



AISLACION SISMICA EN EDIFICIOS PATRIMONIALES DE CHILE

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Carlos Matías Álvarez Castro

Profesor guía:
Leopoldo De Miguel Jara

Diciembre 2019
Santiago, Chile

DEDICATORIA

Para mi círculo más cercano, mi familia, mis amigos y mi pareja, que tanta paciencia me tuvieron, mis hermanitos que los amo, y en especial a mis padres, que tanto esfuerzo pusieron en mí para formar a la persona en la que me he convertido hoy, y por ser un ejemplo tan cercano de lo que me gustaría ser como persona en un futuro,

Por todos ellos.

Gracias.

RESUMEN

Esta investigación busca sentar las bases para un estudio estructural, y la ejecución de la implementación de protección sísmica en edificios patrimoniales, estudiando desde el origen de estas obras, como y cuando se construyeron. Estudiando el entorno mundial en cuanto a este tema para poder abordar una labor que en Chile aun no se ha realizado, la aislación sísmica en edificios patrimoniales.

Estudiaremos las distintos tipos de construcciones en Chile, abordaremos temas de patrimonio nacional, demostrando que de estos, la gran mayoría son de tipo estructural o arquitectónico. Dando cuenta del potencial chileno que hay en esta área, y también de la deuda que tenemos como país en su cuidados.

También se abordan los tipos de sistemas existentes para aportar a una protección sísmica y estudiaremos a fondos los mas adecuados para este tema.

El sistema de inserto de aisladores sísmicos bajo la estructura será descrito desde una mirada constructiva para poder así ejemplificar este proceso, y demostrar que es posible ejecutar en Chile.

SUMMARY

This research seeks to lay the foundations for a structural study, and the implementation of the implementation of seismic protection in heritage buildings, studying from the origin of these works, how and when they were built. Studying the global environment regarding this issue in order to address a work that has not yet been done in Chile, seismic isolation in heritage buildings.

We will study the different types of constructions in Chile, we will address national heritage issues, showing that of these, the vast majority are structural or architectural. Realizing the Chilean potential in this area, and also the debt we have as a country in their care.

The types of existing systems to contribute to seismic protection are also addressed and we will study the most appropriate funds for this topic.

The seismic insulator insert system under the structure will be described from a constructive perspective in order to exemplify this process, and demonstrate that it is possible to execute in Chile.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
ANTECEDENTES.....	4
1.1 Problemática.....	4
1.2 Justificación.....	9
1.3 Objetivos	12
CAPÍTULO II	13
CONCEPTOS	13
2.1 Estructuras Históricas.....	14
2.2 Amenaza Sísmica	16
2.3 Riesgo Sísmico.....	17
2.2 Vulnerabilidad Sísmica	19
2.3 Vulnerabilidad Sísmica en Estructuras Históricas	20
2.3.1 Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica	23
2.6 Estructuras Nacionales	26
2.6.1 Estructuras de Tierra	26
2.6.2 Estructuras de Madera.....	30
2.6.3 Estructuras de Mampostería.....	31
CAPÍTULO III	33
PROTECCIÓN SISMICA	33
3.1 Sistemas activos	34
3.2 Sistemas semi activos.....	34

3.3 Sistemas pasivos	36
3.3.1 Disipación de energía	36
3.3.2 Aislación sísmica	38
CAPÍTULO IV	42
PROTECCIÓN EN EDIFICIOS PATRIMONIALES.....	42
4.1 Retrofit	42
4.2 Protección Sísmica en edificios Patrimoniales en Chile	45
4.3 Preparación e Interacción comunitaria.....	47
4.4 Basílica del Salvador.....	50
4.5 Estudios Previos	53
4.6 Propuesta Constructiva.....	55
4.7 Propuesta estructural	60
4.8 Proceso Constructivo: Instalación de aisladores sísmicos	65
CAPITULO V	71
CONCLUSIÓN	71
ANÁLISIS GENERAL	72
BIBLIOGRAFÍA	74
Referencias	74
Índice de tablas.....	75
Índice de imágenes.....	76

INTRODUCCIÓN

El terremoto del 27 de febrero de 2010, que alcanzó los 8,8 grados en la escala de Richter, dejó una enorme destrucción física y social a lo largo del Valle Central de Chile, agregando a esto, el posterior maremoto que arrasó con las costas del sur del país.

Entre sus muchas lecciones, la tragedia puso en evidencia la desprotección y fragilidad de nuestro patrimonio físico y la necesidad de contar, desde el sector público, con fondos, mecanismos, y criterios para conservar nuestra riqueza patrimonial. La importancia de conservar y renovar el legado de nuestros padres y abuelos rebasa sobradamente las razones estéticas o históricas que suelen invocarse. El patrimonio es una herramienta que permite a las personas apropiarse de su entorno y sentirse parte de una misma comunidad. El patrimonio contiene la historia de un lugar y, por lo tanto, las raíces de su distinción, de su particularidad. Es un espacio de encuentro y de identidad, un valor que forma parte de la riqueza de los pueblos y ciudades, así como un motivo de orgullo para sus habitantes y de placer para sus visitantes. No es casualidad, de hecho, que la recuperación de un espacio patrimonial muchas veces sea acompañada de una revitalización del espacio urbano que lo rodea, creando una suerte de círculo virtuoso, donde patrimonio y actividad cultural se alimentan mutuamente.

En el patrimonio cultural habita aquello que nos identifica y otorga singularidad como chilenos. El patrimonio nos convoca y nos une; nos indica un norte como grupo humano y nos acoge como comunidad. El patrimonio es el mensaje, legado y compromiso que nos transmiten chilenos que ya no están con nosotros. Arquitectura, técnicas constructivas, arte y artesanía, pero también lenguas, costumbres, rituales, creencias, gastronomía, música, fiesta y danzas nos otorgan identidad, sentido de pertenencia y la capacidad de tener sueños colectivos. No hay opiniones divergentes al respecto en el mundo: el patrimonio cultural de un país le pertenece a cada uno de sus integrantes y no es monopolio de nadie. Una sociedad que descuida su patrimonio —material o inmaterial— olvida sus raíces y, de paso, el legado de sus antepasados, tejido a través de los siglos. Una sociedad que no protege su patrimonio se ignora y se olvida a sí misma.

El terremoto del 27 de febrero de 2010 —el sexto de mayor intensidad entre los registrados por la humanidad— dañó severamente gran parte de nuestras construcciones patrimoniales, y reveló que el Estado chileno no contaba con mecanismos ni con recursos adecuados para ir en rescate de esta memoria quebrantada y, en algunos casos, casi enteramente destruida. Era mucho, muchísimo, lo que estaba en juego.

A partir de esta urgencia —fundamental e impostergable—, Nace esta idea del cuidado del patrimonio inmobiliario del país, Cuidarlo y adelantarse a futuros eventos sísmicos, como las que ya estamos El objetivo es que mediante las organizaciones sociales y/o gubernamentales se identifiquen cuáles eran los inmuebles valiosos para las comunidades y, a partir de ello, presentar proyectos de Retrofit, acompañados del cuidado sísmico.

La conciencia acerca del rescate y protección del patrimonio se adquiere poco a poco, a medida que una sociedad vincula ciertos bienes materiales o inmateriales a su historia. Para que ello ocurra es importante la existencia de un elemento valorativo que dice relación con la identificación personal y social de los integrantes e instituciones con estos elementos y la consecuente necesidad de protegerlos. En nuestro país este proceso ha sido lento y dificultoso, estrechamente ligado a la complejidad de la formación de nuestra identidad nacional. Desde que fuimos parte del imperio español llegando hasta los inicios de la República de Chile, y el sentido de nación en una sociedad culturalmente diversa, fue desapareciendo y por el contrario se esparció por todo el territorio los valores y símbolos de la zona central, lo que fue perjudicial para el patrimonio. Se estereotiparon negativamente costumbres, lenguajes, valores y símbolos que daban identidad a diferentes segmentos y se estableció un sistema centralista, borrando de un plumazo la diversidad cultural de las regiones del país. La consigna de civilización o barbarie propia del siglo XIX se prolongó en el tiempo, llegando casi hasta la segunda mitad del XX. Dentro de los muchos efectos de este proceso, el impacto que produjo en el patrimonio fue gravitante. Se extinguieron grupos humanos enteros, antiguos lenguajes, costumbres, tradiciones y elementos de cultura material tanto mueble como inmueble.

En esta autodestrucción Cultural, además de nuestra ignorancia y la estupidez de algunos, también participaron los desastres de la naturaleza, especialmente los violentos terremotos y tsunamis y el vulcanismo que nos azotan regularmente.

El patrimonio se ha identificado también con aspectos subjetivos de la calidad de vida, con elementos propios de un segmento cultural, con el interés de los pueblos originarios de preservar sus diferencias. el terremoto del 27 de febrero de 2010 puso al descubierto que la mera tarea regulatoria no es ni puede ser suficiente como respuesta del ámbito público para lograr una adecuada conservación y difusión del patrimonio cultural, sino que también es nuestra responsabilidad como un país sísmico, adelantarnos y estar preparados para estos ataques de la fuerza natural.

El daño que dejaron los 8,8 grados en la escala de Richter fueron severos e incuantificables, y la prioridad de otras materias que afectan directamente las necesidades primarias de los ciudadanos (hospitales, escuelas, servicios públicos, viviendas) y el funcionamiento de las ciudades (puentes y autopistas), Apuntaba a que probablemente los adobes dañados quedarían postergados hasta una próxima catástrofe, y sus problemas serían atendidos a medida de que hubieran recursos, pero jamás fueron considerados como urgencia.

El Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, de acuerdo con su mandato legal, tiene el deber de reaccionar ante la emergencia. Sin embargo, pese a la magnitud del daño y el sentido de urgencia, no basta con ir a reparar, se hace necesario poner atención en la protección, más que en la reconstrucción, tal como está sucediendo en la reconstrucción de infraestructura de países desarrollados (como EEUU o Nueva Zelanda) y de este modo lograr un compromiso de mediano plazo con la conservación del patrimonio cultural. Más que lamentar el daño patrimonial, se presentó la oportunidad de hacerse cargo de una carencia histórica y abrir una ventana donde las nuevas tecnologías se hagan cargo de nuestra historia, para que nuestro pasado sea disfrutado por las generaciones futuras.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Problemática

Chile es uno de los países mayor actividad sísmica en el planeta. En el ranking de los 15 terremotos más fuertes, registrados desde 1900 en el mundo, Chile aparece en tres ocasiones (Tabla 1.1), quedando incluso con el primer lugar. Ubicado sobre el llamado cinturón de fuego del pacifico, el suelo chileno se encuentra siempre en constante movimiento, debido al choque de las placas.

El primer choque es de la placa de Nazca, la cual se mueve por debajo de la placa Sudamericana, con una tasa de avance de ocho centímetros aproximadamente por año (Hayes, 2015). En el extremo sur el caso es distinto, esta vez es la placa Antártica la que pasa bajo la placa Sudamericana, generando movimientos más lentos que el anterior, por lo que genera menor actividad.

Dentro de los sismos más fuertes, en el siglo XVII se presentó el mayor sismo registrado en las crónicas del Santiago, y quizás el más famoso de la época. El 13 de mayo de 1647, que según los cálculos actuales habría sido de unos 8,5° Richter, devasto tanto arquitectónica como económicamente la zona central del país. La Iglesia de San Agustín, una de las más importantes de la época, pese a haber sido destruida casi por completo, conservo alguno de los muros.

Consecuencia de la devastación, el rey de España, ordenó el estilo y técnicas de construcción que debían utilizarse para soportar los fuertes sismos, siendo estas indicaciones los primeros roces con la normativa antisísmica de Chile.

Tabla 1.1 Ranking Terremotos más destructivos a nivel mundial desde 1900

	Magnitud	Ubicación	Fecha	Latitud	Longitud
1.	9.5	Valdivia, Chile	1960-05-22	38.14°S	73.41°O
2.	9.2	Southern Alaska	1964-03-28	60.91°N	147.34°O
3.	9.1	Costa oeste de Sumatra norte	2004-12-26	3.30°N	95.98°E
4.	9.1	Costa este de Honshu, Japón	2011-03-11	38.30°N	142.37°E
5.	9.0	Kamchatka, Russia	1952-11-04	52.62°N	159.78°E
6.	8.8	Maule, Chile	2010-02-27	36.12°S	72.90°O
7.	8.8	Costa de Ecuador	1906-01-31	0.96°N	79.37°O
8.	8.7	Islas rata, Alaska	1965-02-04	51.25°N	178.72°E
9.	8.6	Assam, Tibet	1950-08-15	28.36°N	96.45°E
10.	8.6	Costa del norte, sumatra	2012-04-11	2.33°N	93.06°E
11.	8.6	Sumatra, Indonesia	2005-03-28	2.09°N	97.11°E
12.	8.6	Islas Andreanof,, Alaska	1957-03-09	51.50°N	175.63°O
13.	8.6	Sur de Alaska	1946-04-01	53.49°N	162.83°O
14.	8.5	Mar de banda, Indonesia	1938-02-01	5.05°S	131.61°E
15.	8.5	Atacama, Chile	1922-11-11	28.29°S	69.85°O

Tabla 1.

Historia similar sufrió Concepción, en lo que actualmente sería la ciudad de Penco, un gran sismo atacó sus costas en 1751, provocando un posterior maremoto. El movimiento telúrico y tsunami, fue tan fuerte, que la destrucción de esta zona geográfica generó la posterior reubicación de lo que es la actual Ciudad.

Esta extrema vulnerabilidad recién fue considerada una vez que se empezaron a aplicar técnicas con principios científicos en las nuevas edificaciones, ejemplo de esto es el trabajo del arquitecto Joaquín Toesca¹.

Es así como con estos dos hitos históricos, se da comienzo a la historia telúrica que existe en Chile, continuando con tres grandes terremotos en el siglo XIX, en 1822, 1835 y 1868 (Concepción, Talcahuano y Arica respectivamente).

En 1906, uno de los terremotos más devastadores de la época arrasó con uno de los principales centros económicos y financieros del país, la ciudad puerto de Valparaíso, teniendo que ser reconstruida desde su base, ya que fue reducida a escombros casi por completo, dejando más de tres mil muertos bajo sus restos.

Sumándose a estos los fuertes sismos de el de Vallenar, y el gran sismo de Atacama (1922) que llegó a los 8,5° Richter y el de Talca (1928). Este último fue uno de los impulsores en cuestión de normativa constructiva en el país, dando paso a estudios de diseño y cálculo, que dieron origen a la ley general de urbanismo y construcción.

Uno de los hitos importantes fue el sismo ocurrido en la ciudad de Chillan, afectando a toda la región del Biobío un 24 de enero de 1939, dejando el récord a la mayor cantidad de víctimas en la historia sismológica de Chile, con más de 5600 muertos. Fue tal la destrucción que las autoridades se vieron obligadas a planificar su actuar mejorando la respuesta inmediata y la organización posterior que incluían labores de rescate y la posterior reconstrucción.

A causa de esto el parlamento aprobó la creación de la Corporación de Fomento y Reconstrucción (CORFO), institución que nació con el fin de levantar el país, reconstruyendo y fomentando las actividades industriales y comercio.

¹ Arquitecto de obras como el Palacio la Moneda, Catedral de Santiago, entre otros.

En 1960 en la ciudad de Valdivia, sumamos otro récord, esta vez mundial, adjudicándonos el movimiento sísmico registrado más fuerte del mundo, con 9,5° en la escala de Richter, destruyendo las provincias de Valdivia, Osorno, Chiloé, Llanquihue y Cautín, su epicentro fue en el mar cercano a Valdivia, desencadenando, además un maremoto que termino de inundar lo poco que quedo en pie, con olas que superaron los 10 m, desde Concepción hasta Chiloé.

Un sismo de tal intensidad tuvo repercusiones con la creación de la “*International Association for Earthquake Engineering*” (I.A.E.E.), a nivel internacional, y dentro del país con la puesta en marcha de la Asociación Chilena sismológica e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA) el año 1963.

