

## **LA BASÍLICA DE PÁTZCUARO EN PÁTZCUARO, MÉXICO: SU INNOVADOR SISTEMA ESTRUCTURAL EN LA FACHADA Y CUBIERTA**

**Méndez Flores F.1, Alonso Guzmán E. M. 2, Torres Garibay L. A.3, Martínez Molina W.2, Torres Acosta A. A. 4, González Licón H. J. 5**

- 1. Alumno del PIDA, Fac. De Arquitectura, U.M.S.N.H., Morelia, Michoacán, México, fcomendezfloresmail.com 1*
- 2. Cuerpo Académico U.M.S.N.H.-147, Departamento y Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.*
- 3. Jefe de la división de estudios de posgrado, Fac. De Arquitectura, U.M.S.N.H., PIDA, Morelia, Michoacán, México.*
- 4 Miembro del IMTA, Km. 12 Carretera Querétaro-Galindo, San fandila Municipio de Pedro Escobedo, Querétaro, Querétaro, México.*
- 5 Coordinador de la especialidad en Restauración de Sitios y Monumentos de la División de Estudios de Posgrado, F.AUM, U.M.S.N.H.*

### **RESUMEN**

La basílica de Pátzcuaro es el único vestigio del magno proyecto catedralicio que en el S. XVI concibiera Vasco de Quiroga para la diócesis de Michoacán, es en el último tercio de este siglo que la estructura material de la ex catedral y como producto de sollicitaciones sísmicas que se dan a través de tres siglos, el edificio presenta modificaciones en su estructura, presentándose las finales en el S. XIX. La vulnerabilidad sísmica obedece a una obra de fábrica de considerable luz, las intervenciones realizadas en el periodo comprendido de 1850 y 1872, básicamente en la fachada y cubierta, muestran la aplicación de los conocimientos de la época, la singularidad de la cubierta de la basílica, consiste en ser el primer edificio histórico que presenta apoyos discontinuos entre la estructura de madera y la corona del muro, interacción que le otorga un comportamiento elástico resultando en un factor de amortiguamiento ante sollicitaciones sísmicas.

Una singularidad lo constituye la interacción entre la estructura de madera y el mecanismo de apoyo en la corona del muro como una adecuación de la viga de Winkler.

### **1. ANTECEDENTES**

La región lacustre del lago de Pátzcuaro, Michoacán, ubicada en el occidente de México, es considerada como una de las regiones más emblemáticas de México.[1] tanto por sus antecedentes prehispánicos como los acontecidos durante el periodo colonial con la construcción de la Catedral de San Salvador, en el obispado de Mich., considerado como uno de los proyectos más importantes en la Nueva España, donde para el momento actual su simbolismo y gran carga histórica ha propiciado diversos estudios sobre la forma que debió tener, fig.1 y su impacto en la estructura

arquitectónica de la actual basílica, motivando por ello diversos estudios llevados a cabo por historiadores, posteriormente por historiadores del arte abordando aspectos arquitectónicos de gran valor y actualmente por arquitectos que muestran de forma descriptiva la forma de trabajo de su estructura.[2]

