



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.**

**APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD GNDT PARA EDIFICACIONES
PATRIMONIALES EN IGLESIA SANTA ANA, VALPARAÍSO, CHILE.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

FRANCISCO V. PAREJA ZURA.

**PROFESOR GUIA:
DAVID CAMPUSANO BROWN**

**MIEMBROS DE LA COMISION:
CARLOS AGUILERA GUTIERREZ
PILAR BARBA BUSCAGLIA**

**SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2011.**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: FRANCISCO PAREJA ZURA
FECHA: 07/03/2011
PROF. GUÍA: Sr. DAVID CAMPUSANO

“APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD GNDT PARA EDIFICACIONES PATRIMONIALES EN IGLESIA SANTA ANA, VALPARAÍSO, CHILE”

Ante la necesidad de recuperar edificios centenarios que pueden tener valor patrimonial, surge el desafío para la ingeniería estructural de poder analizar la capacidad sísmica que presentan estas construcciones a fin de mejorar su desempeño ante estas solicitaciones y así conservar estas obras en el tiempo.

En este marco se ha desarrollado el concepto de vulnerabilidad sísmica, el cual determina la situación en la que se encuentra una estructura para hacer frente a una solicitación sísmica e identifica los aspectos de ella que puedan estar deficientes y que deben ser abordados en la recuperación de la misma.

En este contexto se desarrolló el presente Trabajo de Título cuyo objetivo principal era determinar a través de un análisis estructural, la situación presente de la Iglesia Santa Ana, ubicada en Valparaíso, Chile, para determinar la necesidad de mejoras de la misma para un futuro proyecto de restauración.

Para lograr el objetivo, de la iglesia se estudió su pasado y contexto histórico, su materialidad y sus propiedades mecánicas. Se realizó un catastro de ella y luego se realizó un análisis estático de la misma. Se obtuvo un índice cualitativo de primer orden acorde a la norma europea MSK y luego se hizo un análisis de vulnerabilidad sísmica acorde al índice GNDT, que se encontró era el más idóneo aplicar en este caso.

De los antecedentes obtenidos y análisis realizados se pueden destacar los siguientes resultados:

-La iglesia Santa Ana presenta daños mayores según la escala de daños MSK, estado que antecede a derrumbes parciales.

-La vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Santa es de competencia sísmica media. Esto quiere decir que la iglesia actualmente presenta características que le permiten sobrevivir a una solicitación sísmica aun cuando esta capacidad pueda estar en riesgo, y en este sentido esta calificación también indica que la obra se debe intervenir estructuralmente con el objeto de mejorar su competencia sísmica y con ellos mejorar su conservación futura.

-Las principales razones del deterioro de la obra son: el escaso mantenimiento que ha hecho que se pierda la protección al ambiente de los elementos estructurales, y las solicitaciones sísmicas que la obra a enfrentado, las que a la fecha son tres sismos de gran magnitud.

-Del índice de vulnerabilidad aplicado se pudieron distinguir aspectos de la obra que deben ser recuperados y otros que deben ser intervenidos. En la segunda intención los puntos más críticos son la conservación de las terminaciones, la mejora estructural y material de los elementos verticales como muros y pilares de mampostería, y la mejora del sistema de techos y torre de campanario cuya inestabilidad amenaza la seguridad de la iglesia y de su entorno. En la mejora estructural sísmica y la recuperación de las condiciones originales, se propusieron medidas a tomar en cuenta en un futuro proyecto de restauración.

AGRADECIMIENTOS

A mi país Chile, por darme todo lo que he necesitado para lograr la felicidad y por los desafíos que me plantea para buscar mejorar en el presente y futuro.

INDICE DE CONTENIDO.

| | |
|--|-----------|
| CAPITULO I | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. MOTIVACIÓN. | 1 |
| IGLESIA SANTA ANA | 2 |
| ALCANCES | 3 |
| 1.2. OBJETIVOS. | 3 |
| A. OBJETIVO GENERAL: | 3 |
| 1.3. METODOLOGÍA. | 4 |
| 1.4. ORGANIGRAMA. | 5 |
| CAPITULO II | 6 |
| ANTECEDENTES GENERALES. | 6 |
| 2.1. ANTECEDENTES GENERALES. | 6 |
| CAPITULO III | 14 |
| RECOPIACIÓN DE INFORMACION. | 14 |
| 3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. | 14 |
| A. RESEÑA HISTÓRICA. | 14 |
| VALPARAISO | 14 |
| CERRO CORDILLERA | 17 |
| B. INFLUENCIA DE GRANDES MOVIMIENTOS SÍSMICOS EN VALPARAÍSO..... | 19 |
| C. ARQUITECTURA DE VALPARAÍSO SIGLO XIX..... | 25 |
| D. FORMAS CONSTRUCTIVAS MAS EMPLEADAS EN EL PERIODO..... | 26 |
| 3.3. ANTECEDENTES ESTRUCTURALES. | 29 |
| A. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN..... | 29 |
| B. TIPO DE SUELO DE LA ZONA | 31 |
| C. MATERIALIDAD DEL INMUEBLE. | 33 |
| 3.4. ESTADO DE CONSERVACIÓN. | 38 |
| A. CATASTRO DE DAÑOS..... | 39 |
| B. ANÁLISIS ESTÁTICO | 59 |
| CAPITULO IV | 65 |
| APLICACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS. | 65 |
| 4.1. CUANTIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO | 65 |
| 4.2. VULNERABILIDAD SÍSMICA. | 68 |
| A. BÚSQUEDA DE MODELOS APLICABLES. | 68 |

| | |
|---|------------|
| 4.3. MÉTODO GNDT | 72 |
| A. DEFINICIÓN DE METODOLOGÍA Y APLICACIÓN | 72 |
| B. CATASTRO DETALLADO DE DAÑOS ESTRUCTURALES:..... | 76 |
| C. RESULTADOS. | 94 |
| | |
| CAPITULO V | 96 |
| | |
| CONCLUSIONES | 96 |
| | |
| CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE REPARACIÓN | 99 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 103 |

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación.

En Chile durante el último tiempo, ha surgido un mayor interés por rescatar construcciones antiguas en mal estado, ya sea para ser reutilizadas por razones de conservación como patrimonio nacional o para prevenir peligros de derrumbes por daños estructurales.

Dicho interés, ha surgido en gran medida por parte del Estado en cuanto a lo que se conoce como conservación, dado que una gran cantidad de las construcciones antiguas van siendo dejadas por sus propietarios originales o cambiadas de uso y luego la mayoría de ellas o son demolidas para construir algo nuevo o las que sobreviven están deterioradas al no haber mantenimiento por parte de sus propietarios actuales, luego generalmente si tienen alguna importancia patrimonial el estado se encarga de ellas.

Pero también este interés existe por parte de privados, razones como el turismo o el repoblamiento de zonas deprimidas, justifican el tratamiento de construcciones antiguas. Es así como muchas construcciones se intervienen para ser reacondicionadas y ocupadas como hoteles, viviendas, centros culturales, restaurantes u otros.

No toda construcción antigua es recuperada, existen criterios arquitectónicos, económicos y técnicos o incluso políticos, que determinan si procede hacer una intervención o no. En caso de hacerse, el tipo de intervención a efectuar, lo debiera determinar un organismo especializado que tenga conocimientos técnicos y arquitectónicos. Esto no siempre ocurre, pero discutir la idoneidad de las decisiones en este sentido, no será materia de este trabajo.

