lograr la estabilidad en puntos claves y por ello la transformación de estructuras dedicadas a la compresión pura a estructuras continuas cuyos puntos claves son los

13

Nota: Una metodología de diseño de estructuras a base de muros de carga; fue basándose en los valiosos estudios de Jean Rondelet y su preocupación llega a la perfección de las mismas estructuras, pues considera no solo las cargas gravitacionales sino también las cargas debidas a fuertes vientos en lugares altos o cercanos a playas. Para el autor mencionado siempre fue muy importante poder realizar un cálculo fácil y jugar con convenciones particulares en cada caso. La densidad del material, la presión del viento son particularmente importantes conocer y no solo eso sino imaginar como se vierten y dibujar a través de un corte la carga "H" y el punto "P"; la resultante "R" que a lo largo del trayecto desde la cumbre o pretil, llega a la base. Considerando el cuerpo de su anchura de la misma base "B".

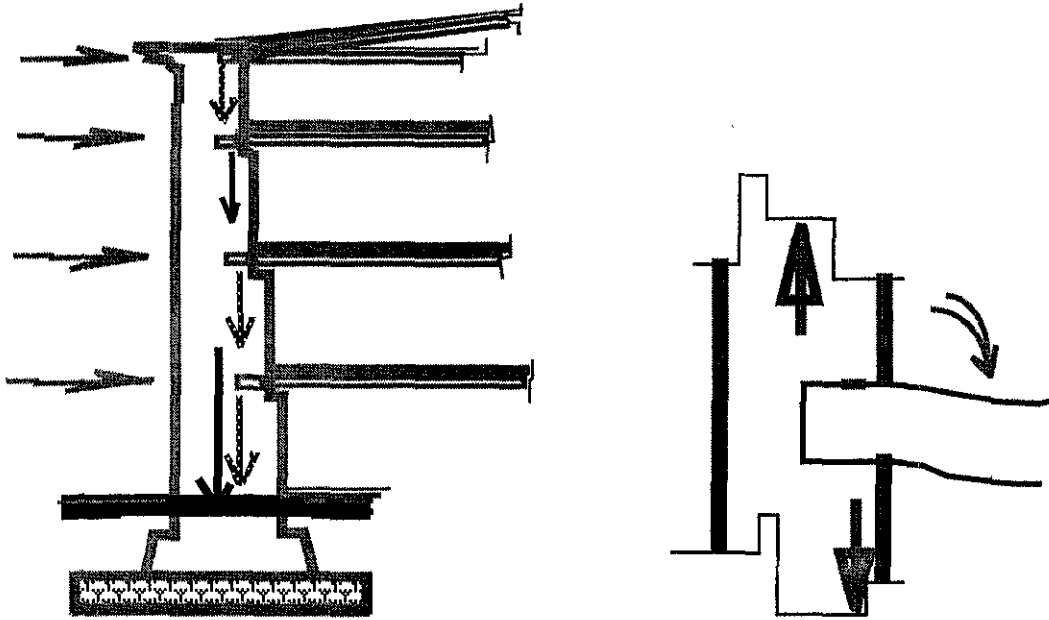
Apud., Denfer, J, *Op. Cit.* Denfer, J, se fundamenta en los estudios realizados sobre el proporcionamiento de los muros por Jean de Rondelet y en 1891 afirmó lo siguiente:

"Rondelet a cherché à réunir dans les formules suivantes les diverses et nombreuses observations qu'il a pu faire à ce sujet". $e = h/8$ (muros bajos). $e = h/8 \cdot 1 / 12 + h^2$ (muros altos).

14 Nota: Bajo la carga ligeramente flexionada toma más que 20 cm. en toda su longitud, por lo que la extremidad tiende a elevarse; mientras que a lo largo del punto de apoyo se presenta un ariete *L'Arete du mur* (producto del momento de empotramiento). Supone que la presión ejercida por este ariete no se encuentra enteramente ejecutado, porque la cede ligeramente y es lo que permite el contacto a todo lo ancho. Uno puede admitir que el apoyo funcione como si fuera un tirante, cuyo ancho es de 20 cm. y en su parte interior se encuentra sujeta permitiendo un empotre, por lo que se permitirá tener un mejoramiento en el funcionamiento estructural dentro del muro, que como nueva verdad se obtiene por el empotramiento.

Apud: Paul, Planat, *Op. Cit.*, París, France, 1875, Tome II, *Principes de Statique, Murs ordinaires-Murs de Soutènement*, Librairie Construction Moderne, 736 p. ILUS.

empotramientos en su unidad estructural. 15



(fig. 5) Criterio de análisis de Paul planat (1875) Op. Cit. (fig. 6)

Para un edificio de cinco pisos, se ha dicho en los tratados; que es recomendable un empotre mínimo de 20 cm., haciendo una distinción para los muros no solo para cumplir con el fin como apoyos corridos, de contención; pues dependera de su ubicación, como de fachada e interiores de los que se consideran factores independientes. Para los primeros se considera el amarre, que debido a la existencia de entrepiso y sobre todo a los de amarre, con el criterio de irse ampliando en cada nivel conforme llegan a la base. Este criterio basado de la experiencia llego a su límite en el sentido de que las plantas bajas requerían espesores considerables, por lo que el autor dedica un especial cuidado a este tipo de estructuras y que por cierto los ejemplos mas notables de este tipo se se lograron en la ciudad de México con el edificio Vizcaya, Gaona y Buen Tono. El fortalecimiento de la estructura se lograba por su sistema constructivo y los apoyos de los entrepisos fueran de 20 cm. aprovechando la diferencia de nivel.

Al igual que el estudio derivado de la preocupación por el diseño de columnas y postes, como el de todo género de apoyos aislados; el dimensionamiento de los corridos fue de atención

15 Nota: Por ejemplo para un entrepiso de 5 metros y con una carga repartida de 500 kg. por metro cuadrado, y cuenta con un espesor de 0.80; la carga "P", por lo tanto será: $P = 0.80 \text{ mts.} \times 5.00 \text{ mts.} \times 500\text{K/m}^2$; o sea: de 2000 Kg.

Mientras que el momento de empotre es de; producto por la carga por metro cuadrado, a su vez por 1/12 o sea: $Me = 2000 \times 5/12 = 833$; cuya formula para el Momento de empotramiento "Me", se escribe así: $Me = P \times L/1$. El momento de empotramiento en los puntos "C" y "S", se tiene que igualar, utilizando un factor (0.07), que se toma como parte de acción en la base. O sea: $C \times 0.07 = 833 \text{ kg.mts.}$; que es el efecto de compresión. O sea: $C = 833/0.07 = 119 \text{ kg.}$ Apud: Paul, Planat,; *Op. Cit.*, París, France, 1875, Tome II, *Principes de Statique, Murs ordinaires-Murs de Soutènement*, Librairie Construction Moderne, 736 p. ILUS.

debido a que se replanteaba un tipo de apoyo perfectamente experimentado desde la antigüedad; pero las necesidades del momento emanada de una reflexión más científica conjuntados los conocimientos adquiridos con los de la práctica constructiva. 16

En la actualidad el racionalismo matemático aplicado cotidianamente desde el siglo XIX, ha quitado la sensibilidad a lo creado con anterioridad y por ello conceptos como la restauración, así como de otras ciencia y artes han contribuido a la permanencia de las manifestaciones de las culturas del pasado. Esto se puede demostrar en la actualidad ya que continuamente se mal interpreta una estructura abovedada, cuya tecnología y materiales corresponden a otra época por ello muchas veces tal tipo no es comprendida para una acertada intervención. Lo que nos indica que incluso el especialista en estabilidad de edificios, observa tales construcciones como una unidad estructural concebida por continuidad de momentos, como si fuese construida en concreto armado o acero. Esto no descalifica la utilidad del avance tecnológico y la aplicación de teorías de estructuras actuales, siempre y cuando tengamos la atención de guardar y prever o restablecer las condiciones de trabajo originales en lo esencial y amplificar las estaciones de carga eliminando todo tipo de deterioros y alteraciones presentadas.

Para el siglo XIX la tendencia clasificadora de la ciencias inicia sus primeras prácticas y experimentaciones en edificios ya construidos, particularmente iniciada tal actitud por la pregunta e interrogantes al respecto sobre su estabilidad; con los avances, tendientes a buscar una respuesta, la que desbordan en una dedicada especialización. Por tal razón, los tratadistas de la época, con todas sus implicaciones parten de una experiencia solida de la construcción hacia la investigación científica, misma que deriva y origina la enseñanza de la arquitectura a través de las escuelas y academias fundadas a finales del siglo XVIII e inspiradas por la *Ilustración*. 17

16

El mismo Reynaud muestra la diferencia notable sobre los muros de carga y contención, presenta las expresiones aplicadas por otros autores ya ilustradas con anterioridad. La primera dedicada a muros de carga, dicta dos modalidades para encontrar el espesor "e" descritas anteriormente. Mientras que para los muros de contención varía la relación, e incluso denominando el espesor necesario de empuje "X" descrito así: $X = 0.59ht P/\&$

Considera los pesos volumétricos de los materiales como el propio (piedra) y el por contener (tierra) ambos nombrados "P" y "&" respectivamente; mientras que "h" será la altura y "t" la tangente del ángulo por la vertical del plano.

Leonce, Reynaud: *Traite D'Architecture, Première Partie, Art De Batir, Deuxieme Partie, Composition des Edifices, Paris, Op. Cit. (Primera parte) 1875: LAM DYNOD, EDITEUR, página 178:*

"Lé epasseur qu' il convient de donner à un mur dépen, tant de l'intensité et de la direction des efforts auxquels il est exposé, que de la nature de la construction".

17

Nota: José Luis Benlliure Galan y Julia Cardinali, Julia; han afirmado en los Seminarios de la Escuela Nacional de Arquitectura 1974 - 1975, ahora: Facultad de Arquitectura de la UNAM, durante ; que:

"Los tratados clásicos a partir del siglo XIX dejan su camino como único material intelectual de apoyo para dejar paso a la escolaridad de la arquitectura, por tal razón se tiende a buscar la especialización de la arquitectura. Sin dejar de reconocer la labor de los mismos tratados y la experiencia constructiva, con ello se explica la actualidad que tomo la restauración con Viollet-le-Duc durante el Siglo XIX."

Síntesis:

Durante el periodo final del siglo XIX, se establecía para toda estructura una clasificación según sus características y cualidades, como el tipo de estructuración, género de edificio, diseño, dimensiones, sistemas y materiales constructivos. Sin embargo el aporte tecnológico procuraba para los nuevos tipos de construcciones metálicas y de concreto, estudios estructurales detallados. Mientras que para los sistemas tradicionales se presentaban desarrollos de menor complicación. Para el caso de los apoyos corridos su estudio se baso y complemento por el conocimiento sistematizado de los materiales en laboratorio, pero sin perder la sencillez en sus criterios.

Las tendencias del diseño durante el siglo XIX y el alto desarrollo industrial, conformaron postulados para construcciones con muros hechos en fábrica o a mano. Preocupandose preferentemente por sus acabados, con una sofisticación en sus refuerzos los que nos refiere al desarrollo del neoclásico y la búsqueda por la perfección en sus soluciones académicas.

Se planteaban ejercicios tipo para muros de carga bajo sistemas de fuerzas ejemplificadas en cortes, para ello y bajo la acción de la carga propia y posteriormente para otro tipo de cargas generadas por bóvedas o entresijos, las que se sumaban condicionando a lo largo del muro su línea de acción y magnitud.

En este lapso de tiempo, se presentaron estudios métodos algebraicos relacionados por el empuje de bóvedas, así como para el diseño de los muros de contención, análisis de viento. Situación común que favoreció el conocimiento ante la presencia de fuerzas horizontales actuando sobre un apoyo corrido.

Generalmente las tablas con las resistencias propias según cargas máximas, incluían la ruptura del material, complementandose a su vez con *atlas y manuales* los que especifican propiedades de las secciones laminares.

En los tratados y manuales se recomendaban parámetros para muros largos, altos y estructuras de varios pisos. Paul Planat indicaba presiones máximas debida la viento de 270 a 280 kg. actuando sobre un metro cuadrado para este tipo de construcciones altas, mientras que para planos descubiertos y en edificaciones de tres niveles, presiones de 90 a 100 kg/M².

Las estructuras deberían ser verificadas ordinariamente (carga gravitacional) y para el caso de sitios cercanos a las playas las consideraciones accidentales debidas al viento son determinantes.

Las presiones se establecen en relación a la altura, iniciando como una bajada de cargas,

auxiliándose de un corte de la edificación, de tal forma de hacer el ejercicio lo mas apegado a la realidad. Por ello el planteamiento es lo mas gráfico posible, traduciendo el camino de las cargas. Para tal efecto se indica el punto de cargas dentro de un eje con la acción de otras fuerzas pero dentro del sistema que sigue una trayectoria.

Dentro de casos simples (un corte por fachada), se calcula el momento de empotramiento que produce la presión (*moment de renversement*), en la base, considerndose la resultante horizontal actuando en la mitad de la altura. 18

Los más completos estudios dedicaban una atención a toda la estructura y cada una de sus partes; tomando un especial cuidado en los entresijos, debido a los diversos empotes que sobre los muros de carga se presentaban. Para tal efecto se sumaba el *momento de estabilidad "Me"*, el cual se obtenía por el producto de la carga del nivel en cuestión por la mitad del espesor del muro.

En todos los casos tratados, el espíritu que predomina es la enseñanza de la tratadística retomada por las escuelas y academias, por lo que, el criterio en plantas, alzados y cortes. Así como el estudio de sus proporciones es de vital importancia. La experiencia de la construcción como base para el diseño de un criterio estructural interpretado directamente de los ordenes de la arquitectura e integrado al estudio de la armonía y proporciones, expresados gráficamente a escala.

La simetría de plantas y alzados muestran una preocupación, para el caso de muros, por la manera de distribuir las cargas. Por ello la área y amarre entre apoyos es determinante, siendo fundamentales estas constantes en construcciones de cubiertas abovedadas.

De formas que se recomiendan, se deben preferentemente a fórmulas que sintetizan experiencias y en especificaciones dictan secciones recomendables o son simplemente expresiones empíricas pero derivadas de la citada experiencia, para comprender el análisis de los apoyos corridos, es necesario mostrar los criterios más representativos de autores, como

19

Nota:

Para comprender el análisis para los apoyos corridos, es necesario mostrar los criterios más representativos de autores, por ejemplo Tedesco y Maurel en Francia; presenta ensayos de secciones, variando las mismas, según los momentos máximos y los esfuerzos cortantes, con vigas apoyadas en diferentes condiciones. Para ejemplo de un entrepiso propone que para vigas de madera la distancia "d" como espaciamiento máximo entre ellas el cual no deberá ser mayor de 50 cm. La distancia del claro la llama "l" y según su recomendación solo puede variar entre 1/10 a 1/20 del claro. Pero detalla el asunto del entrepiso o cubierta recomendando la distancia del empotre mm' por lo que los muros deberán contar con un espesor al rededor de 0.40 cm.. Los autores a pesar de que anuncian una regla de espaciamiento y empotres constructivos, señalan la famosa fórmula de *la escuadría*:

$$S_x = I/v = abB/6;$$

Y para encontrar el momento resistente:

$$M/R = I/v.,$$

Apud: Jean Rondelet: *Traite Theorique et Pratique del LArt de Batir*, Tome Premiere et Second, París 1881, Libraire Firmin - Didot et Cie., Imprimeurs

Varios autores como Reynaud, Denfer y Hebrard, entre otros, en 1894, siguen la herencia de Rondelet, presentan una expresión, con algunas variantes para dimensionar muros de mampostería. Recomiendan ampliamente para obtener un espesor con suficiente estabilidad, simplemente con la formula:

$$e = h/8 \text{ y } e = 12 h/p$$

La primera contiene una relación de esbeltez, mientras que la segunda tal relación es planteada en su igualdad, pero expresada bajo la doceava parte de la raíz de la altura y el peso volumétrico, es decir aún se consideraba al peso como parte de la capacidad de la resistencia.

Para obtener según esto mayor aproximación se consideraba el largo del muro, como observamos ambas expresiones pese a que son empíricas, se derivan de la experiencia constructiva. Estas relaciones son semejanzas a las recomendadas actualmente para muros de mampostería.

Apud. Tedesco y Maurel: *Resistance des Materieux, Apliquée au Béton et Ciment Armé*, 1904 en Francia. (Op. Cit.), 640 páginas, ILUS., página 145.

3 D).- ARCOS y BÓVEDAS:

La evolución de este quehacer en el siglo XIX nos conduce a la perfección constructiva y estructural, con la aparición de los nuevos materiales, especialmente con la restauración aplicada como disciplina por *Viollet-le-Duc*, con ello se profundiza lo esencial, comprendiendo mejor la dinámica de fuerzas lograda en sus sistemas abovedados, cuyos orígenes remotos los menciona Vitruvio, consolidándose sus máximas expresiones al final de la edad media, En la actualidad un tanto o poco reconocido sus cualidades de su trabajo natural, pero siempre será un aporte constructivo a la humanidad. ¹

Con la aplicación del concepto de la restauración de monumentos se redescubre la importancia del origen del diseño más puro de la arquitectura, como lo es, el manejo de proporción y trazo de edificios cuyo camino es respuesta directa y sencilla de la observación y reconocimiento de la naturaleza con todas sus leyes universales, escritas para la construcción y conservadas en su esencia hasta los siglos XVII y XVIII, y renombradas con un nuevo lenguaje apoyado en el álgebra, el cálculo diferencial e Integral; pero fundamentalmente en las nuevas ideas de la geometría descriptiva, que busca las mismas respuestas del todo, del orden, del universo del infinito .

Los sistemas compuestos a través de la secuencia de arcos responde al resultado en la combinación de tecnologías y conocimientos constructivos altamente desarrollados y llevados a sus máxima expresión en la *geometría constructiva*, olvidada por los estudios más desarrollados como los referentes al análisis de estructuras de membrana laminares, resueltas constructivamente en pequeñas secciones o espesores de concreto armado y llamadas cascarones. ²

A través de la historia los arcos y bóvedas, respondieron a la necesidad de implementar una estructura que salvase claros aprovechando al máximo las cualidades de los materiales y tecnologías hasta entonces existentes. De esta forma el trabajo de las mamposterías logro a través de sistemas ordenados a conducir las cargas por medio de secuencias dispuestas en forma de arco,

1

Fred, Angerer: *Construcción Laminar*: España, 1975, Gustavo Gili, 83p. pág. 18:

"Cuando en la sollicitación de un elemento constructivo damos a éste la forma apropiada para substituir los esfuerzos de flexión por tensiones longitudinales, habremos conseguido un empleo apropiado del material.

Los constructores romanos y góticos tuvieron una idea clara de la actuación del arco. Sabían colocar las dovelas para cubrir con ellas una luz muy superior a las dimensiones de aquellas piedras."

2 Faber, Colín: *Las Estructuras de Felix Candela*, OP. CIT., página 20:

"Es curioso constatar el hecho de que la mayoría de los estudios teóricos no parecen tener en cuenta las propiedades o características de la forma geométrica, ni la imposibilidad práctica de que puedan coexistir, en régimen elástico, esfuerzos de flexión y de membrana. Para que puedan aparecer los primeros y actuar en régimen elástico, es preciso que los segundos hayan pasado al régimen plástico y, por tanto, todo el preciosista artificio matemático de la teoría general de la flexión cae por su base".

de tal modo que se pudieran dirigir los esfuerzos de compresión directamente, cuya sencillez se entendió, en como aprovechando las cualidades de las leyes de la naturaleza, con sus conceptos que en esencia se encuentran de hecho sintetizados matemática y geoméricamente. 3

De ello son dignos los tratados ya citados de Aquino da Carolo: *Vocabularium, Architecturae, Aedificatoriae*, de 1734; y de una manera mas especializada pocos años después en 1739, Belidor M., presenta: *La Science des Ingenieurs dans la Conduite des Travaux de Fortification et D'Architecture Civil*. En ambos casos se nota la influencia de un avance científico y tecnológico, con la influencia paulatina que poco a poco se fue logrando hasta culminar con la geometría descriptiva y analítica. 4

El siglo XIX se destaca por cumplir a través de nuevas formulas, las secciones como un estudio de proporciones, sobre todo de arcos y bóvedas mismas que son replanteados, pero ahora son articulados los que llamamos rotulados lograndose grandes claros, por la combinación de esfuerzos. Con este criterio aparecen las grandes naves industriales.

Sin embargo, todo el conocimiento deriva del análisis histórico de la arquitectura como lo indica el célebre Viollet-Le-Duc, reencontrando en cada una de sus funciones e incluso de sus

3

Nota: En la Antigüedad hasta la época medieval aproximadamente con *Villar De Honecourt*, los tratados de arquitectura muestran los criterios de diseño para los sistemas abovedados; logrados a través de proporciones armónicas y cuya conjunción se debe tanto a la labor intelectual como la experiencia constructiva de momento.

Agustin, Charles, D' Aviler: *L'Art de Batir*, France, Paris, DCCLX, Ed., Chez Charles- Antoine Jomberet, Cours d'Architetur que comprend les Ordres de Vignola, 447 pp, LVI. pág. 273

"La partie plus difficile de la construction, est l'art de la coupe des pierres, autrement dit le trait, que Matharin Jousse nombre le secret de l'architecture, les principes de cette science sont sondés sur la geometrie; de l'operation qu' on fait avec l'epure, un passe à l'execution, en traçant des pierres qui doivent reunir le voute auxquelles elles sont destinées quelque irregulier qu'il font."

4 Nota: Los primeros ejemplos de trabajos realizados y relacionados ya directamente con el análisis matemático de los arcos y bóvedas; influenciados por la Literatura especializada como la obra de A. Parent, referida directamente a la *mecánica y física* en 1700; alimenta los elementos de construcción. De esta forma los tratados adiccionan a los lenguajes clásicos expresiones en cuyos casos presentan una serie de gráficos y formularios dirigidos a resolver directamente el problema de los mismos sistemas abovedados. Durante la primera mitad del siglo XVIII, a raíz de la influencia de los avances científicos y muy especialmente de los libros altamente especializados como el ya citado Navier (1820).

Fred, Angerer: *Construcción Laminar*, España, 1975, Gustavo Gili, 83 p. página, 18 :

"Los primeros análisis teóricos del comportamiento de las bóvedas fueron realizados hacia finales del siglo XVII.

Durante el Renacimiento Leonardo da Vinci y Bernardino Baldi intentaron ocasionalmente mediante consideraciones teóricas resolver por el cálculo el empuje del arco.

Sin embargo, prescindiendo de algunos planteamientos (las reglas para el cálculo de arcos de Blondel y Carlo Fontana, sólo son experimentales y nada tienen que ver con la teoría); fueron De la Hire y Parent los primeros físicos que experimentaron las condiciones de equilibrio de una bóveda como problema matemático de estática."

elementos decorativos y proporciones, la comprensión del porque de su existencia. 5

El principio fundamental de un arco o bóveda, corresponde a la dirección y transmisión de cargas como si se tratase de una caída de agua, ordenada o conducida, solo que a diferencia de un fluido, la bajada de cargas tienden a concentrarse en la parte central de la sección para que el trabajo correcto sea lo mas armónico posible. De esta forma podremos observar que el arco o sistema de ellos son un camino dirigido, en el cual teóricamente podemos suplir la mitad del mismo por el empuje total.

La esencia del arco es la continuidad de las cargas en compresión, que son el aprovechamiento máximo de los materiales debidos a los esfuerzos directos. 6

Si partimos de la clave del arco o del arranque del mismo, la secuencia de cargas se encuentra variando proporcionalmente por lo tanto, la dirección de las resultantes y componentes tienden a cambiar en su magnitud y dirección, dentro de la línea de presiones que a su vez son la continuidad de la directriz cuya curva es la misma bóveda pero que interiormente tiende a acomodarse a una catenaria dentro de las limitantes de su tercio medio, y en cualquiera de sus puntos se mantiene la igualdad para conservar el equilibrio.

Idealmente cuando las cargas se conducen armónicamente sobre su parte media, y que denominamos *línea de presiones*, es facilmente comprendida la forma en que se conducen las fuerzas, desde finales del siglo XVIII; periodo que culmina con la aparición de la geometría, la descriptiva con, Gaspar Monge y por la analítica de Rene Descartes. Tales fundamentos fueron aplicados el siglo pasado para los arcos, así como el manejo del tercio medio de la sección del arco o bóveda. Con una mayor aproximación se concluyo que si la línea de presiones permanezca dentro de estos limites interiores, la garantía de la compresión pura se conseguía.

La construcción tradicional y especialmente donde se aplican los sistemas resueltos por geometría constructiva demuestran un interés científico de cual es su sistema de trabajo y dentro

5

E. Viollet-le-Duc: *Dictionnaire, Raisonne de L'Architecture Francaice du XIe. au XVIe. Siecle*, Tome Sixième, 452 paginas, Ve. A. Morel, et Cie. Editeurs Rue Bonaparte, MDCCCLXXV, ILUS., pág. 13

"Des arcs de décharge richement décorés de redents et d'animaux sculptés sur le devant des sommiers reposent sur ces piles. Entre ces arcs de décharge, l'arcature est libre: c'est un simple remplissage à jour porté sur une colonne monolithe et maintenu seulement sous l'intrados."

6 D., Boix: *Estabilidad de las Construcciones de Mampostería*, 1892, página 336:

"El equilibrio de las bóvedas es matemáticamente insoluble; es forzoso contentarse con resultados aproximados, que aunque admisibles en la práctica no dejan de ser susceptibles de algunos errores.

Esta falta de exactitud es común a todas las construcciones pero afecta mas especialmente a las mamposterías, y sobre todo a las bóvedas. Se origina, pues, la necesidad de tener que dar a todas ellas un exceso de resistencia para hacer frente a la incertidumbre que reina en la solución del problema de estabilidad".

de ello las fuerzas y acciones que como esfuerzos se conducen dentro del material y en las formas de dirección. Esto propone la búsqueda hacia el desciframiento de expresiones que logren resultados lo mas aproximados al mejor aprovechamiento de los materiales que integran los elementos estructurales portantes y de esta forma evitar el desperdicio. La misma tradición constructiva dedicada especialmente a construcciones abovedadas recomendaba como requerimientos en su estabilidad que fuesen pesadas y masivas, esto se debía, a pretender absorber los empujes de las mismas bóvedas. El cambio en el manejo de estructuras y materiales a base de vigas y armaduras metálicas presento una mayor atención hacia otro tipo de esfuerzos. La combinación de los mismos, y el resultado de momentos flexionantes de esta forma los apoyos de las construcciones y su continuidad favoreció entre otros factores la reducción de las secciones.⁷

Entre los estudiosos del tema, reconocen a M. Dupuit, por su obra titulada: *Traite de L'Equilibre des Voutes et de la Construction des Ponts*, publicada en 1870 cuya teoría se encuentra apegada a la realidad, de esta forma Paul Planat, Jules Pillet, Reynaud, Boix y en México el ingeniero Claudio Castro, se basan en sus experiencias tanto para ejemplificación en hipótesis y dar soluciones constructivas, como para usarlas en la enseñanza. ⁸

Como sabemos a partir del *Renacimiento* se dieron los primeros inicios del cálculo analítico, dándose a conocer plenamente, apoyados de la incipiente geometría descriptiva, mismos que se complementaron los conceptos; sustentándose en *la mecánica* y con la que se determino estaticamente las soluciones. De esta forma surgen libros especializados la arquitectura con sus amplios desarrollos de sistemas metodológicos logrados en el siglo XIX, como la publicación de Denfer: *L'Architecture et Constructions Civiles*, cuyo tema central es la "*Maçonnerie*" de 1891; tal autor, parte de un conocimiento profundo de la arquitectura histórica, por lo tanto, se interpretan en sus análisis diferentes bóvedas, mediante la geometría y la combinación de la resistencia de materiales.

La importancia de los tratados el siglo XIX, por sus fundamentos teóricos son una vital fuente documental, que de forma directa, presentan análisis matemáticos, hasta entonces muy sofisticados, para la demostración y elaboración junto a la geometría de la construcción de nuevos

7

Jean Rondelet, : *Op. Cit.*, 1802, pagina XXVI :

"L'Art de Batir consiste dans une heureuse application des sciences exactes aux propriétés de la matiere"

8 Apud., Manuel, Gargollo y Parra: *Estatica de las Bovedas, Resumen de Lecciones Orales dadas en los años 1860 en la Academia Nacional de San Carlos de B. A. México 1878, 85 paginas, ILUS.*

códigos o lenguajes, logrados con sistemas de análisis del orden científico. 9

Los tratados son una labor intelectual, ordenada como suma de conceptos científicos y artísticos, cuya finalidad es su aplicación con base a una serie de metodologías. Esto indica dentro de la asimilación de conocimientos y experiencias una razón lógica, como lo es, el hecho de que nuestra civilización puede medirse de acuerdo a lo que dejamos, de esta forma los tratadistas como Denfer y sus contemporáneos como Planat, y Rondelet, unen arte y ciencia para comprender el proceso creativo, estando en contacto con los actos la *Filosofía*, comprendiendo en el tiempo la historia con conocimientos hasta entonces más avanzados. El manejo de las geometrías, matemáticas, artes plásticas, tecnologías y materiales como partes del proceso del diseño para la arquitectura del siglo XIX. 10

Este señalamiento en la preferencia de usar los nuevos materiales indica un alejamiento de la construcción tradicional y fundamentalmente los que tienen como base los arcos y bóvedas, calculándose por momentos flectores, auxiliándose únicamente de *la estática* de los arcos en sus planteamientos iniciales.

El descubrimiento de propiedades en los nuevos materiales conducen a una nueva ciencia y entendimiento de la unidad estructural, derivados a su vez del análisis de sus empotramientos para conservar una continuidad, lograda con la combinación de esfuerzos de compresión y tracción sintetizados en los momentos flexionantes.

La continuidad estructural por geometría de arcos y bóvedas resulta integral en cada una de sus partes, de ahí la importancia del cierre de sistemas con esa base, en claves, líneas de arranque y dovelados, con continuación en el desborde de bajadas de cargas hacia los apoyos, con arbotantes y robustos estribos o contrafuertes que por estática concentran y resumen el sistema de cargas hacia la cimentación. Herman Scheffler en su obra ya citada de 1864, titulada: *Traite de la Stabilité des Construction*, tratado especializado, que tiene una dedicación apoyada en la

9

Georges, Tubeuf: *Traité D'Architecture, Théorie et Pratique*, 1880, página 282:

"La résistance des matériaux et aux règles architecturales, rentrent dans le domaine des sciences qui sont tout à fait en dehors de notre objet. C'est à l'ingénieur ou à l'architecte chargé de dresser les plans du monument projeté qu'il appartient de connaître ces sciences et de les mettre en pratique".

10

Yvon, Belaval: *"La Filosofía del Siglo XIX"*, : (pág. 202)

"Es la edad de los grandes tratados, en la que la gran Enciclopedia (Encyclopédie) parece acufiarse región por región. Parece como si, desde Diderot a d'Alembert a Comte o Ampère, en el segmento histórico de la revolución a la restauración, y de una sinopsis exhaustiva a la otra, la preocupación de sistematizar se deslizara a los departamentos del saber."

mecánica de las construcciones, donde consideran que su atención a las mamposterías de las que incluye una importante teoría aplicada a bóvedas y muros, mismo que contiene un método simplificados apoyado en la experiencia y con un profundo espíritu científico, pues nos presenta hipótesis hasta entonces innovadoras dedicadas a la geometría de los arcos y expresada en curvas de presiones de cuya síntesis tenemos la obra de Vierendeel: *Stabilite des Constructions*; donde ejemplifica el cálculo estático presentando otras consideraciones de tipos de fallas frecuentes .

Hemos mencionado los aportes directos al estudio del concepto de *estabilidad* de la obra arquitectónica de ellos primeramente Rondelet en 1802 y posteriormente otros autores, donde en diversos libros explican las condiciones de equilibrio y resistencia de las construcciones.

Marva y Mager, en con su obra: *Mecánica Aplicada a las Construcciones*, realizada en 1894, presenta un estudio sobre la heterogeneidad de los materiales y el trabajo de mamposterías y morteros, particularmente para el desarrollo y construcción de sistemas abovedados, con lo que demuestra la importancia a un nivel integral de todas las partículas que conforman su relación, como ejemplo de ello la resistencia a la fricción, que deriva a un análisis en el comportamiento interno de los elementos que determinan los arcos, como dovelas, líneas de impostas, rellenos etcétera. A detalle presenta las diferentes resistencias y formas de respuesta de bóvedas tabicadas, y de conglomerados, unidos con morteros diversos como a la cal, o con cemento, concluyendo su análisis en detalles minuciosos sobre la elasticidad, plasticidad, y resistencia a la compresión, demostrando las posibilidades de las mamposterías sostenidas a la fricción, con la factibilidad de asumir tracciones según sus condiciones atribuidas tanto a su geometría, como a las propiedades de acomodo de los materiales pétreos y elasticidad de los morteros; situación considerada como nula para tales tipos de materiales.

El criterio heredado para este análisis de arcos y bóvedas, es una síntesis lograda al final del siglo XIX, plasmada en el estudio base de estos sistemas considerados en diferentes condiciones de apoyo y carga. Hemos hecho mención que actualmente los libros especializados no tratan puntualmente el desarrollo de arcos estáticos, los mas avanzados son dedicados a cubiertas laminares, las que por supuesto, se encuentran sujetas a momentos flexionantes, derivandose procedimientos complejos y ampliamente laboriosos. (Olvidando en muchos casos la esencia de la estructura que como naturaleza busca el equilibrio a base de esfuerzos directos).

La sencillez de las estructuras históricas comprende también la adopción de sistemas de análisis contemporáneos, pero debiendo comprender a su forma de trabajo original; esto desde

luego incluye apegándose a su orgánica constructiva. 11

Es universalmente aceptado que las mamposterías no aceptan la presencia de esfuerzos de tracción y para el caso de los arcos las partes críticas vistas en la sección corresponden al de los arranques o riñones de los arcos y en las claves de los mismos. Que los desplazamientos en las aberturas originadas ya sea por el intradós o extradós de los arcos depende de la ubicación de la línea de presiones que teóricamente fue aceptada en el transcurso del siglo XIX.

El arco o bóveda en su esencia estructural dependen de consideraciones que en la práctica cuentan, como la fricción y la propiedad que la cal ofrece a las mezclas como aglutinante, que para absorber ciertos rangos de deformaciones y por lo tanto ofrecer un margen de resistencia a la tracción y conteniendo la estructura en su organización. Una parte como arco elástico y otra en tanto a las estructuras falladas (alteradas por la presencia de grietas, fisuras o deformaciones) pero no colapsadas donde por sus condiciones buscan un reacomodo, cuyo desfase o articulación son las mismos agrietamientos.

La geometría los sistemas abovedados generalmente contienen una perfecta simetría y armonía en sus intersecciones y despieces; desde luego cada parte fundamental se consigue a medida que baja de las claves hacia sus líneas a la altura de la imposta, integrándose a sus puntos de apoyo. Diversos autores han recomendado el estudio por partes, preferentemente como si se tratase de dovelas. Partiendo de la mitad del arco determina el peso total; de nominada bajada de cargas, para trazar el llamado dinámico que a su vez determinada la ubicación de la resultante total del sistema y de sus componentes ubicadas por lógica en los extremos en la clave, el empuje horizontal que representa a la acción del semiarco faltante y; la reacción inclinada en el arranque del arco como primer punto inicial de apoyo.

Se puede decir que el análisis de los arcos o bóvedas es una interpretación geométrica de las fuerzas y acciones actuando directamente sobre la estructura y que en esencia, es la llamada *estática gráfica*. Es el estudio dibujado a través de un trazo de fuerzas y reacciones actuando como sistema sobre un elemento estructural sin importar por el momento los esfuerzos internos y permitiendo posteriormente por partes conocer la presión en puntos, como la magnitud, dirección y sentido de cada una de las acciones y por lo tanto determinar los posibles desplazamientos de

11

Nota: Vierendeel en su libro escrito en 1905 y titulado: *Stabilité Des Constructions*, tomo II, ejemplifican el cálculo estático; presenta otras consideraciones los tipos de fallas frecuentes. Scheffler y Hermann en 1864, apuntan la importancia del análisis de arcos o bóvedas en su obra titulada: *Traité de la Stabilité des Constructions*; ellos buscan, al igual que los anteriores autores citados la exactitud en sus métodos pero sin perder la realidad constructiva y tienden por lo tanto a soluciones lo más prácticas posibles y fundamentalmente con procedimientos ejemplificados con una gran sencillez.

dovelas o la aparición de agrietamientos.

La observación del trabajo natural de los arcos es importante para comprender la bajada de cargas con su dirección y sentido. De ello la resultante del sistema al nivel de los apoyos, tiende a ser lo más vertical posible, es decir con la menor inclinación y de ello el sistema constructivo de arcos lo demuestran, ya que la dimensión del espesor efectivo de la bóveda (entre el extradós y el intradós) paulatinamente se va anchando hacia sus arranques o sus apoyos, esta dinámica de las bóvedas es favorecida por la ubicación de los rellenos y de la colocación de algunos elementos estructurales como pretilas, arbotantes etcétera. En del gótico es más clara la razón de esta secuencia y repartición de cargas, ya que es sugerida por una descomposición de fuerzas ordenadas lo más verticalmente, de tal forma que el coceo, empuje o componente horizontal, represente para la estructura la menor atención debida a la suma de cargas que como componente vertical tienda a minimizarla. Por lo tanto, a lo largo de los muros estribados se encuentre la resultante total dentro del tercio medio. Este tipo de análisis estático ha originado su aplicación a múltiples sistema de estructuras modernas. Desde la segunda mitad del siglo XIX se han venido aplicando, como muestra de ello es el aporte de diferentes procedimientos estáticos gráficos y analíticos para armaduras como hipótesis y métodos clásicos del siglo XIX. ¹²

Derivado del cálculo estático, el célebre ingeniero Eiffel; lo utilizo para el análisis de la famosa torre que lleva su nombre, ya que por tramos actuantes determina la secuencia de carga de los cuatro montantes o apoyos. Igualmente para el cálculo de las vigas en celosía la revisión en su conjunto respecto a como se comportaban ante el viento. Como estudios son los primeras reflexiones de análisis gráfico y matemático hechas en la práctica a una edificación de tal altura con lo que se podía establecer criterios científicos de diseño como lo exigía la modernidad en el periodo previo al siglo XX.

El estudio de sistemas abovedados de la arquitectura histórica y la preocupación por conocer las construcciones tradicionales, en lo general favoreció la preocupación por procedimientos estáticos debido a que regularmente existe una simetría tanto en la estimación de cargas como en su diseño por *geometría*, por lo tanto, la enseñanza de partir de la sencillez de toda estructura como principio poco a poco se fue olvidando, con la aparición de estructuras complejas con arcos articulados y elásticos, condujeron los estudios a cálculos seriamente

12

Apud.: Tedesco y Forestier: "*Manuel Theorique et Pratique du Constructeur en Cimen Armé*, France, 1909, Avec une note sur le calcul des Arcs"; presenta directamente tales procedimientos; mientras que Paul Planat abre capítulos completos en grandes pórticos, en donde detalla diversos ejemplos de edificios construidos en la entonces reciente Exposición Universal de París de 1889.

complicados y de aquí parte ciertamente el problema actual en la interpretación correcta de las estructuras, pues en muchas ocasiones partiendo de suposiciones ambiguas o incorrectas se conducen con procedimientos retóricos y necesitan desenvolvimientos detallados, con fórmulas y operaciones complicadas y alejadas de la realidad, por lo que se obtienen resultados cuya exactitud es relativa.

Por lo anterior más práctico partir de la comprensión de la esencia estructural original en la arquitectura histórica, principalmente en las revisiones de arcos y bóvedas, en todo lo relativo a los mismos, considerarlos como lo que son, arcos estáticos, ya que además de aproximarse más a la realidad su cálculo es más sencillo y exacto. La interpretación es más directa la que estaba basada en su *geometría constructiva*, que como radiografía representa la acción de cargas, con una trayectoria, composición, magnitud y sentido de fuerzas, sobre la sección o corte constructivo que representa la escala, proporción y simetría.

Los sistemas abovedados, no solo por ser estáticos dejan de presentar ciertas aptitudes a la tracción, ya que en teoría su forma tiende a trabajar con esfuerzos directos de compresión pura, porque por su sistema constructivo a base de mamposterías de ladrillo y unidas con morteros a la cal. La fricción que se genera en las mismas proporciona por su orgánica una suma de cualidades que le permiten hasta ciertos rangos tracciones. Hemos explicado que pueden ser capaces de absorber tensiones y por lo tanto adoptar deformaciones e incluso agrietamientos. La estabilidad del sistema abovedado prevalecerá mientras se conserve como preponderancia su forma de acción, como arco estático. El mismo análisis de plantas, cortes y alzados como lectura, nos presentan en su geometría, desarrollos encuentros e intersecciones. Por ejemplo el partir de cúpulas hacia las sus bases, estas se apoyan preferente sobre un gran tambor que funciona como anillo de compresión, un poco hacia abajo sobre los ejes del cuadrángulo formado a la altura de las cubiertas que generan las pechinas, mismos que contiene tensores de madera ocultos colocados a su vez sobre los mismos ejes de los cuatro arcos del crucero. El caso que explica con mayor claridad este hecho es el Sagrario anexo a la Catedral de México, pues la armonía de las bajadas de cargas se conduce sobre la gran cúpula central hacia el centro y radialmente hasta las aristas más bajas y de mayor rigidez. 13

13

José, Creixell, *Op, Cit, (E. C.)*, página 288:

"Un arco correcto debe ser más bien diseñado por un artista que por un matemático. Además el arco elástico tiene en su cálculo las mismas indeterminaciones que las vigas continuas y, aun calculado exactamente, sus condiciones de resistencia pueden variar mucho, con cualquier cambio de las cargas supuestas, con algún esfuerzo imprevisto o con algún movimiento de sus apoyos -- caso muy frecuente en México."

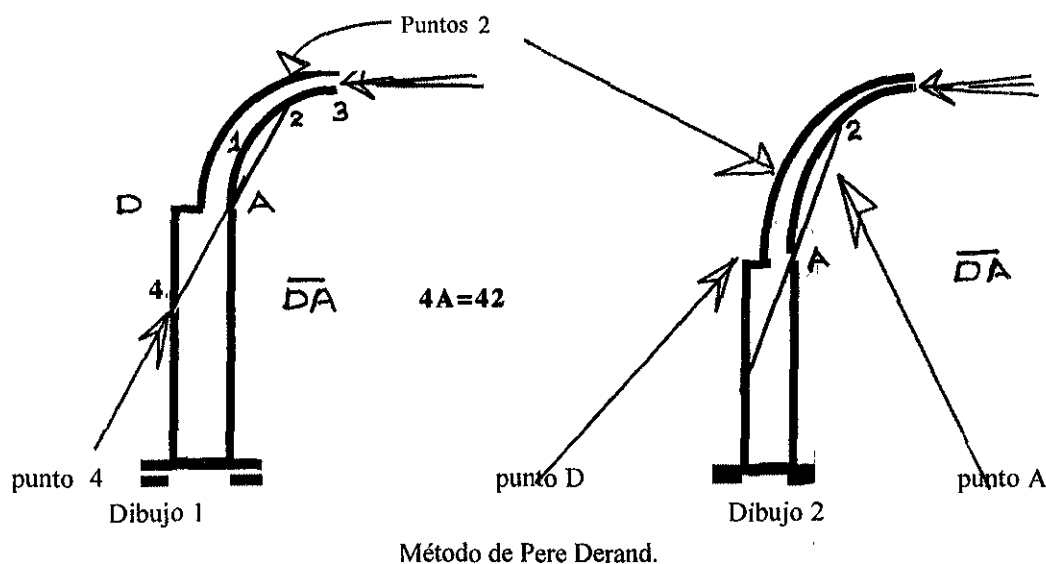
Por por la utilización de materiales y procedimientos constructivos en bóvedas, su peso es considerable por lo que podemos decir que su utilidad se encuentra resuelta en las cubiertas. Es evidente que para el caso de la ciudad de México por sus terrenos compresibles y de alta sismisidad sus estructuras contengan limitaciones, ya que al moverse, sus apoyos experimentan una modificación en su geometría y por lo tanto resulten alteraciones que requieren una reestructuración, y de esta una intervención por que se necesita un cuidadoso análisis previo antes de intentar lograr otra vez su equilibrio.

Dentro de la tratadística y la variada literatura especializada; las muestras de diferentes secuencias de falla en las bóvedas y arcos, se exponen a lo largo del siglo XIX y principalmente al finalizar el mismo se presentaron diversas tipologías de fallas características en los arcos y sistemas abovedados; exponiendo y dependiendo de la clase, ubicación, tipo e intersección y por supuesto del material constructivo. Esas tendencias a la falla con sus diversos movimientos fueron en la práctica una verdadera enseñanza para el diseño estructural. De este hecho por ejemplo Villanueva Bactrina nos explica el análisis estático. En todos los casos se parte de una suposición lo mas apegada a la realidad, para ello se consideran preferentemente arcos simétricos tanto en carga como en *geometría constructiva* y por tratarse de arcos de mampostería de lo que se entiende no reciben en teoría tracciones y que junto a la experiencia se conocieron las tendencias de falla; ya fuera en riñones o en claves, es decir en el intradós o extradós de las mismas.

Criterios de diseño:

Un problema esencial sobre como determinar y conocer el pensamiento matemático de la época, partir de los análisis de la estabilidad de las bóvedas hasta la aparición de los estudios de estructuras continuas. La historia de la arquitectura y su construcción, no muestra una serie de reflexiones y quizás contradicciones o rompimientos con los que se llego a nuevas modalidades manifiestas por la alta especialización. No por ello resulta importante la estática gráfica, precisamente los fundamentos del cálculo moderno se basan en los estudios de los grandes monumentos y como caso puntual los que contienen sistemas abovedados, pues las indagaciones de las mismas basadas en los principios de la estática fueron también pioneros en la aplicación de la resistencia de materiales, por tener una mayor preocupación en los puntos posibles de ruptura en arcos y bóvedas, con su debida respuesta en apoyos y refuerzos derivados a su vez de una descomposición de fuerzas en contrafuertes y arbotantes. Para el siglo XVIII la abstracción llego a

tal grado que se fueron substituyendo trazos por fórmulas empíricas, pero con bases en el manejo de proporciones y en la observación directa de la experiencia constructiva. Antes de Rondelet se presentan varios sistemas de solución, como el método de Pere Derand (1588 - 1664), cuyo principio está diseñado por de la mitad de una bóveda sostenida por un apoyo cuyo espesor motivara el equilibrio, a partir de unos cuantos trazos, con la apreciación que a mayor altura del arco menor empuje (Dibujos anexo 1 y 2).¹⁴



Algunos autores en Francia, consideran a La Hire (1640 - 1718) de los primeros en desarrollar de cálculos matemáticos propiamente para arcos y bóvedas. Poco después Couple des Tortreaux (? - 1744), complementa los estudios de La Hire, ambos estudios básicamente tratan del análisis de puntos de corte o falla característicos que sobre los arcos afirman y producen los agrietamientos.

El primero (La Hire) señala la tendencia de la cresta de las bóvedas justamente en los riñones de las mismas, como si se tratase de una gran y extensa clave, debida principalmente a una carga excesiva y poco resistente con apoyos que permiten el desplazamiento en los riñones

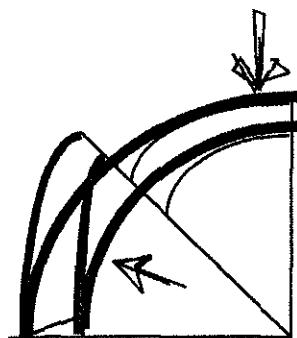
14

Boudon, Françoise, *Actes du Colloque Viollet le Duc, Op. Cit.* p. 75

Le Pere Derand donne l'un des premiers une methode graphique simple pour le calcul des piedroits. Cette methode est reprise et adoptee par François Blondel: "Divise la courbe de demi-cintre interieur en 3 parties égales; ayant tiré la A2 on la prolonge telle que A2 = A4; par ce dernier point on tire une verticale D4F qui determine avec AE l'épaisseur du piédroit"

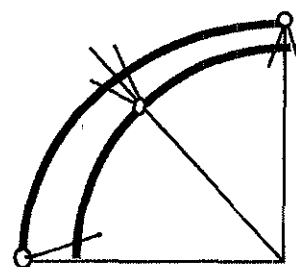
(Dibujo 3, Señala los puntos de deformación). 15

Mientras que el segundo (Couple) precisa las tendencias de falla no solo en los riñones sino también en la clave y línea de impostas, como si fueran puntos de articulación cuya aplicación se encuentra en la zona de compresión y alternándose sucesivamente al intradós y estrados; esta apreciación es importante por la calidad de la exactitud que requiere un arco o bóveda y aunque los autores no señalan la presencia teórica de un eje neutro comprenden y muestran perfectamente el trabajo del sistema. (Dibujo 4).



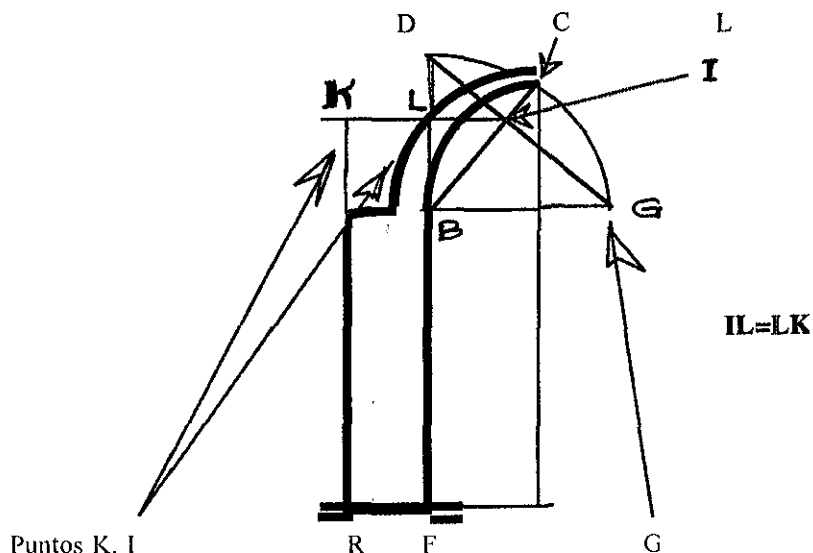
(Dibujo 3)
Teoría de La Hire 1712

45 grados



(Dibujo 4)
Teoría de Couple: 1729

El Método de Gautier (1697 - 1758):



Puntos K, I

Dibujo 5 Método de Gautier:

15

Fred, Angerer,: *Construcción Laminar*, España, 1975, Gustavo Gili, 83 p. pág. 18:

"Con la hipótesis que en las juntas no existe rozamiento, estudiaron el equilibrio de las bóvedas aisladas basándose en las reglas de la composición de fuerzas. En su *Traité Mécanique*", aparecido en 1695, afirmó De la Hire que la resultante del peso de cada piedra de la bóveda y el empuje recibido por ella de la piedra anterior debe ser perpendicular a la junta con la piedra siguiente, pues así queda asegurada la estabilidad de la bóveda":

El método de M. Gautier (1697 - 1758), consiste en una serie de trazos que buscan una proporción en el contrafuerte, pero sin dejar de ser tan simple como el método de Derand. Gráficamente con este se determinan los espesores de apoyos, solo que estos resultan ser más robustos. De ellos se deduce su importancia al igual que en otro tiempo Simón García proporcionaba a la obra constructiva, en base al diseño integral, partiendo de ejecutar trazos proporcionales de los semiarcos y apoyos (Dibujo 5) .¹⁶

M. Belidor (1693 - 1761) unos años después, en su famoso tratado: *La Science des Ingenieurs dans la Conduite des Travaux de Fortification et D'Architecture Civile*, publicado en 1739 señala la vanguardia que en el orden militar se iniciaba de donde surge toda una metodología de análisis de bóvedas y arcos con la aplicación de complicadas formulas dedicadas especialmente a la arquitectura militar, pese a que este tipo de criterios se fundamentaron con un lenguaje analítico se pusieron en ejecución, complementandose y evolucionadas hasta el siglo XIX.

Solo queda un paréntesis muy especial y particular dado a finales del siglo XVIII, y estos son los estudios logrados en la cúpula de *San Pedro de Roma* y los análisis en *Sainte Genevieve* por Soufflot que transmiten la idea del funicular en la bóveda y precisan el trabajo y resistencia de los materiales.