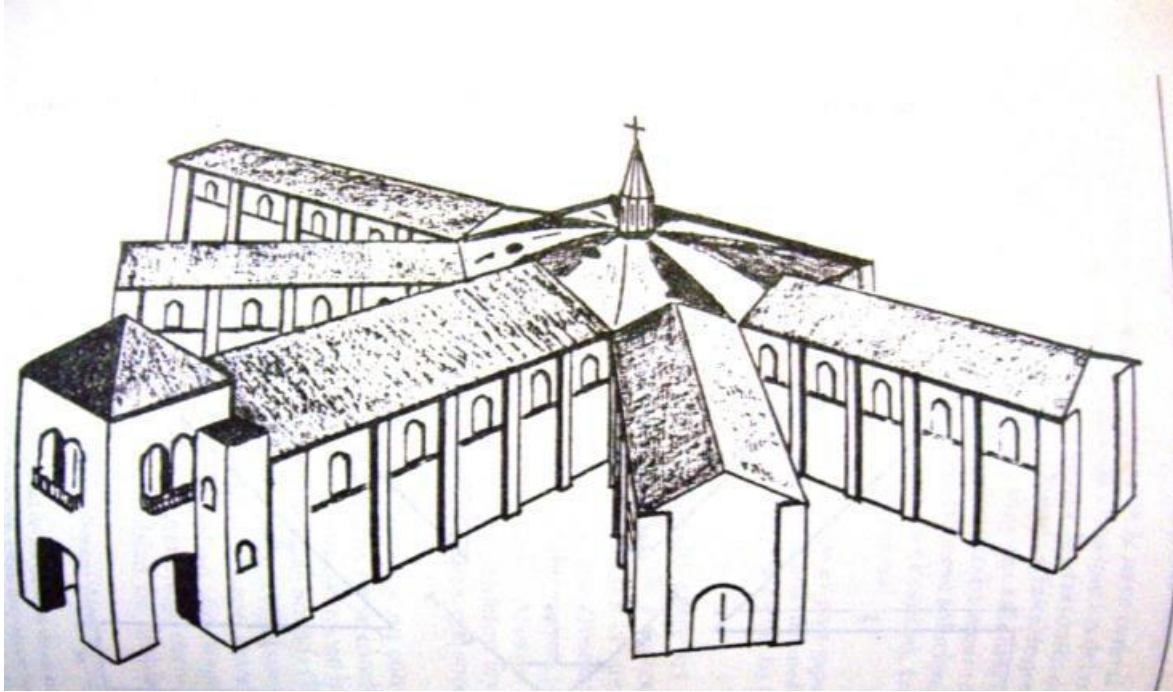


Fig. 1 Perspectiva de la catedral de Pátzcuaro. Mina Ramírez M.

Diversas causas determinaron la suspensión de los trabajos de la construcción de la catedral quedando concluida únicamente la nave central ante la inconformidad y gran pesar del obispo Vasco de Quiroga, quién veía roto su plan de otorgar una grandiosa obra, producto de muchas reflexiones y experiencias adquiridas durante el tiempo dedicado a los servicios de la Corona Española, no son suficientes para revocar la orden Real de dejar cubierta nada más la parte central, indicación que desemboca finalmente en dejar el proyecto catedralicio como parte de la historia, de lo que sería una de las catedrales más espectaculares en la Nueva España del S. XVI.[3]

Por lo que la nave central de la actual Basílica de Nuestra Señora de la Salud en Pátzcuaro, guarda un gran simbolismo debido a su notable carga histórica al ser el único vestigio de lo que sería el magno proyecto catedralicio y sede del obispado de Michoacán al dimensionarse como un proyecto innovador y polémico para su época por sus características y diseño.[4]

Históricamente el factor de deterioro que mayormente ha impactado la estructura del edificio son los sismos afectando particularmente las cubiertas de madera, y los muros del ábside en el S. XIX, es en este mismo tiempo que fue colocada la actual cubierta. La cual muestra el gran valor tecnológico alcanzado en su fabricación,[5] con la presencia de dispositivos en la interacción apoyo estructura que le otorgan resistencia ante agentes de sollicitación dinámica y por cuya singularidad ha dado fin a una serie de daños y reparaciones que desde sus inicios hasta la implementación de las

mencionadas adecuaciones se le realizaron al edificio. El marco referencial de análisis del edificio de la basílica sometido al efecto de los sismos que durante tres siglos deterioraron su estructura, ha sido contemplado tratando de dar una continuidad a los estudios descriptivos ya realizados donde las interrogantes planteadas, y sus respectivas respuestas, siguen esta línea para complementar un estudio sistemático que sobre la construcción y posteriores adecuaciones fueron realizadas a la estructura de la actual basílica.[6]