Estas construcciones antiguas tienen una diferencia significativa con las actuales; la mayoría de ellas fueron ejecutadas con materiales o métodos constructivos que no son posibles de replicar en el presente, debido a que o se ha extinguido la técnica o a que existe obsolescencia de métodos o materiales (como es el caso del adobe).

Continuando con lo anterior, es importante mencionar que si la obra a recuperar es reciente, lo más probable es que baste rehacer las partes malogradas con los materiales actuales, como hormigón armado, acero u otras soluciones conocidas; pero si la obra es muy antigua, es posible que ya no se pueda contar con los materiales que se emplearon originalmente, y no se pueda reproducir su construcción. Por tanto en la recuperación de alguna obra antigua, se necesitan criterios para tomar decisiones respecto a cómo se pretende recuperar el edificio, se necesitan por tanto informes multidisciplinarios desde el punto de vista arquitectónico, histórico, estructural, constructivo y económico.

Con esto se puede asegurar, que al igual que en el proyecto de una construcción actual, es necesario que un equipo multidisciplinario tome las decisiones respecto de cómo se pretende llegar al objetivo de la realización de la obra (definir las prioridades, criterios, alcances y atenciones), vale decir, se deben determinar decisiones de alcances estéticos, económicos, constructivos, estructurales, de factibilidad y otros.

Por tanto la motivación de participar de estos procesos de rescate de obras antiguas de cierto valor patrimonial hace posible la siguiente investigación. Ahora en este caso en particular, el tema a tratar, tiene que ver solo con la parte histórico constructiva y estructural. Se desea establecer el estado actual y la posible mejora intentando que de haber una intervención, esta afecte lo menos posible a los aspectos patrimoniales del inmueble, siguiendo para ello, las metodologías definidas internacionalmente para este tipo de trabajos.

Toda construcción tiene como condición sine qua non, mantenerse en pie, esto equivale a que la construcción se soporte a sí misma y albergue a lo que va a contener en su interior. Adicionalmente, toda construcción dependiendo del uso que tenga, va a tener otras condiciones a cumplir, como la habitabilidad, uso o el impacto ambiental en el entorno.

Para establecer la primera condición definida, en el mundo se han desarrollado principios y se han establecido márgenes de tolerancia en la construcción de las obras respecto de los cuales, se puede garantizar que esta condición se cumpliera. Estos reglamentos han ido evolucionando en el tiempo, y por consiguiente, las construcciones más antiguas tenían reglas distintas de las actuales o en muchos casos no tenían regla alguna. Desde este punto de vista resulta difícil analizar una construcción antigua con normativas actuales y es acerca de esto mismo de lo que tratará el tema a discutir en el presente trabajo de memoria.

Respecto del último punto, se necesita comprobar la existencia actual de modelos para analizar este tipo de estructuras y si éstos son aplicables a la obra que se pretende modelar. De no ser así, se necesitará recopilar información de casos similares estudiados o de formas de enfrentar estos análisis, de tal manera de hacer una adaptación al caso chileno o a la estructura de la obra en cuestión.

El trabajo que se ha realizado es sobre una obra en particular, y las razones antes expuestas explican que el trabajo tiene una función más puntual o particular, pero no menos importante.

IGLESIA SANTA ANA

La construcción a tratar en este trabajo de memoria es la Iglesia Santa Ana, ubicada en el Cerro Cordillera en Valparaíso. Esta es una construcción, realizada aproximadamente en 1882, tiene por lo tanto más de 100 años de construida. En el presente la Iglesia se encuentra clausurada, dado que los daños visibles que presenta podrían causar un posible derrumbe de la misma. La construcción es administrada por la comunidad del sector llamada Población Unión Obrera (PUO), la que a su vez se la arrienda al "Refugio de Cristo" quienes actualmente poseen los derechos sobre esta.

En un futuro cercano se pretende desarrollar un proyecto para restaurar el inmueble (posterior al año 2010), con el objeto de usarlo como centro cultural. La iglesia actualmente no se encuentra en el área patrimonial de la ciudad de Valparaíso, la cual cubre una pequeña parte del cerro desde abajo hacia arriba llegando hasta la altura de lo que queda el Castillo San José.

ALCANCES

Como ya se mencionó anteriormente, un proyecto de restauración tiene que comprender la participación de diversas áreas técnicas que funcionan en conjunto. Por un tema de recursos materiales y temporales, no es posible abarcarlas todas en este trabajo, y se abordará con los recursos disponibles el presente análisis estructural, que intenta concretar en algún grado, las fases empleadas en proyectos patrimoniales nacionales como:

- Marco histórico:
- Levantamiento: topográfico, crítico y de redes e instalaciones.
- Diagnostico del estado del entorno del edificio
- Resumen del diagnostico de la situación actual
- Propuesta de criterios de intervención.

Cabe mencionar, que como se explicará posteriormente en el trabajo de memoria, la materialidad constitutiva de la obra en cuestión, no permite aplicarle las normas chilenas para construcciones, que son modernas y posteriores a la construcción del inmueble, y que no incluyen por ejemplo albañilería simple, y que descartan totalmente el adobe como unidad constructiva. Sin embargo esto, si se pueden hacer análisis de diseño sobre las medidas de reparación o restauración que se empleen en la obra, ya que estas si estarían normadas y se podrían realizar hipótesis acerca de la combinación de ambos elementos con factores de seguridad adecuados, teniendo en cuenta que la mayoría de las construcciones, fueron diseñadas estáticamente con varios factores de seguridad que las mantienen soportando cargas permanentes, como su propio peso, hasta el día de hoy.

Finalmente por todo lo dicho, se espera hacer un análisis estructural constructivo del estado actual de la obra elegida, buscando solo información que ayude en este sentido, con el objeto de que sirva para el proyecto de restauración antes mencionado.

1.2. Objetivos.

a. Objetivo general:

Se busca realizar un aporte en la recuperación de edificios o construcciones antiguas de Chile. Este aporte correspondería a la determinación del estado estructural actual de la obra en particular, la Iglesia Santa Ana de Valparaíso, y con ello desarrollar una metodología de análisis de este tipo de obras, la cual podría ser empleada en otras de similares características.

Objetivos específicos:

Con la finalidad de desarrollar el objetivo general se han trazado los siguientes objetivos específicos.

i. Definir, identificando y caracterizando, el estado estructural actual de la iglesia Santa Ana de Valparaíso entregando antecedentes técnicos para un futuro proyecto de reparación estructural e intervención arquitectónica.

ii. Comprender las construcciones antiguas en cuanto a materialidades, tipologías y metodologías de construcción.

iii. Generar un modelo de análisis representativo del comportamiento actual del edificio y determinar el estado actual del mismo para su recuperación.

1.3. Metodología.

Las etapas a realizar para el desarrollo del presente trabajo de título son las siguientes:

a. Definir los antecedentes generales del inmueble: Se recopilará información tanto del inmueble en sí, como de la época y el entorno de este a fin de determinar la obra en su contexto local.

b. Recopilación de información presente de la obra: Se usará información histórica y técnica, se harán visitas a terreno, se completará la información visual con datos técnicos, llenando una ficha técnica de primera instancia y posteriormente otra especial para el estado estructural del inmueble.

c. Definición de los métodos de análisis de vulnerabilidad estructural. Método de primer nivel para evaluación visual, y de segundo nivel para análisis estructural.

d. Obtención de resultados y análisis de estos en la obra.

e. En base a los resultados, proposición de intervenciones de mejoramiento estructural.