Cinco años más tarde, luego del mega terremoto, un fuerte sismo de 7,4°, cuyo epicentro estuvo situado en las cercanías de La Ligua, fue percibido desde Copiapó hasta Osorno, dando pasó al desarrollo de una nueva norma técnica de cálculo antisísmico de edificios.

En 1985 un nuevo sismo sacudió la zona central del país, dando la primera oportunidad de probar la norma de diseño antisísmico, lo que sería en un futuro la base para la ya conocida NCh 433.

El terremoto puso al descubierto la precariedad de las viviendas de adobe antiguas que abundaban en las ciudades y pueblos afectados, y también evidencio algunas fallas de la norma con la que se estaba trabajando, dejando en claro que la normativa no estaba tomando las edificaciones posteriores a su vigencia. Es en 1996 oficialmente donde se crea la NCh 433 de Diseño Sísmico, justo después del terremoto de Antofagasta de 1995, en el que el estudio del terremoto de 1985 otorga los cambios que se estiman necesarios para poder solventar dicha norma técnica y hacerla más precisa a las necesidades de la realidad sísmica.

En el año 2007 se produjeron los terremotos de Aysén y de Tocopilla que, pese a no dejar un gran número de víctimas, causaron enormes pérdidas materiales. Finalmente, en el año 2010, en la zona centro sur del país se produjo un terremoto de 8,8 grados en la escala Richter, siendo el segundo más destructivo en la historia chilena, sumado a este el posterior maremoto que arrasó con las costas del sur del país.

Gracias a la condición sísmica del país, se ha ido aprendiendo, modificando y perfeccionando la forma de construir, asumiendo estrictas y exigentes normativas que hoy han demostrado un mejor desempeño. Sin dejar de lado las pérdidas ocurridas en el conocido 27F, es imperativo el reconocer la buena reacción que tuvieron las edificaciones, frente al movimiento sísmico y tsunami.

Uno de los puntos más importante de la normativa, es que en los sismos de alta intensidad los edificios aun presentando daños deben evitar el colapso de la estructura, dando prioridad a las personas, asegurando su refugio dentro de la estructura y dándoles tiempo para el posterior escape.

1.2 Justificación

Muchos de estos edificios han resistido al paso del tiempo, otorgando una huella histórica, que va creciendo en su entorno, dejando consigo el legado cultural y una identidad a los pueblos, que además de poseerlos, logren mantenerlos. En los últimos decenios, ha surgido en la sociedad y especialmente en los diversos grupos humanos que la conforman, tanto en las ciudades como en áreas rurales, una conciencia de identificación con aquellos bienes patrimoniales que son testigos de su historia. Se han ido revelando así las antiguas diferencias. Ya no es solo la historia nacional la que interesa, sino también aquella de la región, de la localidad rural, del barrio.

Gracias a esta herencia se puede conocer un poco del vivir de los antepasados por medio de su arquitectura, conociendo el nivel de tecnologías que aplicaban, sus creencias, costumbres, su estilo de vida, etc. Por lo que cada vez se valora más el patrimonio, viéndose reflejado en el actual encantamiento por viajar y conocer las distintas culturas, con un gran interés por lo plasmado en estos antiguos emblemas arquitectónicos.

Coincidentemente algunos de los países con mayor herencia arquitectónica son parte de los territorios más sísmicos como Italia, Grecia, Turquía, India, China, Japón, México y Perú, entre otros. Es una realidad que gran parte de estos edificios no tuvieron mantenciones continuas, y considerando el resto de ataques que pueden sufrir, al encontrarse en ambientes agresivos (lluvia, vientos, vibraciones por el tráfico, etc.). Debido a esto se genera una nueva necesidad de la arquitectura y construcción, siendo suficiente razón para que el estudio de la conservación patrimonial tome más fuerza en el desarrollo actual de la ingeniería civil.

En la antigua Europa y los países de medio oriente, le han tomado basta importancia al mantenimiento y rehabilitación de estos recintos, ya que el turismo forma parte importante de su economía, y este depende de sus atractivos culturales y arquitectónicos de larga data.

Estas investigaciones han enseñado extraordinarios avances en las áreas de inspección técnica, pruebas no destructivas, monitorización y análisis estructurales de las construcciones históricas. Desgraciadamente, a medida que avanzan los estudios, se puede ver el complejo panorama al que se enfrentan las estructuras que han ido quedando en una posición vulnerable para el futuro, ya sea por las diferencias de material, la mala distribución, el incorrecto uso o simplemente por el paso del tiempo.

En Chile también ha quedado una huella histórica a manos de la arquitectura donde los factores climáticos han influido a lo largo del territorio, mostrando distintos diseños y una gran variedad de materiales como son la piedra, el barro y la paja en los sectores áridos del norte, o el adobe y la teja en la zona centro, y en el sur, por sus lluvias, la madera.

Estas grandes diferencias de estilos, técnicas y formas han influido en el comportamiento estructural. Está claro que dichas construcciones fueron hechas sin los parámetros sísmo resistentes eficientes que funcionan hoy en día en el país, y una de sus principales características estructurales es su mala respuesta frente a la tracción, que se suma al actuar de la gravedad y deformaciones inelásticas provocadas por cargas externas. Puntos que, acumulados, hacen que estas estructuras se vuelan vulnerables ante exigencias futuras.

En la actualidad chilena, la norma regula los niveles de riesgo, donde se aceptarán para algún tipo de daño futuro están principalmente limitado por la necesidad estricta de reducir los riesgos de pérdida en vidas humanas, esto significa que la estructura debe otorgar un tiempo prudente para la evacuación de las personas, pero no importando lo que pase con la misma después de que las personas se encuentren a salvo. Sin embargo, las exigencias de diseño son mayores cuando el edificio tiene una gran importancia debido a su función (hospitales, estaciones de policía entre otros), pero no ocurre lo mismo cuando la importancia del edificio es por su valor cultural, generalmente porque estos fueron contruidos con normativas antiguas las cuales tenían menores exigencias, por lo tanto, el uso de herramientas sofisticadas para el fortalecimiento y la modernización se adoptan más comúnmente para estos últimos.

Existen casos de edificios valiosos, para los cuales es común aceptar un mayor riesgo de colapso o incluso daños limitados, son históricos, por ejemplo, edificios patrimoniales, con un alto valor estético y dueños de una identidad propia. En tales casos, será necesario adicionalmente identificar soluciones de modificación no invasivas. Las opciones en el campo de fortalecimiento y modernización implican altos costos, particularmente cuando se debe tener en cuenta el riesgo sísmico; por lo tanto, las estrategias de optimización son las más optadas. Cada intervención de fortalecimiento requiere un conjunto previo de investigaciones y análisis para obtener un diagnóstico confiable de la estructura, es decir, obtener su modelo numérico y, por lo tanto, su comportamiento en el estado límite máximo y en el estado límite de servicio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar los Sistemas de protección Sísmica y de los edificios patrimoniales, respecto de los movimientos sísmicos para la implementación en estructuras chilenas

1.3.2 Objetivos Específicos

Describir la situación sísmica nacional.

Determinar qué tipo de normativa está relacionada con los movimientos telúricos y las edificaciones patrimoniales.

Analizar qué tipo aislamiento puede ser propuesto para que edificios patrimoniales tengan una mayor concordancia ante los movimientos sísmicos generados a una estructura antigua.

Conocer y proponer procesos constructivos para la implementación de la protección sísmica a estructuras antiguas

CAPÍTULO II

CONCEPTOS

La necesidad de proteger y reparar edificios y obras de ingeniería civil surge después de que, por ciertos eventos y factores, han sido dañados de tal manera que estos ya no son aptos para su uso normal.

En tales casos la estructura no puede permitirse más sucesos que atenten contra ella y que puedan causar nuevos daños estructurales, en consecuencia, el riesgo de pérdidas humanas y del contenido, o incluso de colapso, sería inaceptable. Existen intervenciones de fortalecimiento que puede restaurar un nivel aceptable de seguridad, de cara a eventos y factores futuros, intervenciones a las cuales se les denomina readaptación.

Este nuevo deseo de reforzar o adaptar también puede surgir para edificios o estructuras que no fueron dañados previamente. Esto ocurre, por ejemplo, previo a una evaluación apropiada donde se muestra que el edificio no resistiría futuras acciones de la manera correspondiente ni con una confiabilidad aceptable. En este caso, el edificio no necesita reparación, pero requiere una modificación.

Las acciones que deben tenerse en cuenta están definidas por normas nacionales, como los códigos europeos EN1991² y EN1998³, las cartas de la Unesco y por los escasos anexos nacionales adicionales.

Las herramientas para el Diagnóstico y el estudio de la vulnerabilidad no están dentro del alcance de este estudio, en cambio, tiene como objetivo tratar los métodos de retro

² CEN EC1: "Eurocódigo 1: Acciones sobre estructuras-Parte 1-1: acciones generales - Densidades, peso propio, cargas impuestas para edificios" EN 1991-1-1, Comité Européen de Normalization, Bruselas, Bélgica; 2002.

³ CEN EC8: Eurocódigo 8: disposiciones de diseño para estructuras resistentes a terremotos, EN-1998-1: 2004; E, Comité Européen de Normalization, Bruselas, Bélgica; 2004

adaptación de estructuras de diferentes tipos de construcción y distintos tipos de estructuras antiguas.

2.1 Estructuras Históricas

En su definición más amplia las estructuras patrimoniales son un conjunto de bienes de una historia pasada, creadas con una arquitectura básica, técnicas de diseño y construcción que se adecuaban en función de las necesidades. Estas forman parte de un hecho histórico, y son producto de un momento en particular dentro de la línea temporal del hombre, es decir, son el resultado de una serie de acontecimientos, factores y condiciones que influyeron en su creación, además de formar parte de las propiedades inmuebles de una comunidad, son el testimonio tangible de nuestros antepasados. Se deben estudiar, conocer, conservar, y valorar para transmitirlos a las generaciones futuras.

El interés por estas construcciones heredadas de generaciones anteriores ha sido una constante en la historia desde la antigüedad, aunque aquel interés tuviera razones muy distintas a las que tenemos en la actualidad (la devoción a edificios religiosos, admiración por las obras antiguas, la reutilización de los materiales, etc.).

Dependiendo del punto del planeta en donde se encuentren, las estructuras históricas están conformadas por distintos materiales, técnicas de edificación y diferentes diseños. Esto las convierte en un gran atractivo turístico para los visitantes, una insignia característica de cultura para el lugar y en un nuevo foco de atención para el mercado y la economía.

Esta nueva conciencia tuvo un alza paulatina que generó pronto los primeros debates sobre cuáles habían de ser los monumentos que preservar y cuál el tratamiento que merecían para su correcta conservación. Con respecto a la posesión de patrimonio estructural histórico, Chile es muy particular y diverso.

Se cuenta con construcciones que datan aproximadamente del siglo XVI, época de la Conquista de Chile por parte de los soldados españoles. Sumándose al creciente interés, nuestra nación creó la Ley N° 17.288 donde se plantearon ya los primeros inventarios en el Registro de Monumentos Nacionales y Museos.

Todos estos edificios, en el paso del tiempo, han afrontado los agentes agresivos del medio ambiente y los eventos sísmicos, comunes en este país de alta sismicidad. Para encontrar maneras eficaces de protegerlos y hacerlos seguros para su uso, muchos países, europeos y asiáticos, han comenzado, desde hace unos años, a investigar en las áreas de inspección, pruebas no destructivas, monitoreo y análisis estructural de las construcciones históricas. Ya que cada una de ellas es única, al ser objetos de estudio requiere de una gran minuciosidad, no se puede hacer en masa, debido a que reaccionan distinto una de la otra frente a las cargas dinámicas y eventos sísmicos.

El patrimonio arquitectónico se puede dividir en dos aspectos simultáneos: El primero de ellos corresponde al bien en sí, hablamos de lo físico, los materiales en conjunto que lo constituyen y forman la estructura. El siguiente se refiere al aspecto arquitectónico de la misma, aplicándose todos los valores que este podría tener, ya sean valores históricos, simbólico-religioso, de diseño estético, su antigüedad o modernidad, su estilo, el valor que tiene para la comunidad en que está, etc. Teniendo en cuenta que la interrelación de dichos espacios es la que le dará el carácter o sentido a cada género arquitectónico.

2.2 Amenaza Sísmica

Se entiende por amenaza o peligrosidad sísmica de una zona cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona. Estos efectos pueden representarse como aceleración, velocidad o desplazamiento sísmico del terreno o por la intensidad macro sísmica de la zona. Por ejemplo, la peligrosidad sísmica podría definirse de manera probabilista, como la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de un área dada, de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada. Para su evaluación es necesario analizar los fenómenos que ocurren desde la emisión de ondas sísmicas en el foco hasta que dichas ondas alcancen la zona estudiada.

La evaluación de la peligrosidad sísmica en una región completa puede realizarse mediante varias metodologías. Algoritmos conocidos, como el modelo probabilístico para la evaluación de la amenaza sísmica de McGuire⁴, son generalmente los utilizados para realizar la mencionada evaluación. Varios otros métodos, como el propuesto por Egozcue⁵, utilizan técnicas bayesianas para solucionar el problema de la falta de datos en regiones de sismicidad moderada o baja.

⁴ McGuire, R. K. (1977). "Effects of uncertainty in seismicity on estimates of seismic hazard for the east coast of United States", Bulletin of the Seismological Society of America

⁵ Modelización de la peligrosidad sísmica. Aplicación a Cataluña, J.A. Canas, J.J. Egozcue, J. Miquel Canet y A.H. Barbat, ISBN: 84-87867-83-9, 101pp., 1996

En las normativas de diseño sísmico de estructuras se adopta una severidad de la acción de acuerdo con el período de vida de la estructura, llamado también tiempo de exposición; durante este tiempo se espera que la acción de diseño no sea excedida para un determinado nivel de probabilidad de ocurrencia. El mencionado tiempo de exposición puede variar según la importancia de la estructura y, por ello, es de gran interés relacionarlo con el período de retorno de los terremotos, que es el tiempo medio transcurrido entre la ocurrencia de sismos con la misma característica específica

2.3 Riesgo Sísmico

Se entenderá por riesgo sísmico, el nivel de pérdidas que podrían sufrir las estructuras durante el periodo de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. A dicho lapso se le denomina período de exposición o período de vida útil de la estructura.

El concepto de riesgo sísmico está siempre relacionado con la predicción de pérdidas futuras y está íntimamente ligado a la psicología personal o colectiva, razón por la que, obviamente, se hace bastante difícil darle objetividad. Por este motivo la evaluación del riesgo se vuelve un tanto compleja, aun cuando se trate solamente de una evaluación de riesgo físico.

Cuando, además, a esta dimensión se le añaden las relacionadas con el contexto, aspectos absolutamente necesarios para facilitar la gestión, el problema se vuelve mucho más complejo. Además, es absolutamente necesario que el riesgo esté siempre asociado con la decisión, con la ejecución de una acción que se debe llevar a cabo. La UNDRO⁶ y la UNESCO⁷ promovieron una definición que se sintetiza a continuación a partir de los siguientes conceptos:

⁶ La Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO) es el organismo encargado de movilizar y coordinar los recursos internacionales de socorros de emergencia

⁷ 9 La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)

- Amenaza o peligro. Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- Vulnerabilidad. Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso.
- Elementos en riesgo. Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta a una amenaza en un área determinada.
- Riesgo total. Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico, y los elementos en riesgo.

Fue en tiempos pasados que se utilizó el término riesgo para referirse a lo que ahora conocemos como amenaza, por otro lado, hay veces que se utiliza erróneamente la palabra vulnerabilidad con el significado de riesgo. Pero es necesario identificar los conceptos, son diferentes y su definición es esencial para disponer de un enfoque que permita identificar las posibilidades de reducción del riesgo: en general no es posible actuar sobre la amenaza, pero es posible reducir el riesgo disminuyendo la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Por otra parte, la mitigación de los desastres, en el ámbito de la ingeniería, “corresponde a la totalidad de las acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios de una zona, a fin de reducir los costes de los daños esperados durante el terremoto” (Martínez et al, 2007). Así, es evidente que, para mitigar el riesgo sísmico de una zona, es necesario disminuir la amenaza, la vulnerabilidad y el costo de reparación de las estructuras afectadas.