Por otra parte el riesgo sísmico que las normas para el diseño y revisión presentan es plasmado en una regionalización de la república mexicana, fig. 2, mostrando las zonas más vulnerables y con mayor posibilidad de ocurrencia de eventos sísmicos, Fig. 2 específicamente para nuestro caso al quedar comprendidos dentro de la zona “C” esta está clasificada como de alto riesgo dentro de las franjas sísmicas de la república mexicana.[7]

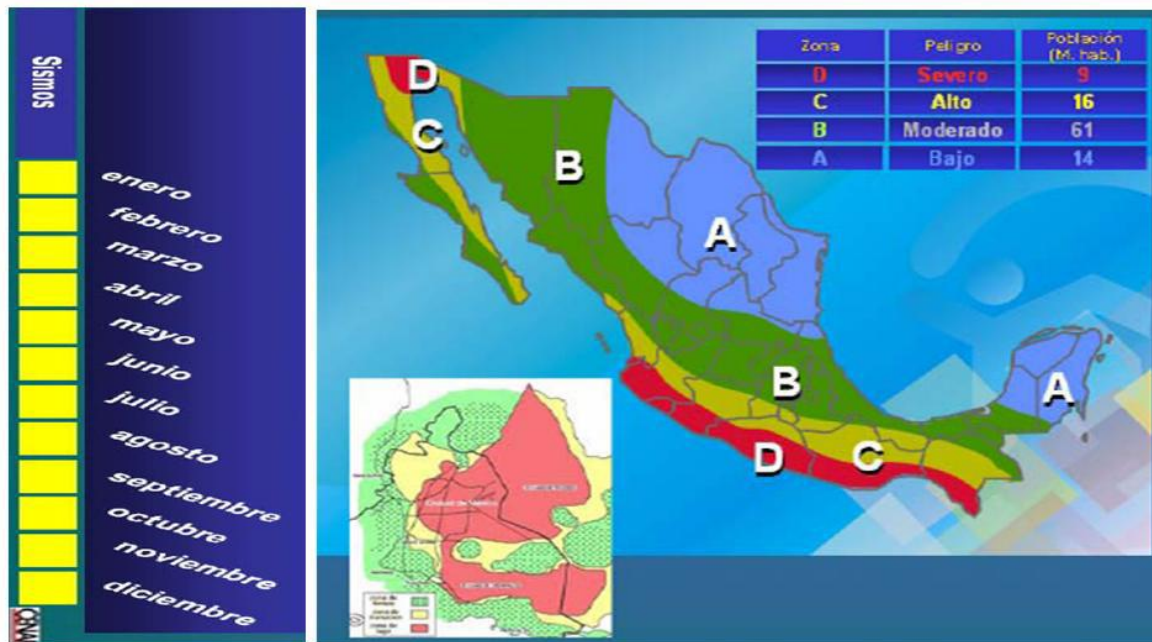


Fig. 2 regionalización sísmica de la República Mexicana.

## 1.1 PROPIEDADES ARQUITECTONICAS Y ESTRUCTURACION DE LA BASILICA

Por su estructuración los edificios patrimoniales son altamente susceptibles a ser afectados por los sismos la ocurrencia de estos en los últimos años han tenido un importante impacto en el patrimonio histórico tales como el que se presentó en 1976 en la antigua Guatemala, donde un gran terremoto destruyó la capital y causó daños en muchas edificaciones religiosas. En este panorama de afectaciones sísmicas hacia las edificaciones históricas no menos favorecida resultó la ex catedral de Pátzcuaro, donde su estructura funcional y formal es función de una implementación tecnológica de probada eficiencia y que muestra un caso singular en la aplicación de conceptos que bien puede llamarse sismo resistentes.[8]

Por supuesto la estructura actual de la basílica, muestra que los refuerzos en estilo que periódicamente se le fueron agregando, son dependientes de la solicitud extraordinaria que motivó su implementación por lo que su eficiencia deberá ser objeto de investigaciones adicionales.[9]

La vulnerabilidad es entonces una característica intrínseca de las estructuras, que depende del criterio empleado para su diseño y revisión y a su vez es independiente de la peligrosidad sísmica del sitio donde estén ubicadas.