1.4. Organigrama.

Al comenzar a investigar se han podido determinar las etapas a seguir para el desarrollo del trabajo. Siguiendo la metodología propuesta se ha podido contar con información suficiente para emprender con los lineamientos iniciales, con esto se ha determinado en gran medida el primer punto de la metodología y se tiene lo siguiente.

Capítulo I: Introducción: Se define motivación, alcances, objetivos planteados, metodología y organigrama.

Capítulo II: Antecedentes Generales: Se presenta la información básica de la obra tal como: Nombre, ubicación, arquitectura, estado de conservación, año de construcción, uso actual, revisión general del estado del arte.

Capítulo III. Recopilación de Información: Se entregará más información relevante de la obra, tanto de la información histórica concerniente ella, el entorno histórico, la ciudad de Valparaíso, los métodos constructivos de la época, como también los antecedentes estructurales de ella apreciados en la primera visita de tipo visual cualitativa. Se darán datos constructivos y estructurales de la misma.

Capítulo IV: Trabajo de Gabinete: Presentación de métodos o modelos aplicables, definición de este y aplicación del mismo. Se llegará a un primer nivel de apreciación del estado de conservación. Se hará el catastro del inmueble siguiendo la ficha especial propuesta y elegida. Se definirán hipótesis y datos relevantes.

Capítulo V: Análisis de resultados, Conclusiones y Propositiones.

CAPITULO II

ANTECEDENTES GENERALES.

2.1. Antecedentes generales.

a. Nombre: Iglesia Santa Ana.

b. Ubicación: Población Unión Obrera, detrás del edificio del mismo nombre, calle Balmes #114-116 esquina Eyzaguirre, Cerro Cordillera, Valparaíso, Quinta Región, Chile.

Ilustración 2.1 - Plano ubicación.



Ilustración 2.2 - Foto satelital cerro Cordillera.



Flecha roja indica iglesia, norte hacia arriba. Fuente Google Eearth

c. **Arquitectura:** La Iglesia es de tipo chilota, y su estilo esta evidentemente inspirado en el clasicismo, habiendo dos intenciones predominantes. La primera es el estilo románico, dado por el volumen de la gran masa que constituye el cuerpo de la capilla, la falta de luz debida a la pequeñez de ventanas, las que van en orden de los vanos entre pilares interiores, no pueden restarle volumen ni conseguir alivianarlos, todo lo cual va acorde al estilo con el objeto de que haya recogimiento. La segunda intención se puede apreciar en el frontispicio de la fachada principal, el cual corresponde a un estilo neoclásico inspirado en el orden dórico, entregando una sensación volumétrica de liviandad y de tridimensionalidad que en las otras caras sería solo bidimensional. Este pórtico esta compuesto por columnas pareadas y un frontón triangular que actualmente esta perdido, pero que en el pasado estuvo compuesto por un entablamento con triglifos.

Hacia el interior la forma de la planta es rectangular, con tres naves centrales longitudinales. La componen 4 muros perimetrales de albañilería de ladrillo o adobe, de entre 0,9 y 1,2 metros de espesor en la base considerando el revestimiento, Estos tienen hasta 7 metros de altura. Los muros laterales están recubiertos exteriormente como se ve en la primera foto de la ilustración 2.2 con planchas de zinc corrugada pintadas de amarillo. Se cree que el recubrimiento exterior tanto de muros y el frente como de techumbre (ilustración 2.3 segunda foto), no es original, al ser planchas de material corrugado que difícilmente existían en la época de construcción de la iglesia. El frente tiene las 6 columnas de albañilería pareadas con antepecho las cuatro

laterales, y al medio de ellas una puerta doble de entrada principal. El interior consta de dos hileras de columnas longitudinales en arco, que determinan las naves, los cuales están conectados en arcos iguales transversalmente. El techo de madera, está estructurado con vigas de madera que descansan sobre los muros y los arcos también son de madera. La parte superior de la nave central consta de una terminación en forma de cañón que recorre la iglesia longitudinalmente y que une los ejes longitudinales de arcos semicircunferenciales entre pilares. En el frente sobre el pórtico existe una torre de madera, donde se encuentra el campanario. Como se puede ver en la primera foto de la ilustración 2.3, el terreno presenta una pronunciada inclinación en la dirección noreste y la fachada es continua. Lateralmente a ambos costados, presenta cuatro ventanas simétricas pareadas a un portón secundario, que ya no funciona como tal en el presente. El frente presenta materiales modernos como hormigón, que deben reemplazar el antepecho que debe haber existido originalmente pero de albañilería.

Ilustración 2.3 – Foto Iglesia Santa Anna. Fuente propia 2008





d. Estado de conservación: Con esto se referirá al estado presente en que se encuentra la obra, tanto desde un punto de vista visual como desde un punto de vista utilitario.

Un inmueble está siempre expuesto al deterioro natural debido a las condiciones ambientales que lo rodean. En este deterioro influyen varios factores que podrían afectar la conservación. Algunos de ellos afectan la construcción estructuralmente solicitándola y haciendo que esta falle, y otros la afectan desgastándola progresivamente. Entre los primeros, la mayoría son de tipo climático, como vientos, lluvias, nieve, mareas, etc., pero también influyen algunos otros como las cargas de uso, las sísmicas, la fatiga, los incendios, el suelo de fundación, etc. Dentro de los segundos en cambio, están factores ambientales que inciden más según el tiempo de exposición, como por ejemplo la humedad, factores químicos, corrosión, gradientes de temperatura, erosión, etc.

Ninguno de estos factores se puede controlar por completo de tal manera que no afecte una obra, pero existen medidas de diseño y mantención según se considere la influencia de ellos, para que así, no acaben con una obra constructiva durante un tiempo determinado.

En el caso de esta obra ubicada en Valparaíso, se presume el principal factor estructural que ha influido en el deterioro de la misma, es el factor sísmico, aunque no se descartan los otros al apreciarse carencia de mantenimiento. La importancia de los sismos se explicará con mayor profundidad más adelante en el siguiente capítulo, pero en la inspección en terreno de la obra se vieron daños aparentemente severos, como por ejemplo la rotura y vaciado de muros, daños

que indicarían que el estado de conservación es malo, tal como lo sugiere el letrero de peligro en la puerta del inmueble, y que este mal estado se debería principalmente al factor sísmico.

Para tener una opinión más acabada del estado de conservación, se hizo un análisis cualitativo de la obra, cuyos resultados se ven en el capítulo 4, en donde se fundamenta con la visita a terreno realizada, el estado de ella.

e. Año de construcción: El año de construcción de la iglesia según se ha averiguado, de la poca información documentada de la época, correspondería a finales del siglo XIX aproximadamente en 1882 (Vicente, 1890). Según se ha investigado, sería contemporánea a la época en la cual se empieza a poblar fuertemente el Cerro Cordillera, que es en donde se encuentra el inmueble ya que los religiosos de la época estimaban necesario erigir un templo para evangelizar la zona. El Conventillo de la población unión obrera se re-inaugura en 1898 (Mercurio, Urbina) y se estima que la iglesia funcionaba en aquel entonces.

f. Uso Actual: Actualmente está en desuso y se encuentra clausurada, pero en principio fue utilizada como templo religioso y en el último tiempo se le había empleado como bodega.