El conocimiento adecuado de la amenaza sísmica existente permite definir tanto la acción que debe considerarse en el diseño de nuevas estructuras como el sitio donde pueden ser construidas, de tal forma que las condiciones de los emplazamientos sean óptimas, esto es: alejados de las fallas, evitando los rellenos, los lugares con posibles asentamientos o deslizamientos y los de alto potencial de licuefacción. Sin embargo, poco puede hacerse

para reducir la amenaza a la que están expuestas las estructuras existentes, por lo tanto, si se desea disminuir el riesgo, se requiere una intervención directa sobre la vulnerabilidad. El conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requeridos para la reducción de los efectos provocados por los movimientos del terreno, y nos da una mirada más amplia para escoger entre un forzamiento de la estructura o derechamente una modificación estructural.

2.2 Vulnerabilidad Sísmica

El concepto de vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgo sísmico y para la mitigación de desastres por terremotos. Ya con un desarrollado campo de estudio y una vasta experiencia sísmica el mundo de la ingeniería ha podido observar durante los terremotos ocurridos en el pasado que ciertas estructuras, a pesar de encontrarse ubicadas en la misma zona experimentan un daño más severo que otras que presentan características similares. Es por esto a cada uno de los edificios se les puede clasificar en más vulnerables o menos vulnerables de manera particular frente a un mismo evento sísmico.

La vulnerabilidad sísmica de una estructura está definida por la tendencia particular de cada estructura a sufrir daño mientras actúa un movimiento sísmico, y está directamente ligada a sus condiciones físicas y características estructurales.

La vulnerabilidad frente a un sismo de determinadas características es una propiedad específica de cada estructura y, por tanto, independiente de la zona de riesgo sísmico del lugar en la que esta se encuentre emplazada, y a la inversa esto significa que puede existir una construcción vulnerable pero no estar en riesgo de colapso si esta no se encuentra en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica.

Así como anteriormente se utilizaba el término riesgo para referirse a lo que hoy se conoce como amenaza, actualmente se utiliza a veces la palabra vulnerabilidad con el significado de riesgo. Pero los conceptos son diferentes y su definición es esencial para poder tener

un enfoque adecuado que nos permita identificar las posibilidades de reducción del riesgo: en general no es posible actuar sobre la amenaza, como lo sería un sismo, en cambio sí es posible reducir los factores de riesgo disminuyendo la vulnerabilidad de las estructuras expuestas.

Es preciso identificar la vulnerabilidad como un grado de pérdida, que no está asociado necesariamente a un factor interno de riesgo relacionado con el contexto material o del daño físico que pueda recibir, sino también con las debilidades sociales y la falta de resiliencia de la comunidad que se ve afectada.

El concepto de vulnerabilidad global⁸ comienza a integrarse al alcance del estudio de la vulnerabilidad y el riesgo en distintas dimensiones que identifican el contexto del problema teniendo en cuenta varias otras perspectivas tales como la económica, social, educativa, política, institucional, ambiental, cultural e ideológica.

El planteamiento de una vulnerabilidad global permite su visualización desde diversas perspectivas del conocimiento y facilita su evaluación como un proceso dinámico acumulativo de fragilidades, deficiencias o limitaciones abriendo las posibilidades al tomar en cuenta desde la fatiga del material hasta la falta de preparación institucional.

2.3 Vulnerabilidad Sísmica en Estructuras Históricas

Las construcciones históricas debido a su larga data de vida se van convirtiendo estructuras cada vez más frágiles, ya sea por todos los daños externos que hayan pasado en su historia o por factores de diseño deficientes por el desconocimiento de la época en que fueron construidas. Han perdido propiedades debido a factores ambientales, por su principal amenaza latente, los terremotos. Lo que provoca que el colapso de partes de la estructura o inclusive total de la estructura sea una opción cada vez más válida con el pasar

⁸ Wilches-Chaux, G. (1989). Desastres, ecologismo y formación profesional, SENA, Popayán, Colombia

del tiempo. Estas obras suelen volverse cada vez más vulnerables a las cargas dinámicas ya que muchas de estas obras no han tenido un adecuado, ni mucho menos continuo mantenimiento presentando gran parte de estas, problemas estructurales serios, los que amenazan la seguridad de los edificios y de las personas.

La experiencia ganada por países que se han dedicado al estudio de este campo de la ingeniería civil y las recientes normas para la ingeniería de conservación ha permitido desarrollar, cada vez más, medidas preventivas y de restauración adecuadas, seguras y económicas.

Analizar las amenazas, riesgos y vulnerabilidad de las estructuras antiguas son aspectos básicos para su conservación, para la seguridad de las personas y para los intereses económicos que le respectan, considerando que una de las industrias más importantes y creciente en estos últimos tiempos es el turismo, por ende, su cuidado es un factor importante para la economía, formándose una razón más para la preservación del patrimonio histórico. Estas pérdidas no son cuantificables económicamente, así como tampoco lo son las vidas que se pierden en el colapso de un edificio durante un sismo.

Además, el patrimonio histórico no puede ser reinstalado después de un terremoto. El estudio de las construcciones históricas debe llevarse a cabo con un enfoque basado en el uso de la tecnología moderna y la ciencia. Por otra parte, en un edificio histórico donde el diseño sísmico es nulo o anticuado, se tiene como objetivo evitar las pérdidas humanas asociadas con el colapso de la estructura, entonces la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se considera determinante y gobierna la toma de decisiones para mitigar el riesgo.

La vulnerabilidad no estructural está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes no estructurales de sufrir daño debido a un sismo, lo que se llama daño sísmico no estructural y comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que no forman parte del sistema resistente y pueden clasificarse en componentes arquitectónicos (tabiquerías, puertas, ventanas, plafones, etc.) y

componentes electromecánicos (ductos, canalizaciones, conexiones, equipos, etc.) que cumplen funciones importantes dentro de las instalaciones del edificio.

La experiencia de sismos pasados le ha dado más importancia a la vulnerabilidad no estructural, ya que gran cantidad de edificios diseñados con la norma sísmica existente, después de un sismo tuvieron un buen desempeño estructural pero sufrieron importantes niveles de daño no estructural que produjeron pérdidas cuantiosas e incluso interrumpieron el funcionamiento de diversas construcciones esenciales. En el caso de las construcciones históricas, esta clase de vulnerabilidad y el daño que puede provocarse en los elementos no estructurales, cobra mucha importancia debido al valor patrimonial que significa.

El problema puede incrementarse cuando las estructuras son intervenidas, modificadas, remodeladas y/o ampliadas, se añaden nuevos equipos o se reubican instalaciones sin contemplar los efectos sobre los elementos estructurales durante un sismo ya que se interrumpen el diseño principal para el que fue diseñado, se modifican los patrones de carga y usos de ambientes, lo que conlleva a que se modifique la vulnerabilidad.

Es responsabilidad de los especialistas seleccionar y dirigir los medios técnicos necesarios para llegar a la comprensión necesaria de la morfología y el comportamiento estructural de la construcción y caracterizar las necesidades de su reparación. Las exigencias modernas para una intervención incluyen ser reversibles, discreción, reparación mínima y respeto por la construcción original, además de las obvias exigencias funcionales y estructurales.

2.3.1 Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica

Un análisis de vulnerabilidad es un estudio de la capacidad de un sistema de resistir o absorber el impacto de un suceso que caracteriza una amenaza y, por lo tanto, se diferencia del análisis de riesgo, que es la estimación de pérdidas de acuerdo con el grado de amenaza considerado y con el nivel de vulnerabilidad existente en el sistema expuesto.

El análisis de vulnerabilidad de un edificio existente puede entenderse como el cálculo de la capacidad que dicha estructura tiene para soportar las sollicitaciones sísmicas reales. Esta evaluación difiere sustancialmente del proceso de análisis que se realiza en la fase de diseño, pues en este caso las cargas deben ser las reales, al igual que la resistencia y la ductilidad de la estructura y de los elementos, sin considerar los tradicionales factores de seguridad. En la evaluación del daño estructural se pueden utilizar:

- I. Matrices de probabilidad de daño, que expresan en forma discreta la probabilidad condicional de que una estructura sufra un nivel de daño, dependiendo la severidad del sismo*
- II. Funciones de vulnerabilidad, que son relaciones gráficas o matemáticas que expresan en forma continua la vulnerabilidad en función de algún parámetro que describa el nivel de severidad del sismo.*

El primer paso para un estudio de vulnerabilidad consiste en definir su naturaleza y alcance, lo cual está condicionado por varios factores, tales como: el tipo de daño que se pretende evaluar, el nivel de amenaza existente en la zona, la información disponible de la estructura y los datos relacionados con los daños observados durante sismos importantes en la zona de interés.

Cuando están definidos estos factores, es posible evaluar la vulnerabilidad mediante una definición adecuada de la acción sísmica y la capacidad de la estructura. Así, para obtener el grado de vulnerabilidad sísmica, se hace un estudio detallado estructura por estructura,

entendiendo a fondo su construcción y los eventos que ha soportado a lo largo del tiempo, incluyendo las reparaciones y mantención, y cargas a las que ha sido sometida.

La vulnerabilidad sísmica puede obtenerse mediante análisis del modelo numérico del daño sísmico de la estructura, a partir de pruebas de laboratorio o de la inspección del edificio. Haciendo una distinción a grandes rasgos, podemos decir que, según el método usado, existe la vulnerabilidad observada y vulnerabilidad calculada. La vulnerabilidad observada se logra observando los daños posteriores a un terremoto y haciendo un análisis estadístico de ellos para un tipo de estructura definido.

“La vulnerabilidad calculada es la obtenida de un análisis matemático mediante un modelo estructural analítico o a partir de análisis en laboratorio de un modelo a escala y cuyos resultados se expresan en términos probabilísticos” (Caicedo et al., 1994). Al evaluar la vulnerabilidad sísmica de una estructura, sobre todo del tipo histórico, el especialista se enfrenta con varias dificultades.

Por ejemplo, los métodos que se clasifican dentro de la vulnerabilidad calculada usan un modelo analítico que simula el comportamiento de la estructura ante una acción sísmica. Sin embargo, estos modelos no son del todo analíticos, debido a que durante la calibración del modelo se requiere de parámetros que pueden obtenerse a partir de ensayos de laboratorio o de pruebas no destructivas, los que permiten comprobar la eficiencia del método en la predicción del daño observado en la estructura.

De hecho, debido a que generalmente se realizan usando elementos estructurales aislados, para favorecer la identificación de los parámetros sensibles del modelo, estos métodos requieren de una combinación ponderada del daño calculado para dichos miembros con el fin de obtener un índice global de daño.

Pero este índice, por sí solo, no es suficiente para evaluar el comportamiento sísmico de un edificio. Por otro lado, los métodos clasificados dentro de la vulnerabilidad observada

se basan en la observación del daño ocurrido después de un terremoto o de la opinión subjetiva de expertos.

Durante el desarrollo de estos métodos (métodos subjetivos), en muchas ocasiones se utilizan características completamente objetivas desde el punto de vista estructural como, por ejemplo, el empleo del coeficiente sísmico como una medida de la capacidad de la estructura para resistir terremotos, o el uso de un parámetro de respuesta tal como el desplazamiento del nivel superior del edificio para determinar el daño en el sistema.

Es importante enfatizar que los métodos subjetivos son muy apropiados para la evaluación de la vulnerabilidad de edificios a nivel local o regional debido a su viabilidad en permitir analizar una gran cantidad de estructuras a un bajo costo. Por otra parte, los métodos analíticos son más adecuados para el análisis detallado de estructuras particulares o especiales, y son utilizados cuando los métodos simplificados o subjetivos indican que el sistema en estudio no tiene la capacidad necesaria para soportar las fuerzas horizontales de diseño.

Los fuertes terremotos producidos durante las últimas dos décadas del siglo XX hasta ahora han sido fuente de pérdidas y sufrimiento humano, pero también la motivación para desarrollar nuevas técnicas de mitigación del riesgo sísmico y para el mejoramiento de las normativas sísmicas de diseño. En lo que se refiere a edificios por construir, está claro que la clave es la prevención, mejorando la estructura y escogiendo el emplazamiento más favorable. Sin embargo, para los edificios existentes, el objetivo principal para los investigadores de ingeniería sísmica es progresar en las medidas remediales para el refortalecimiento de la estructura, prevenir posibles colapsos o desmoronamientos causados por vibraciones y por supuesto permitir que sea posible el uso de este patrimonio de forma segura para las personas.

2.6 Estructuras Nacionales

Como ya fue mencionado, en Chile las obras históricas son tan diversas como el clima y el terreno del país. Es por eso que en esta sección identificaremos las más usadas y más características del país.

2.6.1 Estructuras de Tierra

La tierra es uno de los materiales de construcción más antiguos y extendidos en uso. Las propiedades únicas y la accesibilidad de este material justifican su amplia difusión y uso continuo a lo largo del tiempo. De hecho, este tipo de material tiene cualidades tales como bajo costo, disponibilidad local, reciclabilidad, buen comportamiento térmico y aislamiento acústico, cualidades que permiten una práctica de construcción más sostenible, con la preservación de los recursos naturales existentes. Además, este tipo de construcción se asocia con métodos de construcción simples que requieren un bajo consumo de energía, por esto y todo lo demás ha ido recuperando el interés en su uso por las corrientes de construcción sustentable.

En el período colonial español chileno las construcciones predominantes fueron construidas de adobe y/o tapia pisada. Los tipos de materiales que fueron usados en las estructuras de las iglesias y de casas de la época se limitaban a lo que estaba disponible en la región y eran construidas por la mano de obra local muchas veces con técnicas básicas.

Gran parte de los edificios de adobe y tapia que fueron construidos en la antigüedad, y ya sea por las funciones que cumplieron o su diseño son considerados como edificios de gran valor histórico y legado cultural para su pueblo. La alta vulnerabilidad sísmica de estas construcciones ha dejado en evidencia debilidades y daños, los que son evidentes y constantes, teniendo que ser reconstruidas o reparadas incluso varias veces en la misma falla después de los eventos sísmicos. Queda claro que *“En diversos terremotos ocurridos en todo el mundo, las estructuras construidas con este material han demostrado tener un*

mal comportamiento, colapsando en forma muy rápida, incluso por sismos moderados, provocando pérdidas de vidas humanas y económicas, además de las culturales y patrimoniales...” (Yamin, 2003, p. 178), naciendo con esto necesidad de cuidarlas.

Las técnicas ocupadas en las construcciones echas con tierra generalmente se han desarrollado mediante transmisión del conocimiento de origen popular y se sabe que después del siglo XVIII, se comenzaron a desarrollar cálculos estructurales para este tipo de construcciones y de éstos surgieron estudios de ingeniería análisis y búsqueda de explicación de las fallas de los materiales o sistemas constructivos preexistentes, identificando los daños a partir de la experiencia empírica.