Una característica de primordial importancia lo constituyen las formas arquitectónicas, las cuales condicionan la respuesta ante los diversos agentes de sollicitación. Recomendándose específicamente para el buen desempeño sísmico que las estructuras cumplan requisitos como los siguientes:[10]

1. Simpleza en su estructuración
2. Simétricas
3. Compactas: ni demasiado alargadas ni demasiado esbeltas
4. Poseer distribución uniforme y continua de resistencia.
5. Poseer rigidez acorde a las condiciones del subsuelo.
6. Ser ligeras.

Para el análisis de la catedral de Pátzcuaro los numerales 1, 2 y 3 resultan fundamentales, ya que por una parte las características que definen a la estructura de las iglesias es la simetría, respecto a un plano únicamente, la cual es una propiedad de la buena arquitectura que armoniza la forma y le otorga un carácter de reconocimiento en el contexto urbano, por lo que en forma concluyente se puede manifestar que las plantas arquitectónicas de forma irregular son altamente susceptibles de ser afectadas por sismo.

El antecedente inmediato de la fachada que debió presentar para el S. XVI, la actual basílica, se fundamenta en la que se aprecia en el exvoto ya conocido del S. XIX, en el cual se reproducen las consecuencias del sismo ocurrido a mediados de este siglo, bajo la consideración basada en documentación Histórica de que la portada antes del S. XIX no manifestó cambios.

uno de los testimonio que muestran una de las mayores modificaciones está plasmado fielmente en dicho exvoto, fig.3, en el cual se aprecia la portada barroca que en el S. XIX presentaba el edificio, en el reverso se ubica una descripción que muestra las modificaciones tanto en el ábside como en la fachada principal,[11] posteriormente en este mismo siglo y a raíz del impacto demoledor de este sismo, se integra la cubierta de madera y la portada principal, con lo cual concluye una serie de adecuaciones e integraciones tanto formales como estilísticas.



Fig. 3 El milagro de Pátzcuaro, exvoto anónimo, Museo Regional Michoacano, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

La propiedad de monumentalidad de las edificaciones histórico-patrimoniales es el poseer una considerable escala en elevación o planta y que debido a ello presentan grandes claros y esbelteces,[12] para el caso de la estructura de la Basílica cuyo claro que salva del orden es de los 18 mts., y una longitud de 66 mts.fig. 4, ubicandola por ello dentro de los edificios religiosos jerárquicos con mayores dimensiones, característica que la hace muy vulnerables a las acciones sísmicas.

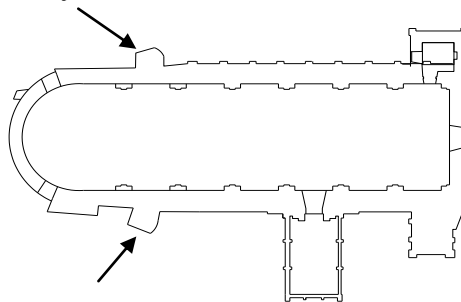


Fig. 4 Puntos de rigidez históricos en la planta de la catedral de Pátzcuaro, Francisco Méndez Flores.

La planta de la nave central de la basílica, por su marcada esbeltez, concentra los esfuerzos en los extremos, característica que en los siglos venideros y ante constantes sollicitaciones sísmicas, será un causal de deterioro obligando a tomar determinaciones para disminuir este efecto tales como: adecuación de la fachada principal, con la acción atípica de colocar dos contrafuertes en esta área, así como de 2 contrafuertes en la zona del ábside, adecuaciones realizadas durante los S. XVII-XIX.

Las construcciones monumentales se consideran para fines de análisis y dentro de un marco referencial estructural, que fueron construidas con mamposterías no confinadas, es decir sin refuerzo,[13] empleando aglutinantes de mortero. Dicha estructuración constructiva de la mampostería produce un bajo nivel de respuesta ante sollicitaciones extraordinarias del tipo dinámico de mediana y gran intensidad.