El acelerado y cambiante universo de las ciencias y el desborde industrial, evolucionan tremendamente para el caso de las bóvedas, el descubrimiento y aplicación de las geometrías. *analítica* y muy particularmente *descriptiva*, por G. Monge, es parte vital de fundamentos teóricos en los que se sustenta el estudio del arte de la construcción del siglo XIX, conteniendo caminos y metodologías que derivaran en la *estática gráfica*.

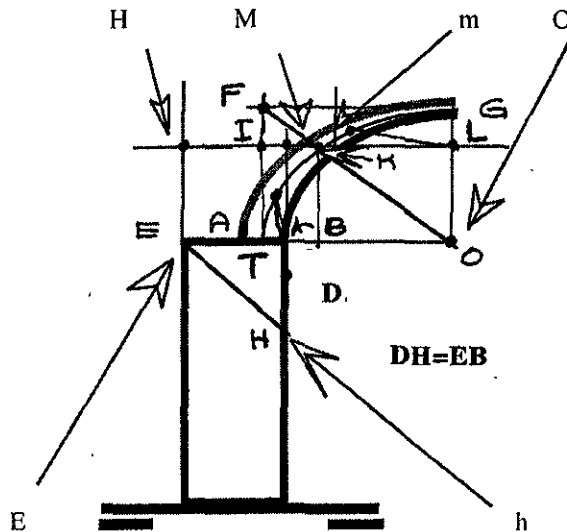
El celebre Rondelet trabajó con la mitad de un arco o bóveda, plenamente integrado a los apoyos muros y contrafuertes hasta llegar a la cimentación. Con el eje neutro m , desarrolla plenamente un método al cual integra la capacidad del material, es decir la estructura y sistema constructivo, logra con ello la *geometría constructiva*.¹⁷

Define como antecedente los puntos claves M y de falla F, así como se van transmitiendo las cargas a lo largo del sistema hacia los contrafuertes o estribos que con su masa son determinantes en la estática de los mismos. Es el primer autor que sintetiza bajo los

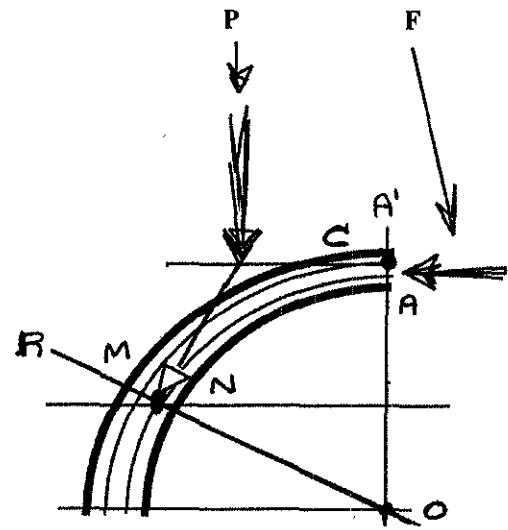
¹⁶ Boudon, Françoise, *Actes du Colloque Viollet-le-Duc, Op. Cit: Methode de Gautier (d'après Rondelet)* "On tire la ligne BC qui part de la naissance à l'axe de la clé; on trace un quart de cercle DG qui aura B comme centre BC comme rayon; on tire la corde DG qui coupe BC en I; on tire une horizontale de I qui coupe DB en L; on porte IL = LK qui donne la verticale KR.

¹⁷ Apud. Carlos, Gonzalez, Lobo: Conferencia dictada en el Seminario, Curso de Actualización, *Tradición y Seguridad en el Diseño Estructural*, México, 1986, en el Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

procedimientos de la física, tablas experimentales de resistencias, cuya finalidad es la aplicación constructiva y sencillez en el manejo del diseño, ya que ciertamente sus tablas son comparativas para ejemplificar diversas condiciones de carga y magnitud de altura y claro a salvar, conduciéndose con diversos modelos como soluciones. Rondelet con sus aportaciones tiene una capacidad de manejar sus criterios de diseño estructural y constructivos, con asimilación de los conceptos de los tratados clásicos de la arquitectura. (Dibujo 6)



Método de Rondelet (Dibujo 6)



Método de Mery (Dibujo 7)

Al igual que Rondelet otros autores presentan una memoria de estudios y procedimientos que representan un su conjunto una conclusión que busca manejar soluciones óptimas y prácticas, pero siempre basadas en la fundamentación científica. Por ejemplo: Clapeyron (1799 - 1864) y G. Lamé (1795 - 1870), en su procedimiento, segmentan el arco o la bóveda en tramos, como si fueran cargas verticales que posteriormente calculan a través del ángulo del punto de ruptura; este obviamente se refiere a las grietas que se presentan en las bóvedas a la altura de los riñones. Considerando el empuje y como principios fundamentales de la estática, juegan un papel importante, como lo es el centroide y los ejes que marcan el sentido y dirección de las fuerzas, sin considerar por cierto la existencia de un eje neutro. 18

Un método simplificado y sobre todo mas lógico es el publicado en 1840; llamado "*método de Mery*", (Dibujo 7) quien escribió el criterio siguiente: Las líneas de carga se encuentran en la

18

G. M. Lamé: *Leçons sur la Théorie Mathématique de L'Elasticité des Corps Solides*, France, 1852, Bacheliers, Imprimeur - Libraire, 335 p. ILUS, páginas 97 - 107.

"M., Clapeyron: *Principe du travail des forces élastiques*: (p. 97),

"Ordre tout à fait inverse de celui qui se déduirait logiquement des abstractions de la Géométrie. L'ignorance de cette anomalie apparente, et qu'il était difficile de prévoir est venue s'ajouter à l'abus des méthodes et des lois de la Mécanique céleste, pour retarder les véritables progrès de la théorie de l'élasticité."

cresta de la bóveda, pues visto el diagrama; preferentemente llegan en la clave y a los costados de la misma, para transmitirse internamente en el arco a lo largo del mismo y en condiciones ideales sobre el tercio medio del arco; es decir establece la línea de presiones e indica como puntos determinantes, la clave y los riñones. Si observamos este trazo coincide con un funicular invertido que forma un polígono el cual se cierra en los arranques del arco.

Síntesis y propuestas:

La síntesis que presenta el pensamiento científico y constructivo de los arcos y bóvedas a finales del siglo XIX es principalmente la obra fecunda de Paul Planat, fuertemente cimentada por Rondelet y con la debida demostración de la llamada curva y polígono de presiones, con lo que se determinan la posición de la resultante a partir del dinámico descrito por cada una de las cargas, de tal manera de obtener cada una de las fuerzas concurrentes a un eje polar y que son para cada caso la fuerza que ejerce presión sobre cada una de las dovelas. El estudio llega a una minuciosidad y perfeccionamiento en cada detalle, especialmente en el trabajo del material debido al espesor y clase del tipo de trabajo u ordenamiento entre cada una de las hiladas, tomando especial cuidado en en la clave y arranque de los mismos arcos. Con diferentes casos como: cargas concentradas, continuas y asimétricas así como con la variación posible de arcos de los cuales por cierto siempre se prefirieron simétricos.

Paul Planat completo los estudios para arcos con la presentación de ejemplos tipo para estructuras de uno, dos y tres claros. Además de señalar la importancia de las construcciones con toda su esencia edificatoria para consagrarlas a la práctica, de tal forma de acentuar las posibilidades para estructuras de varios niveles. Los estudios del autor parten de un corte transversal o longitudinal, el cual más bien lo definiría como corte tectónico, por su alto nivel descriptivo en su estructuración y desarrollo constructivo conceptualizado en sus elementos esenciales.

Los criterios en el desarrollo analítico:

Todas estas observaciones llegan a una serie de principios y recomendaciones que se unen a la práctica constructiva. Hemos mencionado que a partir del siglo XIX, las reflexiones sobre el cálculo estructural, sumaron tras el uso y análisis de materiales metálicos, que por sus cualidades estrictamente homogéneas y fundamentalmente por la evolución científica, se configura la evolución estructural, que considera los principios de elasticidad. Pese a que en las mamposterías

se tiene una orgánica un tanto imprecisa, originada desde la fábrica misma, se tiende a una limpieza constructiva, proponiendo bóvedas tabicadas; esta influencia se encuentra manifiesta en el neoclásico, pues la edificación tradicional de mampostería no responde a la exigencia industrial del siglo XIX, vertida en sillares bien cortados y expresada en nuevos materiales como el metal y concreto. La teoría estructural traspasa el umbral hacia un nuevo camino y para el caso de los sistemas abovedados responde a su manera. Una vez que se ha olvidado el origen del cálculo mismo, que se inició con el motivo de respuestas debidas a los grandes monumentos que construidos desde un principio con dichos métodos son un desafío en el arte de construir; como también de estudios cristalizados en su forma moderna y mas directa en la ya citada *Sainte Genevieve*.

L'Ecole des Beaux-Arts; expresa las nuevas modalidades en asignaturas que parten de la estática y resistencia de materiales, así, se presentan a detalle las propiedades de las secciones, con sus momentos estáticos y de inercia. Estudiando las vigas por diagramas de momentos flexionantes abriendo el camino a la interpretación de los arcos y bóvedas como sistemas articulados, es decir ya no como una estructura masiva resuelta a base de la estática. Por ello en exposiciones las grandes naves industriales de la arquitectura de hierro frecuente el uso de arcos articulados en las bases y clave. Se transforma el criterio, incluso en las cúpulas las estructuras son laminares, reforzadas con armazones a base de armaduras metálicas, substituyendo las líneas de presiones que define los esfuerzos directos de compresión por la combinación de esfuerzos. Es importante indicar que a partir del análisis de los arcos y bóvedas de mampostería se reconoció la importancia de los puntos de ruptura recordando que para los momentos flexionantes y esfuerzos cortantes la definición de los puntos con esfuerzos máximos y con la determinación de su sentido interno son claves en la misma acción interna de la pieza estructural.

Para los arcos y bóvedas realizados en mampostería se reconoce como un arco estático debido a que sus extremos se encuentran integramente empotrados. Tal situación responde a una estructura masiva y pesada con puntos de descarga fijos y cuya carga, casi exclusivamente de esfuerzos directos en compresión pura aumenta paulatinamente hacia los apoyos.

Compartiendo las enseñanzas de la tratadística del siglo XIX, igualmente se deberá considerar en corte del arco o bóveda la línea de presiones, y para asegurar que funciona como arco estático que es su forma de trabajo ideal en mampostería, sí no se presentan tracciones desfavorables para el tipo de material y como resultado tal línea de presiones no deberá salir del tercio medio de arco.

Los esfuerzos de fricción que acuden en los puntos en donde la línea de presiones se desvía fuera de los límites determinados en el tercio medio del arco, con posibilidad de que la fricción tome en lo posible esfuerzos de tracción. Los morteros a base de cal son altamente elásticos y como elementos activos entre las dovelas o conglomerados asumen las posibles deformaciones o rompimientos, que como agrietamientos disponen líneas o puntos articulables; trasladándose la línea de presiones y tercio medio, en su trayectoria hacia una forma óptima de tal manera de que si se continua con la deformación o ruptura, se llegaría hasta un límite máximo antes de llegar al derrumbe total. 19

Las deformaciones y agrietamientos hacen posible la estabilidad del sistema, pero con menor resistencia, pues cada vez mas se trata de una estructura mas frágil. Por lo anterior para el análisis clínico de arcos y bóvedas, presentaran agrietamientos en los puntos o líneas ya señaladas, como clave y riñones y por lógica con una alternancia en sus aperturas. Aun así y a pesar de la presencia de grietas y fisuras lo cual indica esfuerzos de tracción, por la magnitud de las secciones y apoyos, originadas por un gran peso volumétrico, la preponderancia del sistema deberá considerarse como un arco estático, pues es su forma ideal de trabajo y por lo tanto deberá prevalecer su unidad estructural.

La revisión de los arcos en edificios históricos y monumentos realizados en mampostería como arco estático, con la considerando esta propuesta para integrar un estudio mas detallado de las fricciones en los puntos tendentes a la falla.

En general, los arcos en su cálculo y revisión, al igual que en los tratados de arquitectura del siglo XIX, se dividirán en tramos dovelados, se procederá a determinar las cargas muertas que actúan en el centroide de la sección. Como se trata generalmente de arcos y bóvedas, estos constructivamente contienen una simetría, por lo que es posible su estudio seccionado en un semiarco, el cual e idealmente deberá ser lo mas fiel como levantamiento constructivo en corte al original. Es decir se debera unir a los muros, estribos, etcétera, aunque por simpleza puede trabajarse únicamente con la sección del semiarco y posteriormente substituir con su resultante sus efectos y acción hacia los apoyos. 20

La suma de todas las cargas "f" gravitacionales por tramos dovelados nos darán su

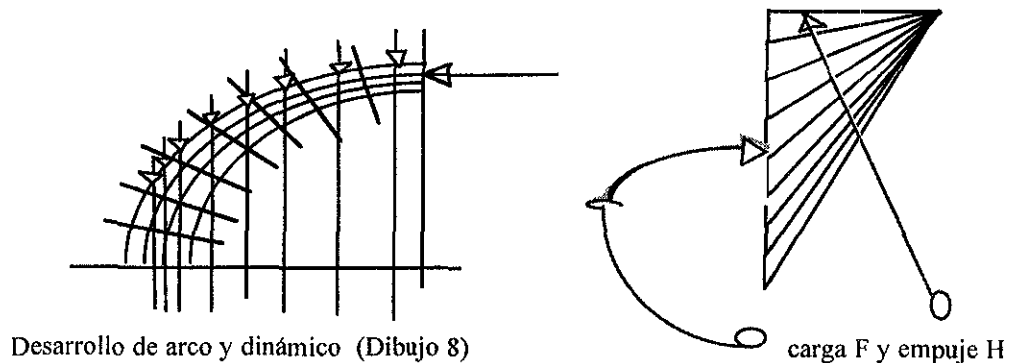
19

Apud., Manuel, Gargollo y Parra,; *Estatica de las Bovedas, Resumen de Lecciones Orales dadas en los años 1860 en la Academia Nacional de San Carlos de B. A. Mexico 1878*, 85 paginas , ILUS.

20

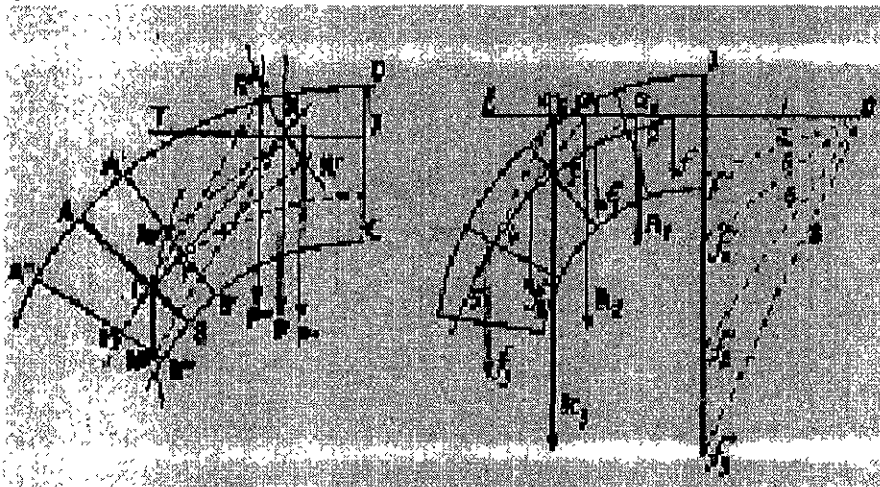
Apud. V. F. Reuleux,; *Tratado General de Mecánica*, (para uso de Ingenieros, Constyructores, Maquinistas, Arquitectos, Aumentado por la mecánica práctica u aplicada más moderna y Univerdsalmente adoptada pos las naciones industriales, Dr, Francisco Nacente y Soler, tomo primero, Barcelona, Espana, 1887, Nacente Ed., Atlas (Cinematica del Constructore, mecanica Aplicada y Resistencia de Materiales), 9 LAM.

resultante, que a su vez será una de las componentes "F" sobre el eje de las "Y". Mientras que el empuje "H" se encontrará en el eje de las "X". (Dibujo 8)



Tradicionalmente a este ejercicio le llamaron el dinámico, o *l'epure*; que representa un sistema de fuerzas en equilibrio, con la disgregación de cada una de sus componentes en su trazo, la magnitud de fuerzas y sentido. 21

Dentro del sistema de fuerzas, cada componente "f" determinará el sentido de inclinación de los rayos, partiendo de la "H" (empuje en la clave del arco) y cuyo punto de aplicación no sobrepasar el tercio medio, hasta llegar con cada línea de acción de "f". Siendo el último rayo el empuje total del arco. Es un cálculo gráfico representado por el dinámico de fuerzas y cuyas equilibrantes del sistema son las fuerzas que se oponen al empuje total representado en el dinámico. (Dibujo 8 y 9).



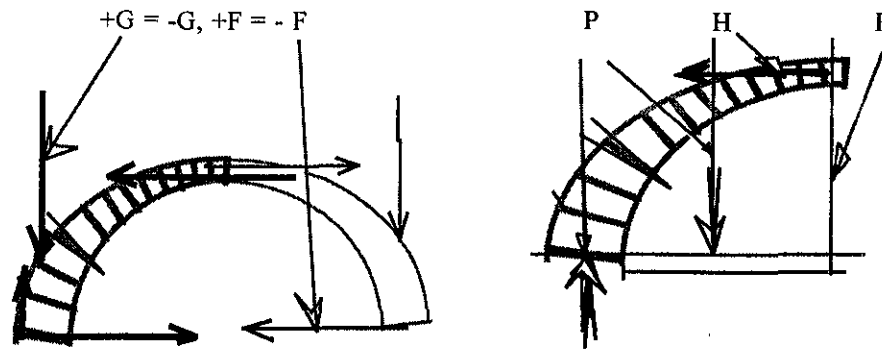
(Fig.9) Dibujos de Jules Pilet (1894)

21

Nota: Jose Creixell entre otros autores comúnmente denominan "Dinámico" a la representación gráfica de un sistema de fuerzas en equilibrio; en este caso desarrollado para un arco en equilibrio dibujan únicamente la acción de fuerzas de un apoyo hacia la clave del arco. Los tratadistas franceses le llaman "*L' Epure.*"

Charles, D'Aviler Agustin: *L' Art de Batir, France*, Paris, DCCLX, Ed., Chez Charles- Antoine Jomberet, *Cours d' Architecture qui comprend les Ordres de Vignola*, 447 pp, LVI. pág. 273

"Les principes de cette science sont fondés sur la géométrie; de l'opération qu'on fait avec l'epure, un passe à l'exécution, en traçant des pierres qui doivent réunir le voute auxquelles elles sont destinées quelque irrégulier qu'il soient."



(Fig.10) Dibujos de Jules Pilet (1894), Fuerzas G y fuerzas - G, fuerzas F y fuerzas - F Síntesis de gráficos manejados como criterios desde el sigloXIX. Felix Candela (1975), $H = PL/ f 8$.

La línea de presiones se determina por el traslado y secuencia de rayos sobre cada acción de fuerzas "f" que actúa en las dovelas, de tal forma que su trayectoria se localice dentro del tercio medio. Pero si tal estudio no coincide con el trazo ideal en los límites del tercio medio que como rango sera lo factible y si una de las posibilidades extremas coincide en los límites establecidos la estructura no fallara, pues como hemos indicado con anterioridad el sistema constructivo antes de fallar se colocara en las optimas condiciones en la trayectoria de esfuerzos, por prevalecer la macividad de grandes pesos volumétricos, cuya forma geométrica garantiza por naturaleza la compresión pura. Naturalmente que se deberá de revisar los esfuerzos de fricción, tomando especial cuidado en los puntos de posible falla, como la clave y riñones. 22

Si la estructura tiende a provocar movimiento en algún punto, deberá proponerse un sistema de reestructuración que determine para cada caso un análisis global de posibles alteraciones, tomando especial cuidado en los apoyos. El cálculo sísmico requiere una especifica atención para este sistema de estructuras, al igual que el acertado análisis y reconocimiento, debido a los asentamientos diferenciales, muy comunes en suelos blandos como los de la ciudad de México, ya que con ello la geometría tiende a ser alterada. 23

La restauración como concepto moderno del siglo XIX; busca la comprensión de la geometría de la construcción, especialmente de los arcos y bóvedas; crece con los avances científicos y se alimenta con la asistencia técnica y estructural, es decir tradición constructiva y análisis estructural son ciencias y artes afines; uno a otro. Pero principalmente el calculo emana

de la meditación sobre la estabilidad de los monumentos, como lo afirmo Viollet-le-Duc. 24

El aporte del siglo XIX al respecto sobre sistemas abovedados lo es con los arcos articulados para grandes naves industriales de exposición, cuyo caso específico lo es las cúpulas laminares, con estructura interna metálica. Ambos sistemas se presentaron detalladamente en los tratados, y especialmente de ellos. Paul Planat hace una serie de desarrollos cuya metodología es dedicada a expresar el contenido de la esencia estructural moderna. de estos ejemplos se presentan sus respectivos métodos. 25

Solo que hace falta indicar que la tendencia a simplificar los procedimientos y buscar un camino hacia una solución más práctica, cada vez mas alejada de una realidad pues los caminos son mas áridos llenos de abstracción, con un resultado opuesto, ya que por ejemplo si analizamos el criterio fundamentado en la práctica constructiva del arco dedicado al trabajo de compresión pura, como concepto estructural en toda su expresión se encuentra lejana a los principios de los arcos laminares, pues mas bien sus estructuras sujetas a la flexión con elementos compuestos curvos; y cuyo paso se encuentra dirigido a las estructuras de varios niveles o colgantes. 26

24 E. Violle-le-Duc: *Dictionnaire, Raisonne de L'Architecture Francaice, du XIe. au XVIe. Siecle*, tome neuvieme, 552 paginas, Ve. A. Morel, et Cie. Editeurs Rue Bonaparte, MDCCCLXXV, ILUS., p. 53

"Quand l'ingenieur Polonceau imagine le systeme de cercles de fer pour resister a des pressions entre le tablier et les arcs d'un pont, il ne faisait, a tout prendre, qu'appliquer un principe qui avait ete employe six siecles avant lui".

25

Apud. Paul Planat: *L'Art de Batir, Cours de la Construction Moderne, Civil., Voutes en Maconnerie. Voutes d'Eglises, Tours et Befrois - Beton Arme*, Paris, 1875, Libraire de la Construction Moderne, 730 p, Tomo III, ILUS. y Enrico Tedeschi, Enrico, Apud. pág. 127, *Teoría de la Arquitectura Op. Cit.* 275p. ILUS., Fotos.

26

Pérez Espinosa Hector, Jorge Rojas Ramírez: *Reestructuración del Exconvento de Tecamachalco*, Puebla, ENCRM, tesis de maestría en arquitectura, 1981. INAH.

Tema 3

3 E).- COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Introducción:

Interesante es abordar un problema como el de los sismos aparentemente nuevo y que en realidad es tan antiguo como la misma formación de la *Tierra*; en respuesta a ello se deben precisamente infinidad de estudios, cuyas zonas, formaciones de suelos, y magnitudes se han determinado perfectamente en diversas regiones del mundo, con sus manifestaciones, frecuencias, acciones, caracterizándolos en grados y tipos.

Que es un sismo:

El sismo como fenómeno natural y entendido geoméricamente: Es en sus elementos primarios, un movimiento que parte como un punto para formar una línea e instantáneamente convertirse en curvas con tendencia a formar varios planos y por lo tanto volúmenes. Tiene una proyección en el tiempo y a través de el se transmite con un crecimiento armónico, como una espiral áurea, desde luego que por la discontinuidad de las capas terrestres tales movimientos asumen diferencias en el comportamiento final de los mismos que los tipifican. Sin embargo la práctica de la arquitectura ha demostrado que las formas geométricas mas sencillas y regulares,

son mas congruentes a los mismos temblores.¹

El sismo es un proceso instantáneo el cual modifica momentáneamente las fuerzas de gravedad y la coincidencia de las mismas (liberación de energía dentro de un espacio tiempo); transmitiendo desde el suelo a la edificación y al estar contenida en las capas terrestres con las cualidades disimulas tiende a presentarse irregularidades. Sin embargo la coincidencia de las geometrías, tanto de la construcción, como la del cosmos: es decir de las leyes de la naturaleza, nos ofrecen una mayor respuesta y por lo tanto el equilibrio. De esta forma desde la antigüedad se comprendieron, los arquitectos el diseño y la seguridad estructural mas lógico para la arquitectura, y así lograr con esta tradición una mejor permanencia en las mismas.

Las ciudades y su arquitectura se ha adaptado a los efectos ocasionados por estos movimientos desarrollado una configuración sísmica debida a una amplia experiencia a lo largo del tiempo. Tantos fenómenos sísmicos se ejemplifican con mayor naturalidad en la arquitectura histórica y en general los tratados de arquitectura y documentos especializados del siglo XIX, ya que indirectamente tocan el punto, y aunque estrictamente no mencionan los fenómenos sísmicos, si apuntan fenómenos como cargas accidentales, efectos del viento, de los cuales presentan interesantes soluciones, tanto de métodos estáticos como dinámicos los cuales el más notorio es el llevado a la práctica con la analogía creada por el ingeniero Eiffel en la torre que lleva su nombre; ya que en el mundo occidental, se habían creado soluciones interesantes para resolver problemas de los fuertes empujes para lograr estructuras altas como en el gótico. ²

Mientras que el siglo XIX y sobre todo con la aparición de nuevos materiales y tecnologías los autores aportan estudios sobre los efectos del viento en grandes superficies de fachadas, buscaron estructuraciones de mayor altura y claros pero con menores secciones en sus materiales. La simulación de modelos del propio Eiffel, (cuyo criterio presenta los tres modos de vibración, mas comúnmente aplicados en la vida actual); tales propuestas son una muestra sobre

1

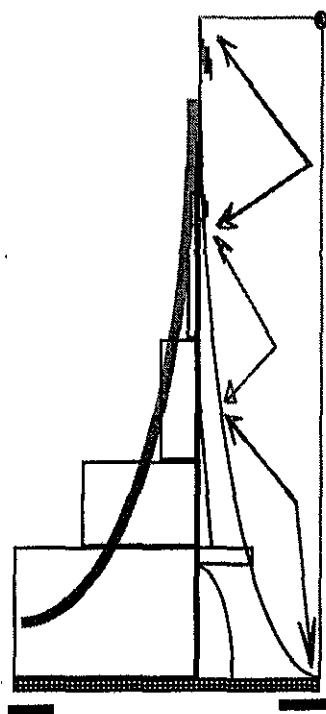
Apud. F. Ching: *Arquitectura Forma y Espacio*, España, 1983, G. G., reimpresión: México, 1995, Ed. G. G., 396 p., ILUS., Fotos.,

² Arnold, Christopher y Robert Reitherman: *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*, Colaboración de Eric Elssesser y Dianne Whitaker., Ed. LIMUSA, México, 1987, 298, páginas, ILUS., FOTOS., p. 188

"El enfoque analítico del diseño sísmico es un fenómeno del siglo XX, y en tiempos históricos los sismos se contemplaban como eventos demasiado dañinos y azarosos como para controlarlos mediante el diseño. Pero la base estructural es innegable: se puede compendiar la mayor parte de la arquitectura hasta finales del siglo XIX; como un esfuerzo por crear espacios adecuados bajo las restricciones de materiales que solo eran efectivos para fuerzas de compresión. Cuando las estructuras se hicieron más altas y delicadas, la respuesta del diseñador a la naturaleza de las fuerzas laterales del viento y del pandeo creó una analogía del diseño sísmico y de hecho, la maravillosa arquitectura gótica se basa en gran medida en esta respuesta.."

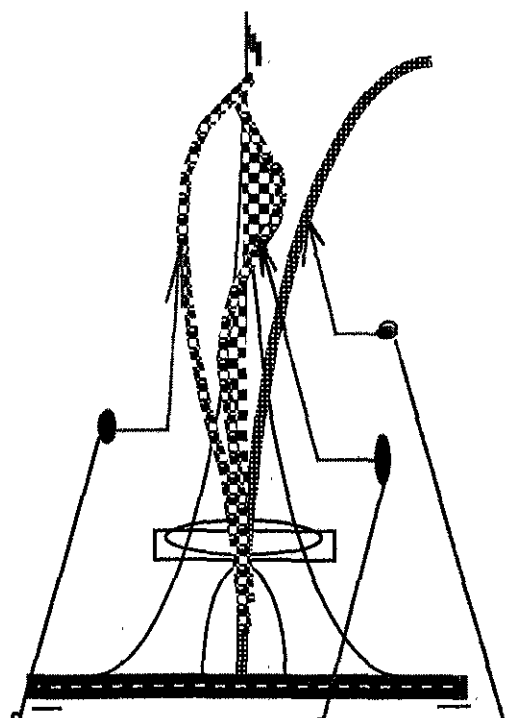
los nuevos horizontes, pero sin dejar de fundamentarse en la historia de la construcción, es decir de su tradición y seguridad estructural. 3

Fig. 1 Gráfica de Cortantes
(primer modo)



Tres secciones

Fig. 2 Simulación de Modos.



B) 2o modo. C) 3er modo. A) 1er modo.

En México se presentó una gran preocupación por el tema, tal y como lo señalan infinidad de libros y publicaciones. Esta situación generó dudas e imprecisiones cuando un gran impacto en la academia de San Carlos, especialmente durante el final del siglo XIX y principios del siglo XX, y cuyo fin fue el avanzar en el conocimiento científico. Los arquitectos y constructores se basaron en ellos para reinterpretar nuevos avances en tecnología y diseño arquitectónico, asimismo por lógica de la experiencia constructiva anotando cualidades iniciales que requiere una

3 Vease; Apéndice: Gustave, Eiffel, *La Tour de Trois Cents Metres*: France, MDCCCC, 1900, Impremierres, Lemerchie, 369 páginas ILUS. Christopher Arnold y Robert Reitherman: *Configuración y Diseño Sísmico de edificios*; Colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker, Ed. LIMUSA, México, 1987, 298, páginas, ILUS., FOTOS., página 14 :

"La mayor parte de los grandes estilos arquitectónicos históricos han surgido en regiones sísmicas, pero no parece que la arquitectura creada en estas áreas exprese conscientemente los principios de diseño sísmico"

estructura en una zona sísmica como son bajas en altura, sencillas y simétricas.⁴

La experiencia transmitida tanto en el manejo de materiales y sus tecnologías, como a través de los mismos tratados, a lo largo del tiempo presentan indirectamente elementos esenciales de construcción y el diseño sísmico, situación que se vió aplicada a la arquitectura. El análisis de la resistencia al viento fue el camino mas cotidiano para comprender las fuerzas horizontales, al mismo tiempo los fuertes empujes debidos a las bóvedas lograron un mejor entendimiento al respecto y de esto tal solución quedo intrínsecamente resuelto tanto en plantas arquitectónicas, por forma, simetría y secuencias de cargas dirigidas a ejes maestros por correspondencia de apoyos, como por las alturas de la edificación.

Una de las mayores preocupaciones de los arquitectos y constructores en nuestro país es dar respuesta a temblores, a mejorando sistemas constructivos dedicando mayor atención temas como la armonía y proporción. A partir del siglo XVIII con el desenvolvimiento de la geometría descriptiva el estudio de empujes debidos a arcos bóvedas se tradujo en soluciones matemáticas para apoyos, que estos, no solo fuesen capaces de resistir fuertes empujes adicionales, sino también a esfuerzos debidos a fricciones, sobre estos casos surgieron manuales específicos que presentaban una idea clara sobre las acciones de fuerzas horizontales y las deformaciones debidas a las mismas cargas, tales estudios se complementaron por cortes por fachada y transversales tanto en estructuras trabajando por geometría constructiva, como estructuras de edificios de varios pisos; originando transparencia en el ejercicio y bajada de cargas, así como concebirlas en un nuevo concepto de unidad estructural, la cual se basara en la efectividad de la resistencia de sus materiales particularmente en las soluciones de sus uniones.

Los fundamentos de la urbanística asísmica:

Como paréntesis, recordemos algo de lo antes mencionado relativo a los sismos, el antecedentes, seguridad y tradición constructiva que tienen que ver directamente con el diseño y configuración estructural. Estos conceptos no se han aplicado al trazo de ciudades y sus edificaciones, ya que su respuesta se debe al medio, a sus accidentes naturales; por lo que es

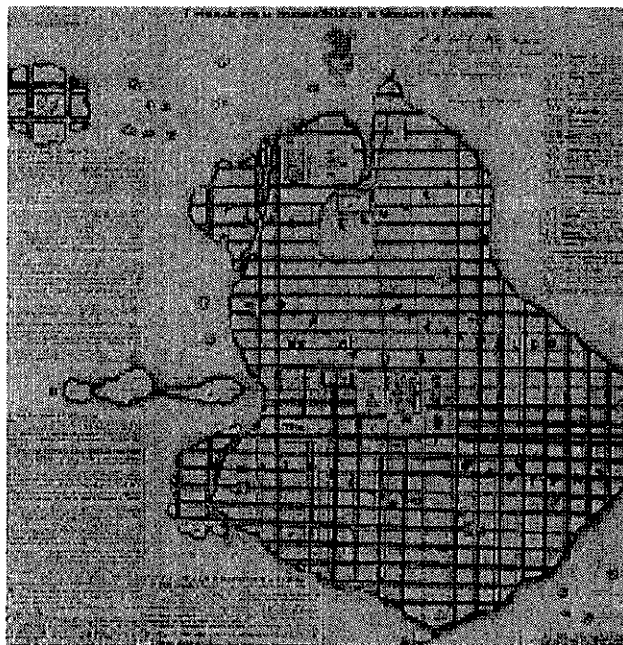
4

Nota: La academia de San Carlos, como lo demuestran tanto los escritos se preocupo por el tema novedoso y particular de la ciudad de México; más sin tocarse directamente como tal en las publicaciones extranjeras aparece como un problema de construcciones altas o con superficies expuestas a viento y las citas de libros en clases y cursos. Ahora documentos históricos de la Biblioteca Histórica del Palacio de Minería.

D. J. Dowrick: *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos, para Ingenieros y Arquitectos*, México, 1984, Ed. LIMUSA, 410 páginas, ILUS, FOTOS. página 96:

“Los sismos han demostrado repetidamente que las estructuras mas simples tienden a sobrevivir,... La simetría es deseable por las mismas razones,“

impresionante, observar que, hasta la fecha y como nota relativa a la historia de la construcción en la ciudad de México el criterio que predomina es el no reconocer el posible criterio *urbanístico-sísmico* de ciudades mesoamericanas, con ese problema abiertas al cosmos y por lo tanto con estructuras resueltas con simplicidad y sencillez en su geometría y sin citar un caso tan obvio como lo es un basamento piraminal en general de conjunto de edificaciones, tanto de templos, edificios públicos y arquitectura doméstica, diseñados partiendo de un orden urbano y arquitectónico para resistir con mayor integridad las fuerzas de la naturaleza. (fig. 3).



Leopoldo Batres 1892, Tenochtitlan 1519,
Plano de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.
Smurfit-INAH, Compilador: S. Lombardo: *Atlas Histórico de la Ciudad de México*.

Así de esta forma construyeron ciudades desde Teotihuacán hasta la gran Tenochtitlán, mismas que responden a una urbanística ordenada por sus trazos, ejes y cuadras regulares, con construcciones masivas, bajas y sobre gruesos basamentos, ordenados, entre otros aspectos a una respuesta estructural y así poder proteger y asimilar problemas de fenómenos naturales, sobre terrenos altamente deformables con problemas de impacto e incluso de posibles licuaciones por encontrarse levantadas sobre una zona altamente sísmica de origen lacustre. La transmisión de experiencias de tradición constructiva y estructural de los períodos virreinal y del siglo XIX, con sus diferentes vicisitudes, forman parte de la configuración histórica. Lo anterior con notas reiterativas algunos autores señalan la falta de reconocimiento histórico a la tecnología

mesoamericana. 5

En el viejo mundo las soluciones estructurales llegan a su máxima expresión con el gótico, mientras que la comprensión con diseño al límite encuentra su manifestación ejemplificada en el Renacimiento con la construcción de bóvedas. Al otro lado del mundo, en Mesoamérica se presentaron en su integridad y por primera ocasión desarrolladas las ciudades con un diseño sísmico urbano.⁶ Con una traza regular de cuadrículas ordenadas en calles, avenidas y plazas, con una arquitectura monumental que, conservan la configuración natural. La respuesta directa que nosotros encontramos, es la observación del cosmos, por tal razón, sus construcciones contienen su evidente masividad, simetría, altura y soportadas por grandes plataformas puenteadas con rodillos de troncos de árbol encontrados para eliminar y amortiguar fuerzas accidentales y diseño urbano ordenado en cuadras y fundamental en un comportamiento con respuesta uniforme, lo más apegado a la naturaleza y sus fenómenos. Sin embargo, el cálculo por temblor como concepto de análisis moderno se desarrolla en el siglo XIX, con los avances de las ciencias exactas, que es definición de la unidad estructural emanada tanto de la geometría como del arte de construir. 7

Configuración sísmica:

En la segunda mitad del siglo XIX, motivados por la alta experimentación de estructuras y materiales, los estudios se especializaron hasta llegar a la sofisticación del lenguaje matemático, por lo que el diseño por viento fue una tarea plenamente desarrollada y ejercida con una brillantez

5

Arnold, Christopher y Robert Reitherman: *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*: Colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker, Ed. LIMUSA, México, 1987, 298, páginas, ILUS., FOTOS., p. 188

“Aun cuando la mayoría de estilos y tradiciones arquitectónicas se han desarrollado en áreas sísmicas (Mesopotamia, China, Mediterráneo, Valle Indo), no es posible identificar principios de diseño sísmico comprendidos y expresados conscientemente, que distingan la arquitectura de estas áreas de las regiones no sísmicas.”

6

Nota. Tanto la arquitectura como el urbanismo son documentos históricos que lo demuestran en su propia lectura espacial. Ignacio Marquina en su obra citada. Al explicar la traza de Teotihuacán, entre otras tantas ciudades, afirmar relación de sus ejes de composición, análisis espacial de calles, avenidas, plazas y arquitectura. No menciona la situación sísmica, sin embargo al presentar otros interesantes puntos, indirectamente demuestra tal orden e intención en su diseño. Es decir es una urbanística que se integra a la naturaleza y por lo tanto al cosmos.

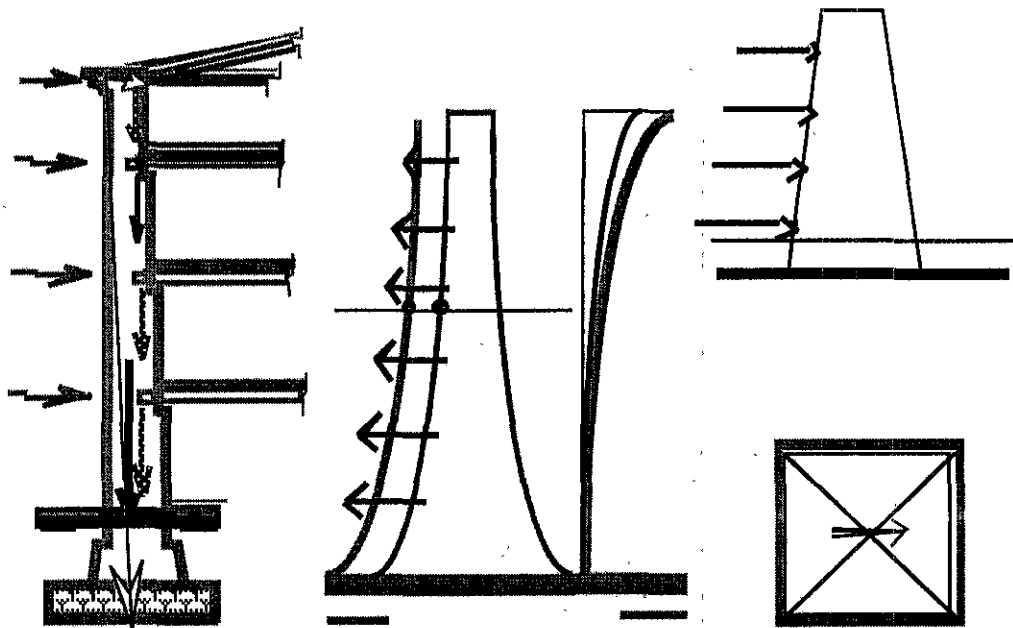
7

Yvon Belaval, en la obra: *La filosofía del Siglo XIX* en la página 203:

“Como en Comte, la alianza entre Descartes y Newton se realiza en Laplace por una recapitulación de la edad clásica al mismo tiempo que de los mundos conocidos: el primero plantea los principios generales, figuras y movimientos, los instrumentos, geometría y mecánica; el segundo la ley sistemática y su medio, el cálculo. La gravitación por fin está demostrada en las regiones celestes”

a final del mismo siglo. 8

El análisis en el siglo XIX para cualquier carga accidental se encontraba prevista en muros y apoyos, los que a su vez seguían una continuidad y con forme tenían mayores pisos estos eran por tanto consecutivamente de mayor espesor. De esto se deduce que la masa era particularmente vital, por tal motivo se decía que a mayor peso mejor resistencia de la estructura. En Italia y otros países mediterráneos se presentan ocasionalmente fuertes temblores, las referencias a estos fenómenos no son directas en los tratados o libros especializados del siglo XIX, pero se conducen en una forma completa en el caso del cálculo integral de estructuras de varios pisos, son interpretadas por partes y en grandes cortes longitudinales y transversales, como bóvedas, apoyos, armaduras, torres, etc.; señalando en cada caso, ejemplos pragmáticos de diferentes acciones de fuerzas inclinadas u horizontales sumadas a cargas gravitacionales, con lo que su análisis se consideraba integralmente. (Fig 4.)



Paul Planat, observación integral de carga y viento en corte. 1875

Gustave Eiffel (1889) imaginación de las fuerzas horizontales y momentos en un cuerpo de la torre

Paul Planat al igual que otros tratadistas señalan la importancia de empujes horizontales tanto para proyectos de vanguardia, como son los grandes "*fermes*", así como el que toma un espacial cuidado a las edificaciones altas como chimeneas, y dedica un artículo importante a la *restauración*, lo cual indica la importancia que se les brinda a temas de interés, tanto de

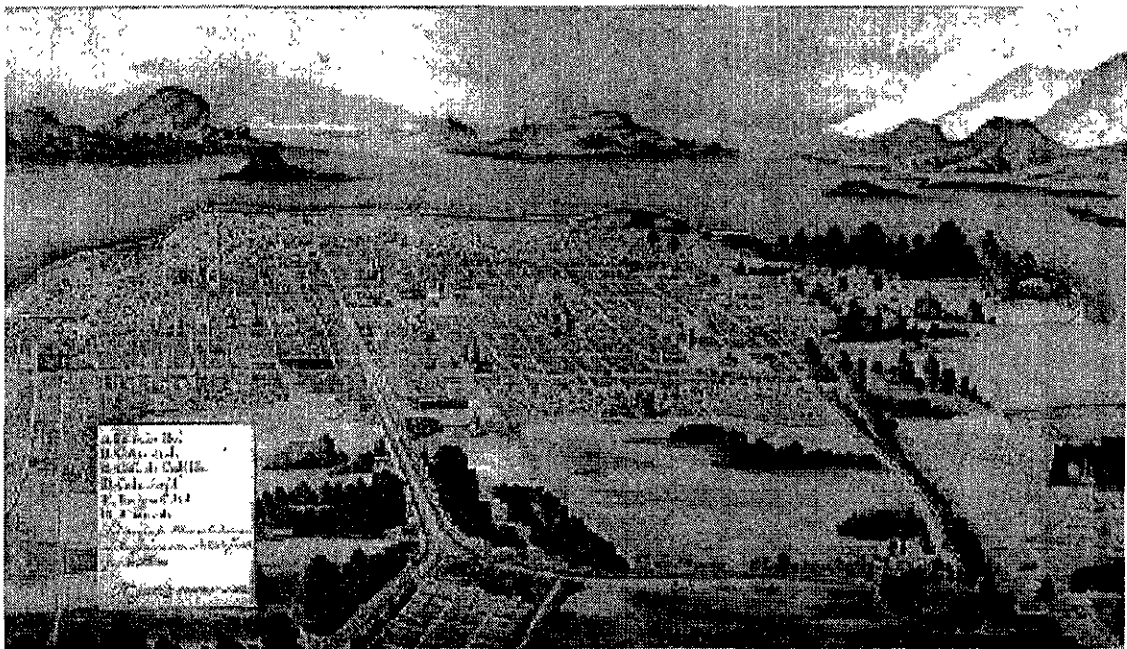
8 Gustave, Eiffel, *Op. Cit.* (Apéndice),

Una aplicación directa del fenómeno, es la que realizó el célebre ingeniero Eiffel para diseñar la torre de París aplico los principios de los métodos dinámicos, a base de considerar las diferentes masas de la torre con sus diferentes modos de vibración.

estructuras novedosas, como la comprobación de los monumentos, sujetos a diversos tipos de cargas.

El gran aporte del siglo XIX a estos criterios y con la aparición de nuevos materiales y tecnologías; es el abrir una diversidad de posibilidades logradas por los avances científicos; apoyados por el acervo de múltiples obras especializadas, de autores como A. J. Parent, L. Poison, Navier, J. Rondelet; que al igual que el ya citado P. Planat; hacia una audaz búsqueda sobre la teoría del diseño.

La historia de la ciudad de México nos puede explicar a lo largo del tiempo, los temblores, como eventos momentáneos, pues se ha comprobado que se han presentado en períodos aproximados de setenta años, como fuertes terremotos, pero dada la alteración de las capas resistentes y el drenado no controlado, sus efectos son cada vez mas destructivos, apareciendo de otros fenómenos que se combinan, como la ya citada licuación (fig. 5).*



Juan Gómez de Trasmonte, 1628. Forma y Levantamiento de la ciudad de México. (Fig. 5)

Ciudad levantada en los lagos de la Anahuac, con su efecto de licuación debido a su origen natural, delimitando zonas de amplificación (playas) como San Antonio Abad .

Smurfit-INAH, Compilador: S. Lombardo: *Atlas Histórico de la Ciudad de México*. lam. 119.

La experiencia constructiva colonial nos enseñó que las edificaciones ideales no deberían ser mayores a dos niveles, y en casos excepcionales en construcciones notorias de tres niveles, conservando una configuración igualada en alturas; es decir que en los suelos del valle de México, respondían óptimamente a construcciones bajas, simétricas y especialmente rígidas a través de

gruesos muros de carga, organizado sin la separación por colindancias en toda una cuadra repartiéndolo los efectos debidos al sismo sin poner en desventaja las esquinas, ya que, exclusivamente en pórticos y patios se utilizaron columnas o pilastras de proporciones masivas. Las construcciones resueltas para comportarse como un trabajo de conjunto, desde sus cubiertas abovedadas se utilizaron soluciones de arcos botareles y refuerzos de tensores de madera en las partes superiores, procurando descargar los empujes provenientes de las partes mas altas hacia los tambores y de las bóvedas a los arcos o muros contraventeados; para las torres se buscaron otras soluciones de diseño, como es la ampliación de sus secciones, con alturas bajas en zonas como Oaxaca donde los temblores son sumamente violentos, allí torres se reforzaron por tensores ocultos de madera en sus tramos de mayor movimiento, los muros se reforzaron con la solución clásica de contrafuertes solo que con mayores dimensiones diseñados para absorber la suma de empujes.

Estado actual y comportamiento:

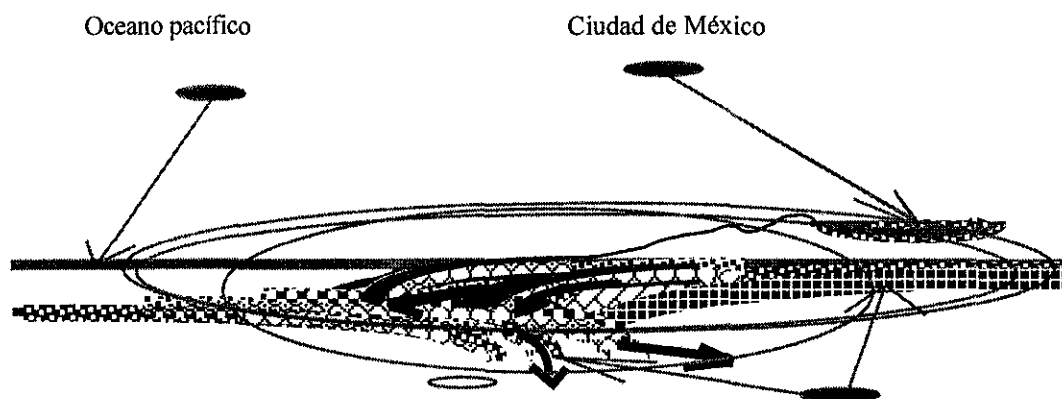
Las alteraciones motivadas por la extracción de agua, en diferentes capas del subsuelo de la ciudad de México ha traído diferentes comportamientos, pues los edificios se adaptan a los hundimientos; este fenómeno lo podemos ver claramente en las calles del *centro histórico*, donde se muestra los asentamientos diferenciales adoptados libremente, deformándose y articulándose con los agrietamientos de su estructura, soluciones a base de muros de carga elaborados con mampostería y morteros de cal le ofrecen cualidades físicas extraordinarias. En cambio las construcciones contemporáneas de varios niveles, concebidas por continuidad de momentos, mientras tanto acentúan sus diferencias de comportamiento, ya que tienen cimentaciones profundas conservado sus niveles originales. La parte superior de su cimentación se encuentra integrada a las puntas de sus pilotes, actuando peligrosamente como columnas esbeltas que arrastran a las construcciones colindantes.

Innumerables fallas se deben a una cimentación inadecuada, situación que se suma y repercute por la acción sísmica. Dependen de varios motivos como, tipo de estructuración, factores de amplificación, amortiguamiento, forma y simetría de plantas y alzados, numero de niveles, colindantes, configuración natural y urbana, deformaciones de niveles, características de sus suelos, la aceleración que se produce en el terreno, la acción de respuesta sísmica y transmisión de ondas y por lógica se deben conocer las secuencias de los temblores así como las

distancias de los epicentros. 9

El lugar y su respuesta:

Cuando se presentan temblores en forma de movimientos oscilatorios o trepidatorios, la naturaleza de los terrenos del valle de México por ser blandos y alterados por desecación del subsuelo, por pozos de extracción de agua y debido a que se encontraban alejados de los epicentros, con anterioridad y aún recientemente se pensaba que los suelos del valle de México amortiguaban los efectos de las ondas sísmicas, situación alejada de la realidad, pues favorecen su amplificación, ya que funcionan como una gran discontinuidad debida al cambio de naturaleza de terrenos, con lo que se modifica la secuencia de ondas y puede provocar el origen de otros temblores como respuesta al movimiento sísmico inicial. 10



Choque de placas tectónicas (fig. 6)

Debido a cualidades de soluciones en procedimientos constructivos y materiales, de adecuación a tipos de suelos, del conocimiento de la ductilidad (entendida como la capacidad de asimilar deformaciones); e incluso del cambio de resistencia que puede experimentar una

9

Norman B. Green *Op. Cit.*; página 109 :

"Un edificio de tres plantas, de paredes de ladrillo macizo, en la calle principal de San Fernando,... No incorpora características sismorresistentes... demuestra de forma bien dramática lo que suele ocurrir a un edificio tradicional de paredes de carga de ladrillo sin reforzar durante un terremoto fuerte"

10

Jacob Feld, *Fallas Técnicas en la Construcción, Op. Cit.*, México, 1978, LIMUSA, 491 p. página 215.

"Los daños locales causados por los sismos, si no se reparan a tiempo para restituir su integridad original, lo si se refuerzan para darles demasiada rigidez a los elementos, se deja un eslabón bastante débil que causará graves perjuicios en impactos futuros. Tales efectos acumulados ya se han observado en Italia y en los sismos de Acapulco en 1957 y 1962.

"La decisión económica en cuanto debe invertirse en protección contra sismos, requiere un recurso mas a fondo. La supervivencia de la Torre Latioamericana en la ciudad de México después de salir ilesa de un sismo bastante intenso (el autor cita al sismo de 1957; pues aun no se presentaban los fuertes sismos de 1985) a pagado muchas veces el costo de la resistencia adicional contra los sismos" ...

estructura histórica ya que tiene un mayor amortiguamiento. 11

Definición e interpretación:

Se observan por un lado, para esta clase de eventos, los edificios y las calles del centro histórico; y por otra parte constantemente se extrae agua del terreno, las alteraciones son mayormente acentuadas, debido a que el comportamiento de los mismos suelos responden desigualmente, tanto por la existencia de construcciones antiguas, como por diferencias de resistencias de capas, ya sean producto de consolidaciones, o por diferentes condiciones de humedad o resequedad, que provocan en la actualidad peligrosas aptitudes ante la presencia de hundimientos paulatinos o movimientos bruscos como lo son los temblores. La alteración en la mecánica de suelos, cuya dinámica a presenciado cambios notables en las últimas décadas.