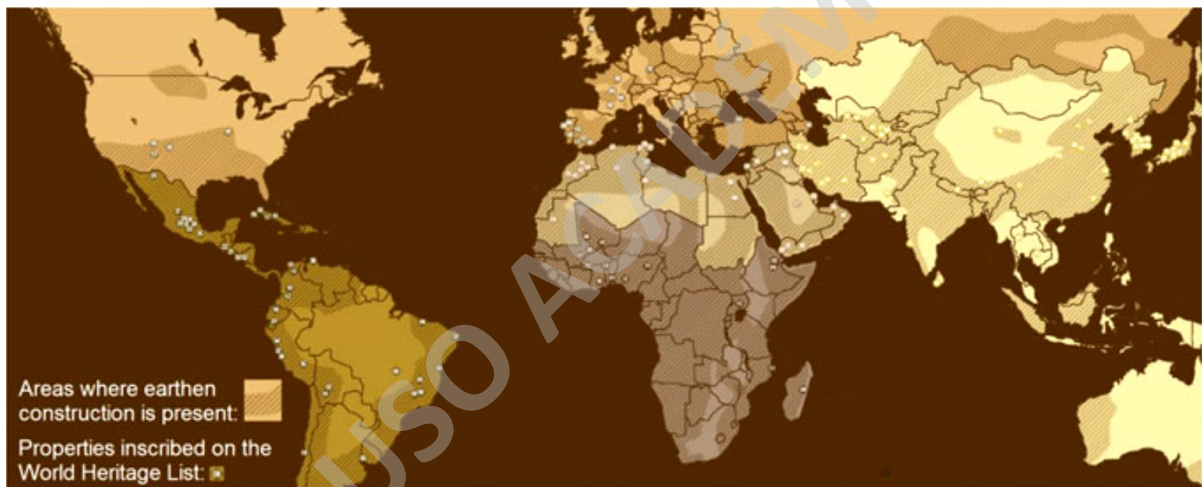


Fig. 1 Distribución de la construcción de tierra en el mundo y propiedades inscritas en la Lista del Patrimonio Mundial (UNESCO)

“Los problemas que han sufrido los edificios por la acción del paso del tiempo y la consecuente fatiga y deterioro de sus componentes, o bien, los embates de eventos dañinos como terremotos o huracanes son fuente inestimable de información y la evidencia de los fenómenos naturales” (Guerrero, 2007, p. 182).

Según Guerrero bajo el término arquitectura hecha de tierra, se engloba toda la serie de estructuras en las que el suelo natural es acondicionado mediante procedimientos de humidificación, transformación y secado al sol, para edificar elementos constructivos que

hagan posible la habitabilidad de los espacios. La base de este proceso radica en la capacidad de las partículas que integran la tierra, de ser alteradas mediante mecanismos sencillos que permiten modificar la forma del conjunto y que le confieren solidez y estabilidad fisicoquímica dentro de niveles de equilibrio específicos.

Una de las técnicas de construcción en tierra más utilizadas es el adobe, la que tuvo mayor propagación por sus semejanzas a los demás sistemas de construcción en mampostería, por tener niveles básicos de producción, la posibilidad de ser almacenado y transportando en piezas prefabricadas para su posterior uso.

“Esta técnica se basa en piedras macizas o unidades de barro sin cocer. Las dimensiones de las piezas son muy variables y responden tanto a la tradición como a criterios constructivos. (...) Los ladrillos se elaboran colocando el barro humedecido en un punto cercano a la plasticidad en moldes de madera con las dimensiones deseadas. Pasados unos días y una vez contraídos con el secado, se retiran los moldes y los adobes se dejan al aire libre desde 15 días hasta 1 mes sin la acción directa del sol. El mortero de pega se hace del suelo del terreno siempre y cuando éste proporcione una buena cohesión. Si la cohesión no es suficiente, se agrega cal. En algunos casos al mortero se le adiciona paja para mejorar su resistencia a la tracción. En general las juntas son del orden de 2 cm de espesor. Frecuentemente para mejorar las condiciones del suelo se adicionaban otros materiales como fibras naturales (paja y estiércol de caballo), cal...” (Guerrero, 2007, p. 201)

La técnica conocida como tapia, tapial, tapia pisada o tierra apisonada presenta ciertas diferencias respecto al adobe. “Se trata de un sistema en el que la transformación del suelo y la edificación constituye el mismo proceso, por lo que la selección de la materia prima y la organización del trabajo son piezas clave. Se tienen evidencias de construcciones de tapia desde hace milenios en regiones tan distantes como la India, China, Egipto, Siria, Líbano, Bolivia y Perú.”

El bahareque, quinchá, enjarre o embarrado, es un sistema mixto,” ...en que la mayor parte de los esfuerzos constructivos que recibe la tierra son absorbidos por una estructura hecha de materia vegetal que le sirve de esqueleto” (Guerrero, 2007, p. 195).

las construcciones hechas de tierra son poco adecuadas para áreas sísmicas porque su composición en cuanto a los materiales es poco adecuada, débil y frágil. Debido a la gran masa de sus piezas, los muros atraen grandes fuerzas de inercia durante un sismo, que no son capaces de absorber adecuadamente pues todas las resistencias implicadas a las que se ven afectadas los muros son muy bajas.

Así, podemos concluir que las construcciones históricas de tierra han sido capaces de soportar los diversos eventos sísmicos a lo largo de los siglos. Pero con condiciones mínimas como la resistencia a la tracción de los muros, la resistencia a la compresión y al corte son de apenas capaces de mantener su propia carga. Por otro lado, el mortero, no es capaz de deformarse sin perder integridad y las uniones en las esquinas, al carecer de refuerzo, son débiles y se separan fácilmente de los muros. La reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos y culturales de este material involucra consideraciones adicionales a los procesos de rehabilitación de edificios convencionales, tales como mantener lo más inalterado posible las características históricas y culturales de éstas

Es indispensable que las medidas de rehabilitación para minimizar el riesgo y la vulnerabilidad mejoren el funcionamiento sísmico proporcionando continuidad estructural, previniendo inestabilidad y proporcionando confinamiento para reducir o retardar las dislocaciones relativas de elementos agrietados. Las medidas de rehabilitación más adecuadas en este tipo de estructuras, según Yamin et al. (2003), ya que cumplen con los criterios de facilidad constructiva, mínima intervención en el sistema estructural existente y uso de materiales económicos, consisten en el reforzamiento con malla y mortero de cal en puntos estratégicos (alternativa estudiada por investigaciones en Perú); el uso de elementos confinantes de madera, y la utilización de tensores de acero (López et al., 2007).

2.6.2 Estructuras de Madera

“Es un material biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas. Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero y hormigón, entre otros), la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo” (Fritz, 2010, p. 19)

Uno de los materiales más usados en las estructuras históricas en Asia Oriental, Europa y en América es la madera, En Chile también pueden observarse estructuras históricas de este material, conocido es el caso de las iglesias de Chiloé.

El primer paso para la conservación de estas estructuras de madera será reconocer el valor que tienen en la historia. Otro factor que considerar es el análisis estructural indicado, echo por los especialistas adecuados. Este punto es clave ya que su comportamiento es de carácter natural y fue diseñada para servir a las necesidades funcionales de un árbol en vida, más que ser un material diseñado para satisfacer necesidades estructurales y esto lamentablemente a veces no es bien entendido, teniendo reparaciones como resultados o modificaciones de gran tamaño, que en ocasiones son indebidas reemplazando el material original histórico y por tanto perdiendo su valor de edificación patrimonial. Es por esto la importancia de los análisis previos los que *tienen que basarse en una comprensión cualitativa de la estructura completa siguiendo por la observación de su construcción y la forma en que se ha comportado* (Yeomans, 2008).

La principal amenaza para las construcciones de madera son los daños estructurales provocados por los ataques bióticos (insectos, hongos y pudrición). Otros daños son los que pueden identificarse en los pisos de madera, donde es posible ver fallas de corte en los extremos asociados al alto contenido de humedad, la baja resistencia a la flexión y tracción

provocada por la presencia de grietas y/o defectos formado en el periodo de secado de la madera, reducción de la sección causada por ataques bióticos, exceso de carga por los cambios de uso del edificio, etc. En cuanto a los elementos que van en la estructura de techo, además de fallas de corte en los extremos, no es raro encontrar ataques bióticos, producto de que están más expuestos a los agentes atmosféricos (Ilharco et al., 2008).

2.6.3 Estructuras de Mampostería

La mampostería es un material compuesto formado por unidades o bloques ligados entre sí por medio de algún material de unión, como por ejemplo el mortero, formando así un conjunto estructural resistente. También, es conocido que muchas construcciones en mampostería, a lo largo de la historia, se han elaborado sólo como la superposición y disposición adecuada de las unidades o bloques de piedra, sin necesidad de utilizar algún material ligante.

Es una de las técnicas de construcción más antiguas y populares del mundo, registrándose a más de 10 mil años en las más variadas zonas y climas del planeta, esto último hace la diferencia en cuanto a los materiales que han sido usados para componer esta técnica.

La cultura mesopotámica que se emplazó entre los ríos Tigris y Eufrates, creó toda una arquitectura de ladrillos. Cuando se asentó en las riveras de los ríos, los depósitos aluviales fueron usados para formar ladrillos. Por su parte las civilizaciones que no tenían acceso al río y que se ubicaban en las montañas, utilizaban la roca. En las regiones árticas se utilizaban los bloques de hielo para construir iglúes. La diversidad geográfica de nuestro territorio otorga distintos tipos de materiales para nuestros constructores antepasados, por lo que existe una gran variedad de técnicas, y materiales ocupados en la construcción de mampostería en el país.

Iconos de la mampostería antigua en el mundo no faltan, algunos de los más conocidos son la Gran Muralla China, la Esfinge de Guiza o las Pirámides en Egipto. También existen casos emblemáticos más cercanos, como Machu Picchu.

Chile también es poseedora de variadas construcciones históricas de este tipo, la evidencia de su uso se remonta a las primeras aldeas construidas en la época prehispánica, por los pueblos atacameños y aymaras, utilizando materiales en su estado natural, piedras y barro. Pero el uso con conocimiento de esta técnica viene en gran parte con la llegada de los españoles a durante el periodo colonial de Chile, durante la conquista, en el siglo XVII en adelante. Este patrimonio se conforma de: iglesias, catedrales, palacios, fuertes y torres. Por los frecuentes terremotos, siempre presentes a lo largo de nuestro país, hay edificios históricos que están parcialmente destruidos y los que están en “buenas condiciones” siguen en pie con la incertidumbre de cuál es el riesgo sísmico que poseen.

Las principales estructuras que hasta el día de hoy existen, fueron construidas por la ingeniería militar de la época, la que vio sus primeras obras en la frontera del Bío-Bío, donde se levantaron improvisados fuertes sobre las colinas para contener las arremetidas de los indígenas hostiles e iniciar la colonización de su entorno territorial.

Por lo general, estas fortalezas no fueron más que palizadas de troncos, asentadas sobre aglomeraciones de piedra y barro, En cambio, para contener las incursiones de armadas holandesas e inglesas en el mar del sur, la Corona no escatimó recursos materiales y técnicos donde se usó la mampostería de piedra y de ladrillo.

Conformando un complejo sistema de fortificaciones, castillos y torreones que protegían el acceso al estuario del río Valdivia, con bastiones en Corral, Niebla y la isla de Mancera. Este dispositivo defensivo comenzó a ser ampliado a partir de 1764 con motivo de la Guerra de los Siete Años entre España e Inglaterra; conflicto que también motivó la fortificación de otros lugares estratégicos, como Concepción, Juan Fernández, Valparaíso, Osorno y en la isla de Chiloé.

CAPÍTULO III

PROTECCIÓN SISMICA

Debido a la actividad sísmica que ha tenido el mundo en esta última época, han surgido ciertos problemas y como es de esperar el incansable desarrollo científico y tecnológico ha buscado distintas maneras de hacer frente a estas inquietudes.

Conocido es nuestro ejemplo más cercano, el 27F en donde Chile se vio afectado por uno de los terremotos más grande de los últimos tiempos, donde es importante mencionar que el desempeño que nuestras estructuras a nivel nacional tuvieron fue destacable, pero con destacable nos referimos a que cumplió a cabalidad con la normativa chilena, la NCH 433 y el decreto supremo DS61 publicado el 2011 de estructuras convencionales, donde pide a las estructuras lo siguiente:

- i) Resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada.*
- ii) Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.*
- iii) Aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa, salvaguardando la vida de sus ocupantes.*

Así mismo, la normativa no exige nada posteriormente al sismo, es decir, no castiga el hecho de que la estructura tenga daños estructurales incluso podría quedar inhabitable y la normativa. Y este es uno de los puntos en los que se basa este documento. La situación que genera un sismo no es solamente lo que pasa en el instante, también hay que tomar en cuenta lo que sucede después, ¿Es posible asegurar la vida de las personas y además asegurar la vida útil del edificio posterior a un sismo? También este problema, abarca a estructuras esenciales, como hospitales, colegios, edificios públicos, que son de uso crítico, tampoco se les exige más que al resto, por ende, podrían quedar inhabilitados una vez pasado el sismo. En estos casos la normativa no es suficiente y para esta pregunta la tecnología abordó con un espectro de soluciones, abordando más allá de lo que la norma exige, con esta respuesta nos referimos a los sistemas de protección sísmica.

Estos sistemas ayudan a reducir el impacto de las fuerzas externas en la edificación reduciendo así los daños, es por esto que inversionistas e incluso las autoridades están fijando su mirada en ellos, ya que para edificios que deben continuar su funcionamiento inmediatamente luego de un sismo, esta protección ayuda a la continuidad de servicios como a los hospitales, edificios militares o gubernamentales, y en otros casos a resguardar el contenido de las estructuras como centros de datos o museos, entre otros.

Para lograr estos cometidos hay distintos tipos de protección: Activo, Semi-Activo y Pasivo.

3.1 Sistemas activos

Un sistema de protección activo requiere fuentes externas para poder alimentar los actuadores, estas fuentes reciben la información de las solicitaciones a las cuales se enfrentan las estructuras, siendo sistemas altamente tecnológicos de control y procesamiento que estratégicamente se encuentran ubicados en puntos clave de cada estructura, y así por medio de algoritmos de respuestas, aplican fuerzas a la estructura mediante actuadores para poder estabilizar la estructura frente a las solicitaciones detectadas. En su gran mayoría los actuadores son elementos de arriostre, amortiguadores activos de masa, o tendones activos. Como ya fue mencionado, este sistema requiere de fuentes externas continua, implicando la tenencia de generadores autónomos para su funcionamiento, esto sumado a otros factores y sistemas de monitoreo, aumentando los costos de ejecución y mantención de estos sistemas. Por otra parte, definitivamente son la alternativa con el mejor nivel de protección frente a un sismo, ya que generan respuestas inmediatas, modificando el comportamiento dependiendo sea el movimiento, lo que implica un mejor comportamiento de la estructura durante el sismo.

3.2 Sistemas semi activos

Estos dispositivos frecuentemente son considerados como dispositivos pasivos controlables aun que los sistemas semi activos se basan en el mismo mecanismo que los

sistemas activos, contando con un mecanismo de monitoreo que estudian en tiempo real los movimientos de la estructura en la cual se encuentren, pero a diferencia de los sistemas activos, la energía externa requerida es de menor orden de magnitud que para los sistemas convencionales, ya que estos no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura, si no que modifican las propiedades de los actuadores, garantizando la estabilidad del sistema. Algunos de los sistemas semi activos son amortiguadores de masa semiactivos, los dispositivos de fricción con fricción controlable, y los disipadores con fluidos electro- o magneto-reológicos.

SOLO USO ACADÉMICO

3.3 Sistemas pasivos

Los sistemas pasivos no requieren el uso de fuerzas externas, ya que automáticamente producen fuerzas en respuesta a los movimientos de la estructura, mediante sistemas de disipación los cuales se ubican estratégicamente y casi en totalidad de los puntos bajos de las edificaciones, disipando las energías externas por medio del calor que viene desde las fundaciones, generando que las estructuras rígidas reciban los movimientos con menor intensidad, por lo que provoca menor resistencia. Los sistemas pasivos son los dispositivos más utilizados en la actualidad. A esta categoría corresponden los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía, Dado que estos sistemas son más utilizados, en comparación a los sistemas activos y semiactivos, y por otro lado pueden ser utilizados tanto en estructuras nuevas como en estructuras antiguas mediante el retrofit es que serán tratados con mayor detalle en los próximos capítulos.