g. Usos Anteriores: La información histórica de la obra en cuestión se desconoce, y se dispone de pocas fuentes que puedan hacer que se llegue a un conocimiento acabado de la vida de la obra hasta el presente. Si bien esto puede ser desalentador, el no llegar a tener un conocimiento pleno de cada intervención o uso que el inmueble tuvo en el pasado, no será razón para no terminar con el trabajo investigativo, sino que podría haber aportado aun mas el conocer estas intervenciones o usos para entender mejor como se llegó al estado actual y quizás con ello alcanzar una mayor precisión en el diagnostico del estado presente de ella, al cual se puede igualmente llegar por otros medios. Se han podido hacer conjeturas al respecto tanto por el tipo de construcción como por lo visto en terreno. Se desprende de los escritos de Vicente 1890, y como es lógico pensar, que como uso anterior primario, la iglesia fue usada en su origen como un pequeño templo religioso católico, con el objeto de evangelizar la comunidad que la rodeaba. Es posible que en algún momento haya dejado de usarse de esta manera por razones como el deterioro de la misma o por el hecho que los propios religiosos a cargo hayan decidido usarla de otra manera, en este sentido en la comunidad se preguntó por esta información y algunas versiones cuentan que la iglesia habría sido ocupada como bodega. Se han encontrado fotos e informes que sugieren que el abandono ocurrió poco después de 1977, puesto que hasta entonces, la iglesia todavía celebraba misas y tenía bancos y dos altares mas al fondo de cada una de sus naves laterales.

h. Intervenciones Anteriores: Al igual que lo dicho previamente, se conoce poca información en este sentido, y muy probablemente no haya información, ya que la mayoría de los registros de las intervenciones a edificios importantes en Chile se ha perdido o simplemente no se ha recopilado o archivado. Esto no quiere decir que la información no exista y que por ello no se seguirá con la investigación, pero al igual que se dijo anteriormente, esta información podría haber servido de complemento al desarrollo de esta investigación.

De todas maneras se pudo ver que hay reemplazo de material en algunos muros, y que este reemplazo se hizo con otro material de albañilería y en otro orden en la colocación de las unidades de albañilería, lo que sugiere que tuvo daños importantes que fueron tratados como

un mero reemplazo con material nuevo, cambiando por ende la materialidad existente, y que en otras ocasiones se sugiere la presencia de material no original en un vano que fue tapiado en dos ocasiones distintas, primero por adobe y luego por ladrillo en pila. También se puede ver que el recubrimiento exterior de material corrugado amarillo, va sobre la capa de estuco, la cual presenta un color pálido, lo que sugiere que este estuco deteriorado perdió su color y luego su materialidad y fue tapado posteriormente por este nuevo material. Situación similar debe haber ocurrido con el techo que es del mismo material corrugado, y que por lo visto en grabados de la época se usaba teja como cubierta de techo. Las bases de los pilares tienen hormigón, pero bajo ellos hay presencia de ladrillo, lo cual indica que pueden haber sido intervenido en dos ocasiones. Hay piezas de madera mas nuevas que otras, lo que sugiere también reemplazo de material, además de presencia de escuadras de placas de metal apernado en algunos encuentros de madera, que carecen de oxido y cuya pintura aparece en buen estado. En la comunidad se dice que estos arreglos habrían ocurrido posteriores al terremoto de 1985, y por lo moderno de los materiales, es posible que esta información este correcta.

También en un croquis se encontró que el frontón actual no correspondería al original, tal y como se supuso en primera instancia, y que el original que tenia detalles de terminaciones mejores, debe haberse caído por falta de amarre o debe haber estado en una situación de riesgo tal que fue removido y reemplazado por el actual que consta de un mero panel de madera recubierto por planchas de zinc sobre planchas de madera aglomerada de mala calidad.

Todos estos daños padecidos por la Iglesia, pueden haber sido considerados no suficientes como para comprometer la estructura, y puede haber seguido usándose como centro religioso posterior a ellos.

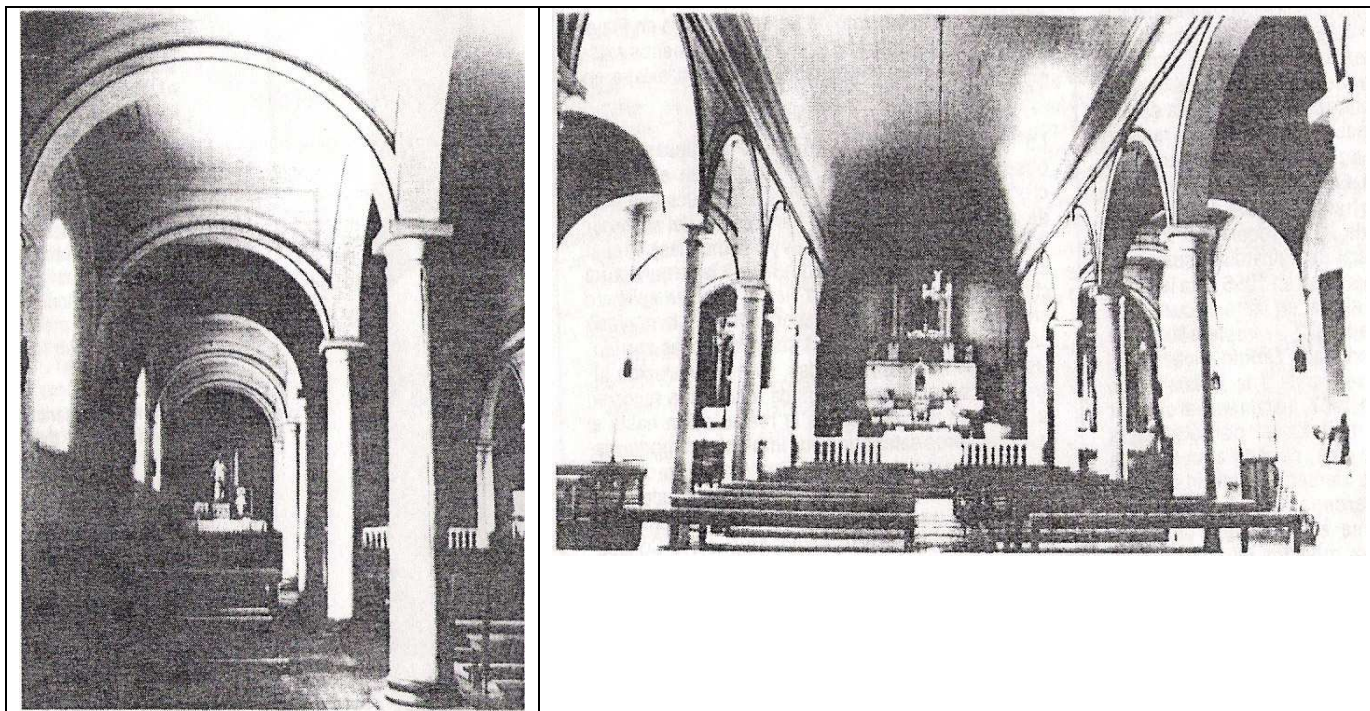
Ilustración 2.4.



Fuente Waisberg 1992.

En esta fotografía tomada antes de 1992, se puede ver que el frontón era como se describió con triglifos, estilo neoclásico dórico, la fachada lateral ya tenía material de zinc corrugado.

Ilustración 2.5.



Fuente Waisberg 1992.

En las fotos superiores se ve la nave lateral izquierda que termina con un altar inexistente en la actualidad, y la nave central abovedado en forma de cañón por el cielo falso. Se nota una baranda que separa la zona del presbiterio de la zona donde se encontraban los feligreses.

CAPITULO III

RECOPIACIÓN DE INFORMACION.

3.1. Antecedentes históricos.

a. Reseña Histórica.