En un principio se pensó que el valle de México ofrecía por la discontinuidad de sus terrenos una disminución en los movimientos en respuesta a un sismo, pero en la actualidad tal motivo resulto contradictorio, ya que recientemente se demostró que se amplifican los temblores, como muestra de estos efectos, fué el desenlace de los terremotos de septiembre de 1985 en la ciudad de México. Las cualidades geológicas, se encuentra alteradas por tales motivos representan un nuevo reto tanto para la mecánica de suelos como para el análisis sísmico de las construcciones. 12

En la actualidad existen factores, circunstancias e imprevistos, que el cálculo estructural muestra fundamentado en teorías así como que propone en métodos o soluciones aproximadas o exactas, debidas a hipótesis con carácter científico que estan dedicados a modelos establecidos por la construcción contemporánea, pero sin tocar en profundidad los problemas urbanos. 13

11

José Creixell, *Op. Cit.: Construcciones Antisísmicas: (Segunda Edición):* pág. 34

"Cuando la estructura o los muros se agrietan o se rompen sin llegar al colapso, automáticamente aumentan su ductilidad pero por otra parte, disminuyen la resistencia"

12 D. J.,Dowrick: *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos, para Ingenieros y Arquitectos*, México 1984. Ed. LIMUSA, 410 páginas, ILUS, Fotos., página 58 y pág. 59 :"

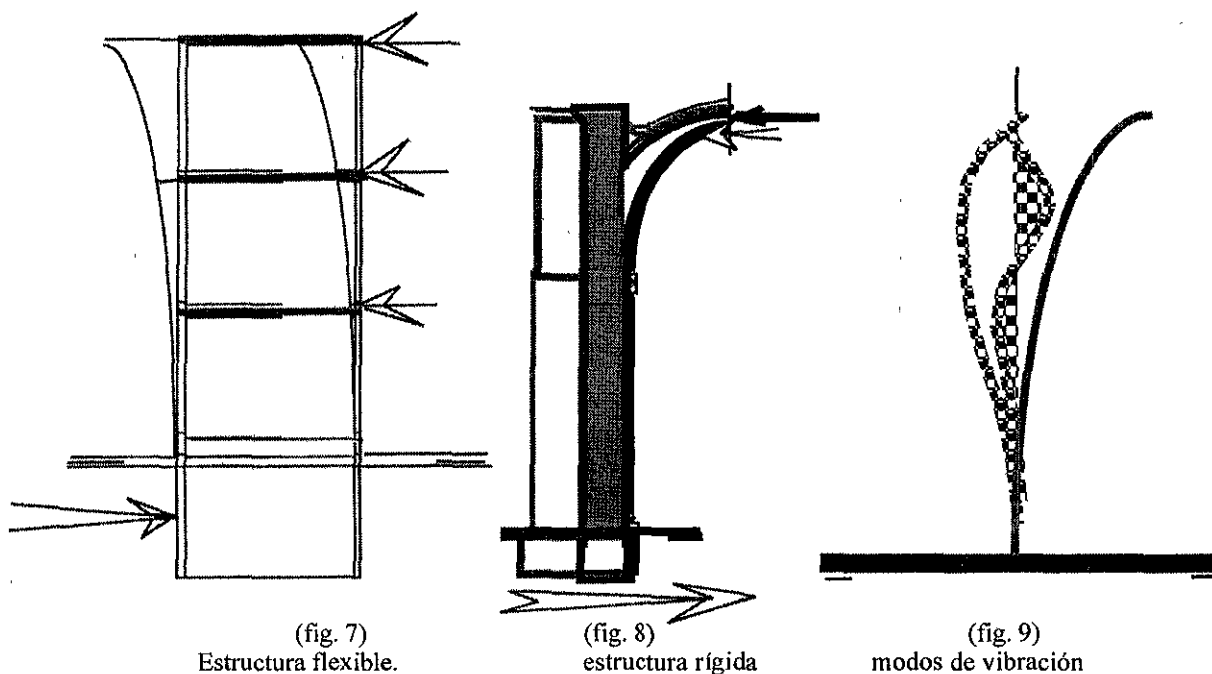
"La profundidad (H1 ó H2) del suelo sobreyaciendo el lecho de roca afecta la respuesta dinámica: el periodo natural de vibración del suelo se incrementa al aumentar la profundidad. Esto ayuda a determinar las frecuencias de las ondas que son filtradas por los suelos y también se relaciona con la interacción suelo-estructura, propia de un sismo. El sismo de 1957 en la Ciudad de México produjo grandes daños a "estructuras de periodo largo" desplantadas en el terreno de aluvión compresible. La tendencia natural (para movimientos de terreno de periodo largo) a ser amplificadas en la respuesta estructural, fue intensificada en este sismo debido a que la distancia epicentral fue bastante grande: 230 Km. "Vease: Dibujo: figura 3.1, que muestra en la pagina 59 el diagrama esquemático de la geología local y sus características del suelo en la ciudad de México.

13 Norman B. Green. *"Edificación, Diseño y Construcción Sismorresistente"*, *Op. Cit.* página 9, :

"Las dos lagunas más importantes a destacar son la falta de un método de diseño constructivo coherente y la ausencia de unas especificaciones sísmico-urbanísticas"

El diseño contemporáneo de estructuras se ha desarrollado altamente en su tecnología avanzada, sin embargo ha olvidado la historia de la edificación, que es particularmente importante en la ciudad de México por la naturaleza de sus suelos. 14

Los edificios históricos realizados generalmente con muros de carga en terrenos compresibles, se definen como una construcción rígida, y asumen en su totalidad los esfuerzos al oponerse a los movimientos eventuales (fig. 8). Mientras que los de estructura flexible por lo contrario dejan pasar los esfuerzos al encontrarse en movimiento (Fig. 7). Las construcciones de muros de carga tienen otra ventaja, pues sus materiales y sistemas constructivos las hacen contener cierta flexibilidad y por lo tanto no son enteramente rígidas, lo cual les otorga mayores cualidades. Siempre prevalece en su unidad estructural la rigidez y por lo tanto sus modos de vibración tendrán secuencias (fig. 9), con la factibilidad de aumentar las posibilidades al aparecer grietas, deformaciones e incluso desplomes parciales. Pues estos son cambios y por naturaleza se adaptan a nuevas disposiciones.



14 L. J. Francis: *Introducción a las Estructuras; Op. Cit.* en la página 226

El autor señala los dos casos notables sobre problemas debidos a las características de los suelos tanto en Venecia como México:

"La ciudad de México es un caso aún más espectacular y raro. Gran parte de la ciudad se ha construido sobre una cama suave, de 30 a 40 m. de profundidad, de un lago desecado, que se ha venido drenando desde un periodo de tres siglos. Los edificios habían alcanzado niveles estables y el asentamiento no había sido un problema cuando, en el siglo XIX, empezó el bombeo de pozos profundos sumergidos para completar el abastecimiento de agua. Ahora el nivel del suelo en el centro de la ciudad es por lo menos de 6 m. más abajo que lo que fue en 1900. Los edificios más viejos han descendido de acuerdo al hundimiento general, con algunas inclinaciones incontroladas,..."

Una grieta se convierte en una articulación por lo tanto es una respuesta a reordenamiento, la estructura se acomoda volviéndose cada vez más flexible pero al mismo tiempo menos resistente.¹⁵

En un edificio histórico y salvo en arcos o bóvedas en términos estrictos si falla un eslabón, la unidad prevalece y continua su forma de trabajo, de esta manera la gran elasticidad de la estructura de fuerte rigidez poco a poco es transformada, ya que en cada una de sus partes y conjuntos de elementos arquitectónicos al deformarse parcialmente o romperse pasan diversas etapas de acuerdo con los modos de vibrar de la estructura (cuya tendencia por tipos de igualdad en masas tiende a ser de un mismo modo). Mientras que una estructura actual (fig. 11) al trabajar dinámicamente, su unidad fundamental se presenta por la continuidad de momentos, es decir de cada una de sus partes (vibrar según su cantidad de masas fig. 12).¹⁶

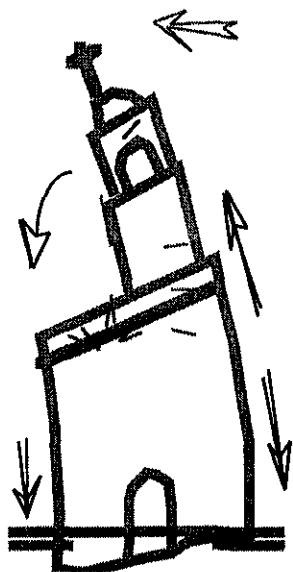


fig. 10

Estructura tradicional

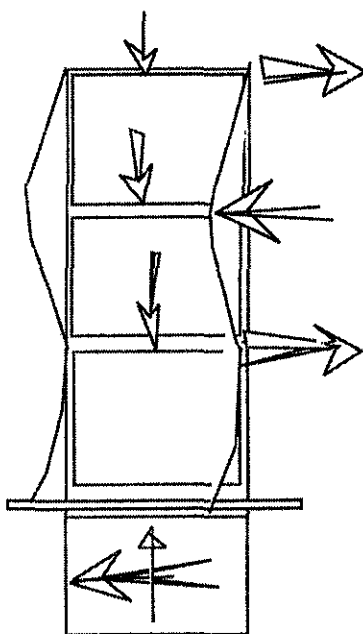


fig. 11

Estructura flexible y su vibración por masas.

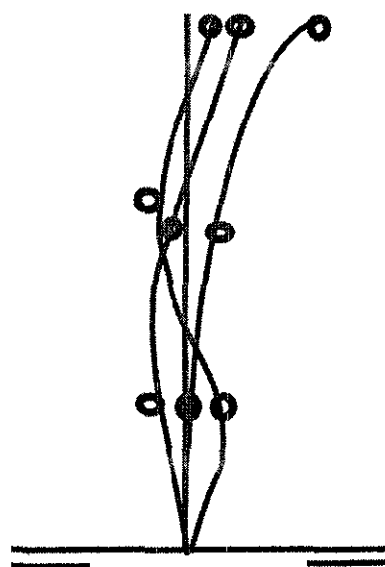


fig. 12

15

Pérez Espinoza Hector, Jorge Rojas Ramírez: *Reestructuración del Exconvento de Tecamachalco*, Puebla, ENCRM, tesis de maestría en arquitectura, 1981. INAH.

16 José, Creixell, *Op. Cit.*, *Construcciones Antisísmicas*, en adelante: *C. A.* (Segunda Edición). pág. 30:

"De acuerdo con el modo de vibración que corresponda, se verifican en las distintas masas diversos esfuerzos, que son precisamente los que necesitamos para calcular las estructuras"

Apud. Gustavo, Eiffel, *Op. Cit.* (Apéndice)

Varios factores que intervienen en el comportamiento de las edificaciones ante la presencia de un temblor; los modos de vibrar de las construcciones mas bajas a las de mayor altura como las torres, podrían presenciar diferentes modos de comportamiento como períodos de vibración, hecho que planteó como hipótesis el ingeniero Eiffel durante el proceso de diseño de la torre en 1887, y que a manera de diversos tanteos aún los cálculos más avanzados llamados exactos suelen buscar las diversas variaciones que en un momento dado puede encontrarse la estructura.

La gran diferencia del comportamiento gravitacional y sísmico de una edificación tradicional resuelta a base de gruesos muros de carga con una construcción moderna de materiales flexibles ofrecen respuestas diferenciadas. La arquitectura histórica requiere de una observación totalmente aparte, debido principalmente a la participación de materiales de diversas cualidades, con uniones empotramientos o ligas que en cierta medida permiten movimientos y deformaciones; ofreciendo estructuras que actúan en una forma especial y por lo tanto diferente a las construcciones contemporáneas, Con alejados factores de amplificación sísmica por su gran rigidez, y con un alto grado de amortiguamiento por sus materiales; dado que es factible hasta cierto punto la liberación de energía gradual manifiesta en las deformaciones de muros, por ejemplo, e incluso la fractura y disgregación de materiales representadas por agrietamientos, ofreciendo a estas estructuras rígidas a base de muros de carga, cierta aptitud de flexibilidad: Tales motivos de comportamiento se deben a su particulares propiedades en su unidad u ordenamiento estructural.

Forma y/o criterio de análisis:

Varios puntos o funciones coinciden en edificios contemporáneos e históricos, por lo que, en su análisis se puede comprender sísmicamente tales estructuras y así poder prever su situación particular, como el amortiguamiento, la resonancia, la geometría y las escalas de mediciones mas apropiadas para el tipo de edificación.

Los edificios históricos son construcciones pesadas sobre terrenos suaves de la ciudad de México, realizadas principalmente de uniones consideradas frágiles como son los muros de mamposterías junteadas con morteros cal que les ofrecen poca resistencia pero gran elasticidad. Diferentes elementos y uniones no rígidos como entrepisos y cubiertas de envigados que trabajando en forma de diafragma, adoptan disposiciones de hundimiento como teclas de un piano sin propiciar esfuerzos que se opongan a la nueva disposición. 17

Por lo que corresponde a las diferentes maneras de medir los temblores, la escala de *Sieberg*; es la que se encuentra mas cercana para el estudio de la arquitectura histórica, pues se presenta en forma de grados, al igual que la *Mercalli* y *Ritter*, sin embargo esta es más completa

ya que estas ligada a los tipos de estructuración de edificios del siglo XIX, con efectos directos en las construcciones:

La escala *Sieberg* muestra tres puntos básicos: 1.- El de las aceleraciones debidas a los efectos directos de deterioros en los inmuebles. 2.- El de la apreciación directa de la intensidad. 3.- Y el de que fue confeccionada para edificios construidos a principios del presente siglo cuyas características son las mas cercanas a la arquitectura correspondientes al periodo de estudio, por lo que pensamos sea factible como herramienta de análisis. 18

El estudio gravitacional y sísmico, de casos en monumentos y de edificios antiguos debidos a la paulatina desaparición de sus materiales y tecnologías, hace difícil la comprensión y entendimiento que estos requieren, es prudente dejen de considerarse como edificios mal construidos, ya que de sus análisis son parte de una especialización seria, no solo como patrimonio histórico sino como edificios en pleno uso.

La tendencia de cursos impartidos sobre este tema así como la misma práctica un cálculo estructural han hecho de tales estudios del dominio de especialistas, por lo que estos tienden a la búsqueda de soluciones desarrolladas pero complicadas y en muchos casos fuera de la realidad, dejando como resultado el alejamiento de los objetivos de la matemática que no es sino un medio o herramienta fundamental para determinar los análisis necesarios.¹⁹

Síntesis:

Es posible aproximarse y abordar el estudio de una estructura histórica tanto por sismo como gravitacionalmente. En teoría por los métodos actuales una vez conocidos el grado o escala

18

José Creixell : *Construcciones Antisísmicas: (Op. Cit.)*, (Segunda Edición). pág. 22

"Además, es natural que Sieberg haya tratado de referirse a los efectos sobre las construcciones de la época (principios de siglo), muy distintas en general de las que hacemos actualmente y que no haya tenido los datos que ahora tenemos al respecto."

19 Nota: Los edificaciones realizadas tanto en la época colonial como las correspondientes al periodo final del siglo XIX, encontramos las primeras ideas de estructuras redundantes como las llama el ingeniero Francis, es decir de varios niveles y continuidad de momentos en su unidad estructural, hechas con materiales dúctiles, cuyos esfuerzos estuviesen por debajo de los límites elásticos, sin embargo en el siglo XIX predominó la tradición constructiva, con estructuras estáticamente determinadas y por tanto es posible combinar las experiencias tecnológicas, con los grandes aportes del siglo pasado para analizar de una forma mas completa sus estructuras, pues ya se comprendían plenamente las resistencias reales de los materiales hasta entonces conocidos, impulsadas por un sinnúmero de científicos y puestas en practica por constructores y diseñadores.

Francis, A. J. : *Introducción a las Estructuras, Op. Cit.*, página 45 :

"Debido parcialmente a la dificultad y al desafío intelectual que implica el análisis estructural lineal estáticamente indeterminado, la mayoría de libros de texto recientes relacionados con la teoría de las estructuras, tratan principalmente este tema y constituye lo que algunas personas consideran como una parte excesivamente grande de los cursos de ingeniería estructural. Esto ha impresionado la mente de estudiantes e ingenieros jóvenes aunque de modo subconsciente, infundiéndoles la idea de que las estructuras altamente redundantes de alguna manera son superiores a las estáticamente determinadas."

debida a la magnitud, y los períodos de vibración del subsuelo, se obtienen los esfuerzos de la aceleración producida por el terreno. Para acercarse mas a la realidad de una estructura se deben tomar en cuenta los factores de amplificación y amortiguamiento debidos a sus sistemas y materiales constructivos. Como lo es la relación de vibraciones entre esta y el terreno, o sea la resonancia o sincronización de la estructura, las propiedades de materiales como los de su procedimiento y diseño constructivo son determinantes.

Sin embargo con un oportuno análisis de su deterioro y arquitectónico, es factible determinar cualidades estructurales, posibles fallas y resistencias sin estudios laboriosos y muchas veces alejados de de lo que son, pues el edificio por si mismo es una muestra tanto de sus posibilidades como de sus cualidades mismas que servirán para dictaminar y proponer un proyecto optimo.

A este análisis podemos sumar las observaciones que deriven del comportamiento natural de la estructura a lo largo de su vida, como su fuese un historial clínico, donde se señalen las afectaciones, alteraciones y fallas estructurales.

La configuración y diseño arquitectónico serán fundamentales en el estudio de sus plantas, alzados, simetrías, colindancias y niveles. Para el caso particular de los deterioros y fallas estructurales se deberá realizar una indagación particular como por ejemplo en los hundimientos, desplomes, deformaciones, disgregación de materiales, faltante, agregados, etc.. En su conjunto se deberán de confrontar resultados de análisis aunque no lleguemos con exactitud a un punto determinado pero, si tener todas las posibilidades y con ello tener acceso en lo posible a la realidad.

El ingeniero Manuel González Flores, ante diversas posibilidades planteaba hipótesis para resolver propuestas basadas en su experiencia y conocimiento estructural, recomendando a través de un razonamiento simplificado la solución mas sencilla y acorde, la cual debería prever todas las circunstancias o imprevistos que se podrían presentar para un edificio en un momento determinado, y cuya unidad estructural se encontro sujeta a las acciones de la naturaleza. Para asegurar el equilibrio, las reflexiones por consecuencia nos deben llevar a un proyecto determinado, que diera una solución factible y una repuesta practica derivada de múltiples consideraciones, con base a el criterio, el ingeniero instrumento un sistema mediante gatos hidráulicos, tensores, apuntalamientos y una estructura deslizante que eliminaba toda posibilidad de movimiento debido a cargas horizontales imprevistas u ocasionadas por ella misma, haciendo trabajar la cimentación como una serie de arcos invertidos, corrigiendo por ejes cartesianos los

diferentes desniveles. Con la aplicación de este método resolvió el problema estructural de la capilla del *Pocito*, *Capuchinas*, y *Catedral Metropolitana* 20, que a futuro necesitarían ser cuidadosamente conducidos como nave en altamar y evitar alteraciones peligrosas.

* Nota: El Arq. Bernardo Calderón Cabrera: Restauración de Monumentos, Curso de Actualización de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura. 1986 UNAM el maestro ha dicho que los fuertes sismos a considerar en la ciudad de México se presentan en un periodo de 70 años. Sin embargo, considero que a frecuencia sísmica oscila entre 25 y 30 años con la presencia de fuertes sismos, sumando la amplificación que recientemente se tiende a dar por la alteración en la mecánica de suelos.

20

Nota En la actualidad (1999), la Catedral y Sagrario Metropolitano necesitan una intervención acertada y urgente para asegurar su estabilidad, la cual conserve la dinámica de fuerzas y esfuerzos, fundamentados en su geometría estructural original y en la naturaleza de sus suelos (configuración permanente y estable por siglos).

Nota: La búsqueda del equilibrio de la unidad estructural si imaginásemos un corte longitudinal o transversal de una iglesia o capilla, el Sagrario y Catedral Metropolitana son un claro ejemplo de ello, justamente existe una perfección geométrica que desde la cúpula ordena la dinámica y secuencia en donde fluyen las descargas desde los puntos de mayor altura generalmente al centro hacia puntos de muros de mayor rigidez en los extremos, por lo que respecta a las torres aunque estas tienen mayor desplazamiento por sus diversas masas y altura tienen mayor inercia debida a su cantidad de masa. Logradas por sus cualidades sintetizadas en una gran sencillez en su unidad estructural debidas a una continuidad geométrica, cuya simetría de plantas y alzados manifiestan su forma sistemática de organización.

Carlos Chanfón Olmos: *Fundamentos Teóricos de la Restauración*, México, 1984, División de Estudios de Posgrado #4, UNAM, pagina 252:

"Para la enmienda y prevención de daños causados por sismo, con diseño del mismo ingeniero González Flores, se ha utilizado, desde 1974, un sistema barato y efectivo de cuatro cables pretensados en los ángulos de las torres de los templos, por ser estos elementos - debido a su esbeltez- más vulnerables por los movimientos telúricos".

Roberto Meli y Roberto Sánchez, *Rehabilitación de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México*, (Aspectos estructurales). UNAM, SEDESOL, México, 1993, p. 8

"Constituye una parte esencial del esquema estructural el arreglo de muros en todo el perímetro de la planta. Las cuatro fachadas, los muros de torres en la fachada principal y los contrafuertes en la posterior, constituyen en una franja perimetral que proporciona una gran rigidez lateral al edificio. Este "cinturón de contrarresto", como lo denominó López Carmona, tiene gran efectividad para proporcionar un confinamiento lateral a la cubierta y para resistir las fuerzas sísmicas."

4.- Conservación y Restauración.

- 4. A).- Un camino ideal a la restauración.
- 4. B).- Criterios y aplicaciones de estabilidad.
- 4. C).- Criterios de intervención sísmica.

Tema 4

4 A).- Un camino ideal a la Restauración:

La restauración, su finalidad y definición de conceptos:

Hablar y realizar obra de restauración en especial de los monumentos inmuebles, me gustaría citar al memorable Arquitecto *José Luis Benlliure Galán*, quien como poeta. Decía que para conocer y dominar el arte del diseño arquitectónico, era necesario comprender *la arquitectura a través de la misma arquitectura*, con su ámbito, historia, espacios, intenciones, tecnologías y urbanística. Implicaba una dedicación tanto a la obra, como al diseño, como arte y un oficio constante. Todo lo anterior como un camino mas humano y correcto, que el de fundamentar una *teoría de la arquitectura*.

Creo que para el caso de la restauración ocurre la misma situación; mas que una teoría de la restauración, es el de conocer profundamente la arquitectura a través de la misma arquitectura histórica, e igualmente, con el porque de sus espacios, tecnologías, urbanística, sociedad, actitud poética y creadora, *como obra de arte, espacios, existencia, tiempos, relaciones o programas funcionales, funciones, mano de obra, técnicas y/o tecnologías y testimonio histórico*, o sea como arquitectura.

Es decir comprender *la arquitectura y su historia*, para ejercer la obra con una metodología

fundamentada científicamente, con la comprensión de las tecnologías de origen y actuales, espacios, etapas constructivas, análisis de alteraciones. Para realizar la obra en base a un *proyecto de restauración*, que en terminos ideales profesionales es *una especialidad de la arquitectura*, la cual se debe entender como un arte y un oficio. Es decir recrear la obra, entrar en dialogo con sus autores (arquitectos y constructores), comprender sus espacios, procedimientos y materiales técnicas constructivas y su configuración estructural.

La restauración arquitectónica contiene actitudes sociales y de uso, siendo de vital importancia *la habitabilidad*, por lo que es fundamental el programa arquitectónico de origen, con sus cambios y requerimientos actuales. Por lo tanto es necesario el importante el análisis de sus espacios, tanto para su utilidad actual, como para no alterar jamás los mismos espacios, como parte esencial (prima) de la arquitectura y su misma materia constitutiva. De tal forma de no llegar a una teoría descriptiva que en ocasiones llega a una actitud contemplativa, fuera de la realidad y no se proponga o llegue a una respuesta efectiva para la arquitectura, la ciudad y su sociedad. Otro extremo es el empirismo en la intervención, sin ninguna base en el conocimiento de la arquitectura histórica y por lo tanto de su correcta realización, es decir conservación y restauración.

Es fundamental la anatomía de los monumentos, así como los deterioros y alteraciones espaciales, considerando su tecnología, lugar y tiempo; para que nos permitiera definir su *configuración estructural de origen*.

Su aplicación para la estructura:

La tradición constructiva convive con los avances tecnológicos de la arquitectura contemporánea y particularmente en el centro de la ciudad de México, se tienen un gran numero de edificaciones, tanto del periodo virreinal, como del independiente, lo que hace fundamental su conocimiento no solo para restaurarlas y conservadas, sino que también sean habitables. Sin embargo en la actualidad se tienen edificaciones que a lo largo del siglo XX han sido mal interpretadas como monumentos puntuales en sus espacios, procedimientos constructivos y estructura. También el curso del tiempo ha provocado modificaciones urbanas que atentan contra la adecuada conservación y restauración de los conjuntos históricos. ¹

¹
R., Mignard,: *Guide des Constructeurs, Traité Complet des Connaissances Théoriques, Pratiques*, France, 1898, Paris, Librairie Centrale des Beaux Arts, Evely, Ed., 642 p. ILUS. p. 509.

"L'architecture actuelle ne peut encore recevoir de nom, est si on devait la qualifier, on sera in obligé de l'appeler architecture d'hésitation. Après la période si nulle, comme l'architecture, de l'empire et du commencement de la restauration, il y eut non sens."

Apud., José, Villagran, Garcia, *Teoría de la Arquitectura, (Op., Cit.)*, México, 1988, Facultad de Arquitectura, UNAM, 530 p. Fotos, ILUS.

El *Reglamento de Construcciones de la ciudad de México y la Ley Federal sobre Monumentos Históricos, Artísticos y Arqueológicos*; con precisiones legales determinan su conservación e intervención, y prevé con profundidad lo serio e importante que es el intervenir un monumento histórico, sin embargo e incluso escuelas, sociedades y unidades colegiadas confunden los principios de la restauración repercutiendo en la intervención de edificios. Con anterioridad se ha dicho, para el caso de la estructura, que se aplican criterios y formas de diseño contemporáneos, alejados de su lógica constructiva y estructural, es decir de su configuración totalizadora, con resultados desastrosos que realizados de buena intención solo reparan en mayores alteraciones por lo que solo acentúan el riesgo de pérdida de equilibrio.

El fin de esta propuesta es el de encontrar un camino a través de lo que nos puede transmitir como conocimiento de la estructuración original y continuarla, con la certidumbre que con esto se tienen alternativas viables, mas económicas y seguras apegadas mas un legado fundamentado en los monumentos históricos, como constantemente lo sustenta Viollet-le-Duc. 2

Retrospectiva histórica, para su restauración en la ciudad de México:

En Mesoamerica el constante uso de soluciones antisísmicas a nivel arquitectónico y fundamentalmente vital en el campo de la urbanística, al conservar una traza regular y ordenada en calles, avenidas y plazas, con cuadras dispuestas en construcciones bajas que conservan la configuración natural, la nueva ciudad de México es un caso particular pues sobre la antigua Tenochtitlán fundada y crecida a costa de una zona lacustre, se reedifica la ciudad: hecho en la actualidad no reconocido para la arquitectura mexicana. Las formas que van ayudar a estas soluciones son la consolidación de terrenos y los tipos de cimentación son un legado fundamental para la edificación. Aunado a ello se tiene un alto nivel de conocimiento de ingeniería urbana, con la obra pública fundamental y la permanente conservación de la ciudad, esto debido a presencia de sismos y asentamientos continuos; así como para el control de niveles y separación de aguas de los lagos, con lo que se crearon los albarradones.

2

Nota: en materia de arquitectura y restauración son fundamentales y aplicables las enseñanzas del arq. José Luis Benlliure Galan, dado que su pensamiento, oficio y poesía, cristaliza en una realidad a la arquitectura, mas que como una teoría, sencillamente *como la arquitectura misma*; con su historia, sus materiales, procedimientos constructivos, su estructura, realización de obra. Es de una forma completa e uníversal, su legado nos presenta a la arquitectura, como una manifestación de la vida, con sus vivencias, funciones, tiempo, espacios arquitectónicos y urbanísticos.

Viollet-le-Duc, *Dictionnaire Raisonné de L'Architecture Française du XIe au XVI Siècle*, tome 9, Nouvième, 552p. París, France, Ve., A. Morel, et Cie., Editeurs Rue Bonaparte 13, Tome Septieme, 570 p. p. 539

"C'était là un travail de génie, ou plutôt une de ces ressources que le génie sait toujours trouver, lorsque changent les conditions dans lesquelles il se meut. C'est donc raisonner en dehors de ces circonstances, raisonner dans le vide, que le vouloir rapporte toute harmonie des proportions aux ordres grecs seuls."

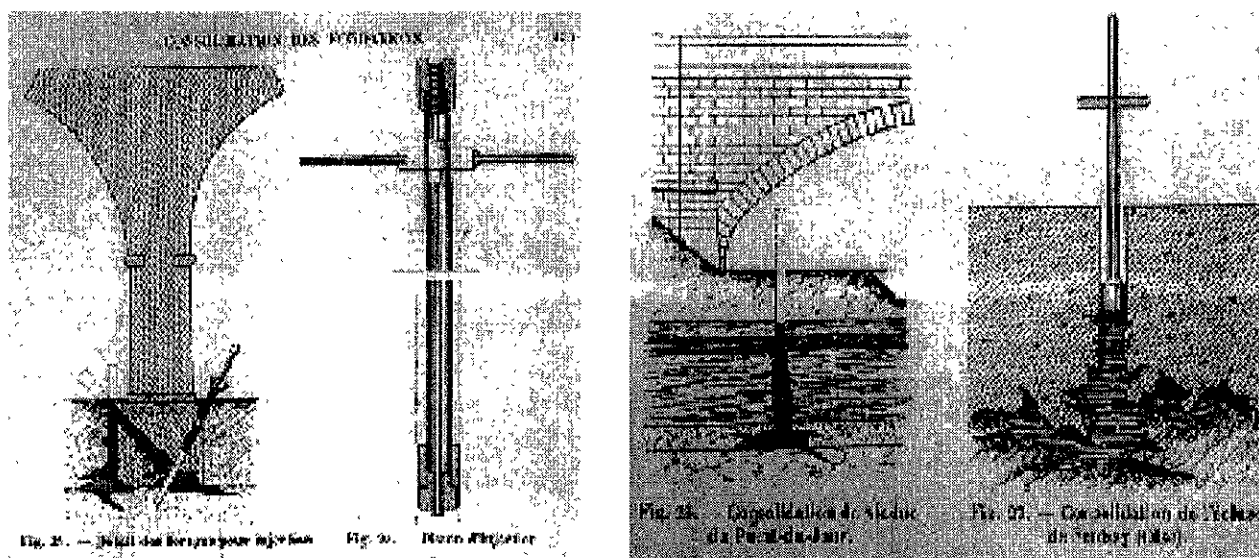
En el siglo XVI se retoman procedimientos de cimentación mesoamericanos y se aporta de Europa el uso de estructuras abovedadas. A su vez estas se van apropiando y reordenan según las regiones sísmicas y suelos blandos como el caso del valle de México. Para el siglo XVII, la arquitectura retorna a una escala humana y que contiene una respuesta urbana, con lo que se logra una tipología estructural básica a través de muros de mampostería, las iglesias se construyen con plantas de cruz latina y madura los sistemas abovedados, con la solución en la práctica de cúpulas, las que de una manera anuncian el nacimiento de la que será la geometría descriptiva para el siglo venidero. La estructuración baja y rígida, con grandes juntas de mortero a la cal y mamposterías ligeras de tezontle, perdurara incluso hasta principios del siglo XIX.

El siglo XVIII, se abre a la aplicación ya directa de la geometría descriptiva y del insipiente calculo estructural, el que alcanza su definición a finales del mismo siglo, para fundamentandolo científicamente. Cuando el barroco abre su paso al neoclásico se busca la perfección sobre todo, en el lenguaje estructural. En el periodo final de la época virreinal, la edificación se mantiene con la tendencia radial de muros encontrados y de cúpulas o elementos altos cuya bajada de cargas se encuentra resuelta por la intersección de bóvedas, arcos y muros, conduciendo la bajada de cargas hacia la periferia la cual tiene la particularidad de construcciones mas bajas y de mayor robustez en sus muros de cuerpos. Para todo el periodo colonial las enseñanzas ancestrales del como cimentar, consolidar y realizar una construcción resistente al sismo, se debe a una herencia del conocimiento de la arquitectura y urbanística del México antiguo; desde luego con la suma de tecnologías europeas, pero muy especialmente del dominio del arte mudéjar en el manejo de la construcción y su respuesta estructural.

El siglo XIX busca y se muestra a través de la experimentación científica, colegios, academias y escuelas se especializan en tecnología y artes, de estas instituciones emanan grupos de estudiosos como Rondelet, Viollet-le-Duc y Ruskin, con un pensamiento universal, que tienden por diversos caminos los horizontes. Analizando (el primero), la estructura basada en la física, dentro de ella se especializan en la mecánica, logrando definir la estática de la estructura y al resistencia de los materiales con ello determinan las secciones y abren la posibilidad de nuevas aportaciones tecnológicas con el uso de nuevos materiales y sistemas constructivos. Mientras que por el otro camino (el segundo) a través de la reflexión de grandes monumentos define el trabajo estructural y propone como legado para la humanidad la restauración como concepto moderno.

Este último, toca el camino poético, ubicándolo en la filosofía de la restauración. ³

Uniendo ambos universos que buscan la respuesta del porque de la estabilidad de la arquitectura histórica, con ello se descubre el cálculo moderno, evolucionando las estructuras de entramado con la aparición de la arquitectura metálica y poco después las del concreto armado. El tratado clásico como al estilo de Vitruvio o Palladio, se encuentra en cierta medida sustituido por las academias de arquitectura, es decir la enseñanza retoma su lugar y por lo tanto aparece el tratado o manual especializado, a la manera de los de Jules Pillet, Julian Guadet, o Paul Planat, apareciendo las primeras historias de arquitectura, que buscan un sentido completamente científico no solo a la restauración sino también a la arquitectura. ⁴



Consolidación de cimentaciones con perforaciones e inyectores: Paul Planat 1875, *Op. Cit.*, Tomo, pág 455.

Es pues el siglo XIX en periodo de corte, ya que se presenta el cambio de rumbo hacia nuevos caminos; fruto del enciclopedismo que desborda en el neoclásico. Anuncia el termino del barroco que en la técnica estructural se define por la geometría descriptiva, pero que al mismo tiempo es la que abre nuevas alternativas en materiales, tecnologías y conocimientos del cálculo, matemático, y muy especialmente de la mecánica. Mientras que para la provincia de nuestro

3

Apud., José, Villagran, Garcia, *Teoría de la Arquitectura*, (*Op., Cit.*), México, 1988, Facultad de Arquitectura, UNAM, 530 p. Fotos, ILUS.

4

Viollet-le-Duc, *Dictionnaire Raisonné de L'Architecture Française du XIe au XVI Siècle*, tome 9, Nouvième, 552p. Paris, France, Ve., A. Morel, et Cie., Editeurs Rue Bonaparte 13, p. 65

"Depuis l'Inde jusqu'à l'Europe, comparent, discutent, séparent les productions d'art, démasquent leurs origines, leurs fillation, et arrivent peu à peu, par la méthode analytique, à les coordonner suivant certaines lois Voir là une fantaisie, une mode, en état de malaise moral, c'est juger un fait d'une portée considérable en peu légèrement. Autant vaudrait prétendre que les faits dévoiles par la science, depuis Newton, sont le résultat d'un caprice de l'esprit humain."

país sin embargo prevalecen en el grueso de la población las formas de construir tradicionales.⁵

Es decir del cambio de mentalidades, fundamentadas en la razón y por lo tanto la respuesta queda retenida en los términos ideales en lo científico, los cambios de materiales y sistemas constructivos se diversifican, con la aparición de nuevos procedimientos y sistemas constructivos ya nada es igual, el concreto armado y el hierro especialmente rompen con el mundo artesanal, estudiándose los monumentos históricos desde otra óptica, favoreciendo la aplicación del campo matemático. Las exposiciones universales como la de París en 1900, ostenta la construcción de un alarde de ingeniería, motivando la construcción de edificios públicos y privados con esas tendencias, mientras que por ejemplo la torre *Eiffel* como símbolo de la modernidad impacta el desarrollo de la construcción en otras ciudades del mundo; sin embargo, al igual que en México prevalecen en el grueso de la población las formas de construir tradicionales.

Conservación y Restauración:

Si consideramos y comprendemos a los monumentos como obra única, la restauración como especialidad de la arquitectura, es la fundamentación teórica, que necesita una aplicación por tipologías, para obtener como resultado final: *Será la intervención ideal a un edificio o conjunto histórico.*

El como se restaura un edificio de la época de estudio, asume el conocimiento profundo de la historia y tecnologías constructivas, es decir es un dialogo entre el autor con el arquitecto restaurador la comprensión de sus espacios para dar una respuesta ideal como monumento y óptima como arquitectura a sus ocupantes, así como, la definición de la configuración estructural, analizando el conjunto de deterioros y alteraciones, con lo que se obtendrá un diagnostico correcto y fidedigno para proponer especificaciones y el proyecto de restauración a seguir. En la actualidad restaurar un edificio depende de infinidad de interpretaciones y en términos prácticos difícil de entender; mas aun en el caso de la comprensión de las estructuras y su tecnología se tienen mayores contradicciones que van incluso de propuestas bien intencionadas pero alejadas de la realidad del monumento, como es el caso de interpretarlas o tratarlas a la manera de estructuras continuas como si fueran de concreto armado o acero, dispuestas en entramados, ya que en la práctica los especialistas, constructores, usuarios, y propietarios no ven a los edificios, como documentos, por lo que libros especializados, manuales, reglamentos se alejan cada día mas del

⁵ Nota: En México la preparación tanto de los arquitectos como de los estratos en el poder fundamentalmente en la últimos treinta años del siglo XIX, siguen una inspiración europea, principalmente francesa; pero el corte logrado en la mentalidad es a partir de la emancipación española y dado ese impacto la arquitectura y su movimiento tiende a ser académico en la arquitectura oficial, mientras que para el resto de la población se continúan tradiciones emanadas desde la época colonial.

pasado que tienen y han tenido su razón de ser y por lo tanto su derecho a conservarse. 6

Para intervenir físicamente lo más correctamente posible, los edificios históricos es imprescindible determinar, a través de una metodología de restauración, el camino a seguir y el utilizar racionalmente tecnologías tradicionales y contemporáneas, de tal forma poder apegarse a los principios de la disciplina, así como conservar más adecuada y económicamente los monumentos. 7

La seguridad estructural se ha venido demostrado a lo largo de la historia de la ciudad de México, sólo que, cotidianamente por una inadecuada interpretación, se presentan edificios mal conservados o alterados. Esto es debido a la demolición de muros de carga en plantas bajas para uso de locales comerciales, otra situación que es común es el nulo mantenimiento en edificios de rentas congeladas por lo tanto presentan cubiertas sin tratamiento alguno, asentando poco a poco su pérdida, lo que propicia acelerado proceso de deterioros, aunado a la presencia de sismos y sobrecargas sobre sitios que sirven de liga o continuidad estructural, se manifiestan agrietamientos, disgregaciones y desplomes parciales o por áreas, o incluso inadecuadas intervenciones que modifican la rigidez original de los elementos estructurales.

Síntesis:

En lo que a la disciplina se refiere y en términos prácticos e ideales, es indispensable: *conservar la configuración estructural original*, devolviendo la resistencia y las características

6

Cesare, Brandi: *Teoría de la Restauración*, España, 1988, Serie, Alianza forma, No. 72, Alianza Ed., 149 páginas, ILUS. p. 139

"La realización del proyecto para la restauración de una obra arquitectónica deberá ir precedida de un exhausto estudio sobre monumentos, elaborado desde los distintos puntos de vista (que planteen el análisis de su posición en su contexto territorial o en el tejido urbano, de los aspectos constructivos, etc.), relativos a la obra original, ,, el proyecto se basará en una completa observación gráfica y fotográfica interpretada también bajo el aspecto metrológico, de los trazados regulares y de los sistemas proporcionales y comprenderán cuidadoso estudio específico para la verificación de las condiciones de estabilidad.

Una exigencia fundamental de la restauración es respetar y salvaguardar la autenticidad de los elementos constructivos, .. Este principio debe guiar y condicionar siempre la elección de las operaciones, Por ejemplo en el caso de muros con desplome. incluso, aunque sugieran la necesidad perentoria de demolición y reconstrucción. Ha de examinarse primero la posibilidad de corregir sin sustituir la construcción original.

Del mismo modo la sustitución de piedras corroídas solo deberá tener lugar tras la ratificación de exigencias de gravedad."

7 Apud. José Luis Benlliure Galan, al igual de decir que más que una teoría de la arquitectura, se tiene precisamente por obvia comprender la arquitectura a través de la misma arquitectura y por lo tanto de su historia, ejerciéndola como oficio y construyendo. para el caso de la restauración me inclino por las afirmaciones del arquitecto Benlliure, de decir que más que una teoría de la restauración, se tiene la comprensión de la arquitectura de hoy y del ayer, con el análisis de sus historias, espacios y tecnologías, funciones y entorno. Es decir entender su significado profundo en sus espacios y de lo auténtico que materializa una identidad, conocimiento, mano de obra y tipo de construcción definición y cultura, que es legado para la posteridad.

Apud., Antón, Capitel: *Metamorfosis de Monumentos y Teoría de la Restauración*, Op.Cit., España, 1990, Serie, ALIANZA FORMA, NO. 75,, 172 Páginas. FOTOS., ILUS.,

basicas tanto de materiales como de procedimientos constructivos. Se ha indicado la alternativa del uso de nuevas técnicas y sistemas constructivos, encaminada a conservar la integridad del monumento, dejando en claro capacidades de carga para su habitabilidad, por tal motivo es fundamental el mantener por su seguridad y respeto al pasado, la forma de transmisión y de trabajo de la unidad estructural original.

La opción de agregar algún elemento ajeno o la necesidad del modificar o reciclar los espacios incluso para los proyectos mas ambiciosos y es factible promover la amplitud de resistencias no previstas, pero siempre con la finalidad de la no alteración de la estructura original.

Para edificios históricos del siglo XIX en la ciudad de México, se tienen en general estructura a base de muros de carga, de mampostería, resueltas con sillares de tepetate, adobes y ladrillo de barro recocido. Los amarres y refuerzos se encuentran logrados por cadenas en ángulo, verdugones de ladrillo y arcos de descarga; los cerramientos de platabanda aparejada, piedra, ladrillo, madera o viguetas metálicas.

La continuidad de los muros se encuentra lograda por un engrapado continuo de jambas, dinteles y verdugones que refuerzan los muros de carga. para el caso de las cubiertas, lo común fue vigería a la usanza virreinal o la de bóveda escarzana, con viguetas metálicas, descansando sobre arrastres y posteriormente verdugones que en conjunto dan uniformidad a las cargas. Si observamos las construcciones son tratadas de uno a tres niveles, a diferencia de otros ya estructuradas con perfiles metálicos y de mas niveles, estos se asemejan mas a estructuras modernas, pues en esencia ya son de los primeros edificios de entramado.

Toda intervencion de un edificio historico, debe seguir un camino fundamentado científicamente; mientras este se apoye en la teoría, cada actitud en una obra debera tener una metodología; comprendiendo todo esto con rigor, el problema como obra única a la vez, Tales principios que pueden ser universales no se alejan de los pensamientos de John Ruskin, Cesare Brandy, Camilo Biotto o Viollet-le-Duc; ni mucho menos de las necesidades apremiantes en los casos mas urgentes de intervención que aquejan múltiples problemas sociales y económicos. son un solo un fin para la arquitectura que como obra poética merecen el respeto de permanecer para las futuras generaciones, con usos acertados en sus espacios urbanos, arquitectónicos, materiales

y elementos constructivos y estructurales. 8

La restauración de monumentos históricos, es una realidad urgente e inmersa en el campo de avances tecnológicos y de análisis estructural, pues no solo es un retorno al comprender su configuración, que como labor de investigación, toda metodología científica así lo requiere, es por ello también, una derivación de la modernidad, pues el introducir técnicas y soluciones con la habilidad de dejar al futuro y plasmada la intervención disponiendo de una reversibilidad sin atender contra el original, ni como dice Brandy con la huella del tiempo, conviviendo con otros factores. A diferencia de la obra artística en su utilidad, es decir su habitabilidad y seguridad estructural. Recordemos que para los arquitectos, ingenieros y especialistas de las estructuras la información del comportamiento de la arquitectura y su ciudad se debe a conocer razones históricas, tal es el caso de tener presente la traza de la ciudad (prehispánica, colonial y siglo XIX), conservada en escala hasta las primeras décadas del presente siglo, el compartimento y afectaciones como zonas de amplificación sísmica, la de tipos de terrenos suaves, y la de temblores nos indican como un laboratorio a escala natural la arquitectura baja en niveles y con una estructuración rígida por gruesos muros de carga, ideal para el centro ciudad de México, es decir responde a su configuración lograda a través del tiempo, pero con una singular atenuante en sus materiales, procedimientos constructivos y de estructura. 9

8

Nota: La arquitectura monumental como obra poética porque el concepto la define e integra universalmente como obra de arte, fundamento histórico que le pertenece a las futuras generaciones y contiene un fin social. A. RIEGL, *El Culto Moderno a los Monumentos*, España 1987, (Ed. Or, Austria, 1903), Ed. Balsa de la Medusa, 99 páginas, página 26 - 27

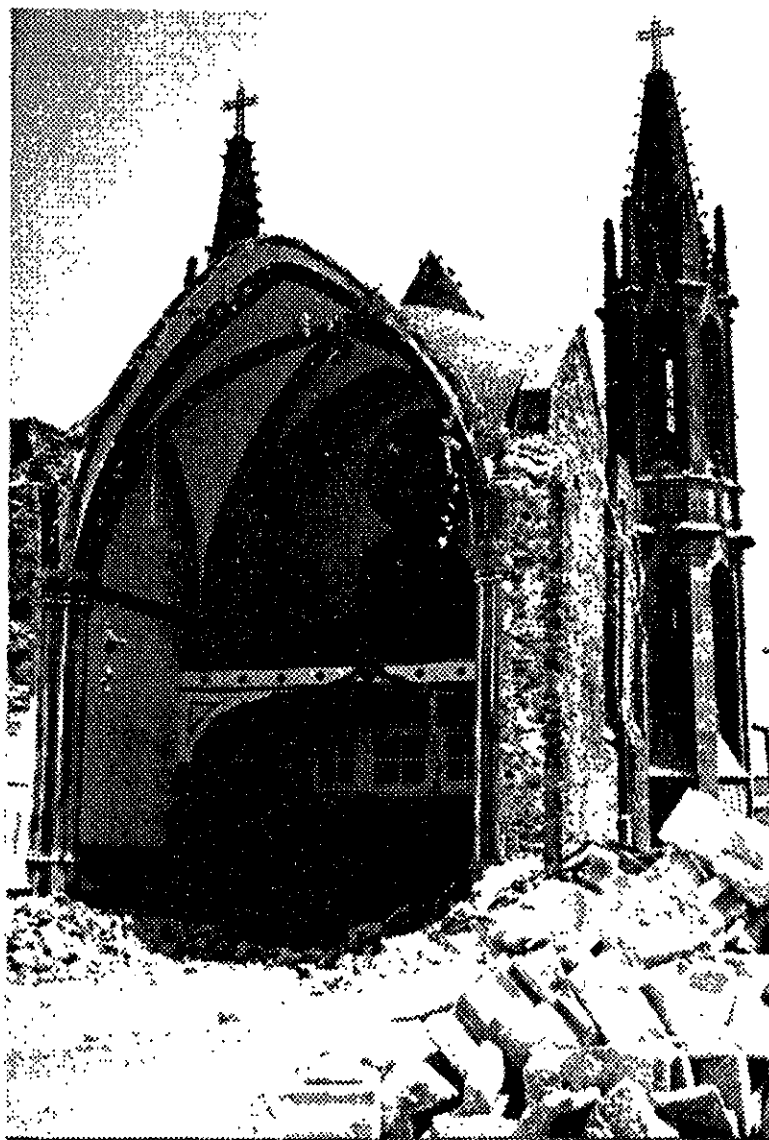
"Hasta el siglo XIX imperaba el axioma de la existencia de un canon artístico inviolable, un ideal artístico absolutamente objetivo y válido, al que aspiran todos los artistas, pero apenas alguno puede alcanzar de un modo tal. Inicialmente se consideraba a la Antigüedad Clásica era la que más se había acercado a aquel canon e incluso que algunas de sus creaciones representaban ese ideal mismo.

El siglo XIX descartó esta pretensión exclusiva de la Antigüedad Clásica", emancipando así a casi todos los demás períodos artísticos conocidos en su significado propio, pero sin abandonar por ello su creencia en un ideal artístico objetivo"

Apud. John, Ruskin: *Las Siete lamparas de la Arquitectura*, España, 1987, Barcelona, edición facsimilar, Ed., Stylos, (serie), 205 p.

9

Apud., Cesaare, Brandi, *Teoría de la Restauración*, España, Barcelona, España, 1988, 149 p. Serie, Alianza forma, No. 72, Alianza Ed., 149 paginas, ILUS.



Templo del siglo XIX: Inmaculado Corazón de María, colonia Guerrero, afectado en el sismo de 1985 y demolido casi en su totalidad (únicamente se conservo la fachada) en 1986; al no ser comprendida la posibilidad de su restauración.

4 B).- Criterios y aplicaciones de estabilidad:

Interpretación de la estructura:

La configuración estructural en la ciudad de México a lo largo del tiempo ha conservado similitudes en sus principios, como por ejemplo: ejes de simetrías "a escuadra", tienden a estar resueltos construcciones rígidas, sostenidas por gruesos muros de carga, son predominantemente baja de uno a dos niveles; con entresijos y cubiertas con elementos de madera empotrados en lo apoyos. Los muros son mamposterías de piedra, adobe, tepetate, y ladrillos, asentado con morteros de cal y de arcilla.

Edificios de la época virreinal, como templos y capillas se realizaron por *geometría de su construcción*, la configuración hay que interpretarla espacialmente, tanto en su totalidad (plantas y alzados), como partiendo al interior de las secciones de cada intersección de arcos y bóvedas. ¹

El alarde de la tecnología y manejo estructural como aporte de los diseñadores y constructores ampliamente utilizado hasta el siglo XIX, fue el de bóvedas y cúpulas con tensores de madera a manera de diafragmas, ortorgandoles a estas propiedades no solo estáticas sino también dinámicas.

Un ejemplo notable que consagra esta tradición constructiva en la historia tecnológica de México y que sirve como fundamento para los siguientes siglos en edificaciones semejantes; es la cúpula de San Bernardino de Siena en el exconvento de Xochimilco, la cual señala una maduración lograda por un cambio de cubiertas de madera por el de sistemas abovedados, tal desarrollo de estos es lo que podemos

1 Nota:

Geometría de la construcción entendida como una concepción espacial totalizadora e integradora, en todos sus elementos constructivos, intersecciones, forma de trabajo y unidad estructural original; estudiados interesantes desarrollados: *Geometría de la construcción* son un conjunto universal de conceptos definidos por arq. José Creixell Roberto Meli, Roberto Sánchez: *Rehabilitación de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México*. p. 5

"El análisis del esquema estructural de la catedral y de su comportamiento revela que hubo en su concepción una visión bastante certera de la problemática estructural que esta enfrenta. Los materiales así como la forma y disposición de los elementos estructurales se escogieron en función de las acciones externas que debía soportar el monumento, no solo los efectos de su propio peso sino también de los sismos y los hundimientos diferenciales."

Alberto, Jorge, Manrique: *Historia Urbana de Iberoamérica*, Tomo II- 2, La Ciudad Barroca, Análisis Regional, 1573, 1750, España, Quito Centenario, C. S. C. A. E., 575 p. ILUS. Fotos. p 215.