3.3.1 Disipación de energía

Los sistemas de disipación pasiva de energía incluyen una amplia gama de materiales y dispositivos para aumentar el amortiguamiento, rigidez y capacidad estructural, y pueden ser usados tanto en el diseño de estructuras nuevas como en la rehabilitación sísmica de estructuras existentes, y es por esto que se este documento tendrá un enfoque más exhaustivo en estos sistemas. A diferencia de los aisladores sísmicos, no evitan que las fuerzas y movimientos sísmicos se transfieran desde el suelo a la estructura. Estos dispositivos son diseñados para disipar la energía entregada por sismos, fenómenos de viento fuerte u otras solicitaciones de origen dinámico, protegiendo y reduciendo los daños en elementos estructurales y no estructurales. En general, todos estos sistemas están caracterizados por su capacidad de aumentar la disipación de energía en el sistema estructural mediante la conversión de energía cinética a calor o por la transferencia de energía entre modos de vibración ubicándose en puntos estratégicos de las estructuras, permiten reducir la respuesta estructural

3.3.1.1 Disipadores activados por desplazamientos

Los disipadores de esta categoría se activan por medio de los desplazamientos relativos de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un terremoto. Estos dispositivos disipan energía a través de la deformación plástica de sus componentes o mediante la fricción entre superficies especialmente diseñadas para estos fines. Bajo esta clasificación se encuentran los dispositivos metálicos, friccionales, de extrusión de materiales y los sistemas autocentrantes. Como por ejemplo los Disipadores metálicos, Disipadores friccionales, Disipadores de extrusión de materiales y Disipadores autocentrantes.

3.3.1.2 Disipadores activados por velocidad

Los disipadores de esta categoría se activan a partir de las velocidades relativas de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un sismo. Estos sistemas, típicamente añaden amortiguamiento a las estructuras, sin afectar su rigidez lateral. Estos disipadores, en general, permiten brindar protección a las estructuras durante sismos de baja, mediana y gran intensidad. En este grupo podemos encontrar los disipadores fluido-viscosos o los Muros viscosos.

3.3.1.3. Disipadores activados por desplazamiento y velocidad

por desplazamiento y velocidad Los disipadores de esta categoría se activan a partir de la acción combinada de los desplazamientos y velocidades relativas de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura producidos durante un terremoto. Estos sistemas, típicamente añaden, simultáneamente, amortiguamiento y rigidez a las estructuras. Como por ejemplo los Dispositivos viscoelásticos sólidos

3.3.1.4. Dispositivos activados por movimiento

Esta categoría de sistemas de protección sísmica incluye los osciladores resonantes o Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS). Estos sistemas, que generalmente se montan en la parte superior de las estructuras, son activados por las fuerzas inerciales transmitidas por la estructura. Un AMS es un sistema constituido por una masa, elementos restitutivos, y mecanismos de disipación de energía. Este tipo de dispositivo utiliza el

acoplamiento entre las frecuencias naturales de vibración de la estructura y del oscilador resonante para reducir la respuesta dinámica de la estructura. Los osciladores resonantes son generalmente utilizados en edificios de gran altura para reducir las vibraciones inducidas por el viento, sin embargo, también existen aplicaciones para mejorar el comportamiento de estructuras ante eventos sísmicos. Las Figuras 18 y 19 muestran un amortiguador de masa sintonizada. La gran ventaja de este tipo de dispositivo es que se pueden instalar a nivel de techo de las estructuras, minimizando el impacto en la arquitectura. No obstante, la respuesta de este tipo de dispositivos depende del grado de sintonización con la estructura durante el sismo. El diseño del AMS debe incorporar un mecanismo de ajuste de las propiedades dinámicas del AMS.

3.3.2 Aislación sísmica

El diseño de estructuras con aislación sísmica se fundamenta en el principio de aislamiento de la base, donde se logra al colocar un tipo de unión flexible entre la estructura y los cimientos, lo que aumenta el período fundamental de la estructura y lo aleja de los períodos predominantes del suelo, a través de los aisladores que aportan movilidad en la dirección horizontal. Lo que se busca con la incorporación de aisladores sísmicos es reducir la rigidez del sistema estructural, logrando que el período de vibración de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructura sin sistema de aislación. El aislamiento sísmico es utilizado para la protección sísmica de diversos tipos de estructuras, tanto nuevas como estructuras existentes que requieren de refuerzo o rehabilitación. A diferencia de las técnicas convencionales de reforzamiento de estructuras, el aislamiento sísmico busca reducir los esfuerzos a niveles que puedan ser resistidos por la estructura existente. Debido a esto último, la aislación sísmica de base es especialmente útil para la protección y refuerzo de edificios históricos y patrimoniales, es por esto que será abordado en detalle en los siguientes capítulos.

3.3.2.1 Aisladores elastoméricos

Los aisladores elastoméricos están conformados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero. Las láminas de elastómeros son vulcanizadas a las capas de acero y, por lo general, presentan una sección circular o cuadrada. Mediante esta configuración se logra la flexibilidad lateral necesaria para permitir el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y el suelo. La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de los aisladores elastoméricos depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos y, en menor grado, de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento. Existen varios tipos de apoyos elastoméricos, entre ellos se encuentran:

- **Aisladores de Goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing)**
- **Aisladores de Goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing):** *Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos, presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar, y su amortiguamiento oscila entre el 2% y 5% como máximo*
- **Aisladores de Goma de Alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing):** *Los HDRB son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%. Estos combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser, relativamente, de fácil fabricación.*
- **Aisladores de Goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing):** *Los aisladores con núcleo de plomo (LRB) son aisladores elastoméricos similares a los LDRB pero poseen un núcleo de plomo, ubicado en el centro del aislador, que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%. Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo recrystaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico*

3.3.2.2 Aisladores deslizantes

Los aisladores deslizantes o también llamados deslizadores friccionales utilizan una superficie de deslizamiento, típicamente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Este sistema de aislación sísmica permite disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante un sismo. El coeficiente de fricción del aislador depende de variables tales como la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.) y el envejecimiento. Los aisladores deslizantes planos generalmente deben ser acompañados por mecanismos o sistemas restitutivos (típicamente aisladores elastoméricos con o sin núcleo de plomo) que regresen la estructura a su posición original luego de un sismo. Adicionalmente, estos sistemas requieren de mayor mantención y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al de diseño.

I. Apoyos deslizantes planos

Los apoyos deslizantes planos son los aisladores deslizantes más simples. Consisten básicamente en dos superficies, una adherida a la estructura y la otra a la fundación, que poseen un bajo coeficiente de roce, permitiendo los movimientos horizontales y resistir las cargas verticales. Poseen, generalmente, una capa de un material elastomérico con el fin de facilitar el movimiento del deslizador en caso de sismos. Por lo general, las superficies deslizantes son de acero inoxidable pulida espejo, y de un material polimérico de baja fricción. Este tipo de aislación puede requerir de disipadores de energía adicionales. A fin de prevenir deformaciones residuales luego de un evento sísmico, se debe proveer de sistemas restitutivos (típicamente aisladores elastoméricos o con núcleo de plomo) que restituyan la estructura a su posición original. La Figura 28 muestra un esquema de un apoyo deslizante plano. La combinación de estos sistemas con aisladores elastoméricos o con núcleo de plomo permite, en general, ahorros de costos del sistema de aislación. La Figura 29 muestra la combinación de un apoyo deslizante con un aislador elastomérico.

II. Péndulos friccionales (FPS, Friction Pendulum System)

Los péndulos friccionales cuentan con un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava. Los FPS, a diferencia de los apoyos deslizantes planos, cuentan con la característica y ventaja de ser autocentrantes. Luego de un movimiento sísmico, la estructura regresa a su posición inicial gracias a la geometría de la superficie y a la fuerza inducida por la gravedad. La Figura 30 muestra un esquema de un péndulo friccional.

Si tomamos desde una mirada arquitectónica, y por supuesto, patrimonial, la diferencia que destaca entre lo que sucede con la incorporación de disipadores de energía, los aisladores sísmicos no representan una tarea compleja en términos de solución arquitectónica, ya que no es invasiva visualmente para edificios como estos, que por su connotación patrimonial los hace tener estándares distintos en cuanto a las modificaciones visuales. En general, los dispositivos de aislación sísmica se instalan en las plantas bajas de los edificios, sobre las fundaciones, o entre el cielo del primer subterráneo y el primer piso de la estructura, debido a estas características, arquitectónicas tanto como de altura es que **la aislación sísmica** es considerada la más adecuada para el tema que se está tratando en esta memoria de título, la protección de edificios patrimoniales.

CAPÍTULO IV

PROTECCIÓN EN EDIFICIOS PATRIMONIALES

4.1 Retrofit

Para Comenzar a hablar de aislación sísmica en edificios patrimoniales es necesario explicar de donde nace la idea de recuperar lo antiguo, aunque el cuidado sísmico no es una de sus principales acciones, el concepto retrofit aborda la restauración de los edificios antiguos, y viene desde la necesidad de rehabilitar construcciones, deterioradas o no y traerlas de vuelta a sus antiguos días de apogeo. Desde luego que todos conocemos los términos reconstrucción, o remodelación, incluso los relacionamos, pero el retrofit es algo distinto, apuntan en una misma dirección pero por caminos distintos. El arte del retrofit está ligado al concepto de preservación de la memoria y de la historia. No se trata simplemente de una reconstrucción, pues esto implicaría en una sencilla remodelación sobre lo que está hecho, por ejemplo, remplazando materiales y sistemas constructivos, sino que, por el contrario lo que se busca aquí es un renacimiento tanto funcional como estructural. En una traducción literal se podría decir que es “poner lo antiguo en forma”, manteniendo las características originales. En países donde la rígida legislación no ha permitido que los amplios conjuntos arquitectónicos sean sustituido, Comenzaron a nacer ideas como ésta, para una solución que preserva el patrimonio histórico al mismo tiempo en que permite una adecuada utilización.

Se hace fundamental para reconquistar la valorización del patrimonio, revitalizar y actualizar las construcciones para aumentar la vida útil del inmueble, a través de la incorporación de modernas tecnologías y materiales de calidad avanzada, El Retrofit consiste en la adaptación tecnológica de las instalaciones eléctricas, hidráulicas, fachada y de los principales equipamientos instalados en las áreas comunes de los edificios, como elevadores, baños, sistemas de iluminación y mobiliarios, entre otros (Berezovsky, 2013). En cuanto a los edificios antiguos, sean patrimoniales o no, la motivación principal para el retrofit es aumentar su vida útil, preservando la memoria y el patrimonio arquitectónico. Para eso están disponibles las tecnologías avanzadas, los modernos sistemas

constructivos, los más avanzados aparatos para instalaciones de utilidades y los materiales contemporáneos estudiados en función de las nuevas restricciones ambientales y legales (BVN Architecture. 2014).

De esta forma, los edificios logran un mejor funcionamiento y logran conquistar el interés de la población, y, por otra parte, quienes deciden no demolerlos asumen nuevos retos, haciendo uso de las nuevas tecnologías. Simultáneamente, se valoriza el patrimonio y se conserva la memoria histórica. El retrofit no abandona los vestigios de la historia arquitectónica, más bien toma la iniciativa de servir como puente entre cultura e identidad del lugar. Y además los espacios públicos relacionados a las estructuras, pueden aprovecharse por su influencia sobre los entornos físicos y sociales, difundiendo la cultura y con ello el turismo, preservando los valores simbólicos, creando una nueva urbanidad e identidad.

Existen todavía incontables zonas históricas abandonadas, especialmente en regiones como América Latina y Europa del Este, las cuales han enfrentado más recientemente procesos de desindustrialización, los cuales revelan las potencialidades socioeconómicas de las regiones, ocupan grandes extensiones. A través del retrofit de estos espacios siempre se sabrá pensar en una nueva urbanidad y podrá ocurrir la difusión para otros territorios, lugar para la creatividad y la interacción cultural.

Para empezar a pensar en las tareas de rehabilitar una estructura, el primer paso es Analizar, por sobre todo su viabilidad económica, ya sea por aportes de privados o estatales este es entonces, un ejercicio fundamental. Al comenzar una evaluación económica no sería correcto usar los modelos tradicionales de estudio, pues estos podrían llevarnos por caminos equivocados, generando inviabilidad. Es necesario considerar aspectos extras que se deben tener en cuenta, otros parámetros más allá de los ordinarios. Hay elementos no se pueden medir de inmediato, pero sí a mediano o largo plazo, con estudios para dicho objetivo, como por ejemplo la valoración del inmueble, la economía en el consumo energético y de agua, entre otros. Pero cuando se trata de valores inmateriales, como la identidad del lugar y la preservación de su memoria para las futuras generaciones, entonces se hace difícil el cálculo.

En algunos casos el retrofit puede costar monetariamente, más que demoler el edificio antiguo para construir uno nuevo en su lugar. Pero cuando se trata de preservar el patrimonio histórico, el costo posiblemente pueda ser puesto en segundo plano. En la mayoría de los casos, el retrofit correctamente planeado, proyectado y ejecutado, podrá mantener el edificio constantemente actualizado, independiente del panorama a los que se encuentre enfrentado, alargando su vida, disminuyendo costos de mantenimiento y proveyendo nuevas posibilidades de utilización, sobre todo este último punto donde se busca poner el foco, y de una mirada de negocio, poder recuperar la inversión. De esta forma, el viejo edificio estará dotado de actualidad tecnológica, confort ambiental, seguridad y por sobre todo, funcionalidad.

Mientras se revaloriza el patrimonio y se preserva la memoria urbana, se abre camino a una producción y situación social completamente distintas de las originales, a través de la producción artística, el turismo, el comercio relacionado, el intercambio sociocultural generados por las nuevas formas de apropiación de uso y la generación de puntos de encuentro y conexión entre los diversos grupos sociales involucrados

4.2 Protección Sísmica en edificios Patrimoniales en Chile

Ahora que conocemos los distintos Tipos de protección Sísmica e introducimos el concepto de retrofit, es prudente explicar cómo es el proceso en el que una estructura antigua logra ser aislada sísmicamente para poder evitar las destructivas fuerzas a las que se ve sometida durante un sismo.

Como ya ha sido mencionado a lo largo de este documento, la protección sísmica es una opción viable para estructuras que ya han sufrido el paso de los años. Ahora con un enfoque dirigido a nuestro país, Chile, notaremos el porqué. Cabe mencionar que al ataque del paso de los años, como por ejemplo la erosión, el viento, la vibración del tránsito según el área en el que se encuentre, la carga propia y la sobre carga de uso, se le debe sumar un factor importante y siempre presente en la historia de nuestro país, los sismos.

En Chile, según la *Ley N° 17.288 de los Monumentos Nacionales*, existen un total de 1729 Monumentos Nacionales de toda índole declarados por el Consejo de Monumentos Nacionales de Chile (CMN), dentro de las categorías existen: Monumentos históricos Muebles, Monumentos Históricos Inmuebles, Zonas Típicas y Santuarios de la Naturaleza. En la Categoría de los Monumentos Inmuebles existen 1078 declarados hasta agosto del 2019. De los cuales 756 son definidos como bienes inmuebles de gran valor arquitectónicos superando el 40% del total, El listado oficial del CMN integra una lista de monumentos que no tienen fecha de creación debido a que dicha información no está disponible o de la cual no hay certeza, pero de las estructuras que si se tienen registro, destacan por ejemplo la Iglesia de San Pedro de Atacama, considerada la más antigua construida en 1557 y por el contrario la más reciente construcción de esta categoría es la Catedral Evangélica de Chile construida en Estación Central, Santiago en 1974, lo que habla de la gran cantidad de patrimonio arquitectónico que guarda el país.

El estado de Chile por medio del CMN está encargado de la protección, gestión, supervisión y conservación del patrimonio presentado en esta amplia lista, también es el

responsable de elaborar proyectos y normas de intervención, encargado como entidad pública o bien de realizar labores de promoción y así atraer inversiones para la conservación de estos mismos. Luego El terremoto del 27 de febrero del año 2010, que arrasó con estructuras antiguas, dejándolas prácticamente en ruinas, algunas de estas Estructuras han sido sometidas a restauraciones mediante el retrofit las cuales en su mayoría han sido arquitectónicas, con la menor intervención a la estructura posible, pero gracias a la cultura sísmica que tiene el país, es claro que si se necesita una intervención más profunda, y anteponerse casi estratégicamente a los futuros sismos que sabemos con certeza que vendrán, pero desconocemos si será en el largo o corto plazo, es por esto la protección sísmica, para prepararse en estos casos.