Para el caso de los muros estos se constituyen como el elemento resistente y transmisor de la respuesta sísmica donde su sección, tiene una gran importancia en el comportamiento estructural de estos.[14]

La concepción del trabajo de este tipo de construcciones tiene que ver intrínsecamente con el pensamiento de la época,[15] desde el punto de vista de la actividad edificatoria.

Las periódicas adaptaciones y evolución llegan a su término en el S. XIX, empleando conocimientos de vanguardia con la colocación de una fachada de estilo Neoclásica sobrepuesta sobre la portada barroca, fig. 5 y una estructura de madera de notable singularidad capaz de disipar energía sísmica, fig. 6

con lo que llega a su fin una serie de adecuaciones primeramente a la forma arquitectónica y por consiguiente a la estructura de la actual basílica, ya que ambas integraciones muestran un alto refinamiento tecnológico que no tiene antecedente en ningún caso similar de patrimonio religioso en el país,[16] como producto de una época y que su aplicación en el edificio responden a la serie de transformaciones que a lo largo de tres siglos se pueden resumir en la siguiente imagen, la cual está presente para el momento actual. Un caso muy particular de dotar de resistencia a la estructura de madera fue mediante la implementación de un sistema de apoyo entre la corona del muro y la base de la estructura de cubierta con el criterio de elasticidad en la transmisión de las cargas, como se verá en el siguiente apartado.

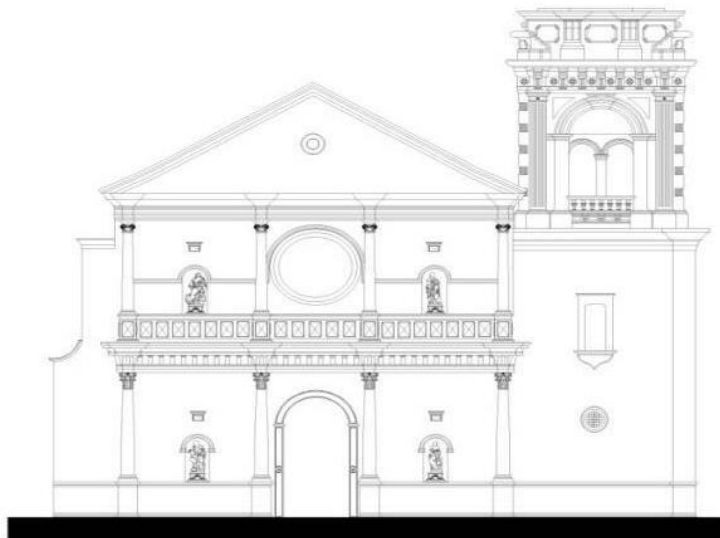


Fig. 5 Portada Neoclásica Francisco Méndez Flores.

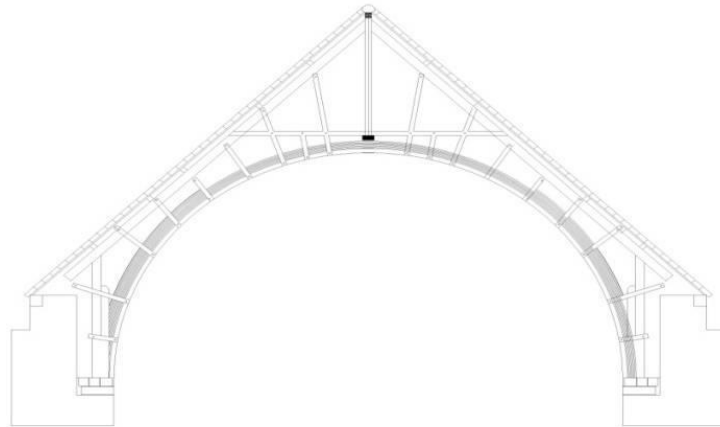


Fig. 6. Estructura de Madera. Francisco Méndez Flores.