"Para el siglo XVII la variedad de libros impresos incluye la ciencia y la polémica científica, la crónica religiosa o civil y la poesía,"

considerar como el aporte renacentista en el nuevo mundo. 2

Hemos dicho que los sistemas de apoyos continuos a base de mampostería unida con morteros de cal ofrece grandes cualidades de resistencia tanto a cargas gravitacionales como a empujes motivados por fuertes sismos, estos apoyos amarrados a escuadra con entrepisos y cubiertas de envigados pueden admitir deformaciones debidas a diferentes asentamientos e incluso aceptar la presencia de grietas que en su caso aceptan una nueva disposición en el sistema, como si se tratase de una articulación que evita el colapso total. Este tipo de estructuras actúan y trabajan por áreas de influencia, donde su unidad estructural es lo mas sencilla posible, es decir pueden aceptar faltantes en algún punto sin la afectación total en la unidad estructural ya que esta se encuentra compuesta por un sistema abierto, capaz de adoptar nuevas condiciones antes de fallar parcialmente.

El conglomerado en muros admite deformaciones por efectos del tiempo, conteniendo grandes propiedades de amortiguamiento que los alejan de la sincronización sísmica por su excesiva rigidez en terrenos de grandes períodos de oscilación debidos a los mismos temblores. Su unidad estructural se debe a un comportamiento natural organizado por líneas rectas, integrando prismas compuestos en dos ejes y conservando simetrías ordenadas en todas sus dimensiones, con lo que se logran una armonía perfecta.

Las estructuras al tener cualidades por sus debidas a su elasticidad y por la disposición de reacomodo de sus muros maestros, al igualandose las diferencias de comportamiento con el terreno y en los puntos de afectación mayor apareceran las grietas, como líneas de articulación. Lo cual nos indica que no ha sido posible guardar el equilibrio con nuevas sollicitaciones y por lo que surgen. Como lo hemos dicho son grandes articulaciones presentadas como roturas, de esta manera la estructura adopta otras modalidades sin cambiar de orden, deformandose y separando donde es necesario para lograr la estabilidad, a cambio de esto y como respuesta adquiere menor resistencia y solidez. Son soluciones que por su sencillez no se oponen a los efectos de la naturaleza, poco a poco se acomodan a diversas acciones internas buscando con esfuerzos directos de compresión transmitir hacia las partes bajas los

2

Carlos, Gonzalez Lobo y Olea, Oscar: *Análisis y Diseño Lógico*, México, 1977, Ed. trillas 147, ILUS, Fotos, p. 19

"Recordemos como ejemplo la que podemos considerar la primera propuesta de diseño en un sentido contemporáneo. En ella se aplicó tanto la resistencia de los materiales como la mecánica, la prefabricación y todo lo que por ahora caracteriza al diseño: la cúpula de Santa María de las Flores, en la ciudad de Florencia realizada por Brunelleschi. Este era en realidad un proyecto colectivo* en el cual se hallaban comprometidos todos los ciudadanos. Brunelleschi dedicó cuarenta años de su vida a estudiar lo que el, como arquitecto, aún ignoraba y que era indispensable para la realización de la cúpula. Diseñó un sinnúmero de modelos a escala para estudiar su comportamiento, llevandolo poco a poco los elementos que la constituyen hasta el límite de sus posibilidades. Descubrió así la forma en que pueden ser equilibradas las fuerzas que se generan en su estructura, inventó o ciertos tipos de poleas, con lo cual desarrolló enormemente la técnica de su tiempo; estudió con detalle el comportamiento de los materiales, con lo que, curiosamente, explotó la ingeniería civil contemporánea."

Jorge Alberto, Manrique: *Historia Urbana de Iberoamérica*, Tomo II- 2, *La Ciudad Barroca, Análisis Regional, 1573, 1750*, España, Quinto Centenario, C. S. C. A. E., 575 p. ILUS. Fotos. p 213

"Junto a la bóveda y la planta de cruz latina aparece la cúpula. La primera hecha en México es la de Xochimilco, (anterior es solo la de la catedral de Mérida de 1598) "

pesos volumétricos de materiales organizados tecnológicamente con sus óptimas condiciones.³

El espíritu científico en las estructuras, se desarrolla entre los siglos XVII y XVIII en la práctica de la construcción, para demostrarse matemáticamente en el siglo XIX.⁴ No solo Viollet-le-Duc dedujo la importancia del conocimiento estructural y constructivo de los monumentos, sino también Antonio Gaudí se basó en estos principios de la arquitectura histórica. ⁵

Interpretación de la estructuras del siglo XIX:

La forma del trabajo estructural para el siglo XIX, además de continuar con una tradición constructiva, es un periodo de grandes cambios en el orden científico y tecnológico. Se abre la clasificación de estudios, resultando con esto la evolución por áreas, o temas. Por lo que sabemos de las fuentes, a partir de una segunda mitad del siglo se exigen soluciones dadas a partir de la especialización, con las que surge así el gran aporte del siglo, tanto en la enseñanza de la arquitectura como en el ejercicio de la profesión reflejándose sus resultados en la edificación misma, que va más allá de los tratados clásicos basados en los cinco ordenes, que aunque valiosos no cumplen las razones ideales motivados por los nuevos pensamientos. No quiere decir con esto que los antiguos libros dedicados a la arquitectura ya estuviesen fuera de uso, sino que al contrario estos se debían complementar, clasificar y ordenar con el apoyo de todas las ciencias los cuales serían el motivo de explicación del porque de tantas razones y hechos comprendidos con otra perspectiva, tal es, la preocupación por la proporción y armonía de los ordenes, que entre otros aspectos, responden en su origen a situaciones de estabilidad. de esta forma, el diseño arquitectónico se representó matemáticamente. Integrando los avances en el conocimiento exacto de materiales para así poder aspirar a un modelo ideal.

La forma de trabajo estructural para responder justamente a las tradiciones constructivas al cúmulo de estudios y a experimentaciones expresadas en nuevos tratados de arquitectura y el arte de construir. Los procedimientos de diseño estructural se explican gráfica y matemáticamente, pero es patente que utilizan el fundamento en el ejercicio de la construcción tradicional principalmente para los muros y bóvedas, los procedimientos analíticos son más profundos y prevalecen sobre los métodos

3

Apud. Werner, Rosenthal: *La Estructura*, OP. CIT. España, 1980, Ed. Blume, 25 - 32

4 Leonardo, Benévolo, : *Historia de la Arquitectura del Renacimiento, La Arquitectura Clásica, XV _ XVIII*, España, 1983, Ed. Gustavo Gili, 1450 p., ILUS, Fotos., p. 769. - 771.

"La afirmación del carácter científico de la arquitectura se repite con énfasis creciente en los tratados de principios del seiscientos, en el lenguaje Escolástico de la época, ..., "

Así el siglo XVII Gassendi y Newton, sintetizando las argumentaciones de los filósofos y los descubrimientos de los científicos, definen los nuevos conceptos espacio y tiempo, como "conocimiento de todos". La idea de un sistema de relaciones proporcionales, integra de toda medida absoluta que durante dos siglos han fundamentado como base conceptual de las artes figurativas y de la proyección arquitectónica, se convierte ahora en el postulado fundamental de la nueva concepción; marca del mundo". Más adelante en la pagina. 789, nos dice:

"El barroco es un fenómeno de universalidad de escala gigantesca"

5 Sobre un análisis a un corte del Park Güel, como varias presentaciones de sus tipologías estructurales se presentan, en tal publicación:

Xavie, Güell, : *Antonio Gaudí. Estudio, Paperback*, Ed., G. G., España, 1986, Barcelona, 221 páginas, ILUS, FOTOS. p. 106 - 124 - 125.

"sección de un pórtico con el diagrama de cargas y empujes (según Joan Bergós)"

gráficos como lo menciona el ingeniero Antonio Torres-Torija. 6

Lo anterior implica grandes contradicciones porque la búsqueda de lo exacto y la perfección armónica de la estructura llega a veces a lenguajes alejados de la realidad o con soluciones formuladas que se basan en coeficientes que provienen del empirismo y de sistemas un tanto complicados, fundamentados en la experiencia. 7

Los desarrollos de procedimientos gráficos tanto para bóvedas como para armaduras por geometría constructiva es la realización mas apegada a métodos y procedimientos clásicos ya que su forma de expresión es dibujada, solo que los trazos armónicos y el dibujo de perfiles de los cinco ordenes arquitectónicos perfectamente modulados como elementos directrices son en cierta medida la forma de representación de la arquitectura mas completa y entendida universalmente, se complementan por detalles constructivos resuelto en tales soluciones gráficas, mismo que representan el equilibrio estático de los cuerpos o elementos arquitectónicos, es decir con la acción de las fuerzas y resultantes de los apoyos. 8

En el siglo XIX, se profundizan los estudios internos de los mismos elementos constructivos, considerando las propiedades mecánicas de materiales, es decir su deformación, su modo y forma de trabajo, para determinar esfuerzos adecuados, generados por estudios de la *estática y resistencia de materiales* que desde finales del siglo XVIII se venían conociendo, así como de, los análisis cada vez mas se depuraron los estudios, de ello derivó en *compendios, diccionarios o enciclopedias* de arquitectura, como conceptos modernos de los tratados propiamente dichos en el siglo XIX.

Tales libros surgidos por los avances científicos; buscan conocer con un nuevo enfoque o carácter, la arquitectura antigua y primordialmente su forma de construcción, su geometría, por lo tanto, la manera como se llego a comprender y determinar matemáticamente la proporción en los ordenes de la arquitectura y de esta forma analizar las secciones necesarias según el cálculo de los elementos de una estructura, con fines aplicables a las soluciones del momento. Cuyos resultados son los actuales

6

Apud. Antonio, Torres-Torija; *Cálculos del Curso de Construcción (op. Cit.)*, México, 1894,

Como otros autores de la academia de San Carlos; al igual que los arquitectos Tellez Pizarro, afirman que el rigor científico de la segunda mitad del siglo XIX. A partir de este periodo connota una mayor importancia y credibilidad a los cálculos de las estructuras por métodos matemáticos que los procedimientos legados por la proporción modulada o gráfica..

7 Apud. Adrián, Tellez, Pizarro: *Cimientos de los Edificios de la Ciudad de México, Op. Cit.*, México, 1899, 81 páginas, Fundación Científica Antonio Alzate,

Dentro de tal publicación y sin embargo además del manejo de los cálculos en la construcción. Indica la importancia que se requiere del conocimiento y las experiencias del México mesoamericano y virreinal; para conocer en su totalidad, el particular ejercicio de la construcción, especialmente en lo referente de la cimentaciones de la ciudad de México con toda su problemática. por estar sobre terrenos suaves altamente compresibles y su sismicidad.

8 José, Marva y Mayer: *Mecánica Aplicada a las Construcciones*, Madrid, 1884, Litografía de Julian Palacios, 2a. Ed. 1336 p. p.19.

"Las condiciones de equilibrio de una construcción:

1° Deben equilibrarse las fuerzas exteriores que obran sobre toda la construcción.

2° Deben equilibrarse las fuerzas exteriores que actúan sobre cada elemento de la construcción. Sumando a esto las condiciones de rigidez y equilibrio".

modelos matemáticos, que a su vez marcaron un nuevo estilo de vida mismos que se impone sobre los ordenes de la arquitectura, pero con el rigor científico en el diseño. 9

La aparición del concreto armado en la segunda mitad del siglo XIX, motiva aun mas el ejercicio y conocimiento de tales materiales. La ingeniería en la construcción logra avances espectaculares debidos al mejor desarrollo del lenguaje en el diseño estructural y que en vez de derivarse de proporciones ordenadas se plantea matemáticamente por medio de un cálculo un tanto sofisticado y lejano cada vez mas de la sencillez y realidad práctica, pero lleno de una gran imaginación y creatividad.

Criterios y aplicaciones de estabilidad:

El cálculo de los muros aplicando la experiencia derivada de la tratadística y del arte de construir del siglo XIX, parte por si mismo de observar y analizar el tipo de plantas y organizaciones de apoyos, incluye desde luego esta labor de estudiar las cargas, tanto en su forma de aplicación como en los mismos apoyos. Es importante también indicar las fuertes diferencias que existen entre los muros hechos con mampostería, tepetate, adobe, ladrillo, y los actuales hechos con ladrillo (tabique); pues como sabemos estos últimos al unirse con cadenas y dalas que como amarres verticales y horizontales de concreto armado, le ofrecen otras cualidades, cuyo fin fue el uso de muros con un espesor menor a los utilizados en edificios históricos. Además de ello los morteros a base de cemento con que se encuentran unidos les otorga otro tipo de cualidades, permitiendoles así una mayor rigidez y resistencia, así como rapidez en la ejecución de la obra.

A diferencia de los sistemas constructivos de los muros actuales, la orgánica de los apoyos continuos de mampostería, siempre tienden a ser de grandes espesores, con morteros de gran elasticidad. De igual forma tanto en la época virreinal como en la precedente mesoamericana el mortero utilizado es a base de cal de piedra apagada en la obra. Quizás lo anterior resulte ocioso pero son detalles sencillos pero importantes, ya que por la costumbre de las técnicas y materiales actuales y el desuso de lo tradicional han puesto como únicas alternativas, incluso para la restauración, la consolidación incorrecta de muros incluso con refuerzos armados de concreto cuando el caso no lo amerita.

La experiencia legada de las tecnologías constructivas a lo largo de la historia y en diferentes culturas se fuera perfeccionando tradiciones en muros, por ejemplo, es común ver en la arquitectura de la Nueva España y del México independiente del siglo XIX, como detalles en su dedicación y lógica constructiva en apoyos corridos las piedras más pesadas y voluminosas se colocaban en la cimentación y base del muro, mientras que en las partes superiores incluyendo la corona se componen de piedra

9

E. Viollet-le-Duc: *Diccionario Razonado, Op. Cit.*, en el libro 9, pág. 197

"Le trait est une opération de la géométrie descriptive, une décomposition des plans multiples qui composent les solides à mettre en oeuvre dans la construction l'art du trait, développé pendant l'antiquité grecque."

Más adelante en el tomo 8 nos dice en la pág. 479:

"Le style est la manifestation d'un idéal établi sur un principe"

volcánica de buena resistencia, pero de menores dimensiones y peso como el tezontle rojo o negro, requiriendo para tal sistema constructivo mayor cantidad de mortero, y aunque esta parte del muro (la corona) es de menor resistencia, resulta la mas elástica. Durante la época colonial este sistema se perfecciona en muros con paramentos sin talud, con la introducción de los arcos de descarga e hiladas de tepetate o ladrillo alternadas en forma de verdugones se propicia una mejor distribución de cargas, logrando una orgánica interesante por sus cualidades de amortiguamiento en el total de la envolvente, mayor amplitud de movimiento en los elementos altos, y sobre todo en los períodos de vibración, originando para estructuras de esta clase los peligrosos momentos flexionantes, respondiendo con una efectiva resistencia en la base al esfuerzo cortante derivados por la presencia de un sismo.

Rondelet, Planat, Reynaud de un indiscutible nivel científico, explican y presentan para diseñar apoyos continuos y aislados fórmulas deducidas empíricamente. Se debe esto a su observación científica que es síntesis de la experiencia emanada de una tradición constructiva, basada en las proporciones y más que de una idea empírica es una expresión del conocimiento aplicado a lo largo de la historia de la arquitectura y por lo tanto perfectamente valedera.¹⁰

Los apoyos corridos como retícula vista en sus diferentes plantas y alzados, ofrecen una "dinámica" de fluidos de fuerzas que se conducen dentro del sistema de cargas, con la organización los estribos o contrafuertes como amarres de muros sobre otros son por lógica parte del diseño y proporción de los muros cuya función tienden a establecer una unidad a través de un sistema ordenado el cual cubre una de sus funciones, como lo es la solidez que garantice su estabilidad. Es por sus materiales un estructura pesada, útil para recibir sistemas abovedados y factor determinante retroalimentado en el diseño y proporción de los apoyos aislados que como síntesis del diseño y construcción es la fuente de inspiración para la arquitectura a lo largo de la historia, tal y como nos lo muestran los tratados.¹¹

A partir de la teoría de las estructuras de finales del siglo XIX, preocupo tremendamente evitar la falla no solo a la compresión, pues los requerimientos actuales consideraron el flambeo. El aumento de la resistencia del apoyo, por el material y sistema constructivo sintetizaron la nueva modalidad del trabajo estructural al encontrarse perfectamente empotrada en su base y capitel. desde luego que el factor de esbeltez siguió siendo un motivo determinante para su diseño. Estas condiciones de unión entre las columnas y traves sin embargo son relativas ya que varia por múltiples factores, particularmente cuando se tiene la presencia de movimientos sísmicos. El comportamiento y respuesta

10

Paul, Planat, *Op. Cit., cuarto tomo* : (pág. 241) *EMPLOI DU FER ET DE L'ACIER*

"Resultats des expériences:

Pour les piliers ou colonnes en fer, d'anciennes expériences avaient permis de déterminer approximativement les conditions dans lesquelles ces pièces commencent à flamber. Plusieurs faits, conformes d'ailleurs à la théorie, avaient été nettement constatés: "

11 Apud., Joseph, Gwilt: *The Encycloperia of Architecture., Historical, Theoretical, and Practical: The Classic 1867* Edición, (Edición Facsimilar), N. Y. U. S. A., 1985, 1363 paginas, ILUS., LAM>

reforzar la unidad de origen, para su diseño y revisión. Por lo anterior es necesario lo siguiente:

Se deberá estudiar en conjunto el sistema de ordenamiento de las diversas plantas del inmueble, haciendo énfasis en las formas geométricas básicas, sus cualidades de trazo, esencialmente su simetría general y proporción. Tomando un especial en las áreas, las proporciones, las distancias de amarres, es decir todos los elementos que conforman en primera instancia la unidad estructural.

Recomendar propuestas de diseño, con base a la situación histórica y origen *lacustre* de la ciudad los riesgos y factibilidades en la repercusión sísmica y comportamiento de las cimentaciones, tanto en edificaciones contemporáneas, arquitectura por proyectar o bien en monumentos históricos, indicar lo adecuado según su configuración, para no afectarlos y conservarlos adecuadamente. (imagen 2 y 3).

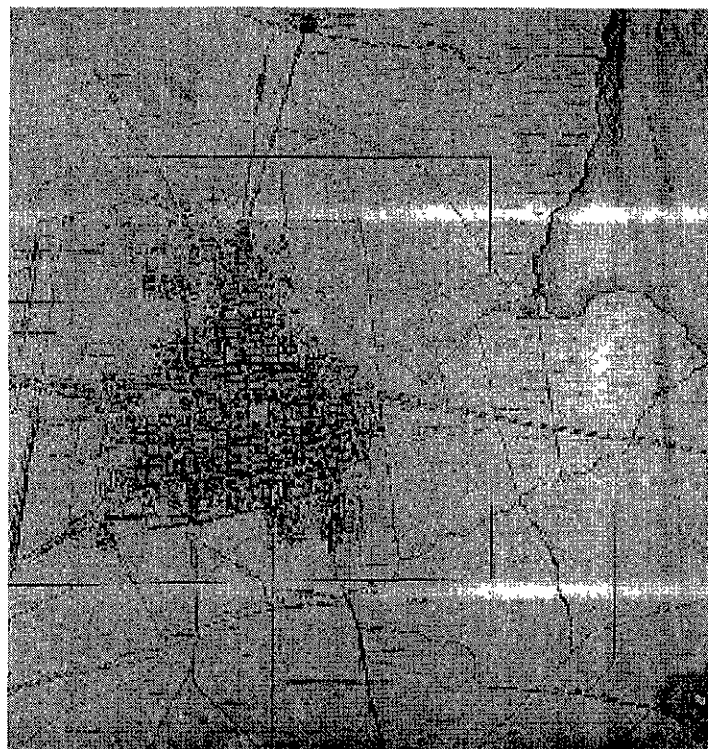
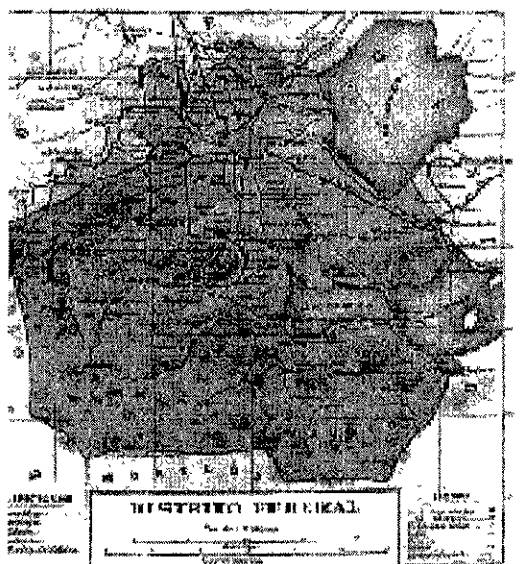


Imagen Planos de finales del siglo XIX , con la situación de los lagos (fig. 2 y 3)
Smurfit-INAH, Compilador: S. Lombardo: *Atlas Histórico de la Ciudad de México*.

Preferentemente en apoyos y cubiertas visualizar en la geometría total del conjunto, espacialmente, estudiando la distribución de cargas y esfuerzos, de que manera se reciben, así como los trabajos de muros radiales, centrales y perimetrales.

Para estructuras de mayor complejidad, cubiertas como cúpulas o torres, así como todo tipo de elementos altos determinaran puntos de partida hacia lo que son las intersecciones entre tambores arcos, arcadas y muros hasta llegar a bases perimetrales. Los patios e intersecciones de crujías de diversas alturas o diferente disposición serán de vital importancia, en la visualización de este análisis.

La proporción de esbeltez para muros bajos y según los tratados y literatura especializada, coinciden en un rango no mayor de ocho a diez veces su altura, tomando como modulo la base del

mismo. Por razón de otorgar mayor seguridad y estar más de acuerdo con la realidad constructiva, la primera relación resulta la más recomendable:

El criterio de diseño para una estructura resuelta a base de muros de carga se debe visualizar en su conjunto, tanto en plantas como en alzados, entender su geometría, simetría, ejes de composición, cargas, trayectos y distribución de las mismas cargas así como esfuerzos.

Los cortes por fachada en diferentes pisos o niveles nos deben mostrar el sistema de cargas desde el pretil hasta la cimentación. Esta suma incluye tanto las bajadas del peso gravitacional, como las cargas horizontales producto del viento o sismo.

Lo más cercano a lo anterior es el criterio de estudios gráficos presentados en los tratados, que muestran el como se diseñaba integralmente la estructura y cada una de sus partes constitutivas. Esta manera es en el diseño arquitectónico a fines del siglo XIX.¹³

Para el análisis sísmico e incluyendo las propiedades de los materiales, se deben sumar otras consideraciones y así poder determinar la resistencia parcial y total del sistema ante una carga accidental, como lo son: el procedimiento constructivo, la forma y diseño de refuerzos (arcos de descarga, contrafuertes), cambios de materiales, secuencias y empotres, alturas, proporciones, concentraciones de cargas y direcciones de fuerzas entre otras.

La observación y análisis de las alteraciones y deterioros con una lectura sistemática, nos puede indicar el trabajo de la estructura señalandonos su propia unidad. La presencia de fallas debidas a esfuerzos adicionales y los agrietamientos son nuevas disposiciones de la estructura, funcionan como articulaciones, tales problemas en la estructura la haran mas elástica y flexible pero menos resistente. Lo mismo sucede para comprender las deformaciones, la dirección de desplomes y las tendencias de asentamientos diferenciales .

Los arquitectos Boix, Planat, y Rondelet; consideran la carga gravitacional en función del área y resistencia de trabajo del material más débil, mismo que atiende a un empuje horizontal, a la resistencia a la fricción y sobre todo al sismo, se complementa con la constante de resorte del sistema. A esta situación recomiendo se sumen los análisis que por plantas y alzados, ya que a partir del análisis de los mismos se determinan y muestran la realidad en la conducción de cargas y esfuerzos, en lo que coincidio con la propuesta, la tratadística del siglo XIX. Es simplemente un estudio que muestra de una manera mas directa un problema estructural, por la presentación que ofrecen plantas, cortes y geométrales.

13

Nota: El análisis de un muro maestro por medio de un gráfico; puede abstraerse del conjunto para estudiar la carga, considerando su relación de esbeltez y la resistencia del material utilizado; de esta forma los muros de mampostería se encontraran en función del mortero por ser el elemento de menor resistencia, en donde la sección o área es fundamental ya que multiplicando el esfuerzo de trabajo "T" por la superficie "A" obtenemos la resistencia a la carga de compresión. Que es igual para todos los casos, la resistencia a una carga determinada "P", mientras no se rebase la relación de esbeltez "H".

Para encontrarse dentro de una mayor exactitud, se debe de tomar en cuenta la fricción debida al empotramiento que ejercen las piezas de mampostería, entre unas con otras del muro. Este punto demuestra como en la realidad es posible la resistencia de tales sistemas constructivos a ciertas tracciones eventuales. Estos coeficientes de resistencia a la fricción se han determinado tanto en los tratados del siglo pasado como en los libros especializados del presente siglo.

Determinar las resistencias por ejes de muros maestros comparando los esfuerzos de trabajo indicados en los tratados del siglo XIX y la Literatura especializada actual. Mediante pruebas de resistencias reales de materiales, mamposterías y morteros, pues los deterioros y efectos del tiempo con una factibilidad los han modificado. Tal situación dependerá de su zonificación y ubicación.

Estudiar la resistencia al temblor del sistema, por estructura, tipología y grupo. Los muros de carga de mampostería pese a que cuentan con una gran sección y por tanto ofrecen estructuras rígidas, la unión del mortero propone una unidad organizada por capas, capaces de asumir flexibilidades y por lo tanto tener propiedades de amortiguamiento, deformación y elasticidad conteniendo cualidades especiales, y que por lógica influyen en el estudio estructural.

Considerar como un origen de análisis de la arquitectura, al estudio de sus proporciones, sobre planos, volúmenes, intersecciones en geometría y detalles constructivos. Un ejemplo, es tomar en cuenta el como lo plantean los tratados originales del siglo XIX; al mismo tiempo es necesario el estudio y aplicación de las metodologías actuales, intercalando, confrontando y complementando los desarrollos matemáticos, con el fin de observar y comprender la síntesis que engloba la estructura.

La reflexión de los estudios plasmados en los tratados y los análisis matemáticos actuales nos conducirán a incluir todos los universo que encierran a la estructura; es decir conocer y definir de la arquitectura histórica tomando al como en un ejemplo o modelo: A).- cualidades constructivas, B).- características estructurales, C).- materiales y D).- espacios para usos originales o cambio de funciones.

De tal forma que lo hace lo más real y objetivo, pues estudia la arquitectura en su expresión más pura. (La restauración ofrece el estudio directo al inmueble construido, mostrando todas sus características arquitectónicas, con sus posibles deterioros y alteraciones. En sí su comportamiento real, con aportes tecnológicos de su época).

Una memoria descriptiva y planos que incluya una integración de estudios actualizados cuyo criterio sea en conocimiento y aplicación tanto de las fuentes directas, como una proyección de los lenguajes actuales conducidos en un entendimiento y aplicación que fundamente criterios específicos para los edificios históricos según su tecnología y diseño original, con la posibilidad de utilizar procedimientos constructivos actuales según sea el caso específico, pero con la capacidad de conservar la forma de la unidad estructural.

Criterios:

A) Considerar y comprender procesos de diseño y tecnológicos originales.

B) El análisis estructural correspondiente y original sigue los lineamientos de la tratadística del siglo XIX, por tanto muestra resistencias de materiales, secciones nominales y fundamentalmente los criterios de diseño estructural, con hipótesis y memorias de cálculo gráficas analíticas.

C) Los procedimientos y sistemas constructivos son ejemplificados por temas en la literatura

especializada del siglo XIX, a diferencia de la documentación actual, presentan criterios estructurales íntimamente relacionados con la tradición constructiva y la modulación clásica de la arquitectura.

D) Las edificaciones históricas requieren una interpretación especial, tanto en procedimientos constructivos como en sus materiales, debido a que obedecen a avances científico y tecnológico diferentes a los actuales, siendo un caso particular cada uno de ellos.

E) Las cimentaciones o fundamentos con tipologías y aplicaciones para la ciudad de México en el periodo de estudio, presentan diseños particulares en ejemplos de edificaciones y tipos de suelos y en la actualidad se encuentran en desuso. Su diseño se basa en considerarlas como cimentaciones superficiales, pero también hay casos de cimentaciones profundas a base de pilas y pilotes, por lo que estas soluciones son un caso ejemplar y muy especial.

F) Los apoyos corridos se encuentran integrados por muros de carga, tanto de mampostería, como de tepetate, adobe y ladrillo. Solo en patios y accesos las soluciones se dieron porticadas apoyadas por columnas o pilastras, la base de su dimensionamiento son proporciones resultado derivado de módulos de la columna.

G) Las columnas y pilastras en su modulación y diseño, siguen los cánones clásicos de la tratadística del siglo XIX. Para el caso de los postes metálicos se calculan los perfiles con formulas un tanto empíricas, cuyo origen es la experiencia misma en la construcción, siguiendo los fundamentos de la resistencia de material al considerar los índices de seguridad empleados, tomando en cuenta diversas formas de cargas, tanto excentricas como axiales. Son casos particulares los pórticos especialmente los de grandes claros y cuyos momentos flexionantes son determinantes.

H) Entrepisos y cubiertas presentan similitudes en los diseños actuales por sus tendencias moduladas y prefabricadas; pero aun dentro de esta diversidad se explican los tipos tradicionales a base de viguería y con sistemas resueltos por varios géneros de bóvedas. El aporte de un caso particular y de gran detalle son: las armaduras, los pórticos, las viguetas de varios claros, los cerramientos y las travesaños armadas, tanto de madera como metálicas. Destacan el diseño de torres y galerías usando nuevos materiales y tecnologías. Los diseños imperantes se encuentran dados a base de cálculos estructurales y gráficos, pero conservando el diseño por geometría constructiva aplicada en arcos y bóvedas.

I) La unidad estructural conserva ambas instancias: La de considerar por geometría el orden fundamental de las soluciones dadas en la construcción tradicional utilizada para la arquitectura doméstica de tipo civil, religioso y de baja altura.

J) Los proyectos y construcciones son seguidos y apegados en gran medida a lo dictado por la academia de San Carlos, tendencias en la construcción y el diseño arquitectónico que buscan semejanzas con modelos extranjeros.

K) Es preciso el estudio de la estabilidad de los edificios con la intención de entender su unidad estructural, sistema de trabajo de elementos y materiales, para lo que existen procedimientos prácticos de análisis contemporáneos aplicables, que se valen del estudio de los tratados de arquitectura, observando en los sistemas de análisis su compatibilidad.

L) Sistemas constructivos y materiales, tienen papeles determinantes en soluciones dedicadas a la estabilidad, donde su rigidez, resistencia, forma de trabajo, empalmes, amarres, secuencias de carga y descarga, dinámica de fuerzas y esfuerzos, tienen en su comprensión la factibilidad para hacerlas realizables.

M) Entender y analizar la estructura original estudiando el por que de la presencia de deterioros y fallas, mismos nos permitan realizar un efectivo diagnóstico de la presencia de tipos de alteraciones del orden estructural y así determinar una correcta propuesta.

N) El análisis arquitectónico e histórico determinara en el edificio, las diversas épocas de crecimiento e intervenciones, así como los tipos de estructuraciones debidas a fallas anteriores e incluso de agregados o faltantes que influyen directamente la estabilidad del inmueble.

Ñ) La habitabilidad y el cambio de uso determina no solo la modificación en los espacios sino también el cambio de cargas vivas y muertas, ubicación de instalaciones especiales que pueden provocar fuertes vibraciones o concertaciones de cargas indebidas.

O) El proyecto de reestructuración deberá ser congruente con los estudios previos: históricos, arquitectónicos, estructurales y constructivos, así como cumpla los objetivos y metas finales de una estabilidad comprobable acorde a los principios fundamentales de ciencias como la física, conservación y restauración.

Aplicaciones:

Durante todo el siglo XIX se observa a través de diferentes publicaciones una madurez asimilada y universal en su lenguaje y conceptos; al inicio predomina en primera instancia el manejo proporcional o formulado, mientras que posteriormente se busca la excelencia en los métodos hasta llegar a la abstracción de un lenguaje eminentemente matemático.

Estos motivos denotan crisis en caminos y modos de procesos de diseño, pero singularmente los tratados de arquitectura prevalecen en sus conceptos creativos muy a pesar de la alta tecnología con tendencias industrializadoras mostradas en ellos y de la misma especialización matemática, razón por el cual algunos documentos se centran primero en la composición y posteriormente se encaminan a la estabilidad de la construcción, para mas adelante concluir con las instalaciones; estas secuencias de ramificaciones o divisiones por materias formando las partes de los tratados, como a la manera moderna en la enseñanza. Plenamente diferencian y separan la historia y teoría de la arquitectura; el diseño arquitectónico queda entendido a la manera clásica, con la suma de distribuciones de edificios tipo; los

procedimientos constructivos y la estabilidad ejemplificada a su máxima expresión siendo en muchas obras publicadas, la estructura como la parte dominante y rectora en el diseño, como si se tratase en cierta medida de los cinco ordenes clásicos.

La aplicación actual requiere el amalgamar la forma de como fueron diseñados y entender su situación particular en tanto ahondar a su diseño estructural actual, de tal forma que el criterio de entendimiento permita un análisis apegado a la realidad del inmueble como a la situación de deterioro, considerando tecnologías y materiales originales así como la factibilidad en su reestructuración si esta así lo amerita.

El análisis estructural en edificios históricos requiere de consideraciones particulares, especialmente tratándose de casos seriamente dañados, hechos con técnicas y materiales en desuso. Con las observaciones correctas y puntuales proponer intervenciones a seguir, para asegurando su habitabilidad y permanencia como patrimonio histórico, es necesario partir del conocimiento de sus diseños originales, en proporciones, en sus elementos estructurales, en su organización, en su forma de trabajo y en la respuesta de sus materiales. La reflexión de estas obras será el motivo centrales para el estudio estructural, provocando la búsqueda de respuestas en el conocimiento de la resistencia propia de materiales. Narva y Mayer denotan esta importancia de las diferencias de materiales constitutivos, con sus particularidades propias; este motivo es de vital importancia para los edificios históricos ya que la edad y características propias del material son olvidados. Sin comprender objetivamente cualidades de resistencia, su organización constructiva; que resulta un tanto de interpretaciones estructurales erróneas que en ocasiones se alejan de la realidad, causando una enorme brecha entre ellos.

La comprensión del proceso de diseño original y la adaptación de tecnologías aplicables a un caso requiere del conocimiento teórico fundamental de la restauración, del auxilio de tipologías que la puedan mostrarse en su conjunto, con el apoyo por especialidades, como de asesores en estructuras y mecánica de suelos.

Lo anterior hace que se elabore una propuesta necesaria para desarrollar *el proyecto de restauración* o simplemente de *reestructuración*,¹⁴ derivandose una secuencia de estudios que se inician en una exploración física y documental, levantamientos fotográficos y de deterioros, estudios históricos y de análisis de alteraciones estructurales y arquitectónicas. Implementar un marco teórico que permita optar por criterios de restauración apegados a conceptos filosóficos de la misma especialidad, con facultad de cristalizar el proyecto en sus diversas tipologías y grados de intervención. El camino anterior necesita la efectiva compaginación en el análisis estructural y las diversas alternativas tecnológicas, con sus detalles y ejemplificaciones estructurales, integradas al proyecto que respondan a un análisis previo

¹⁴ Nota: Metodología de análisis planterada y presentada en la introducción de esta tesis, en el tema de: *Propuesta Metodológica, cuyo fin es el desarrollar un proyecto de restauración.*

del trabajo estructural en su conjunto y por elementos, con la comprensión de deterioros, fallas estructurales y un diagnóstico, cuyo fin será conservar y mantener la unidad estructural original.

Las memorias estructurales, no serán el objetivo final, pues únicamente deben servir de verificación de la propia estructura y de los mismos procesos de reestructuración, mismos que permiten vislumbrar su correcta unidad e integración en el trabajo respecto al conjunto.

El proceso de diseño estructural tiene que partir del análisis y comprensión de la unidad estructural, con con el desglose por elementos del trabajo estructural (compresión, tracción, tipos de apoyo, análisis de geometría) y del mismo conocimiento de resistencias reales y óptimas.

Existe tanto para el análisis estructural como para la restauración misma una compaginación esencial, la cual se encuentra dada y contenida en el estudio y comprensión de las alteraciones estructurales; ya que en esencia el comportamiento de la edificación se muestra como el mejor laboratorio. Las tendencias de falla fundamentan un modo de trabajo y la propia unidad estructural que la ordena y configura en su arquitectura.

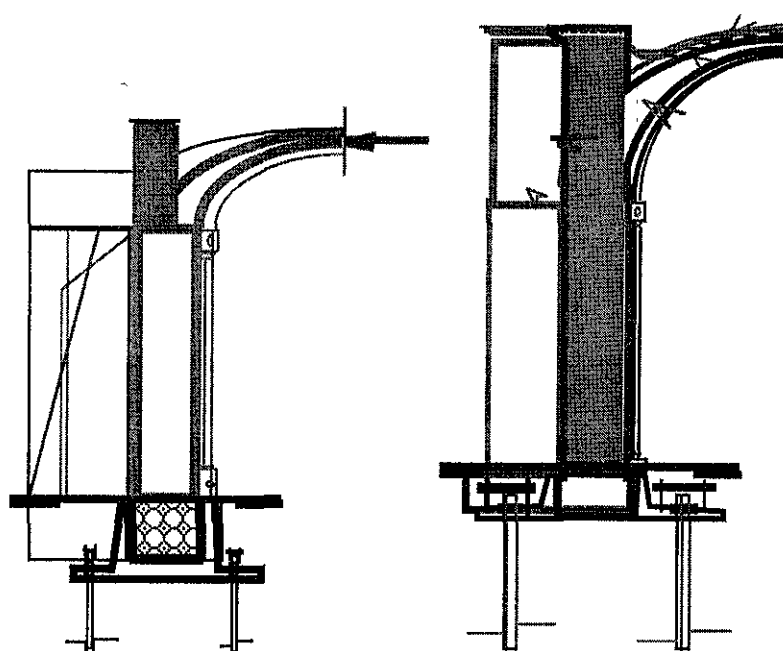
Desde luego que las tecnologías de origen de una estructura con sus materiales y como partes integrales de la misma estructuración serán elementos indicadores ante la posibilidad de proponer alternativas reintegradoras en su sistema de trabajo original, con la factibilidad de ampliar su resistencia.

Lo anterior debe derivar de un estudio cuyo fin sea el obtener un diagnóstico posible y así proponer soluciones constructivas reales. Con la importancia necesaria de apuntar los objetivos y metas finales el mismo estudio estructural deberá partir por lo tanto del conocimiento de tecnologías y de la unidad estructural, ya que los procedimientos constructivos actuales y los métodos de diseño sísmico y gravitacional se refieren fundamentalmente a estructuras contemporánea y no a las históricas.

La reestructuración es una parte de la restauración arquitectónica que integra los análisis propios en las fallas de la unidad estructural, presentando las respuestas a cada caso, con soluciones constructivas acompañadas de planos y especificaciones detalladas. Su meta final es la de volver la unidad estructural original asegurando que cada miembro del conjunto como un todo y un sistema ordenado conserve sus cualidades de equilibrio, tomando en cuenta la resistencia propia de sus materiales y haciendo posible la integración de tecnologías que guarden e incluso amplifiquen las modalidades en su estabilidad. Es importante para los edificios históricos, no solo de la época de estudio sino también de los períodos anteriores (época colonial) establecer el criterio por el que, es indispensable y de una gran trascendencia el conocer cualidades de origen y posibilidades.

Resulta increíble que algunas de las mayores aportaciones a la restauración monumental se originen en la *ingeniería* (como lo es el caso de los pilotes de control y torres elásticas), tal situación se debe a que la interpretación y comprensión de las estructuras en su forma de trabajo, manteniendo la sencillez de la misma, sin agregar o substituir elementos ajenos a *la configuración estructural original*.

Con ello se han logrado reestructuraciones con un apego ideal a su restauración, conservando la seguridad estructural y por lo tanto la arquitectura histórica inalterada. Obras escritas en la materia se han desarrollado, pero sin una sólida aportación práctica, pues los teóricos de la restauración, **no** tocan el tema con la profundidad que se requiere y entran en una gran contradicción ante la realidad de la restauración como especialidad. 15



Capuchinas S. XVII

Basilica de Guadalupe S. XVIII

Recimentación con pilotes de control, Ing. Manuel González Flores, (1979).

Síntesis:

Como síntesis de la hipótesis planteada es reutilizar de las enseñanzas de la tratadística del siglo XIX que como fuente original y directa presenta de una forma completa los criterios de diseño; por otro lado la experiencia constructiva, conjugando con los fundamentos de la restauración y las teorías actuales del diseño estructural, aplicandolas de una forma correcta de intervención en las mismas. Es decir, apegarse a las normas de diseño originales plasmando los criterios actuales en la arquitectura, ayudados de sus especialidades más directas: restauración y estabilidad e integrar el arte de construir en monumentos históricos.

La influencia directa de diversos autores del siglo XIX, se culmina con una ciencia estructural en

15

Carlos, Chanfón, Olmos, : *Fundamentos Teóricos de la Restauración*, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UANM, # 4 página 251, :

"Ante el reto que plantea la naturaleza altamente compresible del subsuelo de la ciudad de México, los hundimientos diferenciales y la nivelación de edificios han sido resueltos en forma permanente por medio de pilotes de concreto con cabeza controlable, diseñados también desde la década de los cincuentas, por el ingeniero Manuel González Flores. Con esta técnica, se han realizado, bajo su proyecto y estricta supervisión, obras en monumentos, que son extraordinarias y únicas en el mundo, como las recimentaciones y nivelaciones en la capilla de Pocito y templo de las Capuchinas en el conjunto de la villa de Guadalupe, y la recimentación de la catedral metropolitana y templo del sagrario adjunto".

este caso del análisis, de los apoyos aislados no deja de ser de vital importancia, en cierta medida su dimensionamiento y proporción cubre el hueco que *los ordenes de la arquitectura* establecen como bases del diseño generador. Navier es uno de los primeros especialistas en sustentar las bases en las ciencias físicas y matemáticas, mientras que Rondelet fue el interlocutor del lenguaje clásico de la arquitectura y los procedimientos matemáticos; así la ramificación de la especialidad del arte se abre con estos tratadistas.

El Siglo XIX es un largo periodo con varias épocas; en las aparecen reflexiones contradictorias, se redescubre la arquitectura medieval y se abren especialidades de la arquitectura: el urbanismo como estudio necesario debido al crecimiento de las ciudades, la construcción y la estructura, al surgimiento de nuevas metodologías y materiales, apoyadas en busca de una respuesta a lo ya construido que como desafío responde a lo prodigioso (como la cúpula de San Pedro de Roma), que desde el siglo XVIII tuvo sus primeros planteamientos que fueron conducidos a la exactitud numérica. Al mismo tiempo se experimentan nuevos caminos cuyas corrientes serán las soluciones de la arquitectura metálica y posteriormente las del concreto armado.

El aporte intelectual de escuelas y academias de arquitectura durante el siglo XIX, emana hacia diversas ciudades como si fuesen puertos. Estos conocimientos se difunden y complementan con un solo fin: la búsqueda en la perfección constructiva que se lograra en períodos óptimos con un alto grado de economía y limpieza y cuya misión fuera la construcción ideal de la estructura. Por todo ello no solo se estudian los sistemas históricos, sino que se presentan nuevas alternativas propias de los avances tecnológicos de ahí que aparecen un múltiples soluciones aparentes de un perfecto ensamblado en cada una de sus partes, con la fijación en la utilidad y servicio del material; de ello resultan muros menos robustos, cuya tendencia es una mayor ligereza, para así lograr construcciones de más altura.

No hay que olvidar la gran síntesis lograda en el siglo XIX a través de la simetría y proporción que fué heredada por la arquitectura clásica en el modulo; el cual determina de los límites propios y posibles de los materiales, es la suma del conocimiento y experiencia constructiva de la época que exige perfección y refinamiento en la determinación de secciones, solo que dirigido por las matemáticas.

Recomendaciones y criterios para suelos:

La ciudad de México para el mundo un caso interesante, por la variedad de composiciones y de propiedades de sus terrenos, debidos a la presencia de aguas freáticas; más aún por estas diversidades han resultado contradictorias en sus comportamientos, pues las respuestas corresponden a datos constantemente cambiantes, debido a presentarse en terrenos suaves de alta sismicidad, por lo que en las

edificaciones históricas, es frecuente observar deformaciones e incluso fallas parciales.¹⁶

El drenado y desaparición de los tres lagos del valle de México, como una alteración constante en *la arquitectura de la tierra*,¹⁷ que junto con motivos históricos en zonas de mayor consolidación que otras, son motivo de especial atención, ya que prácticamente áreas significativas de la ciudad (Centro histórico y Tlatelolco), se encuentran en áreas de playas y ante la presencia de temblores tal situación es determinante, por la amplificación derivada de respuestas llamadas zonas o áreas de nudos.¹⁸

Las áreas de nudos o nudos de la zona lacustre, considerando sus playas, corresponden a puntos de amplificación sísmica y se deben directamente a la composición de su mismo subsuelo, (que en términos más estrictos más que un valle, se trata de un baso); estos son factores trascendentales que correspondiendo a la historia, cuyos riesgos geológicos licuan los terrenos, cambiando temporalmente sus condiciones en ciertos puntos definidos *playas*, pues recordemos que la ciudad se construyó sobre los lagos de Texcoco, Xochimilco, que comúnmente olvidan constructores y diseñadores de estructuras. Por tal razón los efectos de los sismos de 1957 y 1985 resultaron fatales a edificaciones recientes y

16

Jacob, Feld,: *Fallas Técnicas en la Construcción, México*, 1978, Ed., LIMUSA, 491 páginas, Fotos., ILUS. página 165-166.

El autor sobre derrumbes por deterioros y sin mencionar directamente el problema de los sismos ya que lo desarrolla con mayor profundidad en los siguientes capítulos, nos dice lo siguiente:

"Son pocas las estructuras que se derrumban debido al deterioro natural,,,, ,,,,,"

La excepción la constituyen las estructuras de madera cuyas componentes (con deterioros) a veces permanecen ocultas o cuando menos en sitios difíciles de inspeccionar."

Nota: Daniel Ramée: *L'Architecture et La Construction*, en 1885; presenta las diferencias debidas al tipo de fundaciones superficiales de terrenos incompresibles, compresibles y profundas. Estos sistemas de tecnologías impactaron en la arquitectura de México, ya que los Tratados, Manuales y todo tipo de literatura especializada como las entonces revistas científicas mostraban una ventana clara de aplicación práctica.

APUD. Daniel, Ramée,: *L'Architecture et La Construction,,Op., Cit.,* Paris, 1885; Librairie Firmin, Didot et Cie., Libraires Editeurs 64 páginas, ILUS.

17

*Nota.

Arquitectura de la tierra, entendida como la configuración natural en todas sus capas, propiedades físicas, químicas en sus materiales y discontinuidades, resequead o saturación de fluidos, consistencia, resistencias etc., en un lugar geográfico determinado, lo que influye en su resistencia y comportamiento natural, sin la alteración por la actividad humana y define las capas resistentes sujetas a los movimientos naturales, según las zonas de temblores y en las cuales se apoyan edificaciones; (Ciudad de México). Asesoría del Ing. Jacinto Ruíz, Instituto de Ingeniería de la UNAM, y Dictaminador y evaluador de peritos del D. D. F. Especialista en Estructuras y Mecánica de Suelos.

18

APUD. Arnold, Christopher y Robert, Reitherman,: (Colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker), *Configuración de Diseño Sísmico de Edificios*, México, 1987, LIMUSA, 298 páginas, páginas 27 - 28 - 29 - 30

resueltas con cimentaciones profundas. 19

Para presentar con mas claridad los efectos de nodos y playas, un camino sencillo y lógico que sintetiza el porque de esta problemática, como ejemplo imaginemos traslapadas al islote la antigua Tenochtitlán con el actual centro histórico, Observaremos que en los limites de tal islote se encuentra lo que fue la lagunilla, parte de sus bordes llegaban hasta el sitio donde se desplanto el edificio Nuevo León de Tlateloco, la región de San Antonio Abad; sitio en donde se presentaron grandes fallas en edificios de talleres de costura. Al poniente (inicios de la zona de playas) con los edificios que hacen esquina que inicio de la avenida Reforma. Otras zonas de amplificaciones son las que conforman la actual colonia Roma.

Tales efectos de amplificación en zonas de nodos se deben al choque y revote de la onda sísmica, la cual se transmite amplificada en terrenos como los de la ciudad, de *periodos largos* y bajo acción sísmica se presenta la licuación de los terrenos; que y puede ser un efecto grave y tal vez un golpe mortales para edificios de cimentación profunda o intermedia.

La ventaja de que edificios históricos cuenten con cimentaciones superficiales tienden a ser menos afectados. Este fenómeno a aumentado, no solo por el drenado ya histórico y la alteración paulatina de la naturaleza de los mismos terrenos, desde la fundación como ciudad virreinal, y la constante alteración de la arquitectura de la tierra, con las constantes fluctuaciones de niveles freáticos y por lo tanto las tendencias cambiantes de humedad y de resequedad; lo que propicia incluso la existencia

¹⁹ Nota:

Los iniciales del estudio del comportamiento de los suelos; y tomaron medidas del orden científico; por las características fueron el ingenieros Manuel González Flores quien invento sistemas de: *Torres elásticas y sistemas integrales antisísmicos*, como también los conocidos sistemas de *pilotes de control*; para dar respuesta a las cualidades especiales los terrenos del valle de México. Inventos puestos en práctica que llamaron la atención a nivel mundial Con la aclaración que este último sistema (*Pilotes de Control*), en condiciones de inadecuada o nula conservación resultan ser de gran peligrosidad, como lo ocurrió en los sismos de 1985. El arquitecto José Creixell Mendez por sus investigaciones, cuyas metodologías para confrontar y revisar el diseño sísmico se considero en el Reglamento de Construcción de la ciudad de México y fueron dadas a conocer publicamente, tanto por sus publicaciones especializadas como por el mismo Reglamento actualizado en 1986.

Apud. ing. Manuel, González Flores (1979- 1984) y arq. José Creixell M. (1986) Curso de actualización: "*Tradición y Seguridad en el Diseño Estructural*." Conferencias dictadas en la División de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM,

de suelos porosos e incluso de cavernas con fallas estrepitosas ante la presencia de un temblor.²⁰

Con anterioridad las afectaciones debidas al cambio de suelos no fueron tan notorias, pues las cimentaciones predominantes fueron superficiales y corridas; en las peores circunstancias las construcciones presenciaban solo hundimientos diferenciales, pero eran tolerables las deformaciones de la estructura debida a la acción de los suelos.

A medida que se acerco el final al siglo XIX y principios del XX, se experimentaron con otros materiales y tecnologías, tales innovaciones debidas a fundaciones y estructuras de elementos altamente industrializados; también apareció el uso de pilas y pilotes substituyeron las técnicas de ataguías utilizadas en Europa y Estados Unidos hasta la primera mitad del siglo XIX. ²¹

La ciudad de México por sus terrenos ofrecía otras circunstancias altamente compresibles producto de orígenes, tal hecho era como si se tratase de un laboratorio escala uno a uno, para construir. La fabricación del teatro de Bellas Artes es un ejemplo notorio y que aunque se trata de un edificio terminado en 1934, su tecnología obedece a los modos de finales al siglo XIX; sobre este hecho las experiencias citadas por los Ingenieros Barocio y Alvarez que en 1927 se dedicaron al análisis de la verificación y consolidación del subsuelo. Encargandose de su recimentación a base de inyectores y

20

Nota: Entendiendose arquitectura de la tierra, como lo explican A. J. Francis y Dowrick, en sus respectivas publicaciones. En este caso (arquitectura de la tierra), como la forma de estructuración natural de las capas de los suelos, con sus diferentes estratos y materiales y con la presencia de fluctuaciones de aguas freáticas, etc., que justamente dan origen a la mecánica de suelos

D. J. Dowrick: *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos: para Ingenieros y Arquitectos*: México, 1984, Ed., LIMUSA, 410 páginas, ILUS., página 151

Y en torno a :

Licuação de suelos no cohesivos saturados:

"Bajo carga sísmica algunos suelos pueden compactarse, incrementándose, la presión de poro en el agua, causando una perdida en la resistencia al cortante. Este fenómeno se conoce generalmente como Jacob, Feld.; *Fallas Técnicas en la Construcción*, México, 1978, Ed., LIMUSA, 491 páginas, Fotos., ILUS. pág. 46"

Se sabe de algunos ejemplos clásicos de edificios que perdieron su verticalidad a consecuencia de la falta de uniformidad del suelo donde se cimentaron. Probablemente la torre de Pisa sea el caso mas estudiado y conocido de un edificio inclinado que a pesar de todo tal vez a sus 5 grados de inclinación, esta aún en servicio, de la misma forma sucede con el palacio de Bellas Artes en la ciudad de México, con asentamientos que miden metros y que continua aumentando día con día."