Como ya veníamos mencionando, estratégicamente el retrofit sumado a la implementación de la protección sísmica mediante aisladores son una combinación que, aparte de devolverle a las estructuras su función principal con la rehabilitación, las prepara para el futuro y los posibles sismos que les puedan esperar, con tecnologías que permiten la reconstrucción sin la intervención de nuevas estructuras que desfiguren el proyecto original.

Para poder ejemplificar todos estos aspectos hemos tomado un monumento casi simbólico en lo que respecta a daños estructurales, es el caso de la Basílica del Salvador, la que ha sufrido incontables sismos pero los que la dejaron en peor estado fue primero el terremoto de 1985 llegando incluso a ser clausurada por el nivel de destrucción y después del 27F donde ya su estado de conservación era deplorable. Su arquitectura neogótica europea es muy difícil intervenir estructuralmente sin afectar el diseño, pero en los siguientes capítulos trataremos de cambiar el enfoque que tiene de destrucción, a ser un símbolo de la reconstrucción.

4.3 Preparación e Interacción comunitaria

Antes de que se adopten estas medidas, en el caso puntual de la Basílica del Salvador, se debió pasar por varios procesos, incluso judiciales que pedían su demolición. Pero una de sus atenuantes fue la intervención de capital privado por medio de la fundación de su mismo nombre. Es por esto que el financiamiento de los proyectos de Protección sísmica son tan importante y uno de los factores principales antes de comenzar a estudiar las posibles intervenciones en edificios patrimoniales. Al ser labor del estado mantener los monumentos nacionales, se hace difícil mantener todas las estructuras debido a los niveles de inversión que deben solventar, debido a ser instituciones estatales se preocupan más de mantener, que de mejorar. Tomando este punto desde una mirada económica llegar a niveles de destrucción elevados encarece las reparaciones, por ende, la protección previa sería una inversión a largo plazo tanto monetaria como culturalmente.

Antes de comenzar con políticas de rehabilitación y comiencen las modificaciones, las jurisdicciones estatales deben construir consenso sobre la necesidad de las reparaciones y exactamente cuál es la política económica que se utilizara. Es decir, si existe Apoyo de la comunidad y de los tomadores de decisiones locales, para comenzar a “postular” Algunos monumentos para su restructuración, que es fundamental partir por ahí.

Gran parte del trabajo de rehabilitación de los monumentos nacionales son por el impulso que generan las comunidades, creación de consensos políticos y la promoción que se busca entre estos últimos para poder captar inversiones. Es necesario para modificaciones de las edificaciones antiguas, la aprobación de la población, pero el problema específico y la opinión de las comunidades pueden diferir. El siguiente capítulo contiene algunas recomendaciones para la fase previa a la política con lecciones específicas de jurisdicciones que han adoptado con éxito políticas de Edificaciones Antiguas.

Es visible que estos edificios representan uno de los más estilos icónicos de arquitectura, vistos en la zona central del país, Aunque la mayoría de este subconjunto de edificios de

históricos blandos siguieron construyéndose en la década siguiente, algunos edificios de este estilo puede ser más antiguo o más nuevo, pero tienen características constructivas similares. Por lo general, se cree que los edificios de históricos blandos son fáciles identificable, ya que cuentan con frentes abiertos, característicos. Pero que trajeron consigo verdaderas deficiencias se asocian con insuficiente fuerza dispersada al terreno, el inadecuado arriostramiento estructural o pocas paredes que también los caracterizan. Es visible que estos edificios representan uno de los más estilos icónicos de arquitectura, vistos en la zona central del país, Aunque la mayoría de este subconjunto de edificios de históricos blandos siguieron construyéndose en la década siguiente, algunos edificios de este estilo puede ser más antiguo o más nuevo, pero tienen características constructivas similares. Por lo general, se cree que los edificios de históricos blandos son fáciles identificable, ya que cuentan con frentes abiertos, característicos. Pero que trajeron consigo verdaderas deficiencias se asocian con insuficiente fuerza dispersada al terreno, el inadecuado arriostramiento estructural o pocas paredes que también los caracterizan.

Los edificios de históricos se encuentran típicamente en comunas más antiguas, ejemplo de esto son las ciudades estratégicas que se construyeron primero en la época colonial chilena. Los cuales tienden a mostrar tecnologías de construcción claramente diferentes debido al destino de sus funciones, ya sea con intenciones bélicas, religiosas, residenciales o políticas. En el siglo XVIII ubo un auge arquitectónico donde se potencio la urbanización del reino de chile, influenciado por la colonia española. dando paso así a las edificaciones “antiguas” o “blandas” que conocemos ahora. De la mano de Joaquín Toesca y otros Arquitectos de la colonia, estas edificaciones blandas se hicieron paso en las grandes ciudades de la época, donde se destacaban características como la mampostería, pisos de maderas y las pocas o ninguna unidades residenciales en la planta baja. Estos edificios también tienden a exhibir una masa similar y materiales que contribuyen a sus problemas estructurales, basado en tecnologías de construcción comunes disponibles en el tiempo.

la pérdida de vidas no es el único impacto del colapso de las estructuras históricas, si no que también pérdida de unidades culturales puede devastar una comunidad después de un desastre mayor. Las pérdidas de edificios patrimoniales por desastre requieren más prevención por parte de servicios gubernamentales en una comunidad y a menudo se ignora a los residentes de los entornos alterando significativamente el respeto de la comunidad a estos edificios, generando el alejamiento de las comunidades aledañas, aumentando el desinterés y por consecuencia, deterioro y ralentizando la recuperación.

Concluyendo, el perder estos edificios debido al colapso, cambiaría significativamente el carácter de una comunidad, los cuales se podrían ver afectados por daños materiales, o incluso económicos, donde pueden verse decaídas áreas como el turismo, la artesanía u otras relacionadas, por lo que resulta necesario incluir a la población en el proceso de restauración y las principales tareas previas.

4.4 Basílica del Salvador

En 1863, Después de un incendio que destruyó la Iglesia de la Compañía de Jesús, se ordenó la edificación del templo de la nueva Compañía, dando origen a la Basílica del Salvador.

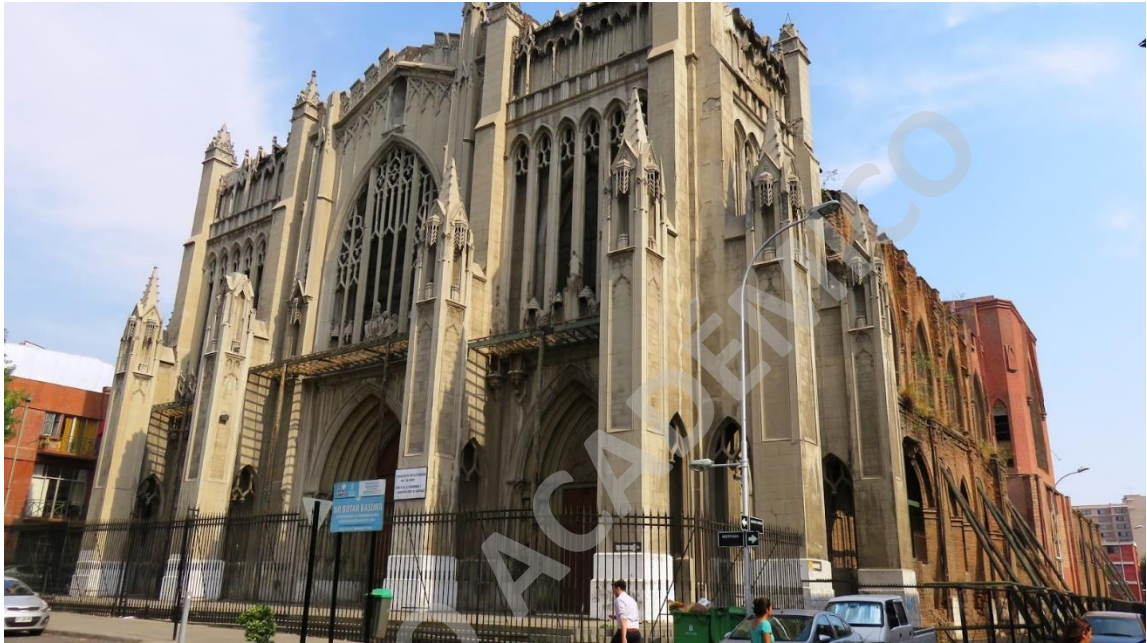


Figura 2

El proyecto fue encargado al arquitecto alemán Teodoro Burchard y las obras se iniciaron en 1873. La obra gruesa del proyecto se completó en 1892 con el mismo estilo neogótico de la Iglesia de la Compañía de Jesús. Con tres naves de altura equivalente, sus muros, columnas, nervaduras, arcos y arbotantes están contruidos en una rica albañilería maciza de ladrillos, sin refuerzos metálicos; la estructura de techos es de madera, cubierta de tejas de arcilla. Su mayor debilidad radica en su notable construcción: no está concebida para resistir sismos y por ello sufrió importantes daños luego de los terremotos de 1906, 1985 y 2010.

Su fachada norte, remodelada y reforzada en los años treinta por Josué Smith Solar, presenta, además de los efectos acumulados de los terremotos de 1985 y 2010, graves

daños que se concentran en la sección media de las naves, en el derrumbe de muros laterales, en la desaparición de tres columnas y de casi un tercio de las bóvedas de cielo. El deterioro se extiende al entorno urbano y también abarca la decoración pictórica y los vitrales del taller Meyer de Múnich.



Figura 3 .- Destrucción Basílica del Salvador sismo 1985

El estado de Esta estructura nos llamó especialmente la atención, ya que al ser una de las iglesias con más historias de Santiago, se encontraba en completo abandono, incluso estaba clausurada desde el 2004, en una suerte de espera a que se derrumbara. Es por esto que en este proyecto se escoge para tomar como emblema de reconstrucción por el simbolismo que representa.



Figura 4 .- destrucción basílica del salvador sismo 2010

4.5 Estudios Previos

La Basílica del Salvador, en su estilo neogótico, concluida en 1892 su obra gruesa que fue originalmente, en albañilería simple sin refuerzos metálicos o de hormigón armado. A lo largo de su historia ha sufrido diversos daños, fundamentalmente en los terremotos de 1906, 1920, 1985 y 2010.

Resultado del daño es que fue intervenida fuertemente, entre los años 1929 y 1945 donde se instalaron los primeros refuerzos de hormigón al interior de la Iglesia, en una de sus tantas reconstrucciones. donde el arquitecto Josue Smith diseñó una nueva fachada, que además de reemplazar y reparar estucos y agregar decoraciones nuevas.

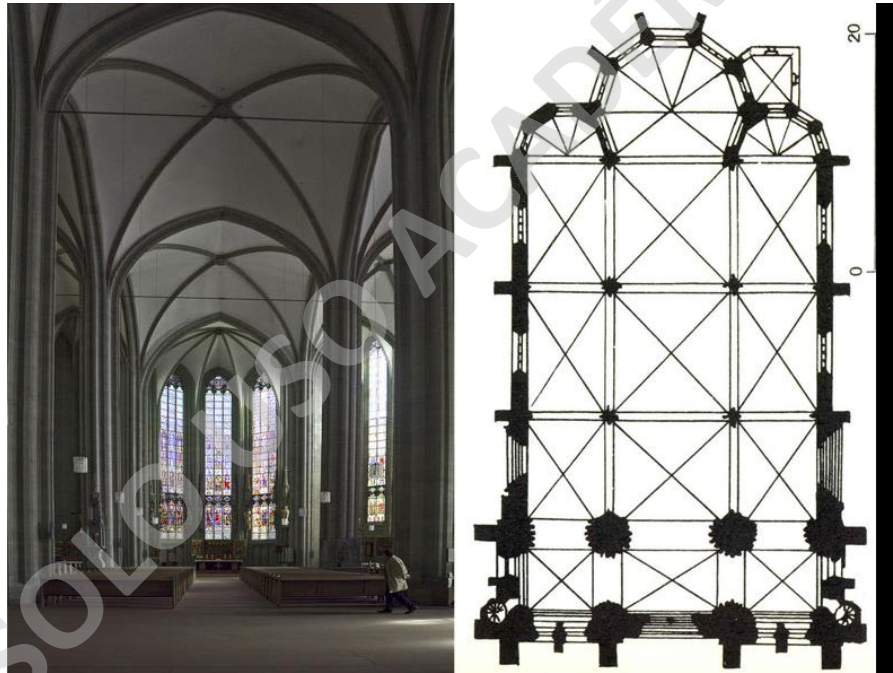


Figura 6.- -Interior basílica del Salvador, elevación

Luego del terremoto de 1985, colapsaron los muros, cubiertas y vitrales del transepto, además de dos columnas de la nave, consecuencia de esto es que se reconstruyó parcialmente, incorporando estructuras de hormigón armado y nuevos vitrales, además de nuevas decoraciones en el interior. Adicionalmente se ejecutaron obras de refuerzo provisorio en otras zonas de la iglesia, que lamentablemente nunca se completaron.

Es necesario comentar que su estructura contaba con de 30 metros de alto, 37 de ancho y casi 100 de fondo, y contó con crucerías en el cielo, arcos y pilares para dividir sus tres naves, y numerosos vitrales y pinturas religiosas. Sin embargo, pese a su notable arquitectura y decoración, el diseño inicial de su arquitecto Teodoro Burchard se trabajó solo en albañilería, con macizos muros pero sin refuerzos que le permitieran resistir los fuertes movimientos sísmicos que cada tanto azotan la región, Siguiendo con su historia sísmica, con el terremoto de 1985 y vinieron los intentos de reconstrucción posteriores que quedaron inconclusos. Al no terminarse estas obras, sumado al peligro de derrumbe que la estructura reflejaba se dictó el cierre al público el año 2004, y con el conocido 27f del 2010, la estructura quedo en un estado deplorable, atentando contra la seguridad de las comunidades cercanas. Tanto así que esta mismas comunidades ante las falsas promesas de reconstrucción, presentaron un recurso para su demolición, el cual no fue aceptado pero genero un punto de inflexión, donde se comenzaron los estudios de ingeniería el año 2012 para planificar su rehabilitación el año 2017, aunque estas obras están inconclusas, el actuar de las comunidades fue determinante.

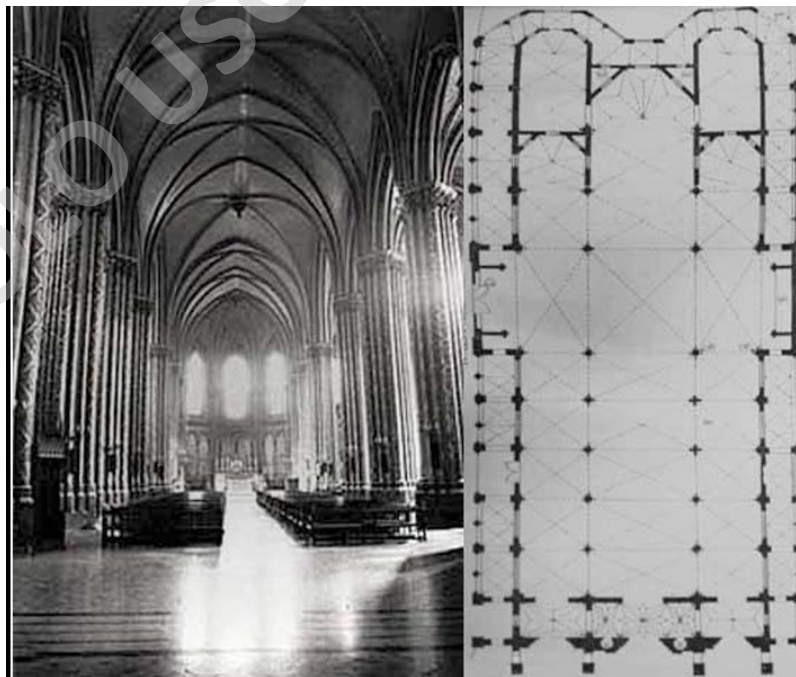


Figura 7.- Interior Basílica del Salvador, planta

4.6 Propuesta Constructiva

Como ya habíamos mencionado, en el extranjero ya se ha utilizado este método de protección sísmica en edificios antiguos o estructuras blandas. El caso de la restauración y aislación sísmica utilizada en el City Hall de San Francisco, EEUU es uno de los más recientes en estructuras antiguas, por lo que nos basaremos en su actuar para simular el cómo realizar la intervención en la Basílica del Salvador.