VALPARAISO

La ciudad de Valparaíso, en la que se encuentra la iglesia Santa Ana, según el consenso de muchas fuentes históricas, nunca fue fundada, y de hecho se desconoce el origen exacto de la ciudad, cuyo crecimiento fue más bien espontáneo. Se cree que la bahía fue descubierta por españoles en la expedición desastrosa de Diego de Almagro en el año 1536, y que un subalterno de él, el capitán Juan de Saavedra, habría llegado a esta bahía en los primeros días de septiembre del mismo año, con el objeto sirviera de lugar para bajar las provisiones del Santiaguillo, pequeño barco que ayudó en la expedición. Según Le Dantec, Pedro de Valdivia habría respetado este hecho cuando mandó gente a la costa central en 1541, reconociendo incluso el nombre de Valparaíso, que correspondería al nombre del lugar de origen del capitán Saavedra. Aun con esto, en Valparaíso ya habría pobladores indígenas en pequeñas chozas que vivían a lo largo de la costa y en particular cerca de la zona puerto donde había una pequeña caleta, llamada del Quintil. Rodríguez y Gajardo, 1906.

Los españoles no preferían establecerse en la costa por el peligro de estar expuestos a ataques provenientes del mar, ya sea de corsarios, piratas u otras amenazas. De esta manera la ciudad fue creciendo sin una organización preconcebida por alguna autoridad, y fueron más bien los propios lugareños quienes empezaron a urbanizar el sector.

La bahía de Valparaíso estaba orientada hacia el norte, y la rodeaban cerros de entre 200 y 400 metros de altura, que la protegían del viento sureño, lo cual favorecía el arribo de los barcos a vela de la época, todo lo cual le daba este aspecto de anfiteatro natural característico, (Sáez, 2004?). Entre los cerros y la costa había una pequeña franja de tierra plana e irregular según las aguas de las quebradas que la atravesaban, con una playa que a veces llegaba hasta los faldeos de los cerros.

Por sus particulares características geográficas, la ciudad era en un principio, más fácil de poblar en las zonas planas cercanas al mar, que en las altas de los cerros que rodean la bahía. El plan, separado en barrio puerto hacia el oeste y la zona del Almendral hacia el este, se habría poblado primero desde el puerto hacia el almendral y posteriormente a ello, se habrían poblado los cerros, empezando por los cercanos al barrio puerto tales como el cerro Castillo (actual Cordillera), el cerro Alegre y el cerro del Cabo o del Chivato (actual cerro Concepción).

El poblado que había en la bahía empieza a cobrar importancia recién después de mediados del siglo XVII, en donde el comercio de la capitania de Chile con virreinato del Perú genera que

el almacenaje en bodegas empieza a cobrar importancia tal, que los corsarios lo vieran como un lugar de interés para sus ataques y saqueos. Esto generó que el gobierno tomara medidas de defensa para el puerto y ordenara la construcción de baterías de cañones, un fuerte y que más tarde el puerto fuera nombrado finalmente Plaza de Guerra o Plaza Fuerte en 1681, condición que le dio independencia administrativa a la ciudad y una autoridad militar a cargo de ella permanente, con su respectiva guarnición permanente también, todo lo cual le aumento la población de manera sustancial pasando de alguno cientos a algunos miles de habitantes.

Con todo esto, como se puede ver en el recuadro, en el periodo se construyen los primeros edificios relevantes. El fuerte a construir mencionado anteriormente, fue el llamado Castillo San José, se hizo también la batería del Cerro Concepción, la Iglesia de la Matriz, y las bodegas que eran cada vez más, y más grandes también, para guardar por ejemplo el trigo a exportar al Perú y no se sabe con precisión cuando, pero se instaló después del Castillo, una pequeña aduana conocida posteriormente como aduanilla, en los faldeos del cerro Castillo.

Tabla 3.1.

| Año de Construcción | Edificio | Ubicación | |
|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| 1548 aprox. | Capilla de la matriz | Barrio puerto | Primera capilla, futura iglesia de la matriz |
| 1620 aprox. | Iglesia Parroquial de la Matriz | Barrio Puerto | La misma anterior ahora con cementerio y más importancia. |
| XVII | Iglesia San Agustín | Barrio Puerto | |
| XVII | Capilla | Almendral | Primera capilla en Almendral |
| XVII | Iglesia de Los Mercedarios | Almendral | |
| 1594-1624 | Castillejo San Antonio | Cerro Concepción, Cerro Artillería | Primera defensa del puerto |
| 1670 aprox. | Fuerte de la concepción | Cerro Concepción | Pequeña batería para repeler renuentes ataques piratas |
| 1681-1692 | Castillo San José | Cerro Cordillera | Fuerte para defensa de ataques desde el mar |
| XVIII | Castillo del Barón | Cerro Barón | |
| 1841 | Aduana de San Agustín | Barrio Puerto | Fue ocupada después como tribunales de justicia hasta 1929 en que fue demolido |
| 1855 | Edificio de la Aduana | Barrio Puerto, Plaza Wheelwright | Arquitecto Juan Brown |
| 1870 | Colegio Alemán | Cerro Concepción | |
| 1881-1883 | Palacio Luis Cousiño | Barrio Puerto, Calle Condell | Autor Esteban Harrington |
| 1888 | Palacio Subercaseaux | Barrio Puerto, calle Serrano | Autor Fermín Vivaceta |

Fuente. Sturm (2008) y Trigueros del Pino (2002).

En el siguiente siglo XVIII, los pocos o nulos ataques hicieron obsoleto el Castillo San José, y éste se ocupaba más bien de forma administrativa que defensiva. Los terremotos de este siglo iban a deteriorar los fuertes y a hacer que la defensa de Valparaíso fuera casi nula hacia el término de la colonia. La ciudad sin embargo siguió creciendo a un ritmo lento pero constante, debido entre otros factores al auge económico de la zona (capitanía de Chile), que se convertía en el abastecedor del virreinato del Perú, a la ubicación del puerto respecto de las rutas de comercio internacionales, y al contrabando con Francia y en menor medida con Inglaterra. Así fue como las autoridades tanto de Valparaíso como de la capitanía, fueron viendo la necesidad de subir de categoría el poblado, nombrándolo como ciudad. Después de largas esperas por los lentos procesos administrativos de la colonia, Valparaíso celebra su primer cabildo el 17 de abril de 1791 y es nombrada ciudad el 9 de marzo de 1802 por el Rey Carlo IV (Le Dantec).

Este crecimiento, tanto en tamaño e importancia, como en lo económico, estaba frenado por la obligatoriedad por parte de la Corona de comerciar únicamente con España y sus colonias, y se aceleraría fuertemente en el siglo XIX al llegar la independencia del país y con ello la libertad

comercial, en donde el Puerto se convierte en paso obligado del comercio en el Océano Pacífico, el puerto más importante del país y quizás la segunda ciudad en importancia del mismo después de Santiago. La población aumenta significativamente (ver tabla siguiente), y en busca de espacio, se pueblan el resto de los cerros y del plan. En este siglo se amplía el plano hacia el mar, quitándole espacio al mismo con rellenos tanto en el puerto como en el almedral.

Tabla 3.2.