Vease: D. J. Dowrick.; *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos: para Ingenieros y Arquitectos*: México, 1984, Ed., LIMUSA, 410 páginas, ILUS., página 59

Dibujo 3.1 del diagrama esquemático que muestra la geología local y las características del suelo (en torno al problema específico de la ciudad de México).

²¹ APUD. Manuel, González Flores.; *Proyecto de Recimentación y Reestructuración de la Catedral Metropolitana*, presenta; y visitas, supervisión de obras durante 1979, en los edificios de Capuchinas anexos a la antigua Basílica de Guadalupe y en conferencias dictadas durante, 1978, 1979, y 1984, en la D. M. H. del I. N. A. H..

cuyo intento fue el de estabilizar la estructura; ya que en su conjunto se hundía peligrosamente. 22

De estos ejemplos tenemos los sistemas del tipo Chicago y el sistema Hennebique utilizados en la construcción de edificios ejemplares cuya tecnología se puso muy de moda a principios del siglo XX. Edificaciones de varios usos mostraron problemas con la tecnología importada, que a pesar de sus ventajas no se encontraban totalmente adecuadas para los suelos. 23

Para lograr en conjunto la comprensión y el dominio de la construcción desde su forma, núcleo o centroide; la unión o empotramiento ejerce mucha influencia e importancia en la búsqueda de la unidad estructural misma que se encontraría como la parte esencial. Llamada desde la primera mitad del siglo XX como continuidad de momentos debidas al análisis de estructuras complejas o redundantes alejadas de demostraciones sencillas singularmente expuestas en los principios básicos de la estática.

Cada parte de la estructura se fue definiendo como elemento especial dedicado a cubrir una función de utilidad y raciocinio. Así derivándose cada subsistema estructural, la cimentación por primera vez requiere además de los contrafuertes y muros de contención, de una atención plenamente especial, como una parte subestructural, con una mayor complejidad debida a la exigencia de construir edificios de mayor altura en terrenos de la ciudad de México altamente compresibles, con niveles

22

F. Tedesco y Forestier: *Manuel Theorique et Pratique du Constructeur en Ciment Armé. (Avec une note sur le calcul des Arcs)*, Op. Cit., France, Paris, 1909, Libraire Polytechnique C. H. Beringer, Editeur, 535 páginas, páginas 195 y 196 :

"Tel est le système de fondation primitivement prévu pour établir l'assise du *Palais Legislatif de Mexico* actuellement à l'étude, cet important édifice, dont la construction a été confiée a un architecte français M. Bernard, repose, par l'intermédiaire d'une série de piles metaliques ou en maçonnerie, sur une fondation par radier general qui présente d'énormes difficultés. Le sol de Mexico est en effet constitué par le remblaiement sur 175 à 200 metres de hauteur d'un ancien lac comblé par des materieux volcaniques qui ont coulés par couches successives."

23 Nota. En los *Apuntes de Estabilidad de las Construcciones de las clases dadas por el profesor Claudio Castro y tomadas por los alumnos Guillermo Bazán, Carlos Gayón y Enrique Montero* en 1910 en la Escuela de Minería e Ingeniería, tenemos un claro reflejo de la preocupación originada en desde el último cuarto de siglo por el conocimiento y dominio de las nuevas tecnologías, cuyas posibilidades se empleaban notoriamente tanto por el uso de materiales como las cimentaciones profundas a base de pilas, pilotes, cuyos cálculos venidos de Europa se estudiaban para posteriormente aplicar y conocer el problema en la ciudad de México en obras directas que mostraron sus consecuentes aciertos y errores por los comportamientos futuros tan diferenciales en las edificaciones que como una nave tendían a sugerir un movimiento continuo, además de los posibles temblores.

Claudio, Castro,; *Op. Cit. 1910*, página 2 :

"Una construcción estable es cuando esta en equilibrio estático, sin que el trabajo elástico de los materiales empleados exceda en un punto del límite de seguridad convenido para cada uno".

La estabilidad de las construcciones es una ciencia de aplicación fundada sobre la Mecánica racional y sobre la Resistencia de Materiales que tiene por objeto verificar el equilibrio estático y valorar el trabajo elástico para detectar las dimensiones".

freáticos en las capas superficiales. 24

Recomendaciones y criterios para arcos y bóvedas:

Presentaré a continuación los estudios característicos que para el cálculo de arcos, corresponde un criterio de diseño propio del siglo XIX, que a su vez emana, de la reflexión de la experiencia constructiva y que tiene validez en su aplicación para análisis actuales, pues gran parte de los edificios existen y son no solo un muestra del patrimonio histórico, sino que también se encuentran en uso y por lo tanto, si es necesario requieren un estudio mas apegado a su originalidad estructural y por tal razón entregar un diagnóstico apegado a la realidad, como han sido en casos extremos de urgencia, posteriores a fuertes temblores. Por ello es indispensable conocer los criterios de diseño originales, para de esta forma y con criterio; confrontándolos con las metodologías actuales; con sus normas, reglas y caminos.

Aunque parezca un anacronismo, por hacer énfasis en mostrar los criterios de hace cien años. Mas que esto la intención es utilizar con criterio el conocimiento las estructuras de los edificios y monumentos de la época de estudio para que con mayores bases se comprendan mejor y por tal motivo resulta importante conocer las fuentes directas en los tratados que como documentos intelectuales presentan la exactitud de sus soluciones constructivas y estructurales y de esta forma saber con que criterio se diseñaron, para partir en criterios de análisis cuando su reestructuración sea necesaria.

Es por tanto importante recordar que a finales del siglo pasado los ingenieros y arquitectos Torres Torija y Tellez Pizarro anunciaron tanto en los medios de la construcción, como en la academia de San Carlos, Colegio y Escuela de Ingeniería las nuevas modalidades del análisis estructural en su totalidad; por ejemplo Los Tellez Pizarro (Adrián y Mariano) fundamentas sus criterios de las cimentaciones con base al conocimiento del valle de México, basados en la experiencia constructiva; y

Nota:

La explicación de Bernard en la revista técnica de: *L'Exposition Universelle* de 1889, comprende varios atlas a nivel enciclopédico, contiene la explicación escrita y claramente mostrada en de planos y fotografías, los avances sobre la construcción de la *Galérie des Machines*, y la obra preliminar a base de torres metálicas que se fueron modificando y ampliando (dos laterales de 36 mts. y la central llegó a poca más de los 48 mts.) y se desplazaban sobre vías, integrando grandes cimbras móviles, formando prácticamente una industria montada en el sitio, auxilia de poleas, polipastos y la maquinaria más avanzada. La realización del primer eje llevo al clave articulada sin contar con la parte opuesta, como extremo necesario de equilibrio para la construcción de un sistema abovedado, debida a la propia infraestructura de la obra, los apoyos opuestos, previamente cimentados y articulados, consecuentemente a ejes se fueron armando los montantes curvados, auxiliándoles con cumbreras de las torres a base de viguetas de secciones especiales del tipo "T", sobre las cuales en cada extremo se apoyaban polipastos sobre bases deslizantes, hasta llegar la armadura final con sus perfiles diagonales hasta lograr desdoblar el brazo con un sistema de poleas repartidas para cerrar y unir la estructura con la sección antes concluida.

La cimentación fue del todo ingeniosa. Consistió en una excavación inicial de 7.5 mts. aproximadamente, de donde se procedieron a hincar pequeños pilotes, y sobre las cabezas de los mismos se coló una base escalonada de concreto y armado con perfiles metálicos hasta llegar con un dado anclado y sobre este el apoyo articulado a un sistema de pernos, para unirlos al brazo que integra al montante es perfectamente movable en su eje a la estructura que finalmente integra una secuencia de pórticos ensamblados cuyo claro total fue de 114 mts.. En general el diseño de la estructura porticada se baso en una lógica orgánica ampliando las bases y su altura el centro, con un mayor empalme hacia los extremos todos ellos con perfiles desmontables, abriéndose un nuevo camino de la construcción hacia la prefabricación.

24 Apud., Gustave, Eiffel, *L'Architecture de Trois Cents Metres*, Paris, MDCCCC, Ed., Imprimeries Lemercier, 368 paginas, p. 23 ' 35.

por tal razón buscan soluciones apegadas a la práctica de la construcción. 25

Los Torres Torija (Antonio y Manuel) se inclinan más por el campo de la teoría, abriéndose caminos en el estudio matemático quizás difícil abstracto basado en el cálculo diferencial e integral que para el análisis de vigas es la línea a seguir que posteriormente *Hardy Cross* en la primera del presente siglo aporta su metodología sobre la continuidad de momentos, fundamentada en la teoría estructural del acero y concreto armado.²⁶

Al finalizar el siglo XIX, en la academia de San Carlos y la escuela de ingeniería siguen las tendencias en el diseño y tecnología europeos, mas sin embargo las enseñanzas en las experimentaciones de nuevos sistemas de cimentación aplicados en los futuros edificios, tanto el Palacio Legislativo como el de Bellas Artes, pues los fracasos llevaron a retomar sistemas tradicionales, algunos aplicados no solo desde la colonia, sino del México antiguo, quienes fueron amplios conocedores de los suelos del valle.

Posteriormente al siglo XIX los estudios que imperan surgen a raíz precisamente de la alta especialización; los manuales de construcción y en general los libros de arquitectura e ingeniería substituyen a los tratados clásicos, pero más que nada el enfoque de los mismos sigue siendo vigente en las primeras décadas del presente siglo, solo que la inadecuada interpretación los hace un tanto fuera de lugar. Las nuevas estructuras de concreto y acero dominan el mercado de la construcción, dejando de practicar sistemas tan antiguos.

Por tal razón los estudios de arcos y bóvedas cada vez más se abandonan y si es preciso la nueva teoría estructural propone otros caminos fundamentados en el análisis por continuidad de momentos, como base de la unidad estructural.

Síntesis:

Tradicionalmente en algunos manuales se continua la mención del cálculo de arcos y bóvedas; con sus respectivos sistemas de apoyos como contrafuertes. Incluyendo una serie de reflexiones que con la intención de unir y/o aplicar la tratadística como fuente directa, algunos de los de estudios especializados actuales, en los edificios históricos de la época para su utilidad e intervención, ya sea con el uso de materiales originales, modernos, o la combinación de tecnologías. Se conduce a los siguientes criterios, que más que un recetario son fragmentos del como analizar un sistema tipológico abovedado para obtener y comprender su diseño, situación actual de carga y deterioro, con la posibilidad de su restauración, es decir mantener la seguridad de la estructura y así conocer con sencillez la verdadera forma de trabajo estructural y no adelantarse a "correcciones" sin diagnóstico, con losas y traves

25

Apud., Jose y Adrián, Tellez Pizarro, *Historia de la Construcción*, Op., Cit, Fundación Antonio Alzate, *Cimientos de los Edificios de la Ciudad de México*, México, 1899 81 p. ILUS.

26 Apud., Antonio, Torres Torija, Op., Cit., *Curso de Calculo de Construcción de Estructuras*, México, 1894, (Director de Obras Publicas, y Profesor de las clases de Mecánica de la Escuela de Bellas Artes de San Carlos) 294 p. LAM, Oficina Tipografica de la Secretaria del Fomento, Apud., Antonio, Torres Torija, *Introducción al Estudio de la Construcción Practica*, Mexico, 1890, 140 p., LAM, Oficina Tipografica de la Secretaria del Fomento,

concreto armado en una estructura con otras cualidades de rigidez, flexibilidad, etcétera. Por ello enunciaré los siguiente: ²⁷

Una vez determinado el levantamiento del arco o bóveda, se deberá trabajar sobre la sección del mismo; previamente se tendrá un dictamen o análisis sobre los deterioros y efectos del tiempo que presente, como deformaciones, faltantes, agregados, disgregaciones, desfazamiento; incluyendo las cualidades y estado de los materiales, tanto de las mamposterías como de los morteros y tipos de solución de juntas.

La sección se subdivide en tramos, los cuales dispongan con mayor realidad los espesores y manejo de materiales. La bajada de cargas se realiza por cada tramo e íntegramente se suma la primera componente vertical que es el peso total.

Por tal razón el trazo del dinámico, es práctico, pues también indica la forma de trabajo del mismo. Continuamente en los tratados y manuales se menciona la necesidad de suponer una línea de presiones la que no rebase el tercio medio, así se puede partir de dos alternativas basadas en el punto de aplicación del empuje total en la clave de mismo arco. ²⁸ (Dibujo 8 tema 3. D)

Una la alternativas supone el punto crítico o desfavorable, mientras que la segunda tiene mayor índice de caer en la estabilidad.

Así se cursa el dinámico compuesto por una serie de rayos que parten hacia el mismo tercio del semiarco: Algunos autores y/o profesores de la facultad en las clases de estática, enseñan lo práctico de este sistema gráficamente, para vigas, obtención de resultantes de sistemas de fuerzas y demás ejemplos; solo que no se vuelven a mencionar en los cursos siguientes.

Con el anterior dibujo podremos obtener el trabajo de la clave y cada uno de los puntos de interés, como los riñones y base del mismo arco o bóveda. Sobre los procedimientos y modos de aplicación, la tratadística de la arquitectura muestra variantes, tanto para ejemplos en iguales condiciones de carga, como recomendar para casos especiales procedimientos gráficos, que a su vez se concluyen matemáticamente. Así por ejemplo el empuje total (resultado del caso más desfavorable): "H"; el trabajo del material se obtiene considerando las secciones efectivas. Aunque debemos considerar que estas expresiones siguientes presentadas por Paul Planat se encuentran sobradas, ya que multiplica la fuerza actuante por dos, es posible una eventualidad práctica la que sugiere tal apreciación y más que pretender llegar a la exactitud coincide en un trabajo armónico del material, pero sin llegar al límite de sus

²⁷

Apud., José Villagran, García, *Teoría de la Arquitectura*, Op., Cit., México, 1988, Facultad de Arquitectura de la UNAM, 530 P. Fotos, ILUS,

²⁸

Nota: Podemos aplicar los dinámicos de la tratadística de Paul Planat, Reynaud, etcétera, mismos que son ejemplificados con criterios semejantes en el *Manual del Arquitecto y Constructor* de Kider-Parker; e incluso las bases fundamentales que utiliza Felix Candela para el cálculo de cascarones de concreto armado, tanto en arcos como en colgantes parten de los mismos principios. (Nota es determinante prever en su totalidad la concepción de la estructura junto con sus apoyos, y el como se transmiten o fluyen las cargas hacia la cimentación).

esfuerzos.

Mientras que en el arranque del arco, la expresión se expresó igual; solo que por lógica el empuje "H" es superado, es decir la magnitud, dirección y sentido cambia notablemente en el punto de aplicación de la fuerza resultante "R". Mismo que se indica sencillamente en el dinámico. (La fatiga obtenida en kilos por centímetro cuadrado).²⁹

Para comodidad de la evaluación de los los arcos es posible simplemente partir directamente del empuje total situado en la clave, la fuerza total o producto del peso y la resultante ubicada en el arranque. Este sistema es acertado para estructuras normalmente simétricas y con cargas continuas.

Las estructuras abovedadas se encuentran resueltas por geometría de la construcción, existiendo continuamente una confusión y/o descalificación, pues su unidad estructural y su tecnología es diferente.³⁰

El diseño estructural en los sistemas abovedados por tanto concurre en un paréntesis, sin por ello desconocer los avances científicos y tecnológicos. Solo lo que se plantea una solución en forma de reflexión que nos conduzca a criterios de diseño, con resultados acertados prácticos, sin perder los objetivos.

29

Nota: El anterior estudio se puede hacer lo más detallado posible, por ejemplo obtener la fricción que actúa sobre una de las secciones o dovelas del arco; segun Jose Creixell. *Op. Cit.*

30 V. Pérez, Olama,. *Op. Cit.*. Reflexión de Huft Reyes, (Prólogo) *El Concreto Armado en las Estructuras* ,
"Si dirigimos nuestra atención al siglo XVIII observamos que el diseño de algunas estructuras dan la impresión de ser genuinas obras predecesoras al estudio de la combinación de materiales y al análisis de esfuerzos de tracción.
Sin embargo, es hasta finales del siglo pasado cuando, a través de cálculos científicos, hallamos estas estructuras y por primera vez se investigan las posibilidades arquitectónicas y formales de un nuevo material: El concreto armado."

4 C).-Recomendaciones y Criterios de intervención sísmica:

Introducción:

Una correcta interpretación para intervenir un inmueble histórico, resulta fundamental del estudio y conocimiento de la tecnológica basado en tratados de arquitectura, la literatura especializada y los textos y procedimientos constructivos actuales. Válidos instrumentos para el diseño y obras de restauración, no olvidando que tales documentos por si solos contienen una información científica directa y que nos indican los materiales y sistemas constructivos, con sus resistencias reales, además de incluirnos los procesos y criterios de diseño con los que fueron creados, pues los arquitectos, ingenieros y constructores los tuvieron como fundamento.

Por lo antes expuesto es necesario conocer las técnicas de origen; ya que el avance tecnológico presenta por grandes diferencias a lo largo del tiempo, por la forma de realizar la edificación de la ciudad y constituir sus monumentos.¹

La restauración en cierta medida es un enfoque del diseño que debe actualizar, conservar y mantener, sin falsificar o suponer la obra arquitectónica original; es por lo tanto un arte, ya que es el entendimiento y comprensión de la arquitectura, es por ello una recreación de la obra inicial, por lo que la estructura será una parte integral inseparable y desde luego su tecnología misma que se encuentra implícita. Todo ello requiere de sólidas bases científicas, y particularmente resulta

1

Oscar, Olea, "*Metodología para el Diseño*": Urbano, Arquitectónico, Industrial y gráfico : (Pág. 15).

Por otra parte si se considerara que la edificación de la catedral de Chartes se llevó a cabo en 282 años y que en la actualidad las técnicas permiten construir 400 veces el volumen de esa catedral en solo un año, cabrá pensar que los viejos instrumentos de diseño, tanto como las viejas técnicas edificatorias, no deben seguir siendo las mismas, ni deben controlarlas un mismo sujeto, sino todo un grupo, que crecerá de acuerdo con las necesidades del proyecto.

Este es un sistema de trabajo en equipo multidisciplinario, que en México se maneja en forma rudimentaria."

paradójico el diseño antisísmico. 2

Podemos sintetizar que es necesario para resolver deterioros estructurales, combinar las cualidades del diseño con sus tecnologías, evidenciando la experiencia de la arquitectura histórica, como un laboratorio a escala natural. Presenta las lecturas necesarias para determinar los criterios de intervención, los que deberán estar fundamentados en los estudios y análisis asegurando en los ideal de la unidad estructural original. 3

La teoría de la restauración y la estabilidad de monumentos y edificios históricos no se contraponen, sino mas bien la una con la otra disciplina son fundamentales apoyos. La reestructuración como tipología de la restauración es la encargada de conjuntar el criterio y llegar a soluciones lo mas practicas posibles, basadas en un apoyo científico. Recordando que el arte de diseñar una estructura es igualmente la razón de ser de la arquitectura histórica, como manifestación creadora del *patrimonio cultural*, concluyendo en una síntesis de espacios seguros y habitables.

La *reestructuración* se encuentra íntimamente relacionada y complementada por las demás tipologías la *restauración*, especialmente: *consolidación, reintegración e itegración*, como con la aplicación de las mas modernas tecnologías.

Fundamentos previos:

Los proyectos deben contener la eliminación y liberación de construcciones agregadas al diseño original, como pisos, entrepisos, y todo tipo de sobrecargas adicionales, debiéndo

2

Rafael, Farías, Arce: *Muros de Carga y Sismo*, México, 1984, UNAM, (Segunda Edición, fundamentada en el Reglamento de las Cosntrucciones de 1976), 142 páginas, ILUS, Fotos. p. 22

"En todos los casos analizados (páginas 10 a 21), las formas de calcular las rigudeces y los desplazamientos, son sumamente burdas, puesto que no dr toma en consideración la liga que todo el sistema de piso proporciona a los diferentes muros, no obstante, el tratar de tomar en cuenta esta consideración, conduce a procedimientos de análisis de una gran complejidad que no se justifica debido a las significativas incertidumbres que existen en todas las variables a consideral"

Al respecto y sobre el mismo tema de los procedimientos de cálculo y sus aproximaciones como ambigüedades, tenemos lo siguiente:

José Creixell, *Construcciones Antisísmicas*, México, 1981, (Segunda Edición), Compañía Editorial Continental., en adelante, *Op. Cit. C. A.* (pág. 8)

"Si consideramos las incertidumbres, indeterminaciones y complejidades que normalmente se presentan por todo ello, en el cálculo de la mayoría de las construcciones antisísmicas, tenemos que llegar a la conclusión de que su diseño es más bien un arte que una ciencia.

Sin embargo, dicho arte, de una manera imprescindible, tiene que fundamentarse y nutrirse sólidamente en los postulados y verificaciones de la técnica, el cálculo y la experimentación"

3 A. Reigl,; *Culto Moreno a los Monumentos*, España, 1987 (Primera Edición, 1903), Ed. Balsa de la Medusa, 99 páginas., página 81,

"Más aun: toda la conservación de monumentos históricos del siglo XIX se basta en una parte muy considerable en esta concepción tradicional, mas exactamente, en una intima fusión del valor de novedad, como el valor histórico. Toda huella notoria del deterioro por acción de las fuerzas naturales habían de ser eliminados, lo fragmentario o incompleto había de ser completado para volver a restablecer un todo cerrado y unitario.

La rehabilitación del documento en su estado original de Génesis fue, en el siglo XIX, el ejetivo manifestante declarado, y prolongado con ardor, de toda conservación racional de monumentos.

conservar libres vanos y alturas originales procurando mantener todo tipo de proporciones originales (relación de esbeltez) de columnas, muros, arcadas, pórticos, alzados y espacios en interiores. Así mismo proponer reintegrar faltantes en la estructura original, con soluciones alternativas que cubran requerimientos para volver a conseguir la unidad estructural original.

La conservación del trabajo de la unidad estructural original como fundamento esencial, reintegrando elementos estructurales faltantes y manteniendo las cualidades propias de su comportamiento, tanto en sus materiales, como tecnología de origen.

Conservar la disposición de envigados y apoyo en tanto a secuencias de cargas, para arcos y bóvedas es importante conservar su sistema de carga por compresión, y tener especial cuidado que no pierda su función estructural ya que de ello depende su resistencia, se deberá tomar como complemento a esto el mantenimiento de rellenos ya que cumplen también estos una acción estructural, por lo que la unidad estructural se comprendera por las leyes de la estática, manteniendo las rigideces e igualdades de resistencias tanto de elementos, como de materiales.

Son posibles y tolerables los alabeos y deformaciones que por efectos del tiempo se presentan en muros, mientras estos no rebasen su descarga en su tercio medio. Las fallas como grietas y fisuras en sus magnitudes y continuidades obedecen a la fragilidad de sus materiales y del organismo que conforma la estructura, su presencia requiere de consideraciones y análisis no solo para comprenderlos sino para dar alternativas de intervención.

Es posible reestructurar un edificio histórico con tecnología moderna o combinada, siempre y cuando no se modifique su sistema de trabajo original; será adecuado reestructurar sistemas constructivos modernos que asuman cargas y esfuerzos no previstos originalmente, como ejemplo de ello, es el sistema de torres elásticas sugeridas por el ingeniero González Flores que resuelve un caso particular y determinado.

Es indispensable que la propuesta de estabilidad emane de un proyecto integral de restauración o rehabilitación, con planos y soluciones detalladas, con sus respectivas especificaciones, memorias de cálculo y criterio de intervención.

Todo proyecto y obra requerirá de un levantamiento y análisis de deterioros estructurales previos, así como de recomendaciones para su uso y mantenimiento. La habitabilidad de un edificio antiguo debe ser acorde a sus posibilidades estructurales; debiendo tomar especial cuidado en la ubicación de materiales pesados o equipos que produzcan fuertes vibraciones. Es fundamental dejar una memoria y para las futuras generaciones para una posible atención que en el momento no sea factible desarrollar, por limitaciones económicas o tecnológicas.

Actividades preliminares:

Tanto estudios, trabajos preliminares como a participaciones multidisciplinarias, deben ser un apoyo congruente; particularmente los referidos a la arqueología que adquieren una importancia tal en el desarrollo de la obra, por el cuidado y asesoramiento estructural, ya que en ocasiones han puesto en riesgo la estabilidad por posibles derrumbes, poniendo en peligro a los operarios como a la misma estructura. Los trabajos previos y preliminares e investigaciones tanto documentales y de campo, incluyen levantamiento y análisis de deterioros, que de una manera efectiva el historial clínico implemente un marco teórico junto con la memoria de análisis, tanto estructural, de diseño y de restauración; determine integramente las causas y los efectos de trabajos urgentes tales como apuntalamientos (fig. 1 y 2).⁴

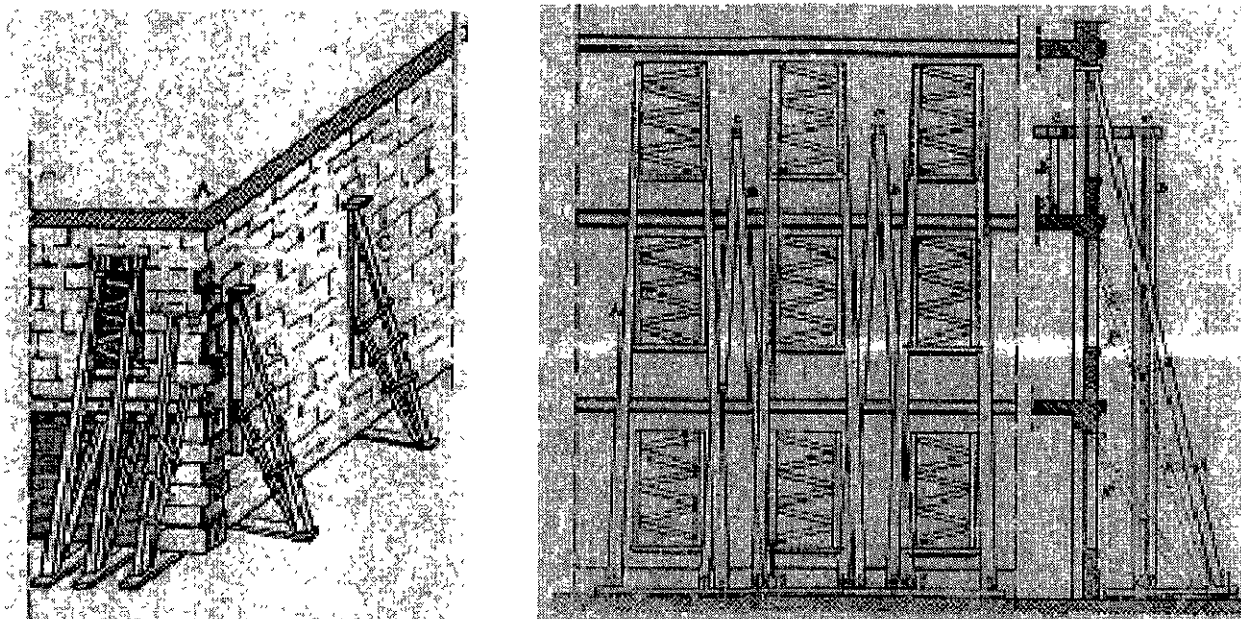


Fig. 1 y 2 Gustave Oslet, (1850), *Op. Cit.* tomo IV, pág. 500 y 499.

Es necesario tomar especial cuidado en la colocación de estos, en columnas, postes, tensores, marcos rígidos, losas de concreto, armados o reforzamientos en muros, recimentaciones como las de pilotes, estructuras armadas adosadas o integradas etc., ya que son herramientas tecnológicas importantes, pero tales substituciones requieren de un sustento científico que cumplan con eficacia su cometido y no resulten contradictorios, ya que se pueden alterar las condiciones en su unidad estructural; debidos a cambios de rigidez, ductilidad, fragilidad, etc.,

4

Antonio Torres-Torija, *Introducción al Estudio de la Construcción Práctica*. Mexico, 1890, Oficina tipografica de la Secretaria de Fomento, 144 paginas, LAM., p. 123

Apuntalar un edificio es una operación que se ejecuta a menudo en construcciones viejas, o sobre todo cuando hay que hacer reparaciones en ellas... Es muy difícil poder dar reglas sobre el modo de combinar las piezas que constituyen un apuntalamiento, y la experiencia solo será la que guíe, porque su disposición puede variar según las circunstancias “ ”,

pudiendo ser peligroso para su equilibrio.

Consideraciones especiales:

La ciudad de México y por el tipo de sus terrenos de origen lacustre, se deberá tomar especial cuidado en las cimentaciones, debido a posibles afectaciones o fallas originadas por la licuación de sus suelos, por lo que es determinante considerarlo amplias consideraciones (origen geológico, histórico, mecánica, estabilidad etc.). (fig. 3)



fig. 3

La ciudad de México con su límites naturales en el S. XIX. y construcciones bajas y de gran rigidez.

Plano del Anuario Universal de 1881, Filomeno Mata (publicación)

Ed. Smurfit-INAH, S. Lombardo Compilador, *Op. Cit.*, lam. 172,

Elementos de gran altura, como torres, espadañas, chimeneas, chapiteles, cumbres, cúpulas y contrafuertes necesitan una revisión especial; como los edificios ubicados en esquinas o sobre grandes rellenos, con modificaciones considerables debidas a fuertes desniveles cercanos, colindantes a edificios piloteados o demolidos, con fuertes mutilaciones y agregados, que han generado juntas o despliegues constructivos no previstos requieren de consideraciones sísmicas muy particulares.

Es factible la revisión y análisis estructural gravitacional y sísmico por medio de la combinación de procedimientos, como son las proporciones armónicas, los gráficos estáticos y

dinámicos; el apoyo tanto en la tratadística de la arquitectura, como en las fuentes originales de consulta y de la literatura actual especializada; tomar un especial cuidado en su geometría, y poder conservar ideal e intacta su unidad estructural original con soluciones deberán sintetizarse procedimientos y tecnologías prácticas.

Las adecuaciones e integraciones deben respetar la estructura del inmueble; sin mutilar apoyos como muros de carga o entresijos etc. Conservar alturas y proporciones, entresijos y sin agregar niveles o sobrecargas. Las instalaciones y el montaje debe programarse exenta, es decir sin afectar o tocar la estructura del edificio.

El modo de vibración de la estructura de un edificio histórico debido a su rigidez e inercia, es diferente a la flexibilidad de una estructura a base de columnas de concreto o metálicas, presentando esfuerzos no previstos y peligrosos debidos a comportamientos desiguales de una estructura con la otra.

La mayor una densidad de estructura en edificios históricos, es debido a la continuidad de muros de carga y dentro de una simetría y armonía lograda en plantas y alzados, se tendrán que considerar otras posibilidades por sus modos de vibración. 5

Criterios para el Diseño Sísmico: (aplicaciones)

Criterios generales:

Es fundamental reconocer la geometría de la solución arquitectónica para comprender su estructura, así: plantas, niveles, simetría, proporciones, volúmenes, forma, tipo de terreno, procedimiento constructivo, tipo de estructuración, tipos de zona, estado de conservación, uso original y actual, urbanística (ubicación en torno al conjunto y relación de colindantes); modificación, deterioro estructural, alteración, que en conjunto determinaran cualidades estáticas y dinámicas en las edificaciones del siglo XIX, en la ciudad de México; con cualidades, comportamiento a través del tiempo, limitantes y ventajas que se definen, como una tradición y experiencia constructiva; presentando una singular y diferente consideración respecto a las construcciones actuales, pues en si, tienen su particular configuración estructural, que como organización totalizadora y como parte de la misma contiene su unidad estructural, la cual requiere de una dedicación en especial como es el caso de conocer los efectos que producen los

5

Apud. Arnold Cristopher y Robert Reitherman: *Op. Cit., Configuración y Diseño Sísmico*, paginas 74 y 75.

sismos y determinar el como conservarlos e intervenirlos adecuadamente. 6

Los materiales y procedimientos constructivos de las estructuras de edificios generan una tecnología propia, cuya naturaleza obedece a condicionantes de gravitación o "*carga accidental*" debidas a impactos (vientos o sismos); con su propia orgánica y lógica física le concede unidad, ordenada por la geometría de la construcción, lograda por eslabones, sin embargo todo el conjunto puede tener diferencias en su transmisión de cargas por lo cual la hacen aceptar nuevas disposiciones al presentarse alteraciones y en cierta medida pueden asumir una discontinuidad en su organización total (por ejemplo un entrepiso puede deformarse o fallar parcialmente sin que afecte al resto de la estructura). Esto parecerá una aberración pero mas bien trata de diferenciarse de las construcciones actuales cuyas cualidades se basan en una continuidad de momentos, cada parte se relaciona la una con la otra, entrepisos y apoyos en su conjunto forman diafragmas compuestos; cada porción de masa horizontales y verticales se entrelazan y las uniones resultan de vital importancia pues tiende a repartir y tender a ejercer combinaciones de esfuerzos llamados momentos de empotramiento, con materiales y técnicas altamente desarrolladas y cuya tendencia para las edificaciones de grandes claros o varios pisos lograndose estructuras de mayor flexibilidad, tales sistemas de estructuración no aceptan fuertes deformaciones o fisuramientos y su particular condición es que la tendencia del conjunto es no aceptar la falla en sus elementos integradores que como cadenas o eslabones unos a otros son vitales, como es el caso del concreto armado concebido monolíticamente. 7

Mientras que para los edificios históricos es importante indicar la razón que contiene en su unidad estructural fundamentada en elementos constructivos ejecutados con materiales denominados frágiles, y con apoyos masivos continuos de gran rigidez que sostienen cubiertas que asumen flexibilidad, con la aceptación de diversos movimientos y deslizamientos entre unos con otros concentrando cargas parciales en los apoyos perpendiculares, se encuentran

6

Christopher, Arnold, y Robert, Reitherman (Colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker): *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*, México, 1987 Ed. LIMUSA, 298 páginas, ILUS. pagina 17:

"Una parte de la resistencia inherente del edificio a fuerzas laterales esta determinada por su planta básica de distribución..."

Los ingenieros están reconociendo que la forma, simetría, y distribución general de las construcción desarrolladas en la etapa conceptual, son más importantes, o contribuyen de una forma más significativa en la determinación exacta de las fuerzas especificadas por reglamento"

7 D., J., Dowrick, *Diseño de Estructuras resistentes a Sismos: para Ingenieros y Arquitectos, Op. Cit.*, Ed. LIMUSA, México, 1984, 410 páginas, ILUS. página :103

"En la determinación de la forma de la estructura, la elección del material es a menudo un factor importante. Algunas veces la elección del material estructural será dictada por la disponibilidad. ...

Alta ductilidad, Alta relación de resistencia/peso, homogeneidad, ortotropía, y facilidad para hacer conexiones de resistencia plena."

compuestos por materiales de diversas naturalezas y sus uniones tienden a no ser rígidas, aceptando, en cierta medida, nuevos acomodados o disposiciones como lo son agrietamientos y deformaciones que aunque limitan su resistencia, y en caso de falla el lugar es local. 8

Para el caso del sismo, se asumen en pocos momentos diferentes modos de vibración, en el caso de estructuras históricas debemos entender que esa unidad estructural tiene la particularidad de actuar independiente y aislada si tenemos cuerpos de varias dimensiones, los de mayores masas y alturas (cúpulas y torres), tienden a iniciar modos de vibración, que por lógica a mayor altura se manifiestan como estructuras ondulantes que tienden a chicotearse, tales casos son evidentes en los templos donde sus torres prácticamente son como edificaciones separadas y por lo tanto, se comportan como si se tratasen de estructuras colindantes pero que tienen la cualidad de actuar con libertad; este es un punto de vital importancia y que aunque parezca difícil y contradictorio es una de las funciones de su unidad estructural; de esta forma mientras la partes altas vibran con mayor intensidad y de diferentes modos, sus partes bajas asumen por lo general un igual ritmo o semejante, esta situación depende del tipo de temblor y de los suelos que entre otros aspectos condicionan las tendencias en sus períodos de oscilación y de comportamiento unido todo ello a la forma, simplicidad y simetría. 9

Por lo que respecta a las formas o modos de vibración una estructura de esta magnitud puede tender, en un mismo sismo a varios tipos de desplazamiento y por lo tanto tener mayor diversidad en las tendencias de los modos de vibración, situación que tiende a no ocurrir en la edificaciones contemporáneas aquellas con trabes y columnas continuas con entrepisos de concreto que como cuchillas transmiten sus masas horizontalmente hacia los puntos de apoyo

8

José, Creixell, *Estabilidad de las Construcciones*, México, 1984, Compañía Editorial, Continental, 469 páginas, ILUS, página 23: (Y su nueva edición 1994)

"Desgraciadamente, la fuerza que él (sismo) provoca en la base de la construcción y los esfuerzos que produce en las diferentes partes de la misma, no son de tan sencilla determinación, pues ningún edificio es completamente rígido y su flexión, muy reducida cuando está construido en fuertes muros de carga ..."

9 A., Reitherman y W. Holmes, *Op. Cit.* página 17 :

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

siendo los empalmes los puntos mas críticos de la estructura. 10

Los modos de vibración entre una edificación contemporánea y una construcción histórica tienden a ser diferentes, desde luego que la clave son sus materiales, procedimientos constructivos y tipo de estructuración, es decir de su configuración total. La forma de vibrar puede ser más de un periodo e incluso depende de su proporción, diseño, tipo de apoyos, y anclaje en el mismo terreno, como del mismo tipo de suelos.

Para edificios del siglo XIX y anteriores construidos en la ciudad de México, las estructuras por su tipo de apoyos tienden a ser rígidos, sus materiales a base de mamposterías también los hacen pesados y voluminosos, solo que contrariamente a su predominio de rigidez, cuentan con un mamposteo y morteros que los hacen tener elasticidad y flexibilidad, con mayores ventajas que los edificios altos y flexibles, de mejor comportamiento ante los temblores, en terrenos suaves y compresibles, cuya capa de arcilla y aluvión sobre la cual se levantan, ubicando la capa resistente a una profundidad mayor a los 40, metros. en el centro de dicha ciudad.

El predominio de las masas es la propia estructura resuelta y apoyada en muros de mampostería con entrepisos de viguería e incluso de bóveda catalana o escarzana, por lo que el modo de vibración tiende a ser el fundamental, como si se tratase de una sola masa y solo la diferencia de espesores de uno a otro piso podrían cambiar la situación o el uso de bóvedas de

10

D., J., Dowrick, *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos: para Ingenieros y Arquitectos, Op. Cit.*, Ed. LIMUSA, México, 1984, 410 páginas, ILUS. p. 143

"El análisis dinámico de la mayoría de las estructuras es necesario suponer que la masa está distribuida en más de una agrupación discreta. En la mayoría de los edificios se supone que la masa esta concentrada en niveles de piso, y sujeta a desplazamientos laterales únicamente. Para ilustrar el análisis correspondiente a varios grados de libertad, consideres un edificio de tres pisos (figura 5.19). Cada masa de piso representa un grado de libertad, con una ecuación de equilibrio dinámico para cada uno."

Cristopher, Arnold, Cristopher y Robert Reitherman, con colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker: *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios.*, México, 1982 Ed. LIMUSA, 297 páginas, ILUS, p. 41

"Una estructura, a diferencia del asta bandera, también puede tener mas de un período aún cuando todos los factores permanecen constantes. Hay modos de vibración más altos en que las estructuras experimentarían deflexiones con más ondulaciones y no solo flexión de un lado para otro. Aunque por lo general el primer modo, movimiento simple de un lado a otro, es el periodo fundamental de interés estructural"

mampostería, o más aún una estructuración flexible con columnas metálicas. 11

Para edificios históricos, las bóvedas o sistemas de envigados adquieren otra condicionante no prevista, como son los diafragmas rígidos que tienden a concentrar sus cargas horizontales en diversos puntos, si las combinamos con aceptaciones de reacomodo y deslizamiento entre el terreno y la estructura rígida, en su conjunto se puede presentar el "taconeo" que mientras no rebase los límites de desalojo o afluencia de cargas entre bóvedas, apoyos, contrafuertes etc., es posible una recuperación, gracias a la forma natural de trabajo, ya la elasticidad debida al sistema constructivo y particularmente los morteros a la cal. Estas son las cualidades de diseño y constructivas como medidas antisísmicas, desde la época colonial se manifiestan con ejemplos como en Oaxaca la presencia de torres achaparradas, con escaso vanos y bases fuertemente estribadas en las esquinas las que dieron cualidades de gran efectividad evitando en lo posible fuertes vibraciones y volteos; en Chiapas en cambio se busco una solución mas sencilla, con muros perimetrales rígidos, espadañas y cubiertas a base de estructuras de madera que eliminaban la suma de coceo de bóvedas y empujes sísmicos. La organización geométrica en estos edificios los estudiamos en corte, un templo se ordena básicamente y de manera lógica con el desencadenamiento y continuidad paulatina de los elementos arquitectónicos mas altos hacia las partes bajas de mayor pasividad, el uso de apoyos rígidos perimetrales reforzados por contrafuertes o arcos botareles etc., en su planta se observa una perfecta simetría caso que es mas claro en templos con planta de cruz griega. Además recordemos que el uso de materiales tradicionales y sus tecnologías ofrecen cualidades de amortiguamiento, prevaleciendo la sencillez y una simplificación que resuelve problemas específicos en la práctica.

Los procedimientos para el diseño sísmico, estrictamente se refieren a las estructuras modernas concebidas por continuidad tanto en apoyos entrespisos y cubiertas, por lo que métodos llamados estáticos y dinámicos pueden ser interpretados, para el caso de su factible aplicación en edificios históricos y obtener un criterio de diseño lo más posible apegado a la

11

Cristopher, Arnold, y Robert, Reitherman, con colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker., *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios.*, México, 1982 Ed. LIMUSA, 297 páginas, ILUS, p. 42

"En cambio, puesto que a una capa de aluvión suave a varios cientos de metros de profundidad es difícil que vibre rápidamente, aun cuando el movimiento que viene del manto rocoso subyacente pueda ser de alta frecuencia, un edificio más rígido puede tener mucho menor respuesta que uno con un periodo mas largo."

José, Creixell, M. *Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento: (3º Edición), Criterios para su Cálculo y Diseño.*, México, 1993, 3º Edición, Noriega Ed., y UNAM, Facultad de Arquitectura; Edición, 108 páginas, ILUS, Fotos, p. 22

"En un edificio se puede suponer que la carga que recibe cada nivel se comporta como una masa y teóricamente, si es alto y tiene veinte niveles, se podría mover de veinte modos sin embargo, como después del primero las deformaciones y los esfuerzos generalmente disminuyen, por muy alto que sea basta estudiar los tres primeros modos."

realidad. Tales métodos fundamentados científicamente tienden a ser sofisticados, pero con cierta ambigüedad e incongruencia, por las suposiciones o tanteos al buscar contar y asumir todos los imprevistos y por lo tanto son resultados "exactos" pero al mismo tiempo relativos, sobre todo para los casos de estructuraciones complicadas. ¹²

El procedimiento estático y el de voladizo, consideran estructuras diafragmales y continuas; por lo que requiere de especial cuidado su aplicación en monumentos, pero con cierto ingenio podemos retomar los puntos básicos del mismo y agregar otras apreciaciones. Tal estudio se basa en comprender a la estructura sometida al periodo fundamental de vibración o primer modo, con coeficientes que dependen del tipo y género de inmueble, para suelos blandos, intermedios y duros.

Debido a edificaciones donde se requieren mayores índices de seguridad, como son las zonas de fuertes temblores, para poder absorber la resonancia o amplificación. Este razonamiento lo podemos interpretar si observamos las plantas en sus ejes *X*, *y*, *Y* en una edificación, de tal forma de comprender el criterio de diseño de mamposterías de juntas discontinuas.

Esta relación de resistencia al sismo se encuentra interpretada con otro lenguaje, en tratados como el de Paul Planat, a base de proporciones de muros (altura y largo) se determina su el espesor. Más aun si recordamos obras especializadas dedicadas ampliamente a los muros de contención, donde existe una redundante muestra de diversos casos en los empujes que tienen las bases de condicion de estabilidad de estructuras aboyedadas apoyos fuertemente reforzados para empujes de coceo natural generado por las cubiertas. Aunque tales interpretaciones tienden a buscar una hipótesis particular para edificios históricos, es ciertamente relativa, pero afortunadamente cae dentro de las soluciones practicas que los tratadistas del siglo XIX anotaron, en documentos con un carácter plenamente científico donde me encontré la frase:

"Son fórmulas empíricas pero basadas en la práctica constructiva"

Los procedimientos llamados estáticos y dinámicos son recomendados para revisiones y análisis profundos. Sin embargo para el caso de edificios ya construidos se tiene la posibilidad de comprender una estructura que por años ha demostrado su efectividad haciendo caso a las alteraciones y deterioros a su estado original estas puedan ejercer motivos de estudio debida a la

12

Colin Faber, *Las Estructuras de Felix Candela*; (página 19):

"Sin embargo, el interés de los arquitectos e ingenieros por este tipo de construcción no ha venido precedido - ni acompañado siquiera - por el descubrimiento o evolución natural de métodos dignos de confianza para el análisis de esfuerzos en dichas estructuras y, sobre todo, en métodos lo suficientemente sencillos para que pueda reglamentarse su aplicación por el ingeniero no especialista. Inclusive, el proyecto de tales estructuras, la elección previa de su forma y disposición se hace generalmente de manera bastante arbitraria"

modificación de la geometría constructiva, como lo son mutilaciones debidas a alteraciones en apoyos faltante, desplomes, fracturas, desfazamiento, disgregaciones, lo que presenta una estructura con una patología diagnosticada a través de un estudio estructural cuyas bases modernas tiene su origen en la segunda mitad del siglo XIX, y como sabemos abrieron el camino hacia la restauración moderna. 13

Sin embargo es indispensable la interpretación de la estructura, pues al estar ya construida y mostrar los efectos del tiempo nos muestra elementos fundamentales para su revisión y no es necesario un estudio laborioso de cálculo. Pues edificios ya construidos y si consideramos que al estar sujetos a varios sismos a lo largo de su historia, han estado y pasado pruebas reales y solo es necesario conservar su integridad estructural.

El análisis dinámico contiene las aproximaciones mas cercanas a la realidad, sin embargo este tiene que ser reinterpretado cuando lo ejemplificamos para los edificios de la época de estudio, partiendo de los métodos actuales; todos ellos se basan en los principios de la física de *Newton*, 14 determinando la aceleración máxima debida a la magnitud de los sismos; para el caso de la ciudad de México, en el que se tiene una frecuencia de fuertes temblores por lo menos cada 30 años, y estos por la alteración de terrenos han aumentado sus magnitudes; por tal razón se dice que dentro de la misma ciudad se tienen zonas de amplificación sísmica, las cuales aumenta hasta tres veces su aceleración.

Para edificios de la época por estar ya construidos y encontrarse apoyados con una cimentación superficial; lo primero es comprenderlo como un modelo a escala natural, considerando su comportamiento a lo largo del tiempo determinando un diagnostico según sus deterioros y alteraciones. por lo que es fundamental, revisar la mecánica de suelos y así definir

13

Apud. Manuel, González, Flores:

Como una situación similar cien años después en México el ing. González Flores realiza estudio y ejecuta obras: que independientemente de la tecnología de punta que utiliza: Sus soluciones emanan de reflexiones similares a las de *Viollet-le-Duc* en Francia. Conferencia y visita de obra, dictada en 1979 en el conjunto anexo a la antigua Basílica de Guadalupe:

Para 1979; el célebre ingeniero González Flores acerca de los monumentos como el de Capuchinas y el Pocito en la Villa de Guadalupe comento lo siguiente:

" Su estructura es como la de un pastel; contienen una unidad lograda por geometría, ya que cada elemento tiene su razón de ser; y por ello fácilmente si no se intervienen adecuadamente se desgarran, por lo que para asegurar su estabilidad, simplemente será la de conocer su organismo y por tanto en el proyecto y obra: Prever y tener resuelto soluciones a posibles problemas que eventualmente se puedan presentar y sean determinantes de tal forma de llevarlos a la práctica. "

14 Rafael, Farías, *Arce: Muros de Carga y Sismo*, México, 1984, UNAM, 142, Segunda Edición, fundamentada en el reglamento de Construcciones de la Ciudad de México de 1976; páginas, ILUS. p. 2 - 3

"La aceleración sísmica es comunicada simultáneamente tanto al terreno como a la cimentación y ambos poseen ena masa mecánica.."

La fórmula Newtoniana: $V = m a$

una solución alternativa. 15

Estabilidad sísmica y restauración:

La restauración es un entendimiento lógico del diseño, pero sobre todo de la obra construida, es por tanto una puesta en camino de todas las habilidades prácticas e intelectuales con la facultad de respetar la integridad de la obra creada para contribuir a su continuidad y permanencia, al mismo tiempo que esta ofrezca estabilidad para su uso, por lo que es conveniente unir los criterios estructurales y constructivos, con los fundamentos de la misma restauración, para que de esta forma determinar los grados de intervención con los respectivas tecnologías para recuperar la estabilidad en el caso que esta se encuentre perdida debida a las alteraciones.

Desde 1981 con la oportunidad de aplicar en la obra directa a la restauración y a la problemática del ejercicio en cada caso específico donde se requería de una dedicada atención, particularmente en edificios con una patología estructural.

Después de un análisis basado en una especie de historial clínico del edificio, detectando sus deterioros y llegar con un sustento científico a la propuesta final, proyecto de restauración, como una especialidad de la arquitectura que en ocasiones solo encaminada su estudio al arte, y que al ser fundamental considerar a los edificios como habitables y seguros, para conservarlos como patrimonio histórico; ya que sigue siendo arquitectura en uso; y el resultado fue la siguiente síntesis:

La restauración y su aplicación en los edificios históricos requiere de un mayor apoyo investigación científica, tecnológica, obra y legal, como ejercicio de alto nivel de una *especialidad de la arquitectura*, (situación ideal, es el caso de la *Cardiología para la Medicina*) apegado al registro de profesiones y por lo tanto la exigencia de cédula de grado. El *Reglamento de las*

15

D., J., Dowrick: *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos: para Ingenieros y Arquitectos, Op. Cit.*, Ed. LIMUSA, México, 1984, 410 páginas, ILUS. páginas 82 - 83

Respecto a los criterios de diseño relacionados con construcciones edificadas en terrenos particularmente como los de la ciudad de México, es decir con un movimiento superficial derivado del movimiento perpetrado desde el lecho profundo de roca, tenemos lo siguiente: (pagina 83).

"Actualmente la técnica más común y probablemente la más práctica para modelar el comportamiento dinámico del suelo sobre el lecho de roca, es la del modelo de la viga cortante vertical, llamado así por el uso de la teoría de onda de cortante. Enseguida se discuten varios tipos de errores o limitaciones aplicadas al modelo de la viga cortante:.

(e) El modelo de viga cortante es válido solamente para sitios donde el movimiento del suelo está dominado por ondas de cortante que se propagan en sentido vertical a través del suelo. Se considera que esto es razonablemente cierto en muchos sitios relacionados con focos de sismos, como los que se ilustran en la figura 3.12, (página 82) pero probablemente tiene mayor validez en sitios especiales de la Ciudad de México, más que en localidades donde existen espesores normales de material encima de la roca.. Vease: fig. 3.12 y 3.1 (pagina 83)

Construcciones de la ciudad de México, necesita precisar la exigencia de tal ejercicio de especialidad profesional y detallar capítulos fundamentados científicamente en la *Restauración de la Arquitectura* y dedicarse específicamente a su *Configuración Estructural*, para definir principios, fundamentos y criterios de diseño relacionados con una práctica de *Reestructuración*, (tipología de la restauración arquitectural) sin caer en normas, con la participación o apoyo *multidisciplinario*. Mientras tanto, actualmente por esta situación se han derivado diversas opiniones y tendencias al respecto donde se localizan criterios incluso encontrados, como lo son:

1) (El especialista de estructuras):

Calcular los edificios históricos con los métodos actuales para su revisión determinando el tipo de obra necesaria (los considera como si fuesen (construcciones modernas); argumentando que tiene bases científicas y legales como la del *Reglamento de Construcción*.¹⁶

2) (El especialista en restauración):

Indica en ocasiones que la unidad estructural original no debe ser alterada, sustentada en bases de conservación y restauración; dentro de una legislación menos conocida, alejándose ampliamente de soluciones pragmáticas.¹⁷

Metodología de análisis:

Los métodos de análisis comunes son el estático y el dinámico. El primero se fundamentan en un estudio simplificado y matemático que corresponde a tecnologías contemporáneas; por ello es necesario interpretar tales procedimientos y obtener una aproximación lo más fiel a la realidad evitando resultados ambiguos a la estabilidad de los edificios históricos e incluso puede resultar contradictorio si no se aplica congruentemente a la analogía estructural del edificio por revisar.