Para fijar las bases generales del proceso de rehabilitación del edificio, tenemos que abarcar estudios de ingeniería, levantamientos, proyectos de restauración y modalidades de este mismo, como y cuáles serán las obras a ejecutar, plazos y por supuesto costos a lo largo de este. Ejecutada la etapa de diagnóstico y levantamiento crítico, además de un proyecto de retrofit en lo estético debemos considerar la estabilización estructural, para poder intervenir la basílica ya que corre peligro de derrumbarse, esto se cumple habiendo acordado el destino y futuros usos de la Basílica, sea de orden religioso o cultural u otro, ya que esta difícil decisión sentara las bases para las modificaciones al proyecto, donde participan las entidades responsables de esta, en este caso el CMN, además de entidades religiosas y por supuesto, la ciudadanía. y teniendo claro a cuales son los alcances que tendrá, podremos sentar los límites constructivos y arquitectónicos que hay para su intervención.

Una vez realizada la etapa de diagnóstico y de propuestas, ya es posible sentar las bases para las propuestas de ingeniería y de arquitectura, en dirección a la renovación, en síntesis, esta propuesta debe contener como principal foco: restituir la identidad única reconstruyendo en la materialidad original en la medida de lo posible y, finalmente, dar lugar a las tecnologías de hoy en diálogo con el arte del pasado. Estas medidas estarán dadas por la disponibilidad de los oficios burocráticos, los materiales, la estructura y los recursos económicos

La primera etapa de la intervención, será estabilizar la estructura, la cual quedo muy damnificada como ya ha sido mencionado, para lograr esta acción primeramente hay que asegurar al personal del interior ya que se corre peligro de derrumbe, esto, como en otros caso se ha hecho, se haría por medio de una estructura mecano, la que sería armada al interior de la basílica, utilizando el mecanismo del alzaprimado dando una estabilidad temporal a la estructura, para poder recuperar el material que se ha desprendido, realizar una catalogación de los escombros que pueden ser reutilizados y de los que no, para poder exhibirlos en un futuro como parte de la historia de esta basílica, también la estabilización temporal nos permitirá intervenir tanto muros como pilares dañados, generando así un refuerzo permanente para asegurar la estructura y los trabajos posteriores tanto en el exterior como por debajo.

Una segunda etapa seria poder intervenir la techumbre mediante estructuras externas como andamios en plataforma alrededor de la estructura, que dicho sea de paso, su sistema de aguas lluvia fue devastado, una vez recuperada la techumbre lograr generar los espacios para poder trabajar con el sistema de agua lluvia.



Figura 7.- Palacio de las majadas, foto estructura original

La tercera etapa es la base de este documento, y trata de un proceso utilizado en otros países, pero que sería pionero en Chile, la aislación sísmica en un edificio existente antiguo. Con la necesidad de realizar mejoras preventivas y no reactivas como las que se hicieron anteriormente, nace la idea de generar un subterráneo que tenga una doble intención, lo primero es permitir el trabajo y la instalación de aisladores sísmicos que puedan reducir significativamente el traspaso de las fuerzas de un sismo a la estructura, lo segundo es generar un museo subterráneo en el cual se pueda exhibir restos de la estructura removidos como escombros, previamente inventariados.



Figura 8.- Daños severos en Palacio de las majadas

Basándonos en un proyecto chileno de recuperación de estructuras patrimoniales, la restauración del Palacio las Majadas de Pirque, que cuenta con este tipo de museo, y así contar mediante imágenes y restos la larga historia de esta basílica, también debido al gran espacio que tiene esta iglesia generar espacios de oficina, baños, incluso una cripta respetando la finalidad inicial, como basílica. La cuarta etapa y final es restaurar artística y arquitectónicamente la estructura con la base de la menor intervención, respetando lo

que un día fue pero atrayendo la actualidad a esta edificación histórica, citando nuevamente el Palacio de las Majadas, la cual manteniendo su esencia pasada, al día de hoy se transformó en un centro de estudios y convenciones de lo mas moderno y con todas las comodidades que esto demanda, manteniendo el tipo de teja original, pero que fue mandado a fabricar de un material mas ligero, por ejemplo. O las molduras que fueron replicadas en poliestireno, dando cuenta del uso de la tecnología de la época para trabajos de restauración.



Figura 10.- Restauración arquitectónica y estructural Palacio de las Majadas

Para este proyecto fue escogido el sistema de aislación sísmica con elastómeros, debido a su correcto diseño y distribución controlada, que contribuye a reducir los efectos de la torsión en la respuesta sísmica, efectos que atacan claramente a esta estructura por su gran altura, otro de los puntos es que los aisladores pueden llegar a reducir en un 90% las

fuerzas transmitidas a la estructura con respecto al suelo. Otro punto importante para esta elección es que el aislamiento sísmico permite reducir los efectos de tensiones residuales que pueden ser provocados por la retracción de elementos estructurales. El uso de los aisladores permite concentrar las incertidumbres sobre los procesos constructivos y sus eventuales fallas al momento de la ocurrencia de un terremoto, en los mismos aisladores, los cuales, a su vez, permiten un mejor control de calidad que el que tradicionalmente se puede conseguir cuando se construye una edificación, o cuando se instalan en edificaciones existentes, especialmente en países como Chile donde la mano de obra no está preparada, ya que sería un proyecto pionero en el país.

Una de las mayores ventajas del uso de aisladores sísmicos es que la operatividad de las estructuras puede recuperarse inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto, en la medida en que se logran los objetivos de desempeño previstos.

La primera dificultad es la asociada a la presencia de grandes desplazamientos en la base de la estructura, y como consecuencia del comportamiento de cuerpo rígido, en toda la estructura de manera simultánea (con mínimos desplazamientos relativos). Estos grandes desplazamientos se concentran en la zona de la edificación en la que se colocan los aisladores, los cuales, en la mayoría de los casos van sobre las fundaciones, pero en muchos casos, especialmente en estructuras que han sido reparadas o reforzadas con aisladores sísmicos, pueden requerir ser colocados en niveles intermedios, en la parte baja de la estructura. Los desplazamientos pueden tener un orden de entre 20 cm y 50 cm para fuertes terremotos. En la mayoría de los casos, el espacio necesario para permitir los desplazamientos, se prevén en la zona inferior al primer piso, por lo que el plano de aislamiento queda a nivel inferior al suelo. Esto será contrarrestado instalando aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, los que se autocontrolan, reduciendo sus vibraciones residuales y desplazamientos indeseados.

4.7 Propuesta estructural

Ahora que conocemos los distintos Tipos de protección Sísmica e introducimos el concepto de retrofit, es prudente explicar cómo es el proceso en el que una estructura antigua logra ser aislada sísmicamente para poder evitar las destructivas fuerzas a las que se ve sometida durante un sismo.

Para comenzar es preciso estudiar diferentes casos en los que ya se ha hecho, como por ejemplo en Estados Unidos, un caso de Retrofit con aislación Sísmica es el de Ante la imposibilidad de resistir nuevos sismos, debido a su materialidad original, se propone por la incorporación de un sistema de aislación sísmica, que por primera vez se ocuparía en Chile en una restauración de un edificio patrimonial. El plan constructivo es reforzar la estructura alzaprando, y generar una caja que por el interior soporte al edificio antiguo, y a su vez por debajo se construye, gracias a una excavación y, en vez de reforzarlo en sus pilares o estructuras centrales para resistir los esfuerzos sísmicos, los disminuye al mínimo, Dando la posibilidad de restituir con mínimos refuerzos las estructuras de albañilería faltantes, lo que permitirá en su gran mayoría que la restauración de la estructura conserve, el estilo neogótico original. También, gracias a la excavación generada para los aisladores, se ganara un piso en subterráneo aumentando los m² cuadrados construidos, dando más opciones para la decisión del uso futuro de la estructura.

Uno de los aspectos fundamentales de la reconstrucción es el uso del asilamiento sísmico, tecnología que permite la reconstrucción sin la intervención de nuevas estructuras que desfiguren el proyecto original.

El aislamiento sísmico corresponde a uno de los desarrollos más destacados y eficientes entre los sistemas especiales de protección sísmica para edificios y estructuras en general. Esta técnica, que por lo demás ya lleva varias décadas de vigencia, ha demostrado a lo largo de varios terremotos severos ocurridos en ciudades importantes de diversos países (por ejemplo, EEUU, Japón y Chile) que es capaz de proteger efectivamente las

estructuras, reduciendo el fenómeno sísmico hasta en un 90% respecto de lo que sería el caso de una estructura convencional.

La estructura de la basílica del salvador tiene un peso aproximado de 5.200.400kg. , y cuenta con 3172m², conociendo estos valores podemos estimar que con cuantos aisladores sísmicos es posible estabilizar la estructura.

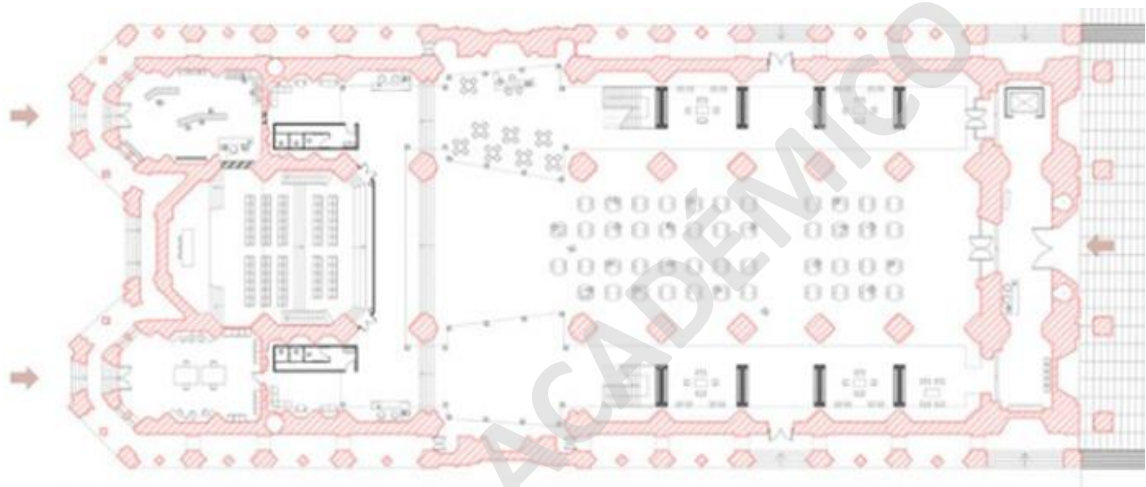


Figura 11.- distribución estructuras soportantes

En la figura es 11 posible observar las columnas que son los principales puntos de apoyo de la techumbre, y las que mas han sufrido por su gran altura, tomando como eje principal de estas estructuras, conformaremos la grilla inferior que será utilizada como estructura adicional soportante. Esta se conformara en primera instancia por vigas doble T de acero. Las que irán por el interior de las fundaciones, en un proceso que interviene las pircas (fundaciones) de la estructura, perforándolas para dejar espacio para el paso de estas vigas secundarias, que harán de soporte para el levantamiento posterior de la estructura.

Dicho esto, la grilla propuesta para el cálculo será la siguiente:

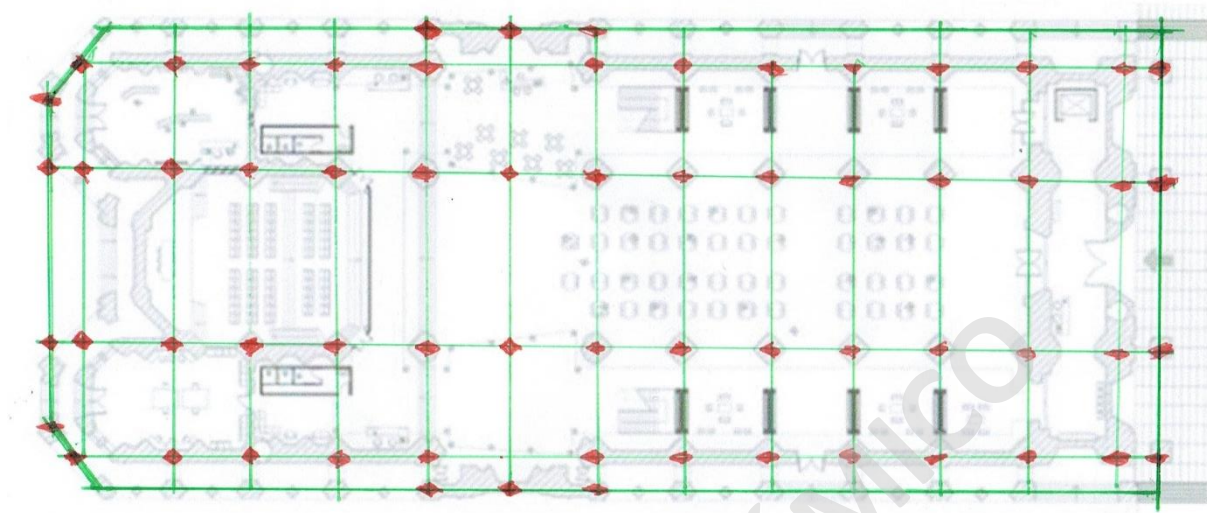


Figura 12.- Propuesta de distribución de Aisladores Sísmicos

Donde podemos observar 64 aisladores sísmicos, ahora necesariamente hay que estimar que tipo de aislador sísmico será y de que tamaño, para eso utilizaremos el siguiente método

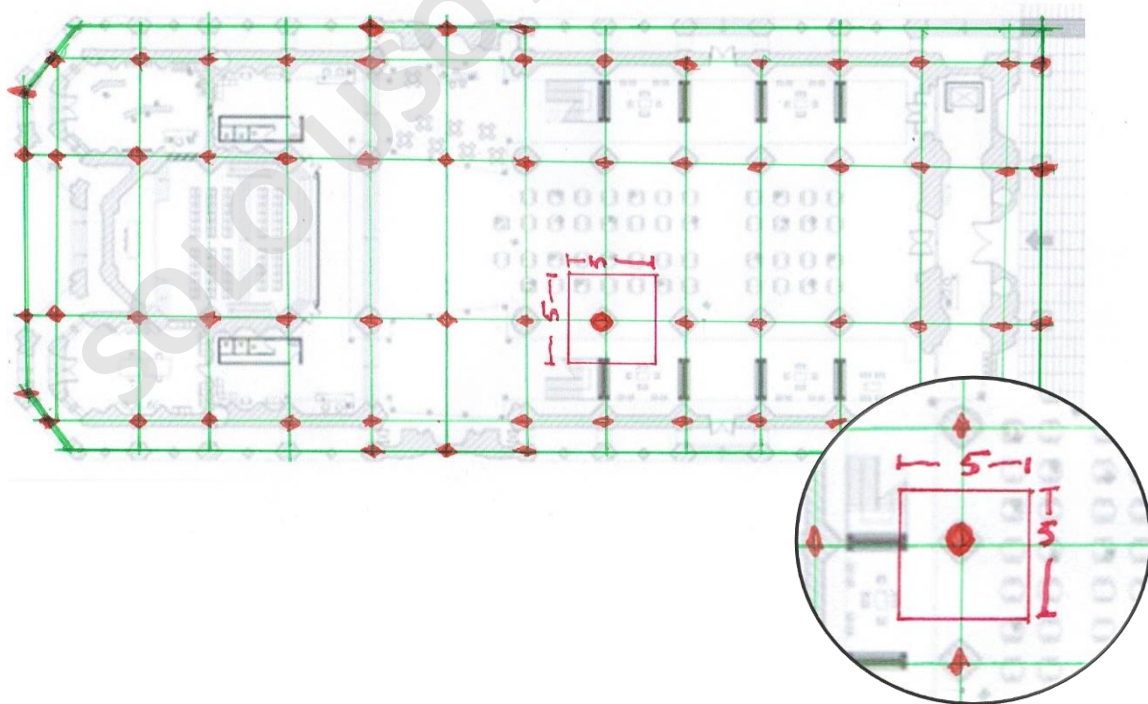


Figura 13.- Detalle 1

En el detalle 1 podemos observar las medidas referenciales, para utilizar el análisis básico de aisladores sísmicos:

Otro dato conocido es la resistencia promedio de los aisladores sísmico elastoméricos, de 8kg/cm²

Precálculo Estimativo

1. Peso sectorizado

- Peso estimado losa

$$5m \times 5m \times 0.15m \times 900kg/m^3 = 22.500kg$$

(900 kg/m³ peso promedio losa + sobrecarga de uso)

- Peso estimado columna

$$1.2m \times 1.2m \times 30m \times 1600kg/m^3 = 69120kg$$

(1600kg/m³ peso promedio mampostería + sobrecarga de uso)

- Peso Total Área Seleccionada

$$69.120kg + 22.500kg = 91620kg$$

En el ejercicio anterior, es posible identificar que para una cantidad de 64 aisladores sísmicos elastómeros será necesario que estos tengan como diámetro 1.21m. además se considera un 25% de los elastómeros con centro de plomo para el control de las vibraciones remanentes después del sismo.