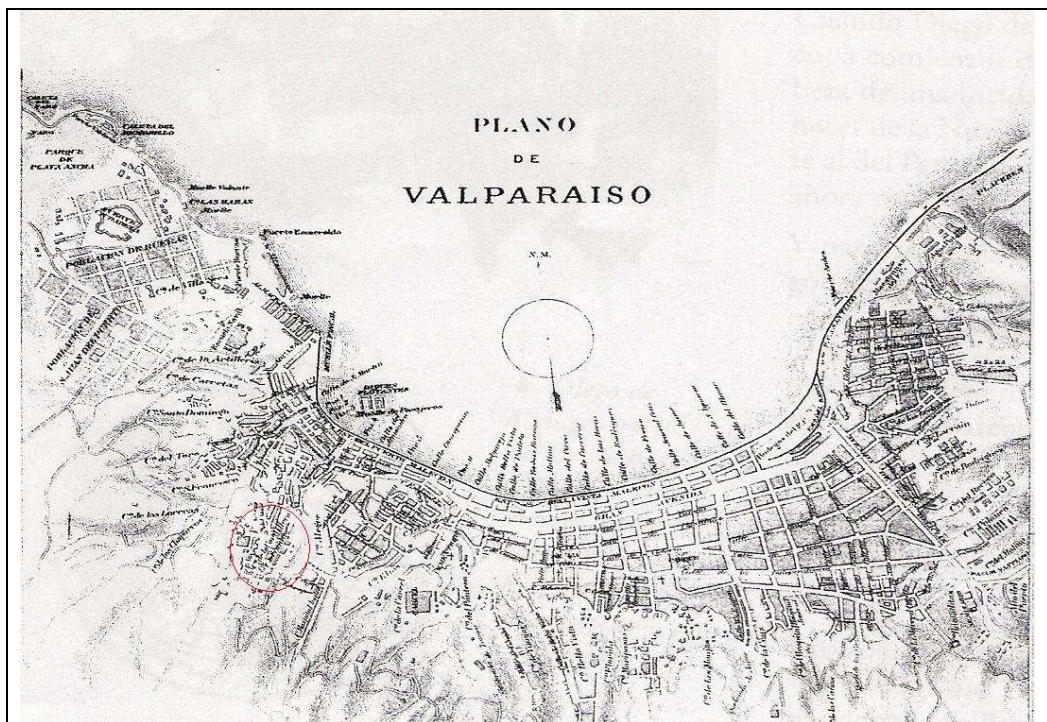
| Año | Censor | Habitantes |
|------|---------------------|------------|
| 1795 | Rodríguez y Gajardo | 4500 |
| 1819 | Caldcleugh | 5000 |
| 1821 | Bladh | 12000 |
| 1822 | Graham y Stevenson | 15000 |
| 1828 | Bladh | 20000 |
| 1836 | primer censo | 24316 |
| 1840 | | 40000 |
| 1856 | | 52413 |
| 1861 | | 70000 |
| 1876 | | 97000 |
| 1880 | | 100000 |
| 1885 | | 122447 |
| 2001 | censo 92 | 295203 |

Fuente Sáez Godoy, 2001

CERRO CORDILLERA

El Cerro Cordillera, antes llamado Castillo, al parecer por el Fuerte o Castillo San José que se ubicó ahí en el siglo XVII, fue poblado en un principio, de forma disgregada y poco densa, ya que el plan de la ciudad era el lugar más poblado, y solo se empezaron a poblar los cerros una vez que en el plan empezara a faltar el espacio. El cerro toma su nombre al parecer de una simple característica descriptiva del mismo. En él se colocó una batería en la que después se haría el conocido Castillo de San José, y que ocuparía casi todo el cerro, cuyas baterías fueron pintadas de color blanco. Este Castillo más tarde se convirtió en la cárcel, capilla militar y casa del Gobernador, y a sus pies estaría la primera aduana, llamada aduanilla, en la calle Serrano. Para entonces, el cerro estaba compuesto por el Cerro Los Chaparros, Las Loceras, el mismo Cordillera o del Castillo y el Blanco a raíz del color del fuerte en la parte superior del mismo, sin embargo toda esa zona se ha ido llamando con el tiempo únicamente Cerro Cordillera. (Le Dantec, Sáez Godoy 2001).

Ilustración 3.1.1.



Plano de Valparaíso, 1879. Dibujado por F.A. Fuentes, en E. Espinoza, “Geografía Descriptiva de la Republica de Chile”, Paris, Francia. Fuente Le Dantec.

Como se había dicho anteriormente, este cerro (círculo inferior izquierdo) al estar cerca de la zona del barrio puerto, fue de los primeros cerros en ser poblado, y sin embargo, solo se empezó a poblar de forma masiva hacia el siglo XIX.

A raíz de este mismo fenómeno demográfico de aumento explosivo de población, en conjunto con movimientos sociales, como el traslado de la población desde el campo a la ciudad en busca de mejores oportunidades, en la ciudad de Valparaíso se genera la necesidad de construir viviendas y edificios de importancia, como por ejemplo la aduana, el diario el Mercurio, el palacio Cousiño, el edificio Liberty, etc., que harían que la ciudad tenga un aumento importante de construcciones y no necesariamente de las de tipo formal. Es así como también en esta época surgen los conventillos, construcciones habitacionales generalmente constituidas por un grupo continuo de piezas, una al lado de otra, organizadas en forma de u, que daban a un patio central común, en donde habría baños comunitarios, los que buscarían satisfacer las necesidades de vivienda para los sectores más vulnerables de la población. La mayoría de ellos surgieron de forma espontánea e informal, y sus condiciones de vida no eran particularmente buenas (Mercurio).

Un ejemplo de esto ocurriría en el Cerro Cordillera, en donde se tomó un antiguo conventillo, y se transformó en uno formal de tres pisos para los obreros de la “unión Social de Orden y Trabajo”. La población unión obrera, se inauguró en 1898, por obra de Juana Ross (Urbina), en una época en que la población aumentaba casi descontroladamente, y en que los conventillos empezaron a aparecer como una solución parche a este fenómeno “nuevo” que estaba ocurriendo en las tres principales urbes chilenas (Santiago, Concepción y Valparaíso). En el

caso de Valparaíso, en la zona del almendral, esta situación se haría frecuente, y para el terremoto de 1906, sufrirían las peores consecuencias de esta “improvisación”.

Continuando con la situación del Cerro en esta época, el Cerro Cordillera antes de la construcción del conventillo, al parecer se había ido poblando por sobre la altura del Castillo, de forma desprolija y desordenada, generándose una situación social más bien de pobreza y criminalidad que hizo necesario para la autoridad eclesiástica de la época (1877), la construcción de algún templo para “cristianizar” a los “incivilizados habitantes del sector, lo cuales estarían siendo influenciados por el diablo, y que no tenían en la zona alguna iglesia que los llevara por el camino de la moral cristiana”, según lo que se desprende de textos como el de Vicente. Siguiendo con lo escrito por el mismo autor, tres años tomo recaudar los fondos, y en 1880 se abrió dado la autorización para empezar la construcción de una iglesia en aquel lugar a tanta altura del cerro y de tan difícil acceso. Recién en Agosto de 1882 el “ltmo. Sr. Obispo de Martyrópolis y Vicario Capitular de Santiago erigió en vice-parroquia de Salvador, dedicándosela a Santa Ana, madre de la Santísima Virgen”. La capilla habría costado quince mil pesos y con un poco mas podría “dejar bien servidos a seis o siete mil habitantes que tienen en sus alrededores”. Se cree ésta sería la iglesia que interesa analizar en este trabajo, y como se desprende de las palabras ya el cerro, incluyendo en estas partes altas, estaría bastante poblado.