El método dinámico requiere de una interpretación mas cercana a la comprensión de la configuración estructural, considerando facultades de amortiguamiento, rigidez, flexibilidad en juntas y morteros, resonancia, factores y constantes del sistema que le son propios según sus materiales y procedimientos constructivos. Este procedimiento es recomendable para la revisión de estructuras históricas dañadas, con faltantes estructurales o con alteraciones y restablecer la unidad estructural original. Sin perder de vista que los análisis se fundamentan en la física y

¹⁶ Apud. Vicente Oérez Olama, *Cálculo de Estructuras de Concreto Armado, Op. Cit* y Rafael, Farías, Arce: *Muros de Carga y Sismo, Op. Cit.*, México, 1984, UNAM, (Segunda Edición, fundamentada en el Reglamento de las Cosntrucciones de 1976), 142 páginas.

¹⁷ Apud. Cesare Brandy, *Teoría de la Rrestauración, Op. Cit.*, y José Villagran García: *Teoría de la Arquitectura, Op. Cit.*

matemáticas, como herramienta, mas no son el fin determinante.

Ambos métodos se tienen que aplicar con criterio y con una propuesta al alternativa, sin olvidar que son edificios ya construidos y en la mayoría de ocasiones los análisis por lógica, no se requieren, pues simple y sencillamente basta con reintegrar la misma configuración, conservando sus cualidades, con el restablecimiento de su estructura original con lo que se devuelve su estabilidad.

Sin embargo es factible realizar alguna revisión simplificada; partiendo del principio que los edificios de la época son estructuraciones sencillas, bajas, (uno a tres niveles), soportadas por muros de carga y solo con alturas mayores para edificios religiosos o públicos. Estructuras de una gran simetría en sus plantas, como en sus alzados, que son una garantía por su permanencia debida a su tipología estructural.

En síntesis, algunos autores al método estático lo señalan limitado; pero sus resultados pueden ser cercanos a una a una revisión práctica; siempre y cuando se mantenga inalterada su configuración original; pues si consideramos que estos edificios tienen una gran simplicidad y sencillez en su geometría y conservan o estructurara soportada por una cimentación superficial, por lo que basta definir tipo y clase de estructuración.

El método dinámico requerirá de partir de definir su masa, de la aceleración debida a la intensidad de los sismos, de la interpretación de las cualidades de amplificación, amortiguamiento, que son constantes debido a sus materiales, sistemas constructivos, proporciones, de atender sus deformaciones, deterioros, y de su reestructuración la cual se realice con un criterio de devolver las cualidades originales de su configuración estructural; con la experimentación de determinar el numero de modos según sus niveles. Siendo posible incluso una intervención alternativa, con materiales y tecnologías contemporáneas; siempre y cuándo su introducción a la estructura se integre naturalmente a la configuración original; que no funcione o contenga otras rigideces y flexibilidad diferentes en su comportamiento; ya que estas soluciones puedan ser contraproducentes en la práctica disminuyendo la seguridad estructural.¹⁸

Solo para casos exigentes como estructuras apoyadas por columnas y de varios pisos, se recomienda el método dinámico. De ellos el modal es el mas cercano tanto a una solución de mayor sencillez y nos brinda una mejor interpretación en su unidad estructural. Este método,

18

José, Creixell, M.: *Construcciones Antisísmicas y sus Criterios de Diseño*, 2. a. Edición 1981 y su revisión: *Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento: (3º Edición), Criterios para su Cálculo y Diseño:*, México, 1993, 3º Edición, Noriega Ed., y UNAM, Facultad de Arquitectura; Edición, 108 páginas, ILUS, Fotos.

también tiene sus limitantes; sin embargo en la práctica se acerca mas a la realidad de la ciudad de México y al comportamiento de sus edificaciones antiguas, si atendemos las cualidades de materiales y proporciones, con su debida naturaleza.¹⁹

Las alternativas de recimentación también deben revisarse con cuidado y minuciosidad, pues al cambiar de una superficial a una profunda las condiciones de efectos sísmicos pueden actuar peligrosamente en un edificio, pues debido a hundimientos diferenciales, las cabezas de los pilotes pueden actuar como apoyos aislados en planta baja o simplemente los efectos de licuación son mas contundentes en su acción, mientras que la cimentación original se aísla en mejor forma de estos efectos destructivos; y por tal razón deben retomarse en cuenta tales efectos que motiven un cambio severo aunque este sea necesario para prever cualquier situación accidental. Procurar conservar en edificios históricos la cimentación original, pues mientras no se alteren considerablemente las condiciones mecánicas del terreno, se ha demostrado un adecuado comportamiento, en contra de la acción de los temblores.²⁰

En general se recomiendan para el caso de construcciones modernas los métodos dinámicos, pero a veces los estudios se vuelven tan sofisticados y el fin numérico los desborda como resultados subjetivos, con enfoques lejanos de procedimientos constructivos, mientras que el camino de análisis de edificios históricos, resulta más simple y sencillo; debido a sus formas congruentes con su naturaleza, en sistemas de diseño por geometría basadas en las leyes de la estática, y estructuraciones rígidas, pero con cualidades dinámicas y por su orgánica estructural.

Aplicaciones:

En términos reales si un edificio se encuentra en pie soportando durante décadas fuertes temblores, inundaciones, hundimientos e incluso con la presencia de deterioros, hasta la perdida

19

D., J., Dowrick, *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos: para Ingenieros y Arquitectos, Op. Cit.*, Ed. LIMUSA, México, 1984, 410 páginas, ILUS. p. 122 - 125

"Para estructuras grandes o complejas, los métodos estáticos de análisis sísmico no son suficientemente aproximados, por lo que muchas autoridades demandan análisis dinámicos para varios tipos y tamaños de estructuras específicas. Varios métodos de diferente complejidad han sido desarrollados para el análisis sísmico dinámico de estructuras. Todos ellos tienen en común la solución de las ecuaciones de movimiento, así como las relaciones estáticas comunes de equilibrio y rigidez. Para cualquier estructura con mas de tres grados de libertad, tales análisis son llevados a cabo por métodos matriciales en computadoras. Las tres técnicas principales que se usan normalmente para el análisis dinámico son:

- (i) Integración de las ecuaciones de movimiento por el procedimiento de "paso a paso".
- (ii) Análisis nodal normal, y
- (iii) Técnicas de espectro de respuesta"

20 José, Creixell, M. *Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento: Op., Cit.*, (3° Edición), *Criterios para su Cálculo y diseño*, México, 1993, 3° Edición, Noriega Ed., y UNAM, Facultad de Arquitectura; Edición, 108 páginas, ILUS, Fotos, pag. 27

"Existe también un fenómeno llamado de "interacción"; consiste en la variación que pueden sufrir los movimientos del terreno debidos a la construcción localizada sobre este. Si es muy grande y pesada puede provocar que se aminoren los movimientos de mayor amplitud en el terreno."

de sus apoyos es que por analogía, ha cubierto todos los requerimientos y por lo tanto se encuentra bien construido, no es necesario realizar cálculos redundantes, más si esta se encuentra sana y completa. Sin embargo según el caso lo amerite, el estado del edificio sea necesario implementar la memoria analítica, como parte del proyecto de restauración; siguiendo un camino más de retorno y remate en el conocimiento del inmueble; es por tanto factible revisarlo. Para tal motivo es necesario determinar las posibilidades de amplificación, amortiguamiento y ductibilidad, (según sus materiales y forma de trabajo), levantamiento y análisis de deterioros, su ubicación, con sus respectivos colindantes y si este se encuentra en una posición desfavorable, por ubicarse en esquina, vecina a una construcción de diferente altura o con otro tipo de estructuración. Por tal motivo es importante aplicar, un análisis lo más sencillo y fiel a la realidad del terreno, como al mismo edificio por ello es necesario determinar *la constante de resorte o cálculo de rigideces*. 21

El suelo del valle de México como parte de la estructura tiene una participación determinante. Los desplazamientos de terrenos son amplios con largos períodos de vibración, predominando los movimientos oscilatorios a los trepidatorios, sin embargo durante los sismos de 1985 su presencia más contundente, a esta complicación se sumo la debida al origen geológico, ya que los tipos de terrenos suaves de origen lacustre, provocando discontinuidades en los

21

Rafael, Farías, Arce,.: *Muros de Carga y Sismo*, México, 1984, UNAM, 142, segunda edición, fundamentada en el *Reglamento de Construcciones* de la ciudad de México de 1976; páginas, ILUS. p. 11

,,,,, la rigidez del muro o constante de resorte del mismo: R_v , así como también la deformación o desplazamiento horizontal del propio muro A_v , bajo la acción de la fuerza cortante V , únicamente, ambos pueden ser aceptables en edificios ligeros de uno o dos niveles; pero si queremos ser más rigurosos en el cálculo de las deformaciones o desplazamientos horizontales o los efectos de cortante V , los efectos de flexión del muro tomando como viga vertical con la carga concentrada V en el extremo superior tenemos tres casos:

1º: Empotramiento en la base superior como la inferior del muro, quedando libre la base superior del mismo,.. 2º: empotramiento en la base inferior del muro,,,,, con una fuerza horizontal, 3º: empotramiento de la base inferior de muro quedando libre la base superior del mismo,,,,, actuando únicamente el momento M .

Sobre el mismo punto el Arquitecto Creixell. define la constante de resorte y de ello nos dice lo siguiente: José, Creixell, M.: *Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento*: (3º Edición), *Criterios para su cálculo y diseño*., México, 1993, 3º Edición, Noriega Ed., y UNAM, Facultad de Arquitectura; Edición, 108 páginas, ILUS, Fotos, p. 27 - 29

Constante de resorte de un sistema:

"Si las cuatro columnas estudiadas estuvieran en fila y todas fueran empujadas e su extremo por una pieza horizontal (fig. 18 B), cada una de ellas absorbería la parte de la fuerza que le corresponde en proporción a su constante de resorte, es decir la más rígida tomara más carga, y menos, la más flexible."

(En su anterior edición de *Construcciones Antisísmicas* de 1981, simplifica la explicación; argumentando: que es la fuerza que se necesita para desplazar un cuerpo un centímetro y en ello tiene que ver el material, con su módulo de elasticidad, proporción, contado por lo tanto su momento de inercia, sección, longitud).

movimientos con grandes probabilidades de licuación. 22

En términos ideales estos terrenos no son adecuados para la construcción, sin embargo tenemos que aceptar la realidad; nuestra ciudad se levanta sobre una falla geológica que en otro tiempo fué zona de lagos, a pesar de ello se han sometido a eventualidades, solo que ahora la diferencia es la constante alteración en la mecánica de los suelos, por tal razón, el efecto destructor en las construcciones es mas acentuado (imagen 3). 23

Por la naturaleza del valle y particularmente de la ciudad capital, las diferencias y secuencias en modos de comportamiento, y respuestas debidas a condiciones geológicas, múltiples y diferentes factores actuaron durante los terremotos de septiembre de 1985, en una combinación que fue derivandose secuencia de sismos mayores y destructores, asentado por terrenos lodosos y resecos, actuando como playas que son áreas de mayor resistencia o compactadas diferencialmente, que en casos extremos y desfavorables, actuaron como efectos para edificios ubicados en colindancia a soluciones con pilotes de punta, en terrenos de diferente resistencia, en esquina o por la misma naturaleza del terreno del cuya tendencia es el hundimiento estrepitoso por la llamada licuefacción de sus arcillas, sumadas por alteraciones en sus niveles, por cimentaciones incorrectas o por desnivelaciones provocadas por excavaciones.

Es significativo para el análisis de los monumentos históricos, el conocimiento de su forma de trabajo, pues se ha dicho que su sistema portante responde con similitud e igualdad a las deformaciones debidas a la mecánica de suelos, asumiendo movimientos y deformaciones. A diferencia de la construcción contemporánea de estructuración flexible y alta la cual es susceptibles a entrar en resonancia o de licuarse, principalmente en el área de nodos la cual se

22

Arnold Christopher y Robert Reitherman, con colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker: *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*, México, 1982 Ed. LIMUSA, Arnold y Reitherman, *Op. Cit.*, pagina 29:

"El otro tipo de movimiento peligroso del suelo esta asociado a riesgos geológicos. La licuación es una condición en la que el suelo cambia temporalmente de un estado solido a liquido. Este efecto esta relacionado con suelos granulares sueltos y arena y la presencia de agua; por ello se tiende a presentar en sitios cercanos a ríos, lagos y bahías".

23 Christopher, Arnold, y Robert, Reitherman, con colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker: *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*. México, 1982 Ed. LIMUSA, 297 páginas, ILUS, p. 29 - 30

"La ingeniería para atenuar los efectos de licuación, comprende el diseño especial de cimentación o estabilización del propio suelo. Debido a la incertidumbre y al costo de estas medidas, el mejor enfoque de diseño lo constituye el hecho de evitar con potencial de licuación".

ubica en gran parte es el centro de la ciudad.²⁴

Los orígenes geológicos y las alteraciones al valle de México han configurado un terreno altamente compresible pero con una consistencia porosa, algunas veces con saturación de agua debido a su origen lacustre, pero el constante drenado y desecación parcial no uniforme e integrado por una orgánica dispuesta en capas extremadamente diferenciadas, tanto en espesores, resistencias y nivel de profundidad, así como con dinámicas exageradamente cambiantes y con tendencia a recuperaciones en los niveles de humedad a pesar de la constante extracción de agua, en respuesta a ello el terreno se ha hundido paulatinamente. Las capas oscilan entre arcillas, arenas de diferentes resistencias, para los edificios históricos se trata en general de cimentaciones superficiales sobre terrenos ya consolidados, pero que por localizarse el centro en una zona de alta compresibilidad, la llamada dinámica derivada de fluidos de capas que constantemente se acomodan y que ante un sismo violentamente sufren mayores reajustes en su estructura interna formada por capas sucesivas y discontinuas que chocan como el agua en volúmenes irregulares y de mayores resistencias como si fuesen playas o islas, con esto se amplifican los temblores, como si se tratase de un eco, repercutiendo en otros sismos como respuesta a la afluencia de arcillas y arenas con una gran cantidad de agua, encontrando zonas resacas con relativas fisuras o resquebrajamientos. Por tal razón su manifestación fué dramática, con el hundimiento total en algunas construcciones durante los sismos que sufrió la ciudad de México en septiembre de 1985.

Para todo cálculo gravitacional es evidente la comprensión de la transmisión libre de las fuerzas a lo largo de los elementos estructurales, conduciendo eficientemente el orden del sistema establecido, con sus esfuerzos respectivos, y aplicación de metodologías establecidas en las escuelas del arte de construir del periodo final del siglo XIX, a que expresa la mentalidad de la época. 25

24

D., J., Dowrick, *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos: para Ingenieros y Arquitectos*, Op. Cit., Ed. LIMUSA, México, 1984, 410 páginas, ILUS. p 65 y 151

"Son más susceptibles de licuarse aquellos sitios cuyo nivel de agua freática está dentro de los tres metros de la superficie, aún cuando los sitios en que el nivel del agua freática está dentro de los ocho metros del nivel del suelo, pueden también ser potencialmente licuables, dependiendo de otros parámetros del suelo."

"Bajo carga sísmica algunos suelos pueden compactarse, incrementándose la presión de poro en el agua, causando una pérdida en la resistencia del cortante. Este fenómeno se conoce generalmente como licuación., las arenas sueltas., ,,,,, las arenas depositadas hidráulicamente son particularmente vulnerables, debido a su uniformidad. La licuación puede ocurrir a cierta profundidad, causando un flujo ascendente de agua ,,"

25 Yvon Belaval: *"La Filosofía del Siglo XIX"*, (op. cit.) página 216 :

"La mecánica se divide en estática y dinámica. Todo el mundo sabe que la división, cartesiana como figura y movimiento y tradicional en todo caso, repercute sobre todo el sistema positivo, por la divisa del orden y progreso. Modelo reducido, la mecánica lo es también en cuanto proveedora de la sección transversal de toda ciencia, de la geometría a la sociología, captada según el equilibrio o la relación de fuerzas."

De igual manera para el sismo y otros eventos accidentales como la acción del viento sobre una superficie de una construcción de una altura considerable y muy especialmente ubicada en una zona descubierta al mar, las fuerzas horizontales aplicadas se estudian en los diversos niveles para construcciones modernas cuyos fundamentos precisamente se logran en la práctica, durante la segunda mitad del siglo XIX, de esta forma determinan sus respectivos esfuerzos originados por la acción mecánica de la estructura. Para edificios históricos es indispensable analizar tanto integralmente a la estructura, como por los efectos en sus elementos constructivos, haciendo un énfasis en los subsistemas de mayores alturas o que sean frágiles a la concentración de esfuerzos adicionales.

Las construcciones tradicionales siguen al terreno y por lo tanto se comportan con toda sencillez; es decir que su estructura aprovecha las cualidades de este, como continuidad de la naturaleza, pues para regiones altamente sísmicas se previeron edificaciones bajas y rígidas, con materiales que permiten flexibilidad. Contrariamente a la supuestamente lógica de no permitir la deformación y oponerse a los cambios ejercidos por las fuerzas naturales. Un camino considerado por la tradición constructiva e incierto para la construcción actual en México es el diseño de las cimentaciones antisísmicas que para el caso de edificios históricos se debe utilizar un criterio práctico, dado por el comportamiento de la forma estructural, como de la dinámica del terreno.

De lo anterior se resume que es importante para las edificaciones de la ciudad de México considerar un diseño integral sísmico entre la acción directa entre la estructura y el terreno con sus deformaciones y alteraciones, el camino ideal será el de la respuesta de las propias soluciones a través del análisis de su diseño basado en la práctica constructiva y de tal forma determinar los esfuerzos sísmicos que actúan con la mayoría de suposiciones o mas bien aproximaciones a la realidad, con su tipología de estructuración, cualidad de cimentación superficial, y colindancias.²⁶

Propuestas:

Conservar la unidad estructural original, tanto de su conjunto como para cada elemento estructural. Tal unidad estructural en los edificios y monumentos históricos se concibe de manera diferente a la estructuración actual entendida por "continuidad".

Las plantas y alzados de estos edificios contienen una simetría y proporción armónica con razones estructurales; predominando construcciones bajas y desarrolladas horizontalmente, con ubicación de patios relacionados a ejes o centros de las respectivas plantas. Conservar

26

Vease: D., J., Dowrick: *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos para Ingenieros y Arquitectos*. México, 1984, LIMUSA, 410 pág., ILUS, cita página 170 a 173.

dimensionamiento de vanos y sistemas de apoyos, que se reflejan en la organización y disposición de transmisión de cargas, vigas, arcos, dinteles, contrafuertes etc.

Los apoyos son continuos a base de muros de carga de mampostería, ofreciendo estructuraciones preferentemente rígidas, pero con materiales relacionados orgánicamente que les permiten una gran elasticidad, con la particularidad de asumir deformaciones e incluso rupturas; manifestando con naturalidad hundimientos diferenciales.

Las estructuras con entresijos de viguería simplemente se relacionan apoyándose, generando un alto grado de flexibilidad que se amolda a los apoyos, a diferencia de, las losas planas y reticulares de concreto armado que como diafragmas conducen las cargas de forma continua y perimetral, oponiéndose a posibles hundimientos o deformaciones debidas a los apoyos.

Los sistemas de viguería, en la práctica, son los únicos elementos estructurales contenidos en los edificios históricos que trabajan por una combinación de esfuerzos y por la condición de apoyos en forma de empotramiento, un momento flexionante al centro y dos iguales en los empotres del doble, produciendo mayor eficacia en la sección.

Las cubiertas de mampostería requieren un especial cuidado; considerando que su trabajo y desarrollo es por geometría, la ubicación, intersección y diseño de cada elemento arquitectónico como: arcos, bóvedas, contrafuertes, tensores, muros, pilastras, columnas; tienen una razón de ser y por lo tanto, una respuesta en la función de una unidad estructural, dispuesta internamente en la concentración de sus masas llamadas líneas de presiones, cuya lógica es la transmisión geométrica por excelencia, trabajando con compresión pura o sea con esfuerzos simples.

Las cúpulas como cubiertas de mayor altura transmiten sus cargas a los ejes de tambores, arcos de crucero y tensores o botareles exteriores, descomponiendo sus fuerzas paulatinamente y por gravedad hacia los muros laterales, tales estructuras pueden asumir cierto resorteo a niveles de tambor o pilastras de apoyos y ante la presencia de un temblor, mientras no se muevan excesivamente sus apoyos y los esfuerzos no rebasen las resistencias naturales de sus materiales no presentan problemas.

Una vez alterada la geometría de una estructura debida a hundimientos diferenciales, fracturas, desplomes o alteraciones, será necesario devolver la unidad estructural con una intervención fundamentada, en este caso la *reestructuración* como una tipología de *la restauración*. Por lo que juega un papel importante la decisión del empleo de materiales y tecnologías tradicionales o modernas, pero con el fin de devolver *la unidad estructural original*.

Reconocer las diferencias de modos de trabajo y comportamiento de estructuras para

determinando su ampliación y recordando que las primeras restauraciones hechas con refuerzos metálicos en el siglo XIX, buscaron la reversibilidad y el mismo tiempo iniciaron el cálculo estructural.

El concreto armado u otro material moderno, es factible utilizarlo racionalmente; siempre y cuando no genere otras disposiciones de esfuerzos y rigideces, que puede alterar la unidad estructural.

Las cimentaciones y suelo son parte de la estructura y fundamental es su actuación durante un movimiento sísmico, por lo que se debe tomar especial cuidado en su revisión, para proponer alternativas de consolidación de la misma o estabilización del suelo sustentante. Este punto es determinante para inmuebles de magnitud y niveles considerables.

Ante la presencia de un sismo las diferentes masas de edificios actúan armónicamente y por unidades, las construcciones más altas (*torres*) oscilan en períodos mayores funcionando como juntas o uniones naturales la unas con las otras.

Determinaciones:

Es fundamental reconocer que edificios históricos virreinales como del siglo XIX y contemporáneos que se levantan en la ciudad de México han experimentado a través del tiempo temblores e inundaciones; de estos primeros los rangos considerados para la ciudad y el país, junto con las regiones de Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Jalisco y Norte de la Baja California, son del orden de 4º rango: "sumamente violentos").²⁷ Pues se encuentran en zonas altamente sísmica; y cuya transmisión de movimientos tienden a amplificarse debido al choque de unas ondas con otras, sobre terrenos de diferentes capas y consistencias. Por tal motivo y con lo que respecta a la ciudad e inundaciones, se debe reconocer el origen histórico y geológico (más que ser un valle, se trata de un vaso), y cuya depresión geológica ha tendido a drenarse a lo largo del tiempo; de esta forma la ciudad creció a costa de los lagos.

Como resultado de lo anterior, la ciudad se encuentra sobre terreno de aluvión arcilloso

27

En referencia a las obras citadas del Arq. José Creixell, presento las reflexiones de la última revisión: 3º Edición, la cual es un conjunto de revisiones respecto de las experiencias de los sismos de 1985 y cuyo título fue complementado a "*Resistentes al Viento*", lo que lo hace prácticamente una obra nueva, por los innovadores criterios presentados:

José, Creixell, M. *Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento: (3º Edición,)*, Criterios para su cálculo y Diseño: , México, 1993, 3º Edición, Noriega Ed., y UNAM, Facultad de Arquitectura; Edición, 108 páginas, ILUS, Fotos, p. 14

"Lo importante no es tratar de investigar cuando va a o presentarse un fuerte sismo, sino realizar construcciones que lo puedan resistir.

A los sitios del mundo donde frecuentemente tiembla se les llama zonas sísmicas o fallas geológicas y fundamentalmente son cuatro: 1º no se han registrado temblores, 2º los hay de poca intensidad, 3º de mayor intensidad y 4º sumamente violentos.

altamente compresible cuya profundidad se encuentra en el centro de la ciudad, a un promedio de 40 metros la capa resistente. Con la presencia de los sismos se tienen amplificaciones cuya aceleración casi triplica sus magnitudes sobre suelos con variaciones elásticas y plásticas, con posible sincronización, un hecho innegable ya que ante la presencia de los temblores en la ciudad de México, hubo sincronización del terreno con algunas construcciones, aumentando los esfuerzos en sus elementos estructurales; sin embargo la rigidez de los edificios contemporáneos como los de la época colonial; el periodo de vibración no tuvo la misma concordancia entre la estructura con el mismo terreno. Todo ello se debe a estar construidos con muros de carga, por ser edificaciones de baja altura y levantados sobre un terreno suave y alejados de los epicentros (donde los periodos de vibración son mas prolongados); por lo que tienden a no ser iguales los periodos de movimiento y por lo tanto a no sincronizarse; esta situación les otorga a los edificios históricos, (amortiguamiento por sus materiales, sistema constructivo; forma y situación) ventajas sobre los edificios contemporáneos y de mayor altura, ofreciendo mayor flexibilidad. A esta situación problemática denominamos resonancia. 28

Solo con la atenuante que si son estructuras pesadas, con cierta deformabilidad y elasticidad, dado que su cimentación se integra a a mecánica superficial de los suelos adoptando sus deformaciones dadas por hundimientos diferenciales, con entrepisos de viguería que se amoldan fácilmente a tal situación del terreno, e incluso con la aceptación de la ruptura manifiestas por grietas, que a manera de grapas adoptan una nueva disposición y por sus juntas a base de morteros a la cal que tienden a ser de mayor espesor en elementos altos y con entrepisos, por lo que para el caso de viguería tienden a trabajar diafragmalmente, (por el predominio de sus elementos portantes); trabajando al estructura como una unidad que envuelve desde su parte baja hacia los elementos altos, pero con cierta libertad de movimiento por desarrollarse constructivamente sin castillos, columnas, traveses y gruesas losas de entrepisos, de predominio en sus elementos portantes.

Los edificios del siglo XIX, al ser diseñados por apoyos continuos, contienen una gran

28

José, Creixell, M. *Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento: (3° Edición)*, (obra nueva), *Criterios para su Cálculo y Diseño*., México, 1993, 3° Edición, Limusa, Noriega y UNAM, Facultad de Arquitectura, 108 páginas, ILUS, Fotos, páginas 23 - 24 y, 81 - 81

"La sincronización de movimientos o impulsos entre el péndulo y su punto de sostén, también es posible entre la barra empotrada (que tenga una o varias masas) y el terreno que la sostiene; a este fenómeno se le llama "resonancia",

Cristopher, Arnold, y Robert, Reitherman, con colaboración de Eric Elsesser y Dianne Whitaker: *Configuración y Diseño Sísmico de Edificios*. México, 1982 Ed. LIMUSA, 297 páginas, ILUS, página 39

"Usualmente los periodos naturales del suelo son entre 0.5 y 1 segundo, de tal modo que es posible que el edificio y el suelo tengan el mismo período fundamental. Por lo tanto hay una alta posibilidad de que el edificio se aproxime a un estado de resonancia parcial, denominada cuasi- resonancia."

peso volumétrico. Debido a su inercia oponen gran resistencia a un movimiento inicial debido a un temblor, es por lo tanto, un factor considerable; por tratarse de estructuras soportadas por gruesos muros de mamposterías de piedra tepetate y ladrillo, que tienden a ser rígidas lo cual las hace que se integren más al terreno y seguir sus mismos movimientos; sin embargo hemos dicho que por la constitución de sus materiales y procedimientos constructivos le ofrecen elasticidad y una ruptura parcial, debido a una falla exclusiva de tramos. Con la diferencia de edificaciones realizadas en menor escala y con varios niveles; como las estructuras de columnas y entramados metálicos tipo el palacio de las Bellas Artes, estos presentan una unidad estructural a base de una coposición metálica resuelta por continuidad de momentos, solo que con partes rígidas por la pesantez de sus recubrimientos, y la aún permanencia de algunos ejes con gruesos muros.

Recomendaciones y criterios según el comportamiento sísmico

(Partiendo de los principios contemporáneos):

Si determinamos que el ideal es conocer el efecto de los sismos en las construcciones históricas, son por lo tanto los estudios derivados de una especialización en el campo de las estructuras que deben de contar como una importante herramienta, pero sin ser el fin determinado. Es quizás debido a partir de construcciones ya realizadas en donde obtener un estudio y reflexión dados por un camino de regreso. Es tan importante conocer un análisis estático o dinámico, como la misma reflexión directa del propio edificio por estudiar a manera de modelo natural, con todas sus implicaciones de comportamiento a lo largo de los siglos por lo tanto sea tanto o mas exacto que los métodos matemáticos y por ello se deben complementar unos con otros.

No por ello dejan de ser necesarias las aplicaciones que como parte de una metodología en la restauración, con el hecho de situarnos en la realidad y así dar respuestas de proyecto los mas apegadas y correctas para resolver la patología estructural; por tal motivo es la confrontación y manejo de la tratadística como sustento teórico fiel y directo de la construcción en estudio así como el uso de la literatura especializada actual. El criterio en síntesis será enfocado con una metodología basada en la tradición constructiva.

Los cálculos sísmicos y gravitacionales parten de un proyecto para realizarlo constructivamente; en el caso de la reestructuración el inmueble ya existe y por lo tanto es un laboratorio directo, en cuyo ejemplo se tendrá que tener lectura de su comportamiento y realizar un historial clínico, una correcta interpretación de su unidad o forma de trabajo estructural, con sus deterioros y por tanto sus deformaciones. De esta medida, el terreno, colindantes etc., serán factores determinantes en cuyo caso los muros maestros y medianeros toman una especial

situación. Los suelos blandos han marcado las alturas adecuadas y como ejemplo tenemos el común de uno a tres niveles en los edificios históricos, mientras que para los edificios modernos las disposiciones en las juntas por ejemplo son extremas. 29

La ciudad de México es un caso extremo y los edificios históricos tienen una particular forma de diseño, con estructuras, materiales y construcciones particulares.

Los autores contemporáneos para continuar con el camino en el diseño sísmico, señalan tanto métodos aproximados como exactos y de ellos parten los análisis *estáticos* y *dinámicos*. De todo lo anterior es no perder de vista el objetivo, conocer la unidad estructural del edificio en estudio, con todas sus agravantes o deterioros, y así poder simplificar el criterio de análisis, acercándonos lo mas posible a la realidad con todas sus eventualidades. Existen puntos contradictorios al respecto, pues incluso los métodos llamados exactos se encuentran sujetos a ambigüedades y "*tanteos*". Con su mecánica y geometría, la acción sísmica se podrá comprender mejor y al mismo tiempo las cualidades esenciales en los monumentos por su tipología estructural y la dinámica del suelo de la ciudad de México serán puntos de partida o rectores. Por tal razón recomiendo mas que la búsqueda de la exactitud con soluciones complejas, estudios basados en soluciones directas derivadas en la sencillez de la propia *tradición constructiva* con respecto al de los métodos llamados exactos.³⁰

La razón para el caso de los edificios históricos, se debe implementar y aplicar mas que un método, una metodología, fundamentada en la teoría de la restauración, estructural y tratadística. Abierta pero al mismo tiempo que integre en base a sus cualidades constructivas, estructurales de la edificación y del propio terreno en donde se desplanta; para tener una aproximación lo más sencilla y práctica, derivada del comportamiento en la unidad estructural de la construcción.³¹

En edificios ya construidos con presencia de deterioros o alteraciones estructurales, y a partiendo de sus características en su tectónica se puede definir la respuesta a los sismos, por tal

29

Norman B: Green "*Edificación, Diseño y Construcción Sismorresistente*", página 12:

"- En suelos blandos y para edificios de 5 a 6 plantas, la separación mínima debería de ser de 30 a 35 cm. - Para edificios de 10 a 12 plantas, de unos 60 cm. Estas dimensiones, basadas en la observación del resultado de muchos terremotos, en general, son superiores a las que prescriben muchas de las normas consultadas. Esto es debido a que Creixell desarrolla su actividad en México D. F. y allí el suelo es especialmente blando y determina en los edificios movimientos de gran amplitud".

30 Meli Piralla y Bazán Zurita: *Manual de Diseño Sísmico de Edificios*, página 30 :

"Aceptando la hipótesis de comportamiento elástico lineal, se pueden considerar como exactos los métodos matriciales. Estos métodos se clasifican en dos: de las rigideces o del los desplazamientos y de las flexibilidades o de las fuerzas ... Ambos métodos son aplicables"

31 Apud., José, Villagran, García, *Teoría de la Arquitectura, Op., Cit.*, 530 p., Fotos. ILUS. México, 1988, Facultad de Arquitectura de la UNAM.

razón es fundamental tener la lectura correcta del efecto de estos en las construcciones y el cálculo por tanto sea un importante pero sencillo estudio.

Lo ideal es aplicar el criterio de diseño integral a la edificación, partiendo de un sustento simplificado, pero que al mismo tiempo se complemente y sustente científicamente, considerando la mejor aproximación a la realidad.

A).- Síntesis comparativa del análisis estático:

Si iniciamos nuestra reflexión con la solución dadas desde la antigüedad en la construcción, fundamentada en los principios de la *estática*. Así por ejemplo, una estructura abovedada como el *sagrario metropolitano* resuelta en una planta con una simetría y proporción en su planta y alzados, guardan los elementos esenciales para conservar su estabilidad.

Tenemos que desde su gran cúpula como elemento constructivo más alto hasta las bases de la cimentación y el mismo terreno, contienen la dinámica propia de su macro estructura, y que sin embargo al pasar el tiempo la perfección lograda por la geometría constructiva se ha visto afectada, de tal forma que el asentamiento del terreno, desalajo y movimiento de los terrenos que por su naturaleza trabajan a la fricción, debido a sus propias características geológicas; como alteraciones debidas a la extracción de los niveles freáticos con sus diferentes períodos de resequedad y humedad se deforman y modifican paulatinamente. Mientras que a veces instantáneamente al desplazarse los apoyos las bóvedas tienden a agrietarse por los inesperados pero fuertes sismos en la ciudad de México; aunque por diseño, los robustos contrafuertes asumen estas cargas adicionales.

Con la serie de acciones anteriores y su múltiple combinación, se altera la propia geometría, pues por si sola contiene una resistencia considerable a los empujes horizontales. Es factible aplicar los principios del cálculo estático a las construcciones históricas, solo que para tal caso considerar especialmente sus cualidades en su unidad estructural y configuración constructiva, así la estática como parte de la mecánica nos conduce a los fundamentos en los cambios físicos, por lo que es conveniente implementar un criterio de diseño práctico y sencillo posible, y con ello utilizar las partes que nos son útiles para este tipo de edificaciones, como factores básicos los implementados en la tradadística original del siglo XIX, donde se contienen fundamentaciones directas e indirectas que nos conducen a los mismos principios que en manuales y reglamentos de construcción.

Si comprendemos el trabajo de la construcción tradicional podremos traducir y aplicar los conceptos del cálculo estático y dinámico, para tales edificaciones, los sistemas de apoyos se componen de gruesos muros, lograndose una gran rigidez, pero al mismo tiempo la orgánica en

mamposterías.

Básicamente el sistema ortogonal compuesto por una red de apoyos continuos entrelazados entre sí disponen la estructura resistente al sismo; mientras que los entrepisos y cubiertas de envigados son un diafragma continuo que adquiere las deformaciones de sus apoyos. Elimina la relación de esbeltez, diferenciándose en cierta medida las masas de cada nivel, pero no actúan como losas continuas y que al presentarse un sismo descargan la energía de una forma, como si se tratase de una hoja rígida. Para el caso de sistemas abovedados y especialmente en cúpulas, la esquematización de la estructura mas aún se debe comprender constructivamente en volumen con la intersección de cada uno de sus cuerpos, es decir geometría constructiva, la que por su origen la hace una estructura sujeta y resistente a empujes horizontales, mientras su geometría no se vea afectada por en sus apoyos, ya sea por hundimientos diferenciales o movimiento en sus apoyos debido a un fuerte sismo.

Tales estructuras tienden a ser masivas y por lo tanto mas pesadas, y la descomposición de fuerzas del sistema desde el elemento arquitectónico de mayor altura hasta las bases de los muros se ordenan y disponen en por lo menos cuatro dimensiones incluyéndose el *espacio-tiempo* para los efectos del sismo.

Los entrepisos y cubiertas a base de bóvedas y arcos son también diafragmas, solo que ordenados y dispuestos por su geometría constructiva a la compresión con un peso y configuración determinada, cuentan al presentarse los temblores como masa, cuya relación física, es directa entre el peso volumétrico y la gravedad de la tierra; diferenciándose la acción en cada uno de sus niveles.

Pero sin perder la naturalidad de la estructura en su esencia como arquitectura de la tierra, esto es que la estructura se encontrara sometida a la acción de fuerzas y esfuerzos sísmicos debidos tanto a la composición del terreno como del tipo estructural.

Como primera consideración directa, tenemos que partir de los principios de diferenciación que a través de las múltiples publicaciones especializadas y de reglamentos nos han señalado, ya que tales principios en los criterios de estructuración son perfectamente aplicables a los edificios históricos. Es importante reafirmar que para el análisis sísmico incluso en construcciones recientes han existido diversas variantes y modificaciones al respecto, incluso con ejemplos contradictorios y que a veces se alejan de la realidad por suposiciones o hipótesis.

En México cada vez mas se conoce con certeza tales dudas en el comportamiento estructural; pero aun se tienen fuertes dudas por la lejanía cada vez mayor en el tiempo y que los monumentos encierran por su tecnología y materiales caminos ya desconocidos. A lo anterior se

suman las alteraciones en la arquitectura de la tierra del valle de México debido a su desecación y con ello la actitud sísmica tiende a variaciones. Sin embargo el método estático en general nos mostrará resultados aproximados y solo para el primer modo de vibración.

Según el reglamento de la ciudad de México (1976), se consideran el tipo de estructuras, definido por sus sistemas de apoyos, clase o género de inmueble. A esta diferenciación se incluyen las zonas o áreas en la misma ciudad.

Los métodos estáticos a base de coeficientes que precisan lo antes indicado: A) la naturaleza del terreno, B) tipo de estructuración y grupo debido al género del inmueble.³²

En general los edificios históricos en su mayoría son del tipo 2, por soportarse sobre muros de carga. Mientras que un porcentaje menor pero importante son del tipo 1, soportados por columnas.

Debido a la singular dedicación a las construcciones modernas los vacíos sobre la arquitectura histórica, entendida como construcción tradicional son mayores y por tal razón infinidad de interesantes estudios y reflexiones se encuentran dedicadas a la construcción moderna y por ello no se encuentran dentro de una tipología. Sin embargo otros autores señalan a las estructuras a base de muros de mampostería, con entresijos y cubiertas de viguería como tipo uno, para diferenciarlas de las soportadas por muros de tabique, con losas de concreto armado.³³

Por su tipo se mantienen preponderantemente en el grupo B, para los habitacionales y también un grupo menor pero de singular importancia las construcciones A, por ser de un uso público.

En el valle de México los coeficientes después de 1985 se aumentaron considerablemente, pues generalmente se comprendía como necesario un 10% del peso total. Para el caso particular del centro Histórico en un terreno de alta compresibilidad; a la estructuración tipo 1 no menor al 13 %, mientras que a la tipo 2, en rigor el 10% como mínimo.

Las construcciones en cierta medida desfavorables y que en el caso de monumentos y edificios históricos existen en el centro de la ciudad de México, son los hechos por estructuras

³²

Apud., *Reglamento de Construcción de la Ciudad de México*, Ed. 1966, Ed. 1976 y Ed. 1997.

Apud. José Creixell, Op. Cit. (*Construcciones Antisísmicas*), Ed. 1981 y Ed. 1994.

³³ (Sin nomina de autores), Fundación ICA, a. c.: *Experiencias Derivadas de los Sismos de Septiembre de 1985*, Op. Cit., página 94:

"El primer tipo de estructuras se encuentra en construcciones antiguas; los muros llegan a tener espesores superiores a 50 cm. y alturas de entresijos relativamente grandes. Suelen estar bastante deteriorados, sobre todo en los sistemas de piso, por falta de mantenimiento adecuado, con vigas apolilladas o podridas, muchas veces con rellenos de tierra importantes en pisos y techos. Además suelen tener grietas en muros y pisos provocados por hundimientos diferenciales por pisos anteriores. Normalmente el número de niveles es 1 a 4 como máximo".

metálicas a finales del siglo XIX, algunos en varios niveles y cuyo uso es público, el arquitecto Creixell recomienda un aumento del *coeficiente* en casi una vez y media mas, o sea: 1.3; el cual se traducirá en esfuerzos sísmicos para como ya se dijo, únicamente simulando el primer modo de vibración. Para el caso de estructuras sobre muros de carga será un tanto mas preciso y/o aproximado; mientras que para estructuras flexibles mas abierto y alejado de la realidad; si recordamos que muchos edificios se "descopetaron" al entrar no al modo fundamental.

El método estático, no por ello dejara de ser un resultado que nos indique una primera instancia. Será necesario recordar que la arquitectura de la ciudad de México nos ha enseñado que son mejores y más óptimas las construcciones rígidas sobre gruesos muros de carga y preferentemente de baja altura que las construcciones altas y flexibles, debido a la llamada resonancia en terrenos suaves y compresibles. Por lo tanto la restauración estructural de los mismos deberá ser en su mayoría en conservar la unidad estructural original, o sea mantener el tipo de construcción. Solo Será necesario hacer consideraciones especiales a elementos altos como torres, bóvedas, cúpulas y edificios en estructuras de entramado.

La fórmula general para el cálculo estático tiene un inconveniente debido a que se encuentra dedicada a estructuras con entresijos de una rigidez considerable, como las losas de concreto armado. Sin embargo para los edificios históricos, con una situación inversa de muros de cargas, lo cual la hace rígida, con entresijos de viguería, le genera diferencias. Mientras que para edificaciones de columnas la hace mas aceptable.

Las estructuras tendieron a manifestarse en varios modos de vibración, por tal razón el análisis dinámico es mas preciso. No obstante el estudio estático es útil para construcciones bajas y de muros de carga. De tales ejemplos se tienen innumerables edificaciones históricas, mientras que para estructuras abovedadas resueltas a base de la geometría de la construcción nos conduce a una metodología ligada a su esencia estructural. Con ello, al análisis e interpretación de las proporciones de la arquitectura y que en cierta medida directamente se presentaron en los tratados clásicos del arte de construir.

Existe una analogía entre el cálculo estático con los estudios de viento de la *tratadística* del siglo XIX. Hay una particularidad innegable en los sistemas de proporción que es el elegir un elemento tipo como columna o muro y en función de este obtener la medida ideal (para lo clásico) y exacta (para el estudio matemático), sin perder de vista el trabajo del conjunto en toda su unidad estructural.

B).- Síntesis comparativa del análisis dinámico:

Idealmente este sistema es más exacto, debido a la observación cuidadosa de varios

eventos que influyen en el comportamiento de la arquitectura y su terreno sustentante; Sin perder de vista que los métodos llamados dinámicos mas que exactos, tienden a ser aproximados en la realidad, por ello son, la búsqueda de la precisión dentro de la generalidad. De hecho mientras mas indicaciones como puntos por prever mas estaremos cerca de esta. Así tendrá que ver la masa y forma y/o configuración del edificio, y los factores o tipos de acciones debidas a la efectividad del temblor respecto a una organización estructural, como lo es el periodo de vibración de la misma estructura y terreno, las diversas evoluciones en las masas y los esfuerzos generados en los mismos elementos constructivos, el tipo de sismo y terreno y con sus diversas dimensiones generadas de espacio tiempo (periodo y velocidad angular) y fundamentalmente de una tipología estructural y orgánica constructiva, que como factores de respuesta genera la misma unidad estructural, al tender en toda su forma y magnitud, asumir la intensidad de empujes sísmicos que tienden a deformar (flexión), romper (cortante), hundir o voltear.

La analogía entre el estudio estático y dinámico, respecto a construcciones históricas tienen en ambos casos ciertas semejanzas y aproximaciones; como por ejemplo una estructura rígida de muros de carga de uno a tres niveles, vibra del modo fundamental como lo supone o considera el primer método de cálculo (estático), incluso si observamos un corte en sus diferentes niveles se indica claramente la tendencia a resistir un mayor esfuerzo cortante en la base. Mientras que en el cálculo dinámico dependiendo el número de niveles contiene los posibles y diversos modos de vibrar. Al ser más lógico que el primer criterio nos conduce a reconocer que la misma estructura de una forma mas pareja tiende a ondularse debido a los diferentes modos de vibrar; pero siempre con la tendencia a conservar la estática del conjunto, con elementos mas pesados en sus bases mas pequeños y ligados con mayor cantidad de mortero en las partes mas altas, para absorber con mayor eficacia las posibles tracciones; las secuencias de movimiento debidos al desplazamiento en cada modo es directamente proporcional a la continuidad de los apoyos y solo las diferencias entre cada nivel se pueden diferenciar por el aumento paulatino hacia las bases de la construcción, pues no cuenta con losas rígidas que como paneles horizontales accionen fuertemente sobre apoyos aislados. Contando desde luego por su masa las estructuras abovedadas en el sentido horizontal, con lo que aumentan los empujes.

Es evidente que no existe una regla determinada o exacta, pero si tendencias en el modo de vibrar, partiendo de un principio básico. Ninguna estructura es totalmente rígida pero tampoco totalmente flexible. Pero si el diseño, materiales y sistemas empleados en la construcción como el propio terreno; reúnen las características en su comportamiento, y por lo tanto nos conducen

con mayor aproximación a las posibles realidades. 34

Una correcta interpretación y estudio de un edificio histórico es fundamental, el diagnóstico por análisis de deterioros y para conocer los efectos de los sismos en las construcciones y con ello derivar un criterio de diseño estructural e intervención.

El análisis matemático (*estático o dinámico*) será siempre una herramienta; pero deberá ser interpretado, adecuándolo a las cualidades estructurales de los monumentos históricos, pues como sabemos tales estudios, se encuentran dedicados preferentemente a estructuras continuas en acero o concreto armado y los ejemplos representativos son de varios niveles, derivando en estructuraciones flexibles.

Concluyendo podemos decir que la aplicación de un análisis dinámico se tiene que realizar con el mayor cuidado posible, este se puede establecer bajo un modelo matemático derivado de un cálculo sísmico dinámico; el cual considere la configuración estructural original, y de esta forma proponer, devolver, recuperar, consolidar la geometría del edificio.

Varios autores presentan modelos matemáticos como caminos a seguir, sin embargo estos se encuentran dedicados a edificios contemporáneos resueltos por estructuras de varios piso y soportados por columnas. Es decir entramados de concreto y acero, que visualizan problemáticas para otras regiones del mundo, como Tokio, Los Angeles, con sus situaciones específicas en sus respuesta natural debidas al tipo de sismos; como de los tipos de terreno con sus formas de transmisión, oscilatoria y trepitatoria.

De tales estudios *Takabeya, Norman B. Gren*, se sitúan notables ejemplos, pero solo aplicables a sus países de origen. Este último es más universal y cita problemas específicos de México y dignos de ser nombrados, como los largos períodos de oscilación en la ciudad de México debido al terreno de origen lacustre. *Dowick*, apunta la problemática californiana, sin embargo anuncia con mayor precisión, la situación particular por los graves consecuencias de licuación, y por ello presenta fundamentos ineludibles en la práctica y consideración del valle de México; solo que acercándose a la estructuración contemporánea y muy especialmente dedicando el caso del sur oeste de Estados Unidos.

Mientras que Meli Piralla y Bazán Zurita, en una manera más abierta, presenta la

34

La Fundación ICA, A. C.; Pág. 41 (no menciona nómina de autores): *Experiencias Derivadas de los Sismos de Septiembre de 1985*, :

"El efecto de los sismos sobre las estructuras depende precisamente de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son variables tanto durante un mismo temblor, como de uno a otro temblor, dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras".

premura debida a la respuesta sísmica y observan el caso de la ciudad de México; solo que con la especialización a estructuras contemporáneas; por lo que es interesante retomar gran parte de su temática, pero con las consideraciones específicas para los edificios históricos.

Jose Creixell, cita ampliamente la situación nacional, dedicandose especialmente al problema de la ciudad de México, tocando vario tipos de estructuraciones. De tal autor es factible aplicar gran parte de sus criterios de diseño, considerando, como un punto y a parte el problema específico de los edificaciones históricas; y así aplicar sus modelos, el cual parte de los fundamentos de la física, a base de plantear los modos de vibración secuencias, a partir de la masa "M", velocidad angular al cuadrado, desplazamiento, cortante por niveles, constante de resorte y deformaciones; todo ello por nivel reutilizar. Este modelo es por tanteos lo que lo hace aparentemente un tanto fuera de la exactitud, pero se acerca a la realidad, pues considera la problemática tanto la respuesta de los terrenos suaves de la ciudad de México, como los tipos de estructuración, en su mayoría a base de muros de carga y considera factores de amortiguamiento, amplificación debidas a posibles resonancias.

Sin embargo, resulta una constra dicción verificar una estructura sana que se ha conservado intacta y ha demostrado ser adecuada a lo largo del tiempo por su tipo de estructuración, sus tecnología y por lógica solo aplicar una metodología de restauración a edificios históricos dañados, alterados, mutilados, y /o mal intervenidos; ya sea por faltantes, de apoyos, entresijos y cubiertas o agregados, como estructuras de concreto o metálicas agregadas, o simplemente con la presencia de deterioros estructurales, con lo cuales se tiene que diferenciar perfectamente que estos deterioros generalmente son los efectos; por lo que es importante determinar las causas, es decir el porque por ejemplo de la presencia de una grieta en un arco o bóveda, debida al hundimiento diferencial, debida al largo paso del tiempo, motivada por las deformaciones al terreno sustentante. Y/o la acción violenta debida a una carga sísmica, con esfuerzos de tracción, originada a su vez por movimiento de los apoyos.

Es necesario conceptualizar la estructura en su integridad, con su forma de trabajo estática y dinámica (unidad y configuración estructural), simulando que tendencias y modos de vibrar tiene la misma y o ha experimentado la misma; es decir hay que comprender la estructura con toda su sencillez en su orden de elementos y materiales constructivos, o sea de su geometría y su respuesta a un evento sísmico, con las posibles tendencias de falla y aplicar si es preciso un

modelo de análisis. 35

Tanto el análisis estático, como el dinámico, son una herramienta importante mas no una finalidad; y solo son necesarios si el nivel de deterioro o alteraciones lo amerita, (alteración de geometría, diferencias de alturas y materiales, deformaciones, agrietamientos, desplomes, faltantes y hundimientos); por lo que estos pueden ser cálculos simplificados, considerando si es necesario el análisis, como una medida de diseño, restauración y apegada a la práctica constructiva. Y según sea el caso, el uso de una tecnología y material tradicional o alternativo; pero sin cambien las rigideces o disposición de carga, esfuerzos y modos de vibración, (tomando en cuenta la edad de los materiales).

Las revisiones o cálculos incluso pueden prescindirse; si simplemente reintegramos elementos arquitectónicos originales, tales como: apoyos, arcadas, contrafuertes, entresijos o cubiertas, los cuales conserven la geometría original. Es decir que su configuración estructural se permanezca integralmente; restableciendo el orden de la misma.

Metodología y recomendaciones finales:

Para el estudio dinámico y con ello tener una aproximación lo más ideal posible a la serie de eventualidades más desfavorables. Es fundamental conocer los materiales y tecnología de construcción, y de ello se presenta la siguiente síntesis:

A): La geometría constructiva del inmueble, con la comprensión de sus plantas, cortes, volúmenes e intersecciones. Con sus cualidades esenciales, como la inercia, el movimiento del

35

Nota: Los primeros modelos aplicados a edificaciones históricas y siguiendo el perfil inicial del arq. Ceixell: Considerando procedimientos constructivos integralmente, con el tipo de estructuración, es decir su configuración estructural y de acuerdo a los módulos de elasticidad y debido tanto a su sencillez como aplicación práctica a la construcción, se realizaron en la tesis de posgrado en maestría en restauración, por los alumnos Pérez Espinosa Hector y Jorge Antonio Rojas Ramírez. Considerando las rigideces y módulos, para obtener constantes de resorte, (materiales y procedimientos constructivos), **cualidades de amplificación y amortiguamiento debida a su configuración estructural.**

Apud. José Creixell: *Construcciones Antisísmicas, Op., Cit.*, Ed, 1981 y Ed, 1994, p. 27 y p. 47 - 68.