### **1.1.1 INTERACCIÓN ESTRUCTURA DE MADERA-MURO DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURA CON AISLADORES EN LA BASE**

La estructura de madera de basílica se colocó como una respuesta a los frecuentes colapsos anteriores de las estructuras de madera, la geometría y su disposición constructivo-estructural, obedece a una respuesta de colocar un sistema flexible en cubierta con un apoyo rígido que es el muro ya que su considerable espesor permite tomar estructuralmente con esta característica de rigidez, ambas consideraciones cumplen totalmente el concepto de interacción, apoyo estructura en términos de compatibilidad. Apoyo elástico -“suelo rígido” o no deformable.

En 1867 Winkler aplicando la ley de Hooke para la modelización de los soportes de las vías férreas utilizó la teoría de la viga sobre soportes elásticos,[17] criterio que se retoma para modelar las condiciones existentes en el apoyo de la cubierta, por lo que la estructuración de la basílica permitió su análisis bajo las siguientes consideraciones: la estructura de madera por sus características constructivas al ser piezas ensambladas permite considerarlas en el modelo analítico como elementos barra, fig. 7.

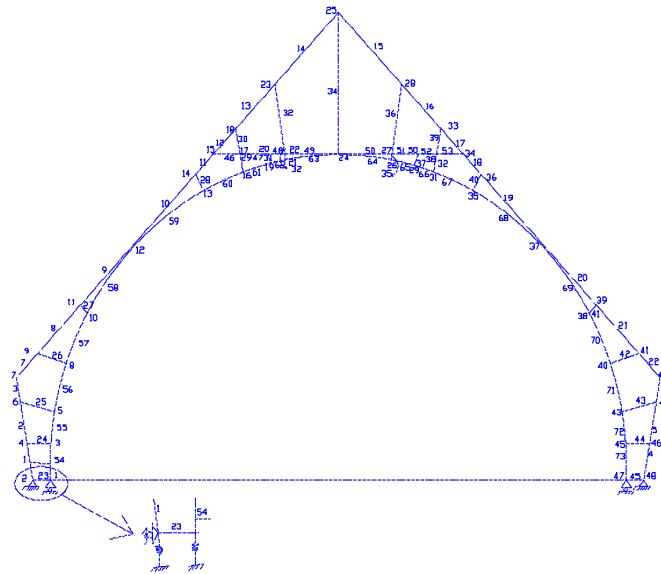


Fig. 7. Estructura de Madera, Francisco Méndez Flores.

Así mismo Para la mampostería se utilizo el método de los elementos finitos usando formulaciones matriciales,[18] analizándolos como unos elementos continuos cuyo modelado se realiza bajo la consideración de piezas rectangulares formando el mallado de los muros componentes y su posterior ensamblaje.

Actualmente y dentro de los conceptos de la ingeniería sísmica con consideraciones de apoyo de alto refinamiento se estudia el efecto del amortiguamiento en las estructuras que son susceptibles de ser dañadas por el sismo.[19]

El modelo estructural de estas condiciones considera que la plantilla **NO** está apoyada de manera continua sobre el muro, si no que descansa sobre tramos de madera, fig. 8

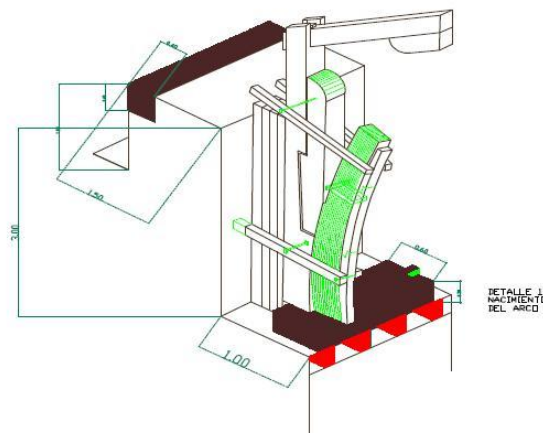


Fig. 8 Disposición de la estructura de madera mostrando aisladores del tipo elástico. Francisco Méndez Flores.