Para finalizar, retomando el tema de la ciudad, no se puede pasar por alto la influencia histórica del terremoto de 1906 en esta ciudad y en el país, este sismo no solo derribó un gran número de construcciones en Valparaíso, sino que además a continuación de él, se produjo un incendio que duró tres días y que quemó gran parte de las construcciones de la ciudad, con lo cual las pérdidas económicas y de vidas humanas fueron significativas. Como la ciudad ya era importante en el contexto nacional de la época, y la catástrofe antes mencionada no podía pasar inadvertida, entonces en el país se amplía una preocupación por la forma de hacer construcciones de manera de disminuir estos daños por causas sísmicas en el futuro. Esta preocupación empezó con la implementación de reglas y medidas constructivas que generaría más tarde la norma chilena.

Posterior a este terremoto, Valparaíso se levanta lanzando al mar material y escombros que quedaron del sismo, y nivelando el terreno del plano que antes tenía ondulaciones provocadas por los causes que bajaban hacia el mar por las quebradas de los cerros. Con esto aumenta el área del plano principalmente en la zona del almendral. Luego producto de las consecuencias de este gran sismo, el crecimiento urbano en Valparaíso se vería afectado por la evolución de las nuevas medidas tomadas por las autoridades nacionales. Este periodo llamado también de reglamentaciones, abarca casi todo el siglo XX, llegando hasta el terremoto de Llole de 1985. En este último periodo, la ciudad se rehace y surge con fuerza, pero cambios económicos y sociales en el país y en el mundo, harían que la ciudad se deprima progresivamente y se descuide hasta el presente.

b. Influencia De Grandes Movimientos Sísmicos En Valparaíso.

La ciudad de Valparaíso sufre varios terremotos a lo largo de su historia, pero los primeros no están documentados ya que la ciudad era muy pequeña y por tanto no se conoce información relevante de la influencia de ellos. A pesar de lo anterior, se puede hacer una analogía con el caso Santiaguino para estas épocas, ya que un terremoto que tenga influencia en Santiago,

puede influir gravitadamente en Valparaíso al haber una distancia entre ambas ciudades que hace que la diferencia de intensidad entre ambas ciudades no sea tan grande, e incluso por motivos que se explicarán más adelante, el tipo de sismo más frecuente (por subducción) que ocurre en Chile hace que en la costa, o en este caso Valparaíso, las intensidades sean más altas que en el interior del territorio nacional. Posteriormente, los sismos empiezan a dejar una huella importante en la ciudad de Valparaíso, en especial los de la tabla 3.3, puesto que algunos la cambiarían físicamente y otros afectarían la manera de construir en ella.

Tabla 3.3. Sismos relevantes con epicentro frente a costa de Valparaíso.

| Año del suceso | Intensidad escala Richter (M) |
|----------------|-------------------------------|
| 1647 | 8,5 |
| 1730 | 8,75 |
| 1822 | 8,5 |
| 1906 | 8,2 |
| 1985 | 7,8 |

Fuente. Resumen (Iomnitz, 1971) y Comte et al. 1986.

A estos sismos de la tabla en la costa central, habría que agregar el experimentado en 1575 en el sur del país que arrasó todas las ciudades sureñas a Concepción y que se sintió violentamente en Santiago, teniendo características de maremoto posterior a él. Y habría que agregar también el de Concepción en 1751, que si bien no tuvo su epicentro en la región, causó daños relevantes, con movimientos de aguas violentos. Aquí se hará una descripción de las consecuencias de estos terremotos en la ciudad de Valparaíso o en el país, estableciendo los daños causados por ellos, el tipo de construcciones de la época y las medidas adoptadas en el periodo posterior a ellos según la información recopilada por Trigueros del pino en su memoria y por Iomnitz.

En el siguiente subcapítulo referenciándose en la memoria de Trigueros del Pino, se colocará los periodos entre estos sismos relevantes, colocando primero las características constructivas del periodo, luego los daños, y finalmente las consecuencias.

-Periodo 1536 a terremoto en zona central 13 de Mayo de 1647:

En esta época las construcciones más relevantes eran ermitas y capillas de adobe. Estas estaban constituidas por plantas rectangulares, poca altura, un solo acceso central, techumbre a dos aguas de paja. En Santiago se construyeron iglesias más grandes influenciadas por la arquitectura hispánica y peruana donde imperaba el estilo Mudéjar.

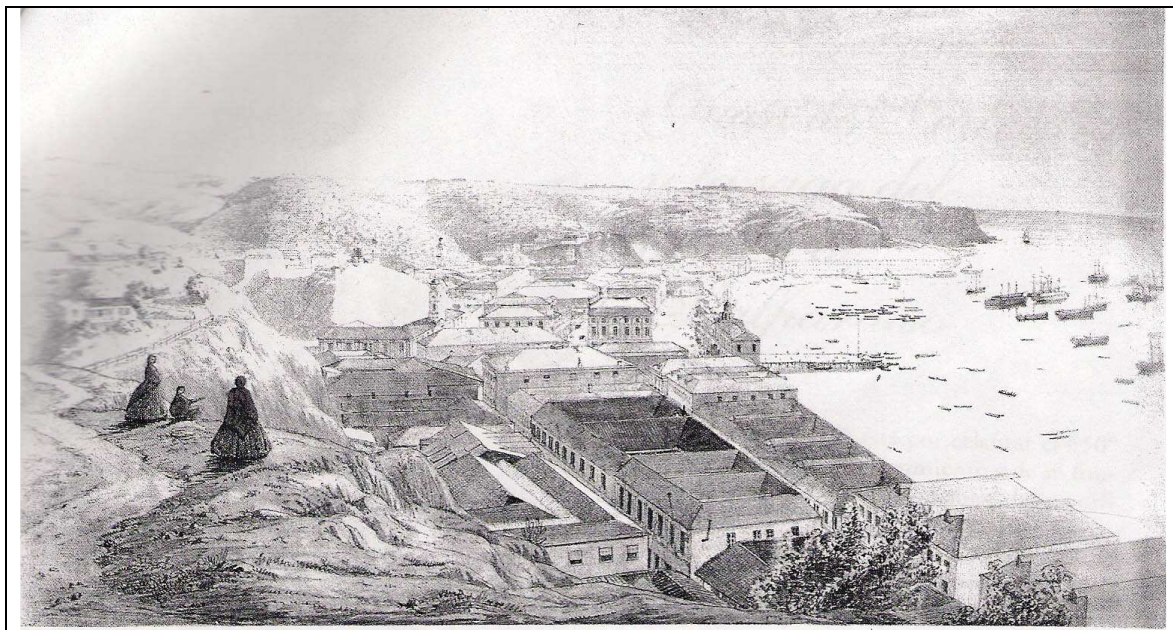
Los daños en la ciudad de Valparaíso no están bien documentados, pero en Santiago se dice que habrían sido catastróficos, botando casi todo lo existente, y no sobrevivió ninguna de estas construcciones antes descritas, por lo que la única iglesia en Valparaíso también habría sucumbido a este sismo. Según Le Dantec, habría caído una de las 3 bodegas existentes y las otras quedaron maltrechas perdiendo sus techos de tejas, el resto de las construcciones como casas, quedaron destruidas también. Habrían perdido la vida unas mil personas en el país.

Las consecuencias de este sismo llamado “La gran ruina” (Le Dantec), según Trigueros del pino, serian gravitantes en el desarrollo constructivo del país, trayendo cambios en los métodos constructivos y la arquitectura de los edificios del país. Algunas medidas fueron: refuerzos en muros con contrafuertes, confinamiento de muros mediante elementos como soleras, cuñas y diagonales, aumento en espesor de muros, se reduce altura de muros, reemplazo de arcos y bóvedas de piedra por madera.