Consideraciones para el cálculo dinámico:

$$F = MA,$$

de donde: $F = M w^2 Y,$

Por lo que, según la aceleración producida por el grado del sismo y dependiendo por lo menos del primero, segundo y tercer modo de vibración; el autor recomienda :

1.- Obtiene por tanteos la velocidad angular "w"

2.- La aceleración debida al grado del temblor "A", donde el desplazamiento:

$$y = A/w^2;$$

Mientras que el período de la estructura $T_e = 2\pi/w,$

El período de vibración del terreno es:

$$T_s = \text{seg. } 2 \text{ del lugar, de donde:}$$

$T_s/T_e,$ debe ser diferente modo de vibrar del terreno:

Y así lo se presenten incrementos por cortantes.

Masas = M. Velocidades angulares al cuadrado = w^2 . Desplazamientos = y.

Esfuerzos cortantes: V. /C. R, y Deformaciones = a

suelo de la zona de estudio, en este caso el centro histórico; las cualidades de *amortiguamiento* de la estructura según sus *materiales y geometría* y la *resonancia* o *amplificación* debida a la *sincronización del suelo y estructura*.

Recomiendo una *metodología simplificada*, cuyas bases fundamentales se encuentran en la esencia de la tratadística original, el *sistema constructivo, unidad estructural*. Con una síntesis estructural y diagnóstico claro de las alteraciones, proponer un proyecto de sencillez práctica.

B): Conocer el periodo de movimiento del terreno, considerando por el sitio o zona, las áreas de nodos o playas y de acuerdo con la estadística el grado del temblor, con sus repercusiones debidas a la amplificación y amortiguamiento.

La amplificación se encuentra prevista por la sincronización del período entre el suelo y estructura; mientras que el amortiguamiento se debe específicamente a las cualidades de los materiales y de los procedimientos constructivos, en este caso específicamente dedicados a los edificios históricos.

C): Los posibles o factibles períodos o modos de vibrar de la estructura. (en esquinas, juntas y/o colindancias, alturas, cambios de estructuración). Determinando con la mayor aproximación a la naturaleza del suelo y estructura, el periodo y resonancia.

Los deterioros estructurales, como fisuras, grietas y deformaciones ayudaran con mayor precisión a determinar las posibles tendencias en el movimiento y desplazamiento estructural.

D): Conocer la *aceleración* del terreno y los grados del tipo de temblor frecuentes y máximos en la zona, con la escala ideal o mas adecuada para los edificios históricos.

E): Es indispensable recordar que el criterio de diseño deberá ser interpretado hacia la construcción por estudiar. Las características naturales de los elementos arquitectónicos estructurales, según sus proporciones y propiedades en sus materiales Precisamente para obtener una adecuada resolución del problema es necesario acercarse lo mas próximo a las distintas eventualidades y con ello conocer las cualidades de los elementos constructivos; y en función del tipo de material, sección y esbeltez obtener los grados de libertad o desplazamiento.

F): Determinar el porque de los desplazamientos y deformaciones por niveles, contando previamente con la aceleración del terreno debida al grado del temblor.

G) Determinar el estado de la edificación, con las posibles situaciones de falla y

resistencia, para su habitabilidad. Como de proyecto a realizar; si este es necesario. 36

Conclusiones finales:

Abrir la puerta hacia un nuevo cambio, sobre la mecánica de suelos (caso específico ciudad de México) que es una modalidad no reconocida en libros, estudios y prácticas de la especialidad citada y que afectó este desconocimiento a las construcciones en los sismos de 1985. Tema expuesto en esta tesis (la licuación), que requiriendo de fundamentos específicos de la especialidad de *mecánica de suelos*.

Durante estos sismos en la ciudad de México, los suelos experimentaron condiciones no previstas por tal especialidad, como lo es que los suelos abandonaron su comportamiento sólido y respondieron como si fuese líquido. A esta situación le he llamado alteración de la arquitectura de la tierra*. *La licuación* es un tema de tal importancia que hasta la NASA lo estudia, con atención a profundos conocimientos de la *física clásica* en sus áreas sobre mecánica de fluidos y la teoría elástica de los sólidos, solo que la nueva ventana es: ***El estudio hacia los materiales granulados inmersos en un líquido o gas***. Tema que se aplica a las construcciones y su cimentación, si tomamos en cuenta que ante la presencia de un temblor y a profundidades considerables inducen cargas extraordinarias en el material granular del suelo superficial, afectando su comportamiento mecánico, como consecuencia de la compactación súbita del suelo relativamente suelto y el aflojamiento del suelo compactado, mas si existen poros u, oquedades y agrietamientos en suelos resacos o saturados por agua. A medida que aumenta la presión del agua o aire los esfuerzos por presiones aflojan y debilitan al material constitutivo de los suelos, con la presencia de un temblor o incluso sin este al buscar el equilibrio, las capas se contraen y licúa. La explicación mas lógica, es que en un temblor un suelo compactado se afloja intespectivamente en su estructura, acabando con la fricción entre sus partes y particulas, comportandose como un fluido.

La capas terrestres tienden a actuar por geometría, junto con el orden universal y por ello, la union de varios factores y dimensiones que son parte del orden universal, como la gravedad de la tierra, el tiempo. Nos dicen las exactitudes de una tendencia a una armonia total el en cosmos, solo que en este caso, con una serie de alternancias entre las capas y constitución de sus

36

Apud., José Creixell, *Estabilidad de las Construcciones, Op.Cit.*, Edición 1994 (revisión debida a la experiencias de los sismos de 1985, pag, 15, 23, 25).

*Nota. Arquitectura de la tierra entendida como la configuración natural en todas su capas, preopiedades física, químicas en sus materiales y discontinuidades, resequeadad o saturación de fluidos etc., en un lugar geográfico determinado, lo que determina su resistencia y comportamiento natural, sin la alteración por la actividad humana, lo que define las capas resistentes sujetas a los movimientos naturales, según la zonas de temblores y en las cuales se apoyan edificaciones. (Caso particular histórico).

materiales. Es decir diferentes naturalezas físicas que actúan como grandes discontinuidades. Como respuesta a ello lo ideal es no alterar la arquitectura de la tierra y por lo tanto cambiar su configuración natural, tal situación especial en la ciudad de México es tremenda por la extracción de agua y encontrarse su centro histórico en una zona de origen lacustre, constantemente drenado. La NASA, experimentó en el espacio para eliminar los efectos de gravedad y comprender los demás esfuerzos involucrados, simulando ondas sísmicas, tales muestras fueron inyectadas con resina epóxica para congelar las características. Los resultados fueron la formación de bandas de esfuerzos que no se conocían, según el investigador de la NASA *Nicholas Costes*. La estructura molecular experimentó una expansión en su volumen lo que indica una ausencia de licuación.

Sin embargo, desde anteriores épocas y la virreinal se utilizaba cimentaciones a base de grandes basamentos intercalados entre sí, para formar grandes articulaciones naturales; realizados a base mampostería ricas en mezclas a base de cal. Con una constante e impecable reintegración o consolidación, ya sea con superposiciones o simplemente con consolidaciones de "inyecciones" naturales de arcilla con cal a las capas superficiales, y con la adición de estacados y encamados de madera, sin la alteración natural de la arquitectura de la tierra,³⁷ consolidando y expandiendo los materiales constitutivos de los suelos resistentes. Esto limitó en gran medida los efectos de licuación en los edificios y la urbanística. Para la estabilidad, en cuanto a licuación es menor para la arquitectura histórica, pues en su cimentación es superficial, solo que, por la alteración (*contaminación*) en la mecánica de suelos, los efectos de los sismos en la actualidad son más destructores.

37

Nota. El concepto de: *Arquitectura de la tierra*, definido en los anteriores capítulos.

Apud. Jacinto Ruíz, Ingeniero especialista en *Estructuras y Mecánica de Suelos* del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Conferencias dictada por el mismo en septiembre y octubre de 1998 sobre la estabilidad de la Catedral Metropolitana y Sagrario de la ciudad de México, en la cual propone estabilizar integralmente la estructura, sin alterar o poner en riesgo al conjunto monumental y considerando la mecánica de suelos, como la geometría estructural original. Comentarios y asesoría con el ing. Jacinto Ruíz. Miembro del Instituto de Ingeniería de la UNAM y Asesor para D. R. O. del D. D. F.

5.- Bibliografia

BIBLIOGRAFIA:**Tecnología:**

REYNAUD, LEONCE, M.,
TRAITE D'ARCHITECTURE, ART DE BATIR,:
 PREMIERE PARTIE (Francia), 1875, 593, ILUS. 87 LAM. DYNOD, EDITEUR,

REYNAUD, LEONCE, M.,
TRAITE D'ARCHITECTURE. COMPOSITION, DES EDIFICES,
 DEUXIEME PARTIE (Francia), 1878, 628 (páginas), ILUS. 92 LAM., DYNOD, EDITEUR,

TUBEUF, GEORGES,
TRAITE D'ARCHITECTURE, THEORIQUE ET PRATIQUE,:
 (Francia), 1880, (TOMO) I , 377 (páginas), ILUS,

TUBEUF, GEORGES,
TRAITE D'ARCHITECTURE, THEORIQUE ET PRATIQUE,:
 (Francia), 1880 (TOMO) II, 556 (páginas), ILUS.

TUBEUF, GEORGES,
TRAITE D'ARCHITECTURE, THEORIQUE ET PRATIQUE,:
 (Francia), 1880 (TOMO) III, 908 (páginas), ILUS. fotografías.

ROBERTS, E,
LE CALCUL DES SYSTEMES HYPERESTATIQUES,:
 (Francia), 1945, ED. Egralles, 451 (páginas),

PILLET, JULES,
TRAITE DE STEREOTOMIE :
 (Charpente et Coupe des Pierres), París (Francia),
 Francia, 1887, Libraire Ch., Delagrave, 167 páginas. ILUS.

DEVILLEZ, BARTHELEMI A.,
ELEMENTS DE CONSTRUCTION CIVILES, ART DE BATIR,:
 (Francia), 1882, Ed. Gauthier Villars, Tomo I, 384 (páginas). ILUS.

DEVILLEZ, BATHELEMI A.,
ELEMENTS DE CONSTRUCTION CIVILES, ART DE BATIR,:
 (Francia), 1882, Ed. Gauthier Villars, Tomo II, 214 (páginas) , ILUS:

GUADET, JULIEN,
ELEMENTS ET THEORIE DE L' ARCHITECTURE: Cours Professé à l'Ecole Nationale et
 Spéciale des Beaux - Arts, Tomo I, Paris, 1894, (Francia),
 Libraire de la Construction Moderne, Aulanier, ILUS. 663 (páginas).

GUADET, JULIEN,
ELEMENTS ET THEORIE DE L' ARCHITECTURE: Cour Professé à l'Ecole Nationale et
 Spéciale des Beaux - Arts, Tomo II, Paris, 1894, (Francia),
 Libraire de la Construction Moderne, AulierEditeurs, ILUS. 712 (páginas).

GUADET, JULIEN,
ELEMENTS ET THEORIE DE L' ARCHITECTURE: Cours Professé à l'Ecole Nationale et
 Spéciale des Beaux - Arts, Tomo III, Paris, 1894, (Francia), Libraire de la Construction Moderne,
 Aulier Editeurs, 601 (páginas), ILUS.

LEJEUNE, EMILE,
TRAITE PRATIQUE DE LA COUPE DES PIERRES: (Francia), (1890) Libraire Polytechnique
 Baudry, Libraire - Editerus, 577 (páginas).

PLANAT, PAUL,
L' ART DE BATIR: Cours de la Construction Civiles: Directeur de la Construction Moderne,
 Tomo V, Fermes Métalliques Chauffage, Electricite, Hydraulique, Assanissement, Hygiène.
 Francia, (1875 - 1897), Libraire de la Construction Moderne, 836 (páginas), ILUS.

PLANAT, PAUL,
L' ART DE BATIR : Cours de la Construction Civiles Diercteur de la Construction Moderne.,
 Tomo IV, Charpentes, Fer et Bois, Application aux Elements de Construction, Planchers, Passerelles
 Fermes en Bois., Paris (Francia), (1875 - 1897), Libraire de la Construction Moderne, 744, ILUS.,

PLANAT, PAUL,
L' ART DE BATIR : Cours de la Construction Civiles: Directeur de la Construction Moderne.,
 Tomo III, Voutes en Maconnerie, Voutes d'Eglises, Tours et Befrois - Beton Arme. (Francia), (1875
 1897), Libraire de la Construction Moderne, 730 (páginas), ILUS.,

PLANAT, PAUL,
L' ART DE BATIR: Cours de la Construction Moderne., Tomo II, Principes de Statique, Murs
 ordinaires- Murs de Soutänement - Murs de Reservoirs. (Francia), (1875 - 1897),
 Libraire de la Construction Moderne, 736 (páginas), ILUS.,

PLANAT, PAUL,
L' ART DE BATIR : Cours de la Construction Moderne., Tomo I, Materiaux ders Construction:
 Fundations, (Francia), (1875 - 1897), Libraire de la Construction Moderne, 704 (páginas), ILUS.,

PLANT, C. JAMES, ET ALL,
CYCLOPEDIA OF ARCHITECTURE, CARPENTRY, AND BUILDING; Chicago, American
 Technical Society, 1912, (USA), 612 (páginas), ILUS.,(TOMO) I, 520 (páginas), ILUS., (TOMO) II.,
 625 (páginas) ILUS.; (TOMO) III., 705 (páginas), ILUS., (TOMO), IV., 506 (páginas), ILUS.,

REBOLLEDO, JOSE, A.,
MANUAL DEL CONSTRUCTOR, (España), Imp. Ricardo Rojas.,5 Edición, Hormigon
 Armado, 1910, 487 (páginas), ILUS. Saenz de Jubera Hermanos, Editores,

RONDELET, JEAN DE, (SUPLEMENT G. ABEL BLOUET,)
TRAITE THEORIQUE ET PRATIQUE DE L' ART DE BATIR: Tome Premiere, Paris, 1881, (Francia),
 Libraire de Firmin - Didot et Cie., Imprimeurs de L' Institut, 326 (Páginas). 364 (páginas), ILUS.

RONDELET, JEAN DE, (SUPLEMENT: G. ABEL BLOUET,)
TRAITE THEORIQUE ET PRATIQUE DE L' ART DE BATIR: Tome deuxième, 1881, (Francia),
 Libraire de Firmin - Didot et Cie. Imprimeurs, de L' Istitut, 367 (Páginas), ILUS., 241 (páginas).

RONDELET, JEAN DE,(SUPLEMENT: G. ABEL BLOUET,)
TRAITE THEORIQUE ET PRATIQUE DE L' ART DE BATIR., Tome Troisième, 1881, (Francia),
 Libraire de Firmin - Didot et Cie. Imprimeurs, de L'Institut, 387 (páginas), ILUS.

DENFER, J.,
ARCHITECTURE ET CONSTRUCTIONS CIVILES; MAÇONNERIE:
 Encyclopedie des Travaux Publics, TOME Premier, (Francia), 1891, Libraire Polytechnique,
 Baudry et Cie., Libraires - Editeurs, 408 (páginas), ILUS.,

DENFER, J.,
ARCHITECTURE ET CONSTRUCTIONS CIVILES: MAÇONNERIE :
 Encyclopedie des Travaux Publics, TOME Second, (Francia), 1891, 423 (páginas), ILUS,
 Libraire Polytechnique, Baudry et Cie., Lobraires,

RAMEE, DANIEL,
L' ARCHITECTURE ET LA CONSTRUCTION:
 (Francia), Librairie de Firmin Didot et Cie., 1885, 649 (páginas), ILUS.

CHATEAU, THEODORE,
TECHNOLOGIE DU BATIMENT:
 (Francia), 1880 Librairie Générale de l' Architecture et des Travaux Publics, Ducher et Cie.,
 VOLUME I, 819 p.

CHATEAU, THEODORE,
TECHNOLOGIE DU BATIMENT: VOLUME II,
 1882, (Francia), Ducher et Cie., 756 p. ILUS.Librairie Général de l'0Architecture et des Travaux Publics,

BOUSSARD, J.,
L'ART DE BATIR SA MAISON :
 Francia 1885, Librairie des Imprimeries Réunies, 467 páginas. ILUS.

BERNARD (COORDINADOR) REVISTA CONMEMORATIVA
REVUE TECHNIQUE DE L' EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889:
 BERNARD ET CIE. EMPRIMEURS EDITEURS, PARIS, 1893 ATLAS. 1B, 2B, 3B , 102 LAM.

EIFFEL, G.,
LA TOUR - DE - TROIS CENTS METRES :
 (Francia), MDCCCC, 368 p. ILUS. 14 LAM.; Les Imprimeries Lemercier.

BATAILLE, ATHANASE,
NOUVEAU, MANUEL COMPLET DE LA CONSTRUCTION MODERNE:
 Francia, 1859, Librairie Encyclopedique de Doret 426, p. ILUS.

TOUSSAINT, M.,
NOUVEAU MANUEL COMPLET DE L' ARCHITECTURE OU TRAITE DEL ART DE BATIR:
 Tome premier, Librairie Encyclopediqui de Rodet, 1837, París, (Francia), 315 páginas.

TOUSSAINT, M.,
NOUVEAU MANUEL COMPLET DE L' ARCHITECTURE OU TRAITE DEL ART DE BATIR:
 Tome second, 1845, París, (Francia), Librairie Encyclopediqui de Rodet, 330 p.

HEBRARD, ALBERT,
ARCHITECTURE :
 Bibliothèque du Constructeur de Travaux Publics, París, 1897, libraires des Pontet Chaussées,
 des Mines et des Chemins de Fer, 433 p. ILUS:

D. J. R.
MANUAL DEL CONSTRUCTOR PRACTICO :
 MADRID, 1869, (España), Imprenta Manuel Minoesa, 354 páginas. ILUS, XI LAM.,

RUIZ, R., LUIS,
MATERIALES DE CONSTRUCCION .
 México, 1911, Escuel de Bellas Artes de San Carlos, Imp., José Ignacio Duran y Cia., 188 páginas.

(Sin nombrar autores),
REGLAMENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO. D. F.:
 México, 1921, Ayuntamiento Constitucional de México Eusebio Gomez de l Puente., 82 páginas.

AVILER D'AGUSTIN CHARLES, *COURS D' ARCHITECTURE* :
Qui Comprend les Ordres de Vignole, avec des Commentaires de MICHEL - ANGE,
L' ART DE BASTIR: Francia, París, MDCCLX, (1760), Chez
 Charles - Antoine Jombert, LVI, LAM. 447 páginas, ILUS.

CLAUDEL, JOSEPH,
PRATIQUE DE L'ART DE CONSTRUIRE MAÇONNERIE :
 París, Francia, 1859, Dalmont et Dunod, Editeurs, 678 páginas, ILUS.,

NACENTE, FRANCISCO, (Director),
EL CONSTRUCTOR MODERNO: (Tratado Teórico y Práctico de Arquitectura y Albañilería) :
 Barcelona, España, 1889, Volumen (Teórico), Jaime Solá - Sagales, 539 Páginas.

NACENTE, FRANCISCO, (Director),
EL CONSTRUCTOR MODERNO : (Tratado Teórico y Práctico de Arquitectura y Albañilería) :
 Barcelona, España, 1889, - ATLAS, Parte - I -, 246 Láminas., Ed. Jaime Solá.

NACENTE, FRANCISCO, (Director),
EL CONSTRUCTOR MODERNO :
(Tratado Teórico y Práctico de Arquitectura y Albañilería) :
 Barcelona, España, 1889, - ATLAS, Parte - II -, 244 Láminas., Ed. Jaime Solá.

BERGOS, MASSO, JUAN,
MATERIALES Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCION :
 (Estudio Experimental) España, 1956, BOSCH, Casa Editorial,
 408 páginas, ILUS., Fotografías.

CAORS, J.,
MANUEL DE LA CONSTRUCTION:
 Francia, 1890, Ed. Saint - Girons, Librairie Centrale des Sciences, J. Michelet, Im.
 DUPEYRON., 207 páginas.

RINCON Y MIRANDA, MANUEL,
TRATADO DE LEGISLACION DE EDIFICIOS Y CONSTRUCCIONES :
 México, 1907, Ed. Joaquin Rincon, 158 páginas.

CORNU, L.,
GUIDE PRATIQUE POUR L 'ETUDE ET L'EXECUTION DES CONSTRUCTIONS EN FER :
 (A l'Usage des Architectes, Ingénieurs, Conducteurs des Travaux, Elèves des Ecoles, etc.), París,
 1886, 227 páginas, Librairie Paul Dupont/ A. Neuilly.

- MIGNARD, R.,
GUIDE DES CONSTRUCTEURS: (Traité Complet des Connaissances Théoriques et Pratiques):
 Francia, 1898, E. Levy Ed., Librairie Centrale des Beaux - Arts, 642 páginas.
- CHAIX, J.,
TRAITE DE COUPE DES PIERRES: (Stéréotomie),
 París, (s./d.), (1875) Sixieme partie, Enciclopedia Théorique et Pratique des
 Connaissances Civiles et Militaires, Partie Civile, 563 páginas.
- LAFEVER, MINARD,
THE BEAUTIES OF MODERN ARCHITECTURE :
 USA, N. Y., 1968, Ed. Da Capo Press, (1850), Edición Facsimilar, 139 páginas, ILUS.
- CARRILLO, NABOR,
INVESTIGACIONES SOBRE ESTABILIDAD DE TALUDES Y FUNDACIONES :
 México, 1984, UNAM; 119 páginas, ILUS.
- FELD, JACOB,
FALLAS TECNICAS EN LA CONSTRUCCION :
 México, 1978, Ed. LIMUSA, 491 páginas, ILUS; Fotos.
- LE DUC, E., ET CHENU :
CHAUX, CIMENTS, PLANTERS :
 Manuel de Pratiuques d'Analysis Chimiques : Francia, 1912, 252 páginas, ILUS.
- MASOUTY DE, MAX.
LA TOUR EIFFEL DE 300 METRES A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889 :
 Francia, 1881, Ed. Imprimerie De Lagny 116 páginas, ILUS. fotografias, ILUS.
- CAMARA, MARCIAL,
TRATADO TEORICO - PRACTICO DE AGRIMENSURA Y ARQUITECTURA LEGAL :
 España, 1863, Ed. Imprenta Francisco Miguel Perillan, 493 páginas.
- MOYA, BLANCO, LUIS,
BOVEDAS TABICADAS :
 España, 1947, 103 páginas, fotografias, ILUS.
- CROS, RAYMOND,
LES GRANDS BAREMES DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE :
 Baremes Generaux: Flexion - Flambage - Tration - Extension - Poids des Materiaux -
 Renseignements Utiles au Constructeur, Ingenieur des Arts et Manufactures de l' Ecole
 Centrale de Paris, Constructeur et Entrepreneur de <<<travaux Metalliques>>>, París,
 1896, - (Francia) - Montpellier, Chez l'Auteur, E: Bernard et Cie., 472 páginas, ILUS.

PLANAT, PAUL, ET ALL, (Directeur),
ENCYCLOPEDIE DE L' ARCHITECTURE ET DE LA CONSTRUCTION:
 Francia, (1850) Bibliotheque de la Construction Moderne, Volume IV,
 Dujarin et Cie., 766 pág., ILUS.

PLANAT, PAUL, ET ALL, (Directeur),
ENCYCLOPEDIE DE L' ARCHITECTURE ET DE LA CONSTRUCTION:
 (1850) Bibliotheque de la Construction Moderne, París,
 Volume V, Dujarin et Cie., 800 pág., ILUS.,

PLANAT, PAUL, ET ALL, (Directeur),
ENCYCLOPEDIE DE L' ARCHITECTURE ET DE LA CONSTRUCTION:
 (1850) Bibliotheque de la Construction Moderne, París,
 Volume VI, Dujarin et Cie., 750 pág. ILUS.,

PLANAT, PAUL, ET ALL, (Directeur),
ENCYCLOPEDIE DE L' ARCHITECTURE ET DE LA CONSTRUCTION:
 Bibliotheque de la Construction Moderne, París,
 Tables du Texte et des Dessins, Dujarin et Cie. , 140 pág.. (1850)

BERGER, C. ; V. GUILLERME
LA CONSTRUCTION EN CIMENT ARME :
 Applications Générales, Theories et Systèmes Diners. 1909, H. Dunop et E: Pinat
 Editeurs, LXVII, LAM.

LANCK, LEOPOLD,
TRAITE PRATIQUE DE LA CONSTRUCTION MODERNE :
 Et Description du Matériel, premier Volume, 1877, Ve. A. Morel et Cie., Libraires, 453 p.

DURAND,
PRECIS DES LEÇONS D' ARCHITECTURE :
 Données a L'Ecole Royale Polytechnique, Premier Volume, Paris, Chez L'Autor, 1840, 126 p. XXI
 LAM. Volume, Second, 71 p. , VIII LAM.

LEMAISTRE, ALEXIS,
L' ECOLE DES BEAUX - ARTS:
 Paris 1889, (Francia), Libraire Firmin - Didot et Cie., 407 p. ILUS.

Estructuras:

ROUCHE, EUGENE,
ELEMENTS DE STATIQUE GRAFIQUE;
 Encyclopédie des Travaux Publics, Francia 1889, Libraire Baudry et Cie., 284 (páginas), ILUS.

PILLET, JULES,
TRAITE DE STABILITE DES CONSTRUTIONS:
 Au Conservatoire National Des Arts et Metiers a l'Ecole Speciale d'Architecture, Paris, (France),
 1895, 477 (páginas), LLXVI (LAMINAS),

POISONT, LOUIS,
ELEMENTS DE STATIQUE ;,
 (Francia), 1848, Bachelier, Imprimeur, Libraire, 526 (páginas). ILUS., de l'Ecole
 Polytechnique du Bureau des Longitudes.

PARENT, A.
ELEMENTS DE MECANIQUE ET DE PHYSIQUE:
 (Où L'on Donne Geometriquement Les Principes Du Choc,
 De Equilibres Entre Toutes Fortes Des Corps.) L'Academie Royale Des Sciences a Paris,- MDCC, -
 (1700), Chez Florentin , Pierre Delaulne, 449 (páginas), ILUS.

BOUCHARLAT, J. L.,
ELEMENTS DE MECANIQUE :
 (Francia), 1840, Bachelier, Imprimeur, Libraire, 463 (Páginas), ILUS.,

CREMONA, LUIGI,
ELEMENTI DI CALCOLO GRAFICO:
 Istituti Tecnici del Regno d'Italia, Torino,
 Stamperia, Reale, di G. B.;Paravia, E. C. 1874, 78, páginas. ILUS.

GUIDI, CAMILO,
 SCIENZA DELLE CONSTRUZIONI:
 Date Dall'Ing. Prof. R. Politecnico di Torino, Parte Terza: Elementi delle Construzioni Civili,
 Torino, Vincenzo Bona Ed. 1911 (Italia), Tipografo del la Real Casa, 488 (páginas). ILUS.

GUIDI, CAMILO,
NOZIONI DI STATICA GRAFICA :
 Politecnico di Torino, Italia 1910, parte Prima,
 150 p. Ed. Torino Vincenzo Bona. ILUS.

GUIDI, CAMILO,

TEORIA DELL' ELASTICITA E RESISTENZA DEI METEERIALI:

Parte Seconda:, Torino, Italia, 1908, 384 p. Ed. Torino Vincenzo Bona. ILUS.

MASCART, M.

ELEMENTS DE MECANIQUE :

(Francia), Libraire Hachette et Cie. 1900, 196 (páginas), ILUS.

BOIX, D. E.

ESTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERIA:

Madrid, 1892 (España), Ed. Establecimiento

Tipografico de Gregorio Juste, 649 (páginas), ILUS:

GARGOLLO Y PARRA MANUEL,

ESTATICA DE LAS BOVEDAS:

Resumen de Lecciones Orales dadas en los años 1860 en la Academia Nacional de San Carlos de B. A.,

México, Tipografia Literariade Filomeno Mata, 1878, 85 (páginas), ILUS.

NAVIER , E. M.,

RESUME DES LEÇONS DE MECANIQUE DONNES A L'ECOLE POLYTECHNIQUE:

(Miembro de l'Académie des Sciences, Professeur d'Analyse et de Mécanique a l' Ecole Polytechnique, Inspecteur, Divisionnaire des Ponts et Chaussées), Paris, Carlier - Goussier et Vor.

Dalmont Editeurs, Libraire des Corps Royaux des Ponts et Chaussées et des Mines,

(Paris Francia), 1841, 491 (páginas), Imprimeurs de l' Université Royale de France.

MARVA Y MAYER , JOSE,

MECANICA APLICADA A LAS CONSTRUCCIONES :

(España), 2 Edición, 1894, Imprenta y Litografía de Julian Palacios, 1336 (páginas), ILUS.

VIERENDEEL, A.,

STABILITE DES CONSTRUCTIONS:

(Francia), 1905, TOMO I, 250 (páginas), Louvain Imprimerie des Trois Rois,

VIERENDEEL, A.,

STABILITE DES CONSTRUCTIONS.

(Francia), 1901, ATLAS, TOMO II, LAM. XXV., Louvain Imprimerie des Trois Rois.

VIERENDEEL, A.,

STABILITE DES CONSTRUCTIONS:

(Francia), 1901, TOMO III, 141 (páginas), Louvain Imprimerie des Trois Rois,

VIERENDEEL, A.,
STABILITE DES CONSTRUCTIONS:
 (Francia), 1901, ATLAS, XXIII LAM., Louvain Imprimerie des Trois Rois,

VIERENDEEL, A.,
STABILITE DES CONSTRUCTION:
 París, (Francia), 1901, TOMO IV, 53 (páginas), Louvain Imprimerie des Trois Rois,

SCHEFFLER, M.; LE Dn. HERMANN,
TRAITE DE LA STABILITE DES CONSTRUCTION:,
 Ouvrage Traduit de l' allemand, et annoté par M:VICTOR FOURNIE, Première partie
 (Théorie des Voutes, et des Murs de Soutènement), (Francia), DUNOD, EDITEUR,
 Libraire sdes Corps Impériaux des Ponts et Chaussées et Desmines MDCCCLXIV, 375 (Páginas) ,
 ATLAS, XIX LAM.,

SAVIOTTI, CARLO,
LA STATICA GRAFICA:
 (ITALIA), Ulrico Hoepli, Editore - Libraro della Real Casa, 1888, 171p. XXIV LAM:

LEVY, MAURICE, M.,
LA STATIQUE GRAFIQUE ET SES APPLICATIONS AUX CONSTRUCTIONS:
 Gauthier - Villars, Imprimeur - Libraire, de l'Ecole Polytechnique, 1887, Francia, 415
 páginas, ATLAS, XL, LAM.,

DELAUNAG, M. CH.,
CURSO ELEMENTAL DE MECANICA , TEORICA Y APLICADA:
 (España), 1879, Carlos Bailly - Baillierie, 750 páginas. ILUS.

TEDESCO DE, N. ; ET V. FORESTIER:
MANUEL THEORIQUE ET PRATIQUE DEI CONSTUCTEUR EN CIMENT ARME:
 (Avec une note sur le Calcul des Arcs), 1909, Libraire Polytechnique C: H: Beranger, 535 páginas.

TEDESCO DE, N. ET A. MAUREL,
RESISTANCE DES MATERIAUX: (Apliquée au Béton et au Ciment Armé):, Paris, 1904.
 640 páginas. ILUS:

CASTRO, CLAUDIO.,
"APUNTES DE ESTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES":,
 Dadas por el profesor Ing. Claudio Castro y tomadas en clase por los alumnos Guillermo Bazán,
 Carlos Gayón y Enrique Montero: MANUSCRITO ORIGINAL, Biblioteca Histórica del Palacio de
 Minería, México, 1910. Facultad de Ingenierfa, UNAM. (sin numerar), ILUS.

MASTRO, DICASA, SISTO,
DISSESTI STATICI DELLE STRUCTURE EDILIZIE:
 Italia, 1983, Editore Ulrico Hoepli, 790 p. ILUS.

LIZZI, FERNANDO,
RESTAURO STATICO DEI MONUMENTI :
 Italia, 1981, Sagep Editrice, 150 p., Fotos, ILUS.

CREIXELL, M., JOSE,
ESTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES :
 México, 1984, Compañía Editorial Continental,
 (469) páginas. ILUS. y (Consulta a nueva edición, 1993)

CREIXELL, M., JOSE,
CONSTRUCCIONES ANTISISMICAS: (Criterios de Diseño) :
 México, 1981, Compañía Editorial Continental, (350) páginas. FOTOS: ILUS: y
 (Consulta a nueva edición 1994)

FRANCIS, A. J.
INTRODUCCION A LAS ESTRUCTURAS, : (Para Arquitectura e Ingeniería):
 México, 1984, Ed. Limusa, 316, páginas, Fotos, ILUS.

TELLEZ, PIZARRO, ADRIAN,
CIEMENTOS DE LOS EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE MEXICO:
 México, 1899, 81 páginas, ILUS. Ed., Alzate.

TORRES, TORIJA, ANTONIO,
CALCULOS DEL CURSO DE CONSTRUCCION, DE N. DE VOS :
 México, 1894, (Director de obras Públicas y Profesor de las Clases de Mecánica Aplicada
 a las Construcciones en) "la Escuela Nacional de Bellas Artes de San Carlos",
 Oficina Tipográfica de la Secretaría del Fomento: 294 páginas., LAM. - ILUS.

TORRES, TORIJA, ANTONIO,
INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LA CONSTRUCCION PRACTICA:
 Mexico, 1895, Director de obras Públicas y Profesor de las Clases de Mecánica Aplicada
 a las Construcciones en) "la Escuela Nacional de Bellas Artes,
 Oficina Tipográfica de la Secretaría del Fomento: 140 páginas. LAM. -ILUS.

CASTRO, RODRIGO, P.,
ESTATICA GRAFICA :
 Barcelona, España, 1969, Ediciones Ceac, 115 páginas, ILUS.

PANSERI, ENRIQUE,

CURSO ELEMENTAL DE ESTÁTICA GRÁFICA :

Editorial Construcciones Sudamericanas, Buenos Aires, 1961, 306 páginas ILUS.

PARKER, HARRY,

INGENIERÍA SIMPLIFICADA PARA ARQUITECTOS Y CONSTRUCTORES :

México, 1981, 361 páginas., ILUS.

NEWTON, ISAAC,

TRATADO DE LA CUADRATURA DE LAS CURVAS :

México, 1984, Edición Facsimilar de 1723, U. A. P. 100 p. ILUS.

EUCLIDES (OBRAS COMPLETAS),

FUNDAMENTOS DE GEOMETRÍA .

México, 1956, UNAM, 238 páginas. ILUS. Edición, Facsimilar.

MORENO, GARCÍA,

ARCOS Y BOVEDAS :

España, 1978, Monografías CEAC, Sobre Construcciones y Arquitectura., 170 páginas. ILUS.

DOWRICK, D. J.,

DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTES A SISMOS, PARA INGENIEROS Y ARQUITECTOS :

México, 1984, LIMUSA., 410 páginas, ILUS.

GALABRU, B.

TRATADO DE PROCEDIMIENTOS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN :, (*Obras de Fabrica y Metálicas*) :

España, MCMLXIV, 610 páginas., Ed. Reverte, ILUS.

FRITZ, OTTO,

ESTÁTICA DE LAS CONSTRUCCIONES,:

México, 1970, UNAM, 511 páginas., ILUS.,

SUAREZ, JIMENEZ,

SISMOS EN LA CIUDAD DE MEXICO : (*y el Terremoto del 19 de Septiembre de 1985*),

México, 1990, UNAM, Cuadernos del Instituto de Geofísica No. 2, 52 páginas., ILUS.

ESPINOZA, JIMENEZ,

TERREMOTOS Y ONDAS SISMICAS :

(Una Breve Introducción), Cuadernos del Instituto

de Geofísica, UNAM., No. 1, Mexico, 1980, 45 páginas., ILUS.

(Sin nominar autores),

EXPERIENCIAS DERIVADAS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985 :

Fundación ICA, A. C., Noriega Ed. y Ed. LIMUSA,
México, 1988, 130 páginas, ILUS; FOTOS.

BAZAN, ZURITA, ENRIQUE ; MELI PIRALLA, ROBERTO,
MANUAL DE DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS :

México, 1987, Ed. LIMUSA, 241 Páginas, ILUS.

ARNOLD, CHRISTOPHER ; REITHERMAN, ROBERT,
(Colaboración de ERIC ELSESSER Y DIANNE WHITAKER)
CONFIGURACION DE DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS :

México, 1987, Ed. LIMUSA. 298 páginas. ILUS, Fotos.

FARIAS, ARCE, R.,
MUROS DE CARGA Y SISMO :

México, 1984, UNAM, 141 páginas: ILUS.

PEREZ OLAMA, VICENTE,
EL CONCRETO ARMADO EN LAS ESTRUCTURA : TEORÍA ELÁSTICA :
México, 1988, Ed. TRILLAS, 363 páginas ILUS.

ANGERER, FRED,
CONSTRUCCION LAMINAR ;

España, Barcelona, 1980, Gustavo Gili, 81 páginas. ILUS.

COLIN, FABER,
LAS ESTRUCTURAS DE FELIX CANDELA :

México, 1981, Compañía Editorial Continental, 25, Páginas, ILUS., Fotografías

REULEAUX, V., F.,
TRATADO GENERAL DE MECANICA :

(Para Uso de Ingenieros, Constructores, Maquinistas, Arquitectos.) :

Aumentado con la Mecánica Práctica y Aplicada mas Moderna y Universalmente Adoptada por las Naciones Industriales. Dr. Francisco Nacente y Soler, Tomo Primero, Vol. I, España, 1887, 348 páginas.

REULEAUX, V., F.,
TRATADO GENERAL DE MECANICA : ATLAS :

Tomo Primero : (Cinemática, Constructor, Mecánica Aplicada y Resistencia de Materiales)
España, 1887, F. Nacente y Soler Ed., 99 LAM.

REULEAUX, V., F.,
TRATADO GENERAL DE MECANICA : ATLAS :
(Para uso de Ingenieros, Constructores, Maquinistas, Arquitectos.) :
 Tomo Segundo : (Cinemática, Constructor, Mecánica Aplicada y Resistencia de Materiales)
 España, 1887, Ed., F. Nacente y Soler, 60 LAM.

ROSENTHAL, WERNER,
LA ESTRUCTURA :
 España, Barcelona, 1980, Ed. BLUME, 180 páginas, ILUS.

VILLANUEVA, BATRINA, LUIS,
CONSIDERACIONES ACERCA DEL COMPORTAMIENTO MECANICO
 DE LOS ARCOS PETREOS : España, 1965, Ilus, Fotografías, 195 páginas.

KERSTEN, C.,
LA CONSTRUCTION EN BETON ARME : Guide Théorique et Pratique.,
 Francia, París, 1907, 190 pág. (primera parte), 280 pág., (segunda parte), ed. Gauthier - Villars.

KRANTZ, J., B.,
MURS DE RESERVOIRS
 Paris, Francia, 1870, Minop Editeurs. 34 Lam. ILUS. (incluye un anexo)

LAME, M., G.,
LEÇONS SUR LA THEORIE MATHÉMATIQUE DE L' ELASTIQUE
DES CORPS SOLIDES:
 Francia, 1852, Bachelier, Imprimeur - Librairie, 335 páginas, ILUS.

GLAZEBROOK, M., A.,
MECHANICS :
 London, Inglaterra, 1902, Cambridge, at the University Press, 208 páginas, ILUS.,

ODRIOZOLA, JOSE,
TRATADO ELEMENTAL DE MECANICA :
 España, 1832, (Tomo II), Imprenta Villa Amil, 140 páginas. ILUS.,

Teoría de la Arquitectura y Restauración:

GALINDO Y VILLA, JESUS,
"APUNTES DE ORDENES CLASICOS Y COMPOSICION DE LA ARQUITECTURA"

México, 1898, Oficina Tip. de la Secretaría de
 Fomento 365 (páginas), ILUS; Sociedad Científica, Antonio Alzate.,

VILLAGRAN, GARCIA, JOSE,
 TEORIA DE LA ARQUITECTURA:

México, 1988, Facultad de Arquitectura, UNAM. 530, páginas, fotografías, ILUS.

CANTACUZINO, SHERBAN,
 NUEVOS USOS PARA EDIFICIOS ANTIGUOS :

España, 1979, G. G., 264 páginas. ILUS, Fotografías.

ACIDINI, CRISTINA, ET ALL,
 I RESTAURI DEL DUOMO DI MODENA: (1875 - 1984) :

Italia, 1985, Ed. Panini, 394 páginas, Ilus, Fotografías.,

GONZALEZ, DE VALCAREL, J. M.,
 RESTAURACION MONUMENTAL: (Puesta en Valor de las Ciudades Americanas):

España, 1977, Ed. Blume, 173 páginas. ILUS. Fotos.,

PAULHANS, PETERS,
 REUTILIZACION DE EDIFICIOS: Renovación y Nuevas Formas :

España, 1977, Gustavo Gili, Colección Temas de Arquitectura, 120 páginas. fotografías, ILUS.,

NAVA, ALEJANDRO,
 TERERMOTOS:

Colección La Ciencia No. 34, México, 1987, SEP,
 Fondo de Cultura Económica, 157 páginas. ILUS.

NORBERG - SCHULT, CHRISTIAN,
 EXISTENCIA, ESPACIO Y ARQUITECTURA.;

España, Barcelona, 1975, Ed. BLUME, 144 páginas, ILUS, Fotos.,

BACHELARD, GASTON,
 LA FORMACION DEL ESPIRITO CIENTIFICO :

México, 1987, Ed. Siglo XXI, 302 P.

BACHELARD, GASTON,
EL COMPROMISO RACIONALISTA :
 México, 1985, Ed. S: XXI, 179 páginas.

BACHELARD, GASTON,
LA POETICA DEL ESPACIO :
 México, 1986, Fondo de Cultura Economica, 279 páginas.

PEREZ, ESPINOZA, H., ROJAS, RAMIREZ, J.
PROYECTO DE REESTRUCTURACION DEL EXCONVENTO DE
 TECAMACHALCO PUEBLA: (Tesis de Maestría en Arquitectura).
 Escuela Nacional de Restauración, Conservación Y Museografía:
 Manuel del Castillo Negrete, México, 1981.

CALDERON, JOSE LUIS,
REESTRUCTURACION DE MONUMENTOS :
 México, 1979, Ed. ENCRM. (Tesis de Maestría), ILUS.

BRANDI, CESARE,
TEORIA DE LA RESTAURACION :
 España, 1988, Serie: Alianza Forma, No. 72, Alianza Ed., 149 páginas.

CAPITEL, ANTON,
METAMORFOSIS DE MONUMENTOS Y TEORIA DE LA RESTAURACION :
 España, 1990, Serie: Alianza Forma, No. 75, Alianza Ed., 172 páginas.

RUSKIN, JOHN,
LAS SIETE LAMPARAS DE LA ARQUITECTURA :
 España, 1987, Barcelona, Ed. Stylos, 205 páginas, Edición Facsimilar. (serie)

RIEGEL, ALIOS,
EL CULTO MODERNO A LOS MONUMENTOS : Caracteres y Origen :
 España, 1987, Edición Facsimilar de 1903, Ed. VISOR, Colección, La Balsa de la Medusa, 99 páginas.

TEDESCHI, ENRICO,
TEORIA DE LA ARQUITECTURA :
 Buenos Aires, (1977), Editorial Nueva Vision, 311 páginas, ILUS.; Fotografías.

BENLLIURE, GALAN, JOSE , LUIS, ET, ALL., CUADERNOS DE ARQUITECTURA :
 Dirección de Arquitectura de Bellas Artes, México, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, (TOMOS 1, 2, 3, 20, 21, 22, 23, 24,) INBA, fotografías, ILUS.

MARTIN, VICENTE,
ARQUITECTURA DOMESTICA DE LA CIUDAD DE MEXICO: (1890 - 1925):
 México, 1981, UNAM, 262 páginas, Fotografías, ILUS.

ZEVI, BRUNO,
SABER VER LA ARQUITECTURA :
 España, 1978, Ed. Poseidon, (222 páginas), Ilus. fotografías,.

WIEBERSON, DORA,
LOS TRATADOS DE ARQUITECTURA DE ALBERTI A LEDOUX :
 España, 1988, Ed. Blume, 321 páginas, ILUS.

GWILT, JOSEPH,
THE ENCYCLOPERIA OF ARCHITECTURE : Historical, Theorical and Practical:
 THE CLASSIC 1867 EDITION, Edición Facsimilar, N. Y., 1985, 1363 páginas, ILUS.

7

Historia:

MORENO, TOSCANO, A. (Coordinador),
CIUDAD DE MEXICO : ENSAYO DE CONSTRUCCION DE UNA HISTORIA:
 México, 1978, Colección Científica No. 61, 234 páginas. ILUS.

MORENO, TOSCANO; LOMBARDO, S., (Coordinadores),
FUENTES PARA LA HISTORIA DE LA CIUDAD DE MEXICO: (1810 - 1979),
 VOLUMEN 1, SIGLO XIX, México, 1988, Fuentes y Documentos, INAH, páginas, ILUS.

VARGAS, RAMON,
HISTORIA DE LA TEORIA DE LA ARQUITECTURA DEL PORFIRISMO :
 México, 1989, 221 páginas, Universidad Autonoma Metropolitana.

BOILS GUILLERMO,
LAS CASAS CAMPESINAS EN EL PORFIRIATO :
 México, 1982, Collección Memoria y Olvido No. V,
 Imágenes de México, Cultura SEP, 75 páginas, Ilus., Fotografías,

BAEZ, MACIAS,
GUIA DEL ARCHIVO DE LA ANTIGUA ACADEMIA DE SAN CARLOS : (1801 - 1843),
 México, 1972, Insatituto de Investigaciones Esteticas, UNAM, 303 páginas.

BAEZ, MACIAS,

GUIA DEL ARCHIVO DE LA ANTIGUA ACADEMIA DE SAN CARLOS : (1844 - 1867),
México, 1976, Insatituto de Investigaciones Esteticas, UNAM.,438 páginas.

MORET, E., F. ET OBALSK,

HISTOIRE POPULAIRE DE L' ART :

París, (Francia), 1888 Bert Paul et Villard, 415 páginas. ILUS.

CAMARILLO, TERESA, (Coordinador),

MEMORIA PERIODOSTICA DEL TERREMOTO :

(19 de Sep., 10 Oct. 1985),

México, 1987, UNAM., 610 páginas.

BERMAN, MARSHALL,

TODO LO SOLIDO SE DESVANECE EN EL AIRE :

(La Experiencia de la Modernidad)

México, 1989, Ed. S: XXI, 386 páginas.

GABRIEL, CAREAGA,

EL SIGLO DESGARRADO: (Crisis de la razón y la Modernidad) :

México, 1988, Ed. Cal y Arena, 175 páginas.

(Enciclopedia)

A HISTORY OF TECHNOLOGY :

The Late Nineteenth Century: London, 1959, Oxford, University 888 páginas, ILUS.

HANNO - WALTER, KRUF, T,

HISTORIA DE LA TEORIA DE LA ARQUITECTURA: (Desde la Antigüedad hasta el Siglo XVIII):

España, 1990, Serie: Alianza Forma, No. 95, Alianza Ed., 470 páginas. ILUS.

HANNO - WALTER, KRUF, T,

HISTORIA DE LA TEORIA DE LA ARQUITECTURA: (Desde el Siglo XIX Hasta Nuestros Dias)

España, 1990, Serie: Alianza Forma, No. 96, Alianza Ed., de 481 páginas a 909 pág. ILUS.

DERRY, T. K.; TREVOR, I., WILLIAMS,

HISTORIA DE LA TECNOLOGIA : (DESDE 1750 A 1900):

Vol. II, México, 1982, Ed. S: XXI, 774 páginas, ILUS.

(Sin anunciar autor)

TESOROS BIBLIOGRAFICOS MEXICANOS:, (SIGLOS XVI AL XIX),

México, 1984, UNAM - INAH, 127 páginas. ILUS.

GARCIA, CUBAS,
EL LIBRO DE MIS RECUERDOS :
 Colección de México en el Siglo XIX :
 México, 1978, Ed. Patria, 828 páginas. ILUS., Fotos.,

HECK, J. G.,
THE COMPLETE ENCYCLOPEDIA OF ILLUSTRATION :
 N. Y., MCMLXXIX, Edición, Facsimilar de 1851,

RIVERA, CAMBAS,
MEXICO PINTORESCO ARTISTICO Y MONUMENTAL: (Estaciones de Ferrocarril)
 México, 1982, Edición Facsimilar, Ed. Valle de México, Tomo I, 515 páginas, ILUS.

RIVERA, CAMBAS,
MEXICO PINTORESCO ARTISTICO Y MONUMENTAL: (Ciudad de México durante el Siglo XIX)
 México, 1982, Edición Facsimilar, Ed., Valle de México, tomo II, 534 páginas, ILUS.

GONZALEZ, OBREGON,
MEXICO VIEJO: (1520' - 1899) :
 México, 1980, Ed. Patria, 742 páginas. ILUS, Fotos.

ZACEK ET ALL,
FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA HISTORIA :
 México, 1973, 207 páginas. Ed. Nuestro Tiem

AMERLINCK, CONCEPCION.
*RELACION HISTORICA DE MOVIMIENTOS SISMICOS EN LA
 CIUDAD DE MEXICO (1300 - 1900) :*
 México, 1986, Ed. Socicultura, D. D. F., 118 pág..

BASSEGODA, NONELL,
HISTORIA DE LA ARQUITECTURA :
 Barcelona, España, 1976, Edicion Tecnicos
 Asociados, 348 páginas, ILUS.

FUSCO DE, RENATO,
LA IDEA DE ARQUITECTURA HISTORICA :
 "De la Critica desde Viollet - Le - Duc a Persico:"
 Barcelona, España, 1976, Colección Punto y Línea, 239 páginas.

KAUFMANN, EMIL,
DE LEDOUX A LE CORBUSIER "Origen y Desarrollo de la Arquitectura Autonoma":
 Barcelona, España, 1982, 103 páginas, ILUS.

- SUMMERSON, JOHN,
EL LENGUAJE CLASICO DE LA ARQUITECTURA:
 De L: B: Alberti a Le Corbusier, Barcelona,
 España, 1978, Colección Punto y Línea, 155 páginas.
- DORFLES, GILLO,
LA ARQUITECTURA MODERNA:
 España, 1880, Ed. Ariel, 237 páginas, ILUS.
- COLLINS, PETER,
LOS IDEALES DE LA ARQUITECTURA MODERNA Y SU EVOLUCION, (1750 - 1950) :
 ESPAÑA, 1981, Ed. Gustavo Gili, 322 páginas, Fotos, ILUS:
- PEVSNER, NIKPOLAUS,
HISTORIA DE LAS TIPOLOGIAS ARQUITECTONICAS:
 España, 1979, Gustavo Gili, 447, páginas, ILUS, Fotos.
- FLETCHER'S, BANISTER,
A HISTORY OF ARCHITECTURE :
 U.S. 1975, Ed. Charles Scribner's Sons, 1390, páginas, ILUS.
- DEFORGE, YVES,
LE GRAPHISME TECHNIQUE: Son Histoire et Son Enseignement:
 (Francia), 1981, Collection Milieux Editions, Champ Vallon, 256 páginas, ILUS., Fotografías.
- TORRE DE LA, VILLAR, ERNESTO,
LA ARQUITECTURA Y SUS LIBROS :
 Guía Bibliográfica para la Historia y Desarrollo de la Arquitectura y el Urbanismo en México :
 México, 1978, Coordinación de Humanidades e Instituto de Investigaciones Bibliográficas,
 UNAM., 38 páginas. Lam. LX.
- BENEVOLO, LEONARDO,
HISTORIA DE LA ARQUITECTURA MODERNA :
 Barcelona, España, 1982, ILUS; Fotografías, Ed.
 Gustavo Gili, 1048 (páginas), Fotografías, ILUS.,
- KATZMAN, ISRAEL,
LA ARQUITECTURA DEL SIGLO XIX EN MEXICO :
 México, 1973, UNAM, 324 páginas, Tomo I, Instituto de Investigaciones Arquitectónicas. ILUS.
- TOUSSAINT, MANUEL,
EL ARTE EN EL SIGLO XIX EN MEXICO :
 México, 1983, UNAM, Centro de Investigaciones Arquitectónicas, 256 páginas. ILUS, Fotos.,

VIOUET- LE-DUC.