A manera de conclusión se puede manifestar que la estabilidad de la basílica es debida a la colocación de una estructura de madera que por sus características geométricas y constructivas es capaz de disipar energía producto de los sismos, ya que las anteriores cubiertas manifestaron una recurrencia de colapsos, esta característica dinámica se lograron con la adecuación de los apoyos de la estructura de madera y la corona de los muros, al presentar una discontinuidad, que en una caracterización estructural se asemejan a unos apoyos elásticos del tipo Winkler, concepto este de un alto refinamiento contemporáneo, cuyo valor se incrementa al adecuarse desde el S. XIX a un edificio histórico, además que para complementar la optimización de la respuesta de la estructura ante cargas accidentales, es alcanzada mediante la corriente estilística del momento histórico con la sobreposición de una fachada de estilo neoclásica, capaz de limitar los desplazamientos horizontales. Por lo que la singularidad de la basílica se presenta en una extraordinaria cubierta de madera y una fachada que participa en forma singular al buen funcionamiento y permanencia del edificio.



Fig. 9 Basílica de Pátzcuaro, Mich. México. Francisco Méndez Flores.

## REFERENCIAS

- [1] García V. N. H. (2005), "Memoria Ilustrada del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro", p. 15.
- [2] En el presente documento por estructura deberá entenderse la formada por los muros de mampostería y la cubierta de madera y salvo cuando se indique lo contrario se hará referencia a cada una de sus componentes en forma individual.
- [3] Kubler, G. (1983), "*Arquitectura Mexicana del Siglo XVI*", p. 353. [4] Ramírez M. M. 1986, "*La catedral de Vasco de Quiroga*", pp. 64-65.
- [4] Ramírez Montes, Mina, 1986, *La catedral de Vasco de Quiroga*, pp.64-65.
- [5] Torres G. L. A.(1999), "*Tecnología Constructiva en la Zona Lacustre de Pátzcuaro y Región Morelia*", pp. 142-146.
- [6] Ramírez R. E. (1990), "*Catálogo de Monumentos y Sitios de la Región Lacustre, t I, Región Lacustre de Pátzcuaro* p. 77.
- [7] Reglamento de Construcciones del Estado de Michoacán, 2005, p. 15.
- [8] Meli, R, (1998), "Ingeniería Estructural de los Edificios históricos", PP., 64-65
- [9] Lagomarsino, S, (1998), "A New methodology for the pos- Earth quake investigation of ancients churches" 11th European conference on the quake engineered pairs, version electronica Rotterdam.
- [10] Mejía R. J. (1982), "*Análisis y diseño de edificios de concreto y mampostería 1ª parte*" Antecedentes, Apuntes del curso optativo de la materia Diseño estructural III", p., 62
- [11] Manuel T. (1992), "*Historia de Pátzcuaro*", p. 109.
- [12] Gaytan R. R. (2010), "Vulnerabilidad sísmica para las torres y fachada de la catedral de Morelia", p., 8.
- [13] Por confinamiento debe entenderse el sistema formado por mamposterías que en sus perímetros se encuentran elementos de sujeción que cumplen la función de impedir su desplazamiento ante demandas impuestas e incrementan su resistencia, siendo este concepto de aplicación para materiales contemporáneos así como su normativa.
- [14] Giuffre' A. (1991), "Lecture sulla meccanica delle murature antiche, Edizioni Kappa. En State of the Art o f Reserch on Historic Structure in Italy" p. 8.
- [15] Castro V, A. (1995) "*Historia de la construcción Arquitectónica*", p. 16.
- [15] Karl-E. "La Historia de la Teoría de las Estructuras", pp. 223-225.
- [16] Colindres S. R. (1984), "Estructuras Hiperestáticas", p., 21.
- [17] Gómez Ch. S. I. (2007), "Análisis Sísmico Moderno, Ética Aplicada", pp. 145-149