Precálculo Estimativo

2. Medidas Elastómero

$$91620kg \div 8 \text{ kg/cm}^2 = 11452.5\text{cm}^2$$

- Área elastómero

$$\pi r^2 = A$$

$$r = \sqrt{(11452.5/\pi)} = 60.37$$

$$60.37 \times 2 = 1.21m$$

En síntesis Para este proyecto se consideran 16 unidades aisladores elastoméricos de goma con núcleo de plomo y 48 unidades de aisladores elastoméricos de goma de alto amortiguamiento debido a sus características similares en el movimiento vertical, para que la estructura trabaje con las menores diferencias posibles en esa dirección. Estos tendrán en promedio un diámetro de 1.21m y serán ubicados bajo la estructura mediante un método de levantamiento que trataremos en los próximos capítulos.

SOLO USO ACADÉMICO

4.8 Proceso Constructivo: Instalación de aisladores sísmicos



Figura 14.- Ingreso de vigas bajo la estructura

Para poder intervenir la estructura agregándole aisladores sísmicos se requiere una ardua labor de ingeniería, sobre todo en este caso, ya que los trabajos se realizarán por debajo de esta estructura, la cual requerirá refuerzos interiores para poder realizar la maniobra, asegurando el cuidado de esta, ya que corre riesgos de derrumbe o desplome de algunas partes de la estructura, por ende para realizar la aislación sísmica es necesario un trabajo previo con una estructura mecano, la cual será conformada en su interior asegurando la techumbre y estructuras verticales en peligro, una vez lograda la estabilización interna de la estructura, será posible trabajar en la techumbre como habíamos mencionado anteriormente.

Terminada la estabilización superior es posible comenzar la tarea de insertar los aisladores, para esto es necesario realizar excavaciones para poder así comenzar a entrelazar la grilla estructural mencionada en capítulos anteriores, en la figura 15, que es el caso de la aislación sísmica existente en la ciudad de Berkley EEUU, es posible observar como se intervinieron las fundaciones en las que estaba soportada en un principio la estructura, las que están construidas en albañilería simple.



Figura 14.- Inserto de vigas estructurales en fundaciones , Berkley City Hall, EEUU

En este proceso se puede apreciar las perforaciones que tuvieron las fundaciones, al estar hechas de hechas de mampostería, su perforación no es algo difícil, pero si peligroso por la poca estabilidad que hay en la parte superior, para esto es que se requiere que los estabilizadores superiores se encuentren activos aun en esta etapa. En el detalle 2 se puede observar como una viga, atraviesa entre las fundaciones de lado a lado, pasando por medio de pilares perimetrales, puestos previamente para soportar los puntos críticos y estas vigas serán la que le dará soporte a la estructura, y lograran levantar la misma.

Como se puede apreciar en la imagen, estas serán montadas en soportes hidráulicos los cuales tendrán la capacidad de subir, para posteriormente dejar caer la estructura sobre los aisladores, es posible observar como existen tres tipos de pilares, los de la primera y segunda etapa, los primeros se encuentran en voladizo, prácticamente flotando soportados por la viga perimetral, y los segundos son los que les dan el soporte una vez terminada la etapa de hormigonado de la losa inferior, y sostienen la estructura superior dirigiendo las cargas hacia esta losa de fundación momentáneamente.



Figura 16.- Detalle 2

El tercer tipo es un pilar ubicado estratégicamente bajo la grilla, este tiene 4 puntos de apoyo y una base central, estos 4 puntos serán tomados posteriormente, para alzarlos hidráulicamente y así tener movimiento vertical para eso se les deja el espacio vacío al

centro, para así poder levantar hidráulicamente e insertar los elastómeros con mayor facilidad, un ejemplo de este apoyo de 4 puntos es el detalle 3, donde se observan los pilares que sostienen la fundación superior, y en su parte baja tiene 4 puntos que dan espacio para los aisladores que posteriormente serán insertados.



Lo mismo sucede con todos los demás puntos, tomándolos uno para cada lugar de apoyo de los pilares y/o muros destruidos. Punto importante será entrelazar la grilla para posteriormente, gracias a esta parrilla y las gatas, hormigonar por debajo y ubicando dados

de fundación por debajo de la losa, estas fundaciones serían creadas especialmente para cada uno de los puntos de apoyo, y se ubicaran en una losa de fundación nueva, conformando el piso del primer subterráneo, que recibirían estos elastómeros, teniendo variados usos, el primero y principal será el acceso libre a los elastómeros para su mantención y revisiones correspondientes, un segundo uso es para la ubicación de las instalaciones sanitarias, eléctricas, entre otras, y su ultimo uso será el útil, dando espacio para un museo interior.

Para continuar, una vez instalada la viga perimetral, y los pilares con los 4 puntos de apoyo en los puntos correspondientes, que son donde van ubicado los aisladores, se realizara el levante de la estructura en total coordinación, para que la parte superior no sufra deformaciones, Estas vigas de acero son ubicadas en puntos críticos para poder así tener una diferencia de altura. Esta es la tarea más meticulosa y de mayor tensión, tanto para los constructores, como para la estructura, realizar el inserto de cada uno de los aisladores en los diferentes puntos acordados, teniendo la grilla superior y la losa de fundación, es posible recibir los aisladores.

A pesar de las importantes ventajas de los aisladores sísmicos, es necesario tener en cuenta los efectos secundarios que pueden generar problemas distintos a los que se presentan en las estructuras de base fija. Entre ellos, es necesario verificar los siguientes: los efectos torsionales de la estructura sobre los aisladores, movimientos de periodos largos que interactúen con depósitos profundos del suelo; los efectos del envejecimiento del aislador; los efectos de la temperatura; y como ya mencionamos, los requerimientos especiales de uniones flexibles de tuberías y otros sistemas, incluyendo escaleras en la interfaz.

Por lo que es necesario considerar dos escaleras para esta obra subterránea, una escalera independiente a la estructura superior, ubicándose por el área perimetral, dando acceso por fuera a nivel de la calle, que funcione como escalera de emergencias, la segunda será un acceso directo a la estructura superior, dando ingreso al interior de la basílica, siendo una escalera tipo cripta, la que será realizada con una cubrejunta en su parte superior, teniendo su soporte principal en el sector bajo.

En síntesis para poder aislar la estructura es necesario estudiar ejercicios anteriores como los extranjeros, ya que no hay de este tipo en nuestro país. Hecho esto se observa que el proceso de excavación y posterior alce hidráulico son las etapas mas criticas de la obra, las cuales deberán seguir instintivamente un proceso nuevo. Es necesario considerar la conexión entre el nuevo subterráneo y la estructura existente dándole flexibilidad para el movimiento a estas y por su puesto la conexiones de acceso deberán cumplir la función de moverse en conjunto con ambas estructuras.

SOLO USO ACADÉMICO

CAPITULO V

CONCLUSIÓN

En esta memoria de título se aborda un tema que comúnmente ha sido olvidado, Las estructuras patrimoniales, mirándolo de un lado económico estas han rendido frutos en diferentes partes del mundo dando paso al creciente turismo, pero de una visión desde el área constructiva es posible comentar que han sido afectadas incontables veces por los embates de la naturaleza, es por eso que se hace necesario un cuidado de estas, son estructuras que como vimos, no fueron realizadas con las normativas actuales. La gran cantidad de estructuras de este tipo en el mundo, y el crecimiento del interés social en ellas, han generado cambios de la visión que se les otorga, es por esto que se realiza esta propuesta, donde en Chile sería pionera, que requiere mucho avance tecnológico, y también mucha participación de diferentes actores, como del área constructiva y social.

La propuesta fue realizada mediante una intersección entre experiencias chilena, sumado al estudio de casos extranjeros, dando una mirada constructiva, de como realizar este procedimiento, dejando en claro que las capacidades y conocimiento chileno están aptas para realizar esta actividad.

Cuenta de un proceso de levantamiento estructural para poder instalar aisladores sísmicos, los cuales mediante un análisis de los sistemas existentes fueron escogidos gracias a sus características y a su fácil montaje, a su casi nula intervención arquitectónica y a las cualidades técnicas que estos tienen.

ANÁLISIS GENERAL

En el año 2003 se publicó la norma Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica, que fue la primera de este tipo en la región sudamericana: NCh2745 Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica. Esta norma regula el diseño de estructuras aisladas y hace referencia extensa a la Norma Chilena NCh433 (norma de diseño de edificios). La demanda sísmica, los procedimientos de análisis y diseño de la norma de aislación no coinciden con lo establecido en la Norma NCh433. Sin embargo se establece que la estructura debe resistir al menos el cortante mínimo establecido en la NCh433 con el período de la estructura aislada. Algunas de las nuevas estructuras chilenas están siendo implementadas con protección sísmica sean pasivas o activas, esto requiere una gran inversión, y estas estructuras las tienen, por otra parte una estructura patrimonial, la cual no tiene los recursos por su propia administración no puede darse estos lujos.

A fin de determinar las ventajas o desventajas económicas de incluir dispositivos de aislamiento y de disipación de energía en los diseños estructurales, lo más adecuado es comparar los costos de las soluciones con y sin los dispositivos de respuesta pasiva. El resultado que conduzca a la solución más apropiada desde el punto de vista económico, puede ser distinto en cada caso particular, por lo que es necesario realizar una evaluación para los distintos diseños, que tome en cuenta los requerimientos establecidos en los reglamentos, y los definidos por el dueño o el usuario de la construcción. A partir de las condiciones definidas por el usuario, deben estimarse las opciones. Sin embargo, en este caso en que deben protegerse más que equipos costosos, tecnologías o datos, mas bien se protege historia, la cual es muy difícil valorizar económicamente, pero culturalmente la población y las generaciones futuras tienen el derecho de poder apreciar las estructuras patrimoniales que han sido parte de la historia de la humanidad. Es por esto que este documento defiende el uso de aisladores sísmicos en estas mismas, más allá del costo económico que tengan, se considera una excelente opción debido a su casi nula intervención arquitectónica. Manteniendo la estructura lo mas acercado a lo original.

Es tarea del gobierno implementar protección a las estructuras patrimoniales y no necesariamente protección sísmica, si no que una protección completa, mantenciones, cuidados, y adecuaciones al mundo actual, ya sea con reformaciones en su uso o aplicando promoción para que inversores privados se hagan cargo de su mantención y/o reparo.

Queda demostrado mediante ejemplos concretos en el extranjero que esta labor es posible, el estudio de la estructura y la propuesta puede venir desde cualquier parte del mundo, pero la ejecución es nuestra quedara como un ejemplo de que somos un país resiliente y que tenemos una gran cultura sísmica.

SOLO USO ACADÉMICO

BIBLIOGRAFÍA

Referencias

Culturas constructivas que conforman el patrimonio chileno construido en tierra
<http://revistas.uach.cl/pdf/aus/n16/art06.pdf> consultado marzo 2016

Hayes, GP. Smoczyk, Antonio. Furlong, KP. (2015). *Sismicidad de la Tierra 1900-2013, Sismo tectónica de América del Sur (Placa de Nazca Región): Informe US Geological Survey.*

CAICEDO, C.; A. H. BARBAT; J. A. CANAS; R. AGUILAR. 1994. *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios, Monografías de Ingeniería Sísmica (CIMNE IS-6), Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE).*

MARTINEZ, G.; P. ROCA; O. CASELLES; J. CLAPES; A.H. BARBAT. 2007b. *Vulnerabilidad sísmica para la Catedral de Mallorca. 3er Congreso Nacional de Ingeniería sísmica, Girona 767-777p*

BARBAT, A. H. 1998. *El riesgo sísmico en el diseño de edificios. Calidad Siderúrgica, S.R.L.*

YAMIN, L.; A. RODRIGUEZ; L. FONSECA; J. REYES; C. PHILLIPS. 2003. *Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria. Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes: 178*

GUERRERO, L. 2007. *Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Apuntes 20(2): 182-201.*

GRANDEAU D, (&) DELBOY L. *World heritage inventory of earthen architecture—2012*
WHEAP, *World Heritage Earthen Architecture Programme*. Grenoble: CRAterre
ENSAG; 2012. UNESCO

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. 2005. *Manual para la
rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada: Técnicas constructivas
tradicionales*. Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.- Cap. II

GUERRERO, L. 2007. *Arquitectura en tierra-Hacia la recuperación de una cultura
constructiva*. *Apuntes* 20(2): 182-201

A FRITZ Centro de Transferencia de la Madera CTT, *Manual La Construcción de
Viviendas en Madera, La madera y sus propiedades*: 19p

A VIVIESCAS, Universidad Politécnica de Catalunya. *Modelos simples para el análisis
de muros de obra de fábrica cargados en su plano*: p11

BEREZOVSKY, 2013 Rejane S. "Retrofit: o que é?". En: *pergunteaoengenheiro.com.br*
[en línea].

BVN ARCHITECTURE. 2014 "Goods Shed North". En: *World Buildings Directory*.
Online Database.

Índice de tablas

Tabla 1 : Fuente: USGS Consulta: septiembre 2016

Índice de imágenes

Figura 1.- Fuente: <https://whc.unesco.org/es/list/>

Figura 2.- Fuente: http://chile-iglesias-catolicas.blogspot.com/2017/05/blog-post_6.html

Figura 3.- Fuente: http://chile-iglesias-catolicas.blogspot.com/2017/05/blog-post_6.html

Figura 4.- Fuente: <http://brugmannrestauradores.blogspot.com/2011/12/la-basilica-del-salvador-un-constante.html>

Figura 5.- Fuente: <http://brugmannrestauradores.blogspot.com/2011/12/la-basilica-del-salvador-un-constante.html>

Figura 6.- Fuente: <http://brugmannrestauradores.blogspot.com/2011/12/la-basilica-del-salvador-un-constante.html>

Figura 7.- Fuente: <http://brugmannrestauradores.blogspot.com/2011/12/la-basilica-del-salvador-un-constante.html>

Figura 8.- Fuente: <https://amosantiago.cl/las-majadas-de-pirque-de-palacio-centenario-a-fabrica-de-redes-humanas/>

Figura 9.- Fuente: <https://www.lasmajadas.cl/somos/la-historia-de-las-majadas-de-pirque/>

Figura 10.- Fuente: Elaboración Propia

Figura 11.- Fuente: <https://proceso.uchilefau.cl/2015/project/biblioteca-mediateca-de-estudios-universitarios-basilica-del-salvador/>

Figura 12 y 23 ., Fuente: Elaboración Propia

Figura 14 : Robert Canfield <https://www.canfieldphoto.com/>

Figura 15 : Robert Canfield <https://www.canfieldphoto.com/>

Figura 16 : elaboración propia

SOLO USO ACADÉMICO