LES ENTRETIENS SUR L'ARCHITECTURE :

París, MDCCCLXIII, Francia, (Edición Facsimilar de 1986), Imprimé en Belgique, Collection par Bekaert, Pierre Mardaga Editeur, 491 página Premier tome; 447 Second Tome páginas, Ilus

VIOUET-LE-DUC, E.

HISTOIRE DE L' HABITATION HUMAINE:

(Francia), (s. d.), Bibliotheque d'Education et Récréation. J: Hetzel et Cie., 370 páginas, ILUS.

VIOUET- LE- DUC, E.,

COMMENT ON CONSTRUIT UNE MAISON :

(Histoire d'une Maison), J. Hetzel et Cie. Editeurs, Bibliothéque des Professions, serie G, Art de L'Ingenieurs Pons et Chaussées, Construction Civiles. 323 p., MDCCCLXX, (Francia).ILUS.

VIOUET - LE - DUC, E.,

DICTIONNAIRE RAISONNE DE L' ARCHITECTURE FRANÇAISE DU XIe AU XVIe SIECLE :

Tome Sixième, París, Ve. A: Morel et Cie.,
Editeurs, MDCCCLXXV - 458 páginas. ILUS. (Francia).

VIOUET - LE - DUC, E.,

DICTIONNAIRE RAISONNE DE L' ARCHITECTURE FRANÇAISE DU XIe AU XVIe SIECLE :

Tome Septieme, París, Ve. A. Morel et Cie.
Editeurs, MDCCCLXXV - 570 páginas. ILUS (Francia).

VOUET - LE - DUC, E.,

DICTIONNAIRE RAISONNE DE L' ARCHITECTURE FRANÇAIS DU XIe AU XVI SIECLE :

Tome Huitième, París, Ve. A. Morel et Cie.
Editerus, MDCCCLXXV _ 523 páginas. ILUS. (Francia).

VIOUET - LE - DUC, E.,

DICTIONNAIRE RAISONNE DE L' ACHITECTURE FRANÇAISE DU XIe AU XVI SIECLE :

Tome Neuvième, París, Ve. A. Morel et Cie.
Editeurs, MDCCCLXXV - 552 P. ILUS. (Francia).

LOPEZ, MONJARDIN, ADRIANA,

HACIA LA CUIDAD DEL CAPITAL: MEXICO : (1790 - 1870)

México, 1985, Cuadernos de Trabajo ` 46, INAH; 193 páginas. ILUS.

Bibliografía Complementaria:

AQUINO DA, CAROLO,
VOCABULARIUM, ARQUITECTURAE, AEDIFICATORIAE :
 Romae, MDCCXXXIV, (1734), Typis Antonii de Rubeis,
 in Via Seminarii Romani, Superiorim Permissu, 217 páginas, 20 LAM.

BELIDOR, M.
*LA SCIENCE DES INGENIEURS DANS LA CONDUITE DES
 TRAVAUX DE FORTIFICATION ET D' ARCHITECTURE CIVILE:*
 De Die au Roy, Paris, MDCCXXXIX, (1739), Livre
 Premier, 80 pág., 18 LAM., Livre Second, 64 pág., 8
 LAM., Livre Troisieme, 96 pág., 10 LAM., Livre
 Quatrieme 104 pág., 8 LAM., Livre Cinquieme 80
 pág., 10 LAM., Livre Sixieme 80 pág., 8 LAM.
 Tables de Calcul des Dalles et Poutres, París, 1932,

CLAUDEL, JOSEPH,
INTRODUCCION A LA SCIENCE DE L' INGENIEUR ;,
 (Aide - Mémoire des Ingenieurs, des Architectes,
 etc.), París, 1875, Dunod Editeur, 1426 páginas, ILUS.

BAROCIO, A., L. ALVAREZ,
EXPERIENCIAS Y ESTUDIOS :
 (Verificación para Formular el Proyecto de
 Consolidación del Subsuelo del Teatro Nacional)
 Chihuahua, México, 1923, Ediciones Especiales de
 Ingeniería, 85 páginas, fotografías, ILUS

FEILDEN, BERNARD, M.,
CONSERVATION OF HISTORIC BUILDINGS :
 London, England, 1982, Butterworths, 471 páginas,
 fotografías, ILUS.,

GREEN, NORMAN, B.,
EDIFICACION, DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMORRESISTENTE :
 España, 1980, Ed., Gustavo Gili, 155 páginas, fotografías, ILUS.

BASURTO, JORGE,
EL PROLETARIADO INDUSTRIAL EN MEXICO 1850 - 1930 :
 Mexico, 1984, UNAM, 298, páginas.

MATUTE, ALVARO,
MEXICO EN EL SIGLO XIX :
 México, 1981, UNAM, Lecturas Universitarias,
 Antología, No. 12, 560 páginas,.

BELAVAL, YVON, (Bajo la Dirección)
LA FILOSOFIA EN EL SIGLO XIX :
 Serie, Historia de la Filosofía; Vol. 8; España,
 1983, Ed. Siglo XXI, 493 páginas.

AGUILAR, A., ET ALL,
AUN TIEMBLA .:
 México, 1986, Sociedad Política y de Cambio Social
 del Terremoto del 19 de Septiembre de 1985, Ed.
 Grijalbo, 332 páginas.

CHOISY, AUGUSTE,
HISTOIRE DE L' ARCHITECTURE :
 París, Francia, (sin data), Librairie Georges
 Barnger, Tome Premier, 643 páginas, Ilus.

CHOISY, AUGUSTE,
HISTOIRE DE L' ARCHITECTURE :
 París, Francia, (sin Data, - 1875 -), librairie Georges
 Barger, Tome Second, 800 páginas, ILUS.

DALY, M., CESAR,
*L' ARCHITECTURE PRIVEE AU XIXme SIECLE SOUS NAPOLEON III,
 NOUVELLES MAISONS DE PARIS ET DES ENVIRONS :*
 París, Francia, 1864, Tome second et troisième,
 Ed. Chez A. Morel et Cie., Librairies, XXX Lam.

AMABILIS, MANUEL,
*EL PABELLON DE MEXICO EN LA EXPOSICION
 IBEROAMERICANA DE SEVILLA;* México, 1929, 78 páginas, ILUS.

CARRILLO, Y GARRIEL, ABELARDO,
*DATOS SOBRE LA ACADEMIA DE SAN CARLOS EN LA NUEVA
 ESPAÑA : (El Arte en México de 1781 a 1863),*
 México, MCMXXXIX, 113 páginas, fotografías, ILUS.

FERNANDEZ, JUSTINO,
EL ARTE MODERNO EN MEXICO (Breve Historia de los Siglos XIX y XX),
 México, 1937, Antigua Librería Robledo, 473 páginas, Fotografías, ILUS.,

NOVAT, J.,
COURS PRATIQUE DE RESISTANCE DES MATERIAUX :
 París, Francia, 1913, Librairie Polytechnique Ch.,
 Béranger, Editeur, Professeur à la Société
 d'Enseignement Professionnel du Rhone, 548, páginas, ILUS.

BERNOULLI, CHRYSTOPH,
COURS DE MECANIQUE PRATIQUE :
 París Francia, 1853, Libraire Encyclopedéque de
 Manuels-Roret, 334 páginas, ILUS.

SITTE, CAMILO,
L' ART DE BATIR LES VILLES :
 París, Francia, 1902, Librairie Renouard, H. Laurens, Editeur, 196 páginas, ILUS.

BERTY, ADOLPHE,
DICTIONNAIRE DE L' ARCHITECTURE MOYEN AGE :
 (Contenant tous les Termes Techniques),
 París, Francia, 1845, 322 páginas, ILUS.

BORGINS, M., J., A.,
TRAITE ELEMENTAIRE DE CONSTRUCTION APPLIQUE A L' ARCHITECTURE CIVIL :
 París, Francia, 1840, Bruxelles, Meline et Compagne, 509 páginas, ILUS.

OLEA, OSCAR, (Carlos Gonzalez Lobo, Colaborador)
METODOLOGIA PARA EL DISEÑO :
 Urbano, Arquitectónico, Industrial y Gráfico :
 México, 1988, Ed. Trillas, 159 páginas, Fotografías, Ilus.

LEMOINE, BERTRAND,
L' ARCHITECTURE EN FER : (France : XIXe Siècle),
 France, 1987, Ouvrage Publié Avec Le Concours Du Centre National Des Lettres,
 Collection Milieux, Champ Vallon, 322 páginas, Fotografías, ILUS.,

Revue Générale (Sin nomina de autorres de la revista)
L' ARCHITECTURA ET DES TRABAUX PUBLICS L' Architecture et des Travaux Publics:
 Léçon Vaudoier; (biografía), France, 1873, Paris, (Architecte - Membre de L'Institut)
 (1803 - 1872) , 287 P. XXX LAM. PL. 60.

CHING, F.,
ARQUITECTURA; FORMA, ESPACIO Y ORDEN;
 España, 1983, Mexico, 1995, G. G. 396 p. ILUS.

(Sin nomina de autores)

ESTATUTOS DE LA SOCIEDAD MEXICANA PARA EL CULTIVO DE LAS CIENCIAS.
 Mexico, 1904, Pachuca, Imprenta Poliglota de Ignacio Madariaga, 8 p.

MELI, ROBERTO, Y ROBERTO SANCHEZ RAMIREZ,
REHABILITACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO:
 SEDESOL, 1993, trabajo preparado por el instituto de ingenieria de la UNAM
 para la Direccion General de Sitios y Monumentos del Patrimonio Nacional,
 Secretaria de Desarrollo Social. ILUS, fotos, 46 p.

SIRVENT, GUTIERREZ, GLADYS, (Coord.), ALFARO SALAZAR y ARCINIEGA AVILA:
COLONIA LA TABACALERA, varias lecturas sobre un patrimonio:
 Mexico, 1994, U, A, M, 146 p. LAM., Fotografias.

OSLET, GUSTAVE,
 COURS DE CONSTRUCTION, Premiere partie: MATERIAUX DE CONSTRUCTION
 PARIS, (1850), CHAINGRASE ED. 668 p. ILUS.

OSLET, GUSTAVE,
 TRAITE DE CHARPENTE EN BOIS,
 Paris, (1850), Cours de Construction, Partie Civile, Quatrieme partie. 552 p. ILUS.

OSLET, G., ET J. CHAIX
 FONDATIONS, MORTIERS, MACONERIES,
 Paris, (1850), Troisième partie, 716 p. ILUS

Bibliografía (Adicional, época virreinal):

Báez Macías, Eduardo,
Obras de Fray Andrés de San Miguel,
 México, 1969, UNAM, 270 p. ILUS. XCVI Lam.

Bérchez, Joaquín,
Arquitectura Mexicana de los Siglos XVII y XVIII,
 España, 1992, Arte Novohispano, Ed. Azabache., 289 p. ILUS, Fotografías.

López Guzmán Et. All.,
Arquitectura y Carpintería Mudejar en Nueva España,
España, 1992, Arte Novohispano, De. Azabache, 200 p. ULIS, Fotografías.

Gonzalez, Franco, Et. All,
Artistas y Artesanos a través de las fuentes Documentales,
Vol. Y, Vol, II, México, 1994, INAH, Colección Fuentes, 460 p.

Fernández, Martha,
Arquitectura y Gobierno Virreinal,
Los Maestros Mayores de la Ciudad de México, en el Siglo XVII,
México, 1985, UNAM, Estudio para Fuentes de Arte XLV, ILUS, 418 p.

Trabulse, Elias,
Ciencia y Religión en el Siglo XVII,
México, 1974, Colegio de México,

Muriel, Josefina,
Cultura Femenina Novohispana,
México, 1982, UNAM, 548 p, ILUS, Fotos.

Apéndice

EIFFEL, G., LA TOUR DE TROIS CENTS METRES,
PARIS, SOCIETE DES IMPRIMERIES LEMERCIER,
MDCCCC, 368 P., 14 LAM. ILUS,
(Libro autografiado por el autor):
*"A l'Association des Ingenieurs et
Architectes de Mexico. Hommage de: (firma) G. Eiffel"*.

Quizás la primera pregunta sea, porque incluyo tal material, si la mayoría de la arquitectura en México no se construyo con este tipo de tecnología y estructuración, sin embargo la trascendencia que llevo a la torre a cristalizarse y el impacto intelectual que tuvo en las academias de arquitectura no solo en Francia sino en el resto del mundo fué determinante. Particularmente en nuestro país es un desafío monumental, y por tal razón se presento como un ejercicio académico entre los ingenieros y arquitectos mexicanos e influyó en la construcción para cierto tipo de obras de menor escala, que se realizaron como el museo del Chopo, la iglesia de Santa Rosalia, estaciones de ferrocarril y puentes en tan accidentada geografía.

La torre de París, es un eje puntual que trasformó una parte del pensamiento en el diseño con los rascacielos, la construcción industrial y fundamentalmente en la vanguardia estructural, lo que abre un nuevo camino para analizar desde el punto de vista moderno lo edificios.

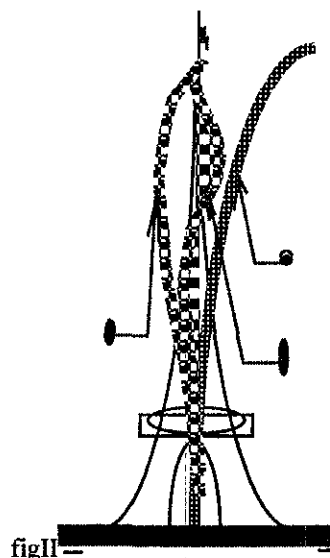
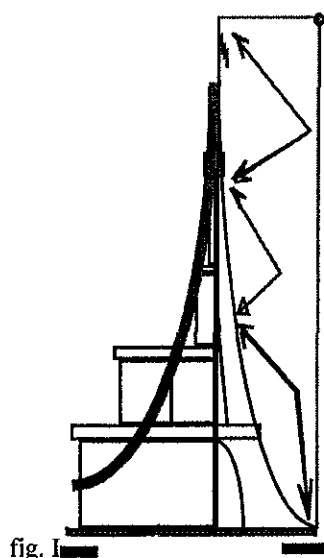
El análisis estructural de nuevas visiones y disyuntivas, los ingenieros y arquitectos de México toman en cuenta en sus estudios las futuras propuestas, quizás logradas en nuestra época por el ingeniero González Flores, para resolver los problemas sísmicos y de cimentaciones en los terrenos de la ciudad de México.

El tratado es un documento histórico que nos muestra el estilo de vida de la época, en la introducción se presenta el carácter de la obra, con el inicio de su manejo de sueños que muestran en forma poética la intención de la empresa, pero siempre con toda humildad, ya que jamas pretendio construir una torre de *Babel*, y afirma que tal construcción simplemente fue creada como parte del conjunto de la exposición universal de París en 1889.

Para el diseño de la torre, el criterio de *Eiffel* fue el reconocer el manejo estructural y la geometría, basado en un profundo conocimiento histórico de la arquitectura y su tecnología

El autor a pesar de dedicarse a una sola edificación, realiza todo un tratado especializado de arquitectura e ingeniería, que muestra una ventana al futuro desconocido. El estudio parte de los conocimientos clásicos y amalgama las nuevas ciencias físicas para aplicarlas a la ingeniería, que como profesión arranca a los arquitectos el diseño innovador de construcciones de gran altura.

El libro es un desborde de ideas que empalman varias especialidades en la construcción, explicando de una manera clara y lógica la sencillez de sus cálculos matemáticos, con el fin de no perder su objetivo en la realización constructiva. Como primera parte, desarrolla el proyecto, presenta igualmente su explicación estructural y finalmente su solución constructiva, con la ruta crítica, los tipos de máquinas para montajes, elevadores y todo tipo de instalaciones.



En su conjunto la obra tiene todo el carácter científico con un orden y metodología, la cual contiene lo siguiente:

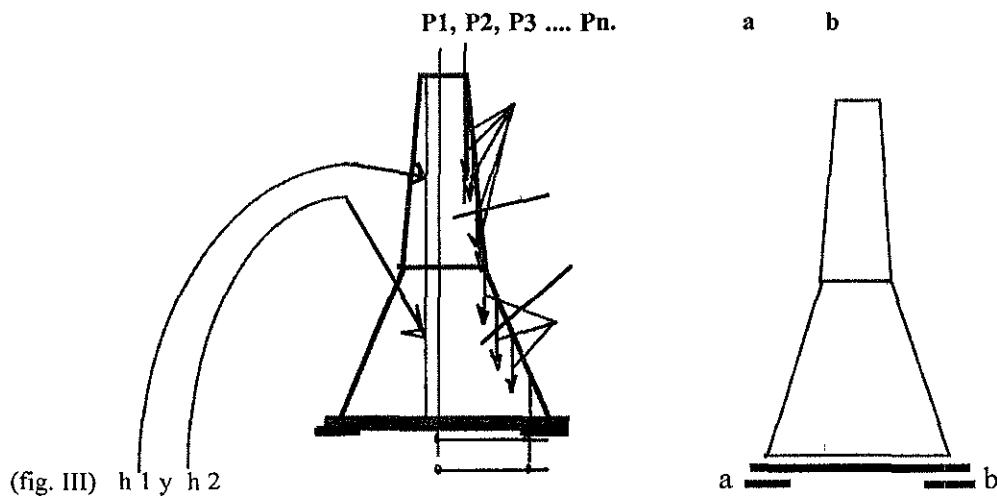
- 1: Enumera y ordena tablas de áreas, secciones, superiores, inferiores, y barras por cuerdas o elementos arquitectónicos.
- 2: Determina las cargas verticales, las que va desarrollando por elementos arquitectónicos en niveles, y presenta al respecto un levantamiento de la torre en corte a eje de simetría de la misma (fig. I), representando por gráficas los pesos totales desde la linternilla hasta la base de los montantes, dados en unidades de kilogramos; destaca también las diferencias de las masas con sus respectivas alturas.
- 3: Diagrama de cargas con alturas.
- 4: Obtención de las de cargas verticales, dentro de las secciones.
- 5: Cálculo por partes, dividiendo la torre en dos grandes secciones, superior e inferior propone su marco teórico con hipótesis.
- 6: Se obtienen los coeficientes de trabajo "R", la carga "P" y cargas "p" situadas en el punto de análisis.
- 7: Determina secciones nominales "O" para todos los perfiles, partiendo que la resistencia total

por elementos se encuentran dados por: $R = P/O$.

8: Cálculo de la sección inferior desde la base de los montantes hasta el segundo cuerpo.
 9: Cálculo de la sección superior desde el tercer cuerpo hasta la linternilla. 10: Estudia y calcula armaduras, tensores y vigas considerando los momentos flectores, momentos de inercia, esfuerzos de trabajo, y plasma resultados ordenados en tablas. 11: Revisa deformaciones por temperaturas y calcula las flechas de deformaciones.

12: Cálculo del viento simulando modos de vibración (fig. II) y aplicando métodos estáticos y dinámicos, presenta hipótesis con diferentes solicitaciones de cargas accidentales. 13: Calcula la cimentación y empotramiento de la base por montantes. 14: Propone soluciones constructivas emanadas del cálculo estructural. con principios de construcción y detalles de secciones nominales.

El estudio jamás se aparta de premisas basadas en la realidad debidas al comportamiento de la estructura, con sus diversas respuestas de la misma. Parte del diagrama de cargas, lo que hace de ello un sistema de análisis claro. Para el cálculo gravitacional de la torre, parte del primer cuerpo con las fuerzas (fig. III):



Considero el cálculo como si todo el sistema estuviese articulado en los puntos (Fig. IV): "a" y "b",

La bajanda de cargas la divide entre cuatro, posteriormente calcula como vigas inclinadas los montantes, determinando su momento: "M" flexionante máximo considerándola como una trabe cargada uniformemente y empotrada en sus extremos, se auxilia para ello de un polígono de fuerzas el que a su vez traza el funicular y mas adelante hace una análisis global del centro de la torre con los efectos de compresión en las fibras extremas, este estudio lo complementa con las

cargas accidentales.¹

Los criterios de cálculo por viento los fundamentó el autor en varias hipótesis, la primera con una fatiga máxima de 300 k/m² y que actuara uniformemente en toda la altura de la torre y que corresponde a una velocidad del viento de 50 m/seg., o sea a un viento huracanado, como siguientes hipótesis modifiqué las velocidades, acentuando que en su parte baja las presiones serían menores y que a medida que aumentaban las alturas estas crecían. Las áreas opuestas al viento en su parte baja son mayores mientras que en su porción superior son mínimas, haciendo la torre un cuerpo totalmente aerodinámico.

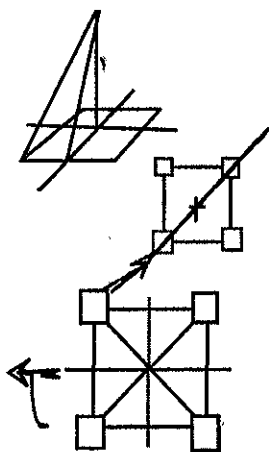


fig. V

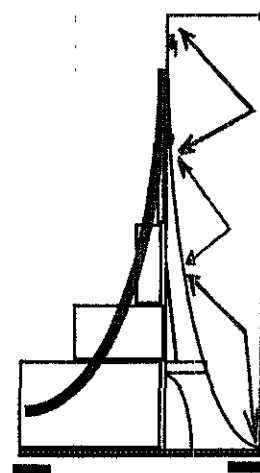


fig. VI

En este tema el ilustre ingeniero hace énfasis a los principios de construcción y fundamentalmente debido a efectos de varias solicitaciones trabaja la torre como si se tratase de un modelo sujeto a diversas formas de actuar para situarse lo más cercano a las múltiples realidades posibles, y que según se puedan presentar bajo ciertas alternativas, condiciones y secuencias derivadas de diferentes modos de vibrar. Esto nos hace pensar que por lógica, el autor lo comprendió a dicha torre espacialmente, por lo que trabajó con maquetas, para el estudio del diseño reinterpretó los cortantes y momentos debidos al viento (fig. V y VI). Si observamos por su simetría perfecta contiene desde su base a la linternilla una curva armónica que nos recuerda el diagrama o funicular de momentos de una viga empotrada en un extremo. Para el estudio de las cargas accidentales, el autor nuevamente separó por grandes tramos e hizo la aclaración que la torre se podría dividir en tres o más piezas con el fundamento que la misma edificación se pueden

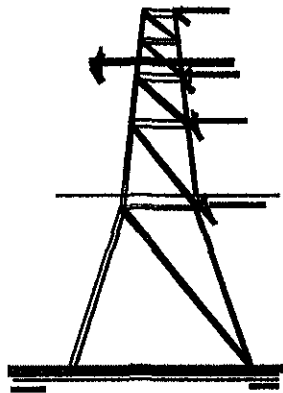
¹ Eiffel, G., (*Op. Cit.*), Después hace el cálculo para cada montante bajando las cargas de lo más alto dividiendo los resultados entre cuatro, y de lo cual dice en la página 23:

"Nous ferons le calcul pour chaque montant pris, solement. les totaux des différents panneaux "haut P1, P2... se repartissent également entre ces 4 montants. Les poids dont nous servirons dans les calculs, sont les poids P1 = p1/4, P2 = p2/4".

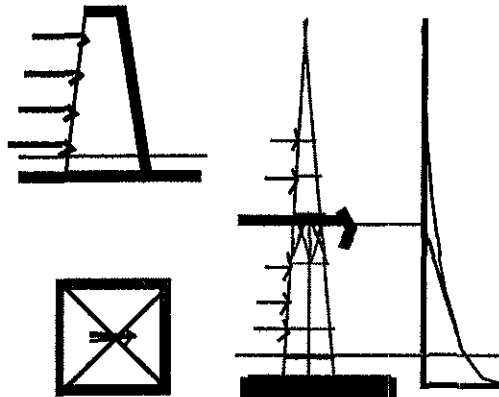
torre se podría dividir en tres o mas piezas con el fundamento que la misma edificación se pueden considerar infinidad de hipótesis . 2

De esta forma inició el calculo de los efectos moleculares debidos al viento en la parte superior, obteniendo la fatiga máxima desfavorable para un viento de 300 k/m² utilizando la expresión (fig. VII y VIII):

$$P = 0.12V^2, \quad V = \text{velocidad.}$$



Principio de construcción. (fig.VII)



Efectos = $E = Mf/e$ parte superior trabajo $R1 = E/w$ (fig. VIII)

Luego vario con una presión de 150 k/m², y de 270 k/m², esta última es la máxima admisible por la *Circular Ministerial* del 29 de agosto de 1881 para el cálculo de obras de arte es por ello que la adopte en estos casos. Así jugo con los resultados a la manera de tanteos como si se tratasen de múltiples modos de vibración, obteniendo unos coeficientes. Es en cierta forma el análisis anterior una combinación del cálculo dinámico, con el cálculo estático. A pesar que las hipótesis, nos conducen a probabilidades extremas en la practica, y la estructura actúa con los coeficientes dentro de los limites de trabajo que se encuentran en con un alto grado de seguridad y de esta forma determina secciones.

Un paréntesis del criterio de diseño empleado hay que entender que jamás se había proyectado una construcción de tal audacia con materiales y sistemas constructivos novedosos de estructuras de una gran transparencia, altura y flexibilidad, por los que todas las proposiciones adoptadas por el autor con su imaginación, para sellar a la solución final y hacerla construible meditara sobre tal monumento y llegara a la solución final, en la cual se registraron como máximas velocidades de: $V = 40$ m/seg. Correspondientes a una presión de: $P = 200$ k/m²,

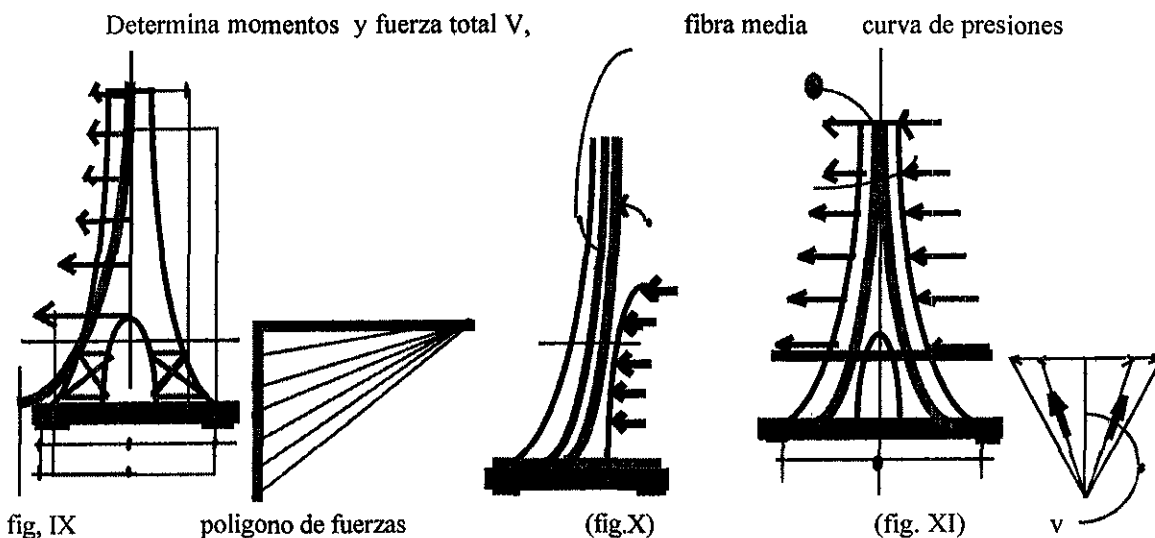
2 Eiffel, G.,: (*Op. Cit.*)

C'est l'application de ce principe qui constitue une des particularites du systeme employe pour la construction de la tour, au moins dans sa moitie inferieure, et qui en determine la forme exterieure. Elle permet, en supprimant tout trellis dans la plus grande partie de sa hauteur, de la constituer par quatre montants isoles, simplement relies au niveau du 1er. et du 2me. etage par des ceintures horizontales..... nous avons admis plusieurs hypotheses".

velocidades de: $V = 40$ m/seg. Correspondientes a una presión de: $P = 200$ k/m²,

Como la fórmula ofrece datos muy elevados de lo normal el coeficiente adoptado de 0.12 lo redujo a 0.09, para tomar en cuenta vientos cuya magnitud es de 50 m/seg.. O sea: $P = 225$ k/m², Y de: $V = 40$ m/seg. .

Esta hipótesis conducen a extremos con resultados para determinar secciones de los diversos elementos de la torre, y una vez determinada la sección por barra o tensor, ser fácil entrar a la en las probabilidades máximas de la realidad, considerando un viento variado de una velocidad de 300 m/seg para los cuerpos de la torre mas elevados, y 100 m/seg. para superficies expuestas de los cuerpos mas bajos de la misma construcción. Determinó como paso siguiente las superficies afectadas por el viento, considerando las grandes plataformas horizontales, con una división de un total de 28 elementos repartidos convenientemente sobre toda la altura de la torre, así lo muestran tablas perfectamente ordenadas, las que contienen definidas las alturas "h", los efectos "p" y los momentos "p.h" correspondientes, terminando la primera tabla con los centros de acción: $C = M/p$. Y con el conocimiento de los coeficientes de trabajo del material, momentos de inercia de las secciones nominales propone perfiles.



El cálculo de efectos moleculares debidas al viento en la parte inferior; lo continua con el polígono de fuerzas de la página 25, donde el funicular al mismo tiempo es la línea de presiones y auxiliándoles de tales gráficos saca el momento total: $M = Pm.hm$. Obtiene también la distancia polar V_i , y para que esta no sea arbitraria hace que pase por el apoyo a una distancia 50.7 mts, y que es la distancia del eje de simetría al extremo de cada montante y de esta forma obtiene el momento: " M " = 50.7 V_i , Por lo que: $V = M/50.7$. (fig. IX y X)

Como el autor parte de encontrar los efectos en los cuatro montantes, dice que es más fácil partir del polígono de fuerzas para posteriormente encontrar los efectos totales "P1", siendo la cuarta parte los efectos en cada apoyo que es la curva de presiones y que corresponde a: $P1 = p1/4$, $P2 = p2/4$, $p3 = p3/4$ etc.,

Trazando su respectiva distancia polar: $v = v/4$, de donde para una sección cualquiera "mn", la fuerza exterior "q" del montante se encuentra dada dentro del mismo polígono de fuerzas, un primer efecto de compresión "N" a partir de la fibra media del montante, y un segundo efecto de tracción "T" a partir de la fibra media opuesta al eje neutro de la primera.

Los momentos flexionantes provienen de la curva de presiones y por lógica no coinciden con la fibra media, pues pasan a eje de cada montante (fig. X y XI).

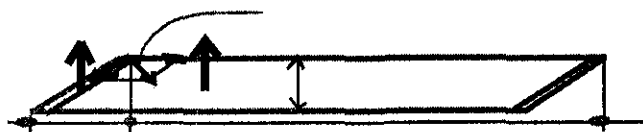
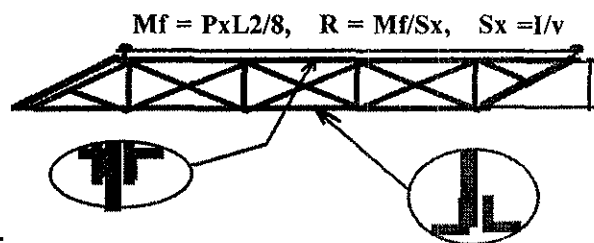
Efectos de compresión:

Estos efectos se obtienen para cada sección con la descomposición de "q", del polígono de fuerzas exterior, en dos fuerzas, **OC** que es paralela a la dirección de la fibra media dentro de la sección de estudio "mn", y la otra **CD** normal a la dirección. Este último efecto **CD** es la tracción el que a su vez se descompondrá siguiendo la dirección de las barras y tensores a partir del plano que corta las sección "mn", y ser debidos a los efectos del viento.

Mientras que "**OC**" ser la compresión, auxiliándose del polígono ya trazados se encuentran los efectos directos que actúan en el corte seleccionado "**mn**".

Posteriormente trabaja por pisos integrados por armaduras transversales, en los que una vez conocidas las cargas, encuentra los momentos flectores, saca el modulo de sección: $R = M / S_x$. (fig. XII y XIII) Con su respectivo coeficiente de trabajo determina las secciones compuestas en dos ángulos y solera central en ambas cuerdas. Debido al gran número de niveles ordena por tablas, indicando las soluciones constructivas.

$$T2, T1, T3, Mf = L2w/2$$



Momentos en apoyos fig. XII

Secciones de armadura (fig. XIII)

Influencia por temperatura y flecha total, el primer punto lo obtiene a partir del coeficiente de dilatación el hierro, con las dimensiones totales para encontrar las deformaciones totales. Para obtener la flecha sigue con el mismo principio de dividir la edificación en dos grandes

tramos y para la parte inferior utiliza la fórmula: $f = PL^3/3EI$. Si observamos es un método similar a los actuales para encontrar las respectivas flechas en las vigas empotradas en un solo punto. La obtención de la flecha en la parte superior con la fórmula: $f' = May \times y/EI$. En donde considera un incremento y participan también un momento total, modulo de elasticidad y el momento de inercia. (fig. XIV)

Estabilidad: Se obtuvieron los efectos totales en la parte inferior de cada montante P' , el cual sumó un total de: 2 895 000 kg., mientras que el efecto del viento que tiende a arrancar las mamposterías con la primera hipótesis con un viento de: $V = 300 \text{ k/m}^2$, Fue igual a: $P = P' - P''$. de donde: $P'' = 1\ 342\ 000 \text{ kg.}$.

Mientras que los bloque de mampostería pesan $132 \text{ m}^3 \times 2\ 500 \text{ m}^3 = 330\ 000 \text{ kg.}$, y el efecto que es necesario para un montante menos el efecto del viento resulta 3.14 veces mas resistente. Finalmente obtuvo las cargas de la mampostería sobre el suelo de fundación, para esto cálculo la presión sobre el concreto sobre el suelo de la cimentación, requiriendo de cuatro pilas. Tal coeficiente de compresión lo obtiene sencillamente dividiendo el peso total entre el área, y por último hace una revisión tomando en cuenta el peso de la tierra que ejerce sobre el fundamento para encontrarse lo mayor posible dentro de la realidad, y con la componente que baja dada la misma inclinación del montante, la que produce a su vez un empuje, es necesario por lo tanto rectificar el empotre de la misma cimentación, a base de un procedimiento bastante sencillo que consiste en la descomposición de la resultante que es la descarga total, entre el empuje "e" citado horizontal y la componente vertical "V".

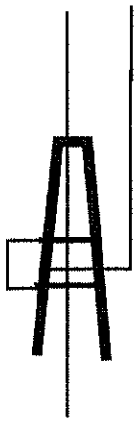


fig. XIV

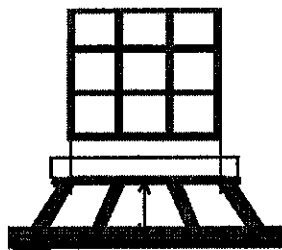


fig.XV

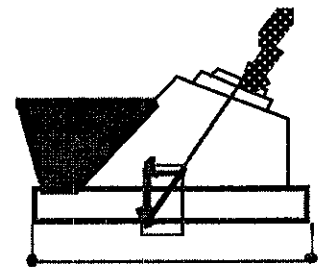


fig. XVI

Se vale para esto del coeficiente de trabajo máximo en la fibra extrema, el ancho "a" y largo "b" de la cimentación (fig. XV y XVI).

En síntesis contiene una de las primeras memorias de cálculo estructural que utiliza

procedimientos analíticos combinados de la estática y dinámica y cuyas herramientas es la geometría descriptiva, manejadas con un lenguaje lo más singular y sencillo posible, sin meterse en complicaciones y lograr sus objetivos de realizar una obra de arte construible, auxiliándoles de los métodos gráficos que hacen más entendible el proceso de diseño estructural y edificación.

Es un importante documento histórico y que a manera de tratado de arquitectura muestra la modalidad actualizada de los mismos, solo que en este caso se encuentra dedicado a una sola edificación, que como proyecto y ejecución de obra son explorados sus conjuntos de memorias, que hicieron posible su gestión y total desarrollo, con la explicación científica, clasificada y ordenada al estilo de las nuevas ciencias presentadas a finales del siglo XIX.

Además de la exhaustiva explicación como libro de un alto nivel matemático, contiene tablas en forma de manuales de construcción los perfiles con sus superficies nominales, igualmente es un ordenador en los procesos constructivos que a nivel general se realizaron, como por ejemplo la colocación de grandes cimbras deslizables, fijas y grúas para sostener los montantes hasta culminar la obra con la linternilla, para esto son expuestos detalles constructivos e indica de una forma gráfica las diferentes etapas, con sus tiempos realizados y el desglose de actividades totales. Por especificaciones expone el tipo de maquinaria necesaria e instalaciones especiales; y para concluir la obra presenta a la manera moderna suma los costos que se requirieron para lograr la gran empresa.

El tratado es también un avance para las construcciones de gran altura, estableciendo la importancia del uso de los materiales y tecnologías propias como el análisis de la estructura metálica; 3

La obra es un apoyo fundamental no solo para el estudio de las nuevas edificaciones como modelo de diseño y estructural, pues es igualmente un punto de partida hacia nuevos caminos de la industria de la construcción. Sin olvidar que en su momento lo tremendamente contradictorio e impactante que fue tal obra con la transparencia de sus espacios y esbeltez de sus secciones armadas en cierta medida modificaba los cánones clásicos en la edificación.

3

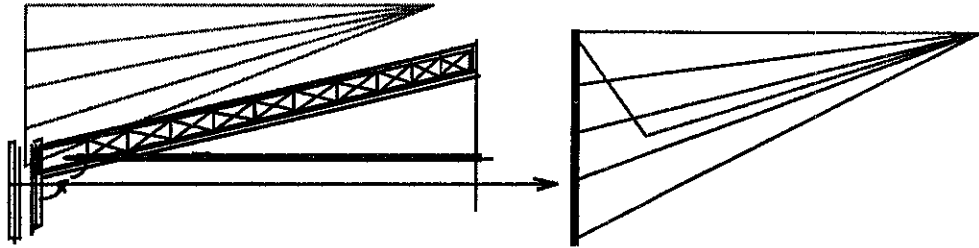
Eiffel, G.: (*Op.Cit.*),

"Il s'agit de construction metalique, la science de la resistance des materieux est parvenue, de notre temps, un degré de certitude qui permet d'etre assure par le calcul, de la determination des efforts en chaque point de la construction et des resistances qu'on peut leur appliquer".

A continuación presentaré unos ejemplos que vislumbran el carácter apegado a la práctica constructiva del ingeniero Paul Planat, es una manera significativa con que criterio diseñaros las novedosas estructuras.

Cubiertas:

(*Ferme du Palais des Beaux-Arts*) 1889



La forma como Paul Planat calcula las diferentes armaduras, por ejemplo las realizadas con *l'arbalétrier* o tensor mayor. En todos y cada uno de los casos muestra varias hipótesis o métodos de solución, los cuales a grandes rasgos son los siguientes: Como primer paso propone el diseño general de la armadura con tensor, apoyado con detalles constructivos a la escala; por supuesto indica la altura, claro a salvar y se incluyen dimensionamientos previos con las secciones nominales.

El ejemplo considera cargas concentradas de 1300 kilogramos; resultando 80 k/ m². Continúa la bajada de cargas por paneles de 1300 kg., integrados a su vez por cuatro cornisas (de 26 kg. a 30 kg.), con la respectiva relación de las mismas secciones de $I/n = 0.00510$; tales datos son obtenidos al igual que los pesos volumétricos en tablas de manual. Obtienen el momento flexionante "Mf", por la expresión actualmente manejada de: $Mf = PL / 8$; por lo que 1300 kg. X 9.20 mts./8 . Como consideraciones tenemos que: A).- El momento flexionante "Mf" es de: 1500 km. B).- El trabajo no deberá pasar de: $Mf / I/n$, o sea: $1500 / 510 = 3 \text{ k/cm}^2$.

En cierta medida es un procedimiento combinado pues traza el dinámico de fuerzas, obteniendo el empuje total y de este se auxilia para encontrar la carga actuante sobre la armadura superior. Advierte el autor que existen dos formulas de cálculo para la armadura. El primer procedimiento considera a la armadura como si fuese una pieza de dos apoyos llamada por el en su encuadramiento o medio claro.

Realiza el dinámico de fuerzas con una forma mas simple (empuje, carga y fuerza directa sobre la armadura), y de esta forma nuevamente determina el momento flexionante solo que para tres paneles ($1300 \times 3 = 3900$), o sea un total de $M_f = 3900 \times 6.20/8 = 3000$; la tensión la obtiene directamente por el polígono de fuerzas la que por cierto suma una cantidad de 11000 kg., mientras que la compresión resulta de 1200 kg.. Considerando el trabajo del metal: el tirante de un diámetro de 0.034 de un sección nominal trabaja a razón de $R = 0 \ 11000/908$, cifra que califica el autor como muy exagerada y que por lo tanto debe emplearse material de excelente calidad. La armadura al estar compuesta principalmente por cuatro cornisas de $60 \times 60 /6$ que es su sección nominal y de dos largueros de 15×6 , corresponden a un peso aproximado de 40 kg., el valor de $I/n = .0008$; el trabajo de flexión es de $3000/800 = 3.8$ kg. y el trabajo de compresión será de $12000/4700 = 2.5$ kg.; hacen un total de 3.8 kg. mas 2.5 kg. de 6.3 kilogramos. 1

La segunda solución requiere también el trazo del dinámico, siendo necesario encontrar el valor del apoyo, equilibrado por la tensión del tirante. Se localiza la tensión del tirante sobre el trazo del polígono igualando el eje de inclinación de la armadura, se obtiene tanto la fuerza actuante del tirante y la de compresión directamente, cuyo valor de la primera es de 7700 kg., o sea $7700/908 = 9$ kg. de tensión muy elevada.

El momento sobre la armadura será de $7200 \times 0.45 = 3500$, con un trabajo de flexión de $7200/800$ o sea de 4.4 kg.; y con un trabajo de compresión de $7200/4700 = 1.6$ kg. o sea un total de 4.4 kg. mas 1.6 kg., resultando 6 kilogramos, cifra que difiere del primer resultado.2

Traza polígonos regulares "Z" y "f", y de esta forma divide entre "I", se evalúan las superficies S1 y S2 obteniendo en las monteas los centros de gravedad, tomando las alturas h1 y h2 obteniendo por la diferencia de ordenadas; el trabajo del metal que resulta de 4.1 kg.. Como el valor del intradós y extradós son constantes el cálculo se simplifica, a la sección la llama "w", mientras que a la media altura la denomina "v"; así trabajo con los momentos de inercia "I". Del dinámico principal obtiene el empuje y este a base de las formulas de diferencias de h1 y h2, obtiene el valor de 1285 kg., el cual es una reducción del empuje encontrado. De esta forma

1

Apud. Paul, Planat: *Op. Cit.* Vease: *L' Art de Batir, Op. Cit.* Tomo V, Pág. 14 - 20.

2 Nota:

Las armaduras sobre postes de la Exposición de Ville de París, son ejemplos prácticos un tanto mas complejos, sin embargo el autor sigue soluciones lo mas sencillas para verificar la estructura, y después de plantear el encuadramiento o dibujo del armado hasta el medio claro, incluyendo las fuerzas actuantes y secciones previas nominales de $60 \times 60/6$ para las cornisas, $50 \times 50/5$, y $60 \times 60/6$, para las diagonales; traza el polígono, en la página 5 del tomo V nos dice el autor:

Paul, Planat, *Op. Cit.* Vease: tomo V:

"Pour plus de precition, nous recours à la méthode rigoureuse qui a été indique dans la pratique de la mécanique appliquée."

obtiene el momento flexionante $M_f = 1285 \times 4.1 = 5270$, con la relación de $I/n = .001$, trabaja a la flexión $5270/1000 = 5.3 \text{ kg./mm}^2$, la compresión en las cornisas de 1285 en secciones de $I/n = .0029$, será igual a $1285/2900 = 0.4 \text{ k/mm}^2$; o sea un total de 5.7 kg./mm^2 . Por la gráfica de momentos a la mitad del encuadramiento el valor del "Mf" es nulo, mientras que al codo la suma del mismo desde 6810, con una relación de I/n en la secciones utilizadas el trabajo a la flexión es de $6810/2420 = 2.7 \text{ k/mm}^2$.

La sección reforzada para admitir la compresión es de $I/n = 0.00337$, con una compresión igual a 4500, lo sea: $4500/3370 = 1.3$, con un trabajo complementario de 1.3 mas 2.7 igual a 4.0 k/mm^2 . Sobre el pie derecho revisa una altura de 3.9 mts., el valor del momento $M_f = 1285 \times 3.9 \text{ mts.} = 5000$; con una sección de I/n de 0.000783, el trabajo "R" a la flexión es de 6.4, mientras que la compresión para una sección de 0.0029 de I/n será 1.7, haciendo un total de 8.1 kg/mm^2 . De ello se observa que para las piezas principales varia el trabajo "R" de 5.7 a 8.1 y por lo tanto se pueden trabajar con rangos menores a este las piezas complementarias.

Para concluir revisa las piezas secundarias, cuyas secciones de $50 \times 50 / 50$, o sea que son de un $I/n = 0.0010$, o sea con una fuerza de $1285/1000$, el esfuerzo resulta de 1.3. A la mitad del claro el peso muerto resulta de 2500 kg., y con unas secciones de $600 \times 60 / 60$, con una relación de $0.00072 = I/n$, resulta $2500/720 = 3.4$; resultando un trabajo máximo para las piezas de 3 kg/mm^2 a 4 kg./mm^2 . Al pie del pilar se descompone la presión oblicua de 4700 en dos partes iguales, aplicadas para cada uno de los puntos "a" y "b", y el efecto de carga será igual 1400 a 1600 kg., sobre una sección cuyo I/n es igual a 0.0010, con una presión oblicua de 366, mientras que para el montante será de $1750/720$, más 2700, cuyo resultado es menor al trabajo sometido sobre las piezas principales.³

Cubierta: "la Galerie de Rapp à L'Exposition Universelle de 1889"

Tal sistema cuenta con un claro entre columnas de 20 metros y contiene cerramientos de tres claros; el central de 14 metros y los laterales de 5 metros. Para obtener el trabajo dentro de las grandes armaduras; lo inicia con la creación de dos polígonos de fuerzas uno es la síntesis del segundo, pues este ultimo es completo por que contiene las cargas particulares a cada eje. Los paneles son de 0.34 metros de espesor, compuestos principalmente por cuatro cornisas de $85 \times 85 / 5.5$ y cuatro soleras de 120×6 , con un peso de 45 kg./m^2 , y dentro de la condición $I/n = 0.000770$, el trabajo del metal es de $2600/770$, que resulta menor a 4 kg./mm^2 . El momento flector es de $2240 \times 14.00/12$ que es donde se obtiene el valor del "Mf" igual a 2600.

3

Apud. Paul, Planat: *Op. Cit.* : *L' Art de Batir*, Tomo V, Pág. 14 - 20.

Como primer paso general obtiene la carga aproximada de 10000 kg., para la mitad del cerramiento con una compresión de 25000 kg.; estos valores se han obtenido previamente en el dinámico inicial, ya comentado por cierto y planteado como síntesis. El tirante cuyo diámetro es de 0.065, con una sección nominal de 3.320 (factor I/n), tendrá un trabajo de $23000/3.32$; o sea: 7 kg./mm²..

La armadura contiene cuatro cornisas de 70 X 70 /7, y dos soleras de 200 x 7, mas otras dos de 150 X 7, que dan un peso total de 70 kg./m², de donde $2600/770 =$ es menor que 4.k/mm²; la altura es de 70 cm y el valor de $I/n = 0.008$, el momento flexionante es por lo tanto de: " M_f "= 4 X 2.224 X 10.00/8 = 11.200; por lo que el trabajo correspondiente $M_f / I/n$ será: 11.200/2.8, o sea: 4 kg./mm². Mientras que el trabajo a la compresión será de 25000 kg./ 8.800 = 2.8; o sea un total de 6.8 kg. / mm² que es la suma de 4 kg./mm² y 2.8 kg./ mm².

Como segunda opción de procedimiento de solución, se traza la montea, donde se encuentra que 17000 kg., satisfacen la condición necesaria; aunque el autor establece por tanteos que de un rango de 16400 a 18400 de empuje.

Inmediatamente encuentra las relaciones f/I y z/I , y dentro de los polígonos correspondientes " z " y " f ", calcula las superficies S_1 y S_2 , obteniendo los centros de gravedad respectivos a las alturas h_1 y h_2 ; y con la diferencia de ordenadas obtenida de 0.80 m.; encuentra el momento " M_f " = 17000 X 0.80 = 13600 .

El trabajo a la flexión es de $13600/2.8 = 4.8$, dentro de la misma región el trabajo del tirante será de $17000/8.8 = 1.9$ o sea un total de 6.7 kg./mm²; de esta forma el autor continua las revisiones y dice en conclusión que: ⁴

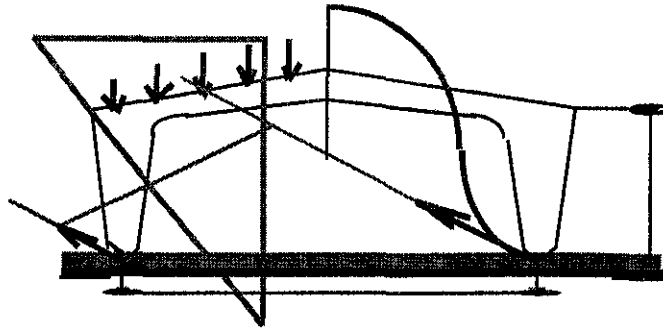
Las armaduras propiamente las calcula preferentemente de forma gráfica aunque presenta también interesantes soluciones matemáticas. Apegándose en ambos casos a soluciones lo mas practicas posibles, debido a que propone las secciones con detalles constructivos. El autor explica que los las armaduras son cerramientos compuestos por grandes mallas.

Partiendo del hecho que es un solo triángulo articulado ya que en la realidad tal armadura se encuentra realizada por varias piezas que constituyen una sola pieza generalmente de mayor altura en su parte central para absorber la flexión máxima y esfuerzos cortantes con un a estructura ligera y de gran economía en cuanto a sus materiales .

4

Apud., Paul Planat, *Op. Cit.* : L' Art de Batir, Tomo V, p. 21 , 30

"Dans cette ferme le travail reste à peu près uniformément égal à 6 k/mm.2, pour les pieces principales, et un peu inférieur pour ces croisillons".



Para los grandes claros de 20 metros resueltos como pórticos, presenta variantes de empotres y articulaciones y por ejemplo resuelve en general con el dinámico de fuerzas.

Considera para tal pórtico un claro de 20 mts, y 4 mts. entre armaduras para integrar una nave industrial, y 680 kg. sobre cada panel el punto de apoyo origina una contra flexión igual; de tal manera que los apoyos tienen un empuje de 950 kg., el $M_f = 950 \text{ kg.} \times 5.4 \text{ mts.} = 5\ 103$, siendo nulo en la región "A", mientras que en la "B" será: $M_f = 950 \text{ kg.} \times 11.00 \text{ mts} = 10\ 450 \text{ kg. mts.}$ Al otro costado la presión del viento será igual a $11.6 \text{ mts.} \times 4 \text{ mts.} = 46.4$, a razón de 35 kg. la presión: 1620 kg. (+/-). Descomponiendo 460 kg. y 1 210 kg. sobre el apoyo y en igual forma encuentra los M_f a cada punto, sobre el codo derecho $410 \times 6.7 = 2\ 747$; en este mismo lugar. Los puntos verticales tienen un momento igual a 10 4560 kg. mts. y sobre la parte derecha $1\ 210 \times 5.8 = 7\ 018$ que ajusta a 10 450. En A, $1\ 210 \times 4 = 4\ 810$ en el lado izquierdo; mientras que al lado derecho su efecto es de: $410 \times 12 - 810 \times 2.90 = -2\ 570$ y el efecto del empuje será igual a: $950 \times 5.4 = 5\ 130$, de donde 10 470 es el efecto de la carga gravitacional y 17 468 por la presión debida al viento, obtenido por la suma de $1\ 210 \times 5.8 = 10\ 420$. El cálculo ordinario lo encuentra con una carga total y el momento flexionante: $M_F = 10\ 450 \times 130/100 = 13\ 600$, y para un M_f de 17 468, su trabajo es de $6 \text{ kg.} \times 13\ 600/17\ 468$, que es igual a 5 kg. y solo cuando sea mayor y no suficiente a 6 kg.. De donde, es prudente reducir el trabajo a lo normal.

El autor continua haciendo consideraciones a lo largo del pórtico. explica armaduras prolongadas sobre pilares y columnas; para estos ejemplos sigue el mismo criterio, con la misma similitud en descifrar en su conjunto al elemento estructural. 5