-Periodo 1647 a terremoto zona central sábado 8 de Julio de 1730:

Las medidas tomadas se aplicaron rápidamente y se construyeron varias iglesias en la zona central. En el puerto habría 5 templos religiosos entre iglesias y capillas, y se construyeron baterías y castillos, y bodegas más grandes (Le Dantec), implementando estas nuevas medidas. Se sigue usando mayoritariamente el adobe y ahora aparece ya desde finales del periodo anterior, el ladrillo de arcilla unido con cal. Las construcciones religiosas tenían el estilo mudéjar adaptado, el cual consistía en una planta de gran longitud respecto del ancho, constituida de tres naves, debido a que la madera utilizada en la techumbre, impedía salvar grandes luces. Se construyeron pequeñas torres anexas a la iglesia como campanario, ver ilustración, y de hecho la de la Iglesia de San Francisco en Santiago sobrevivió con daños al terremoto de 1647.

Ilustración 3.1.2.



Valparaíso desde el cerro Concepción. Anónimo, siglo XIX, c. 1860. Fuente Le Dantec

Los daños dejados por este sismo tampoco están bien documentados, pero existe bastante más información de las consecuencias y de cómo se presentó el mismo según los escritos de algunas autoridades. El sismo habría ocurrido durante el día empezando en la madrugada y continuando durante todo el día con tres grandes movimientos, la mayoría de la población por esta razón pudo ponerse en resguardo y no se lamentaron tantas pérdidas humanas como si

materiales. Según el gobernador del país “La fuerza del terremoto ha ocasionado, si no la total desolación de esta ciudad, una tan grande, cuya restauración es imposible vean los nacidos”.

El sismo de extraordinaria fuerza se sintió desde Copiapó a Valdivia y hasta el otro lado de los Andes en Córdoba Argentina. Sin embargo en el país las contracciones relevantes resistieron bastante mejor el embate del sismo y si bien sufrieron daños no hubo ruina total en las ciudades afectadas por el sismo salvo Valparaíso, en donde posterior al movimiento de la tierra, hubo un maremoto que entro con sus aguas en la ciudad unas cinco veces llegando hasta el faldeo de los cerros, llevándose todo cuanto encontraba a su paso, según narran los religiosos que presenciaron la catástrofe ocurrida en la noche.

La ciudad de Valparaíso fue la más afectada por este terremoto, según se deduce de las consecuencias descritas. El puerto quedó reducido a ruinas, y las construcciones en los cerros fueron gravemente afectadas, como por ejemplo el Castillo San José. Se perdió todo lo almacenado en las bodegas que colapsaron con el movimiento de la tierra, y que luego fue recogido por las aguas del maremoto. Según el gobernador que visitó la zona después de lo ocurrido, las murallas y construcciones de piedra fueron destruidos desde los cimientos, toda obra de mampostería fue destruida, y solo sobrevivió la casa del gobernador en el Castillo, aunque con severos daños, se había desnivelado hundiéndose la explanada en más de una cuarta. El sismo no dejó víctimas ya que la gente pudo subir a los cerros, pero las pérdidas económicas fueron devastadoras.

Respecto a las medidas tomadas posterior a este desastre, se introduce la utilización de armaduras de madera, refuerzo de muros con grandes y pesados contrafuertes, reemplazo de columnas por gruesos pilares, nueva reducción de altura de muros, con nuevos materiales alcanzan mayores luces para naves centrales.

-Período 1730 al terremoto del 16 de Agosto de 1906:

El periodo en cuestión continúa en principio influenciado por el estilo Mudéjar, pero a comienzos del siglo XVIII aparece el estilo barroco traído principalmente por los jesuitas y cuya influencia decaería hacia el fin de la colonia con la expulsión de los mismos de los dominios de la corona Española. Lamentablemente el terremoto de 1822 y las desgracias de incendios harían que casi no queden vestigios de este estilo en el territorio nacional. Ya en el siglo XIX con la independencia llega el estilo neoclásico que va a dominar en el país hasta el final de este periodo. Al territorio nacional llegan también nuevos materiales como el acero y el hormigón, aunque en Chile y Valparaíso seguía predominando la madera, el adobe y el ladrillo sin refuerzo o albañilería simple.

Al comienzo del período, se construía por artífices o aficionados, y hacia el siglo XIX las construcciones empiezan a ser adjudicadas a arquitectos tanto criollos como extranjeros, aunque casi exclusivamente para edificios de importancia mayor. Estos edificios eran construidos principalmente de albañilería de ladrillo cerámicos con mortero de cal de muy mala calidad (Rodríguez y Gajardo, 1906) y debe tenerse en cuenta también que los arquitectos extranjeros europeos venían de escuelas sin una concepción sísmica en el diseño y construcción de obras civiles.

En la ciudad de Valparaíso se consideran estas medidas posteriores al terremoto de 1730 y se construye mucho mejor sismoresistentemente hablando, que en el periodo anterior, y muestra de ello es que en este periodo hubo dos sismos importantes que no produjeron daños catastróficos como los que abren y cierran el periodo. Ejemplos de este tipo de arquitectura se pueden ver en la siguiente ilustración, en donde se aprecia el tipo de techumbre con tejas, algunos edificios neoclásicos y que los cerros empezaban a poblarse.

Ilustración 3.1.3.



Dibujo desde el Cerro Castillo, Chile Ilustrado, Tornero 1872.

En este periodo ocurren dos catástrofes intermedias que causaron grandes daños. El primero el terremoto de 1751 en Concepción, que se sintió fuerte en Valparaíso y habría dejado daños importantes aunque mucho menores que los de veinte años antes, y sumando el maremoto del mismo que se cree provocó la mayoría de los daños, más que el movimiento sísmico de la tierra. El terremoto de 1822 también sería relevante, según (Graham, 1824) produjo daños de importancia. Pero no tuvo casi maremoto y las medidas constructivas hicieron que los daños no fueran devastadores. Según Lomnitz, murieron 72 personas en Valparaíso, la mayoría de ellos en viviendas de adobe, los barcos en el puerto fueron dañados seriamente, ninguna casa de madera fue dañada y el maremoto fue bastante más moderado que los de anteriores terremotos, teniendo una altura de ola de 3 metros y no registrando daños.

Finalmente ocurre en 1906, uno de los terremotos más destructivos ocurrido en el país. Esta catástrofe está bastante bien documentada, y si bien muchas construcciones importantes soportaron el embate del mismo, la gran mayoría sucumbió catastróficamente. Se habla de la destrucción de la ciudad, la cual se debió en gran medida al movimiento de la tierra, pero también fue agravada por el posterior incendio que se generó y que acabó con la mayoría de las construcciones que habían sobrevivido al sismo. El movimiento sísmico se sintió en Tacna, Buenos Aires e incluso La Patagonia. La costa se levantó entre 40 y 80 cm, el maremoto o tsunami fue menor, con altura de hola de poco más de un metro sobre el nivel normal del mar, y

no registró daños en la ciudad por este efecto. El plano de Valparaíso fue destruido casi por completo, especialmente en la zona del Almendral en donde el suelo era de relleno, zona que se considera quedó en ruinas después del sismo. En los cerros la destrucción se debió mayoritariamente a causa del incendio que a causa del terremoto, aunque si hubo daños por el sismo.

Las consecuencias de esta catástrofe fueron significativas y comenzaría con ello el periodo llamado de regulaciones. En la ciudad, se pudo notar con claridad las diferencias en cuanto a daños estructurales entre las zonas que estaban sobre suelo con material de relleno, y las que no lo estaban en el plano, y sobre las que estaban en el plano con respecto a las que estaban en los cerros. Las construcciones en zonas sobre relleno fueron prácticamente devastadas, las que no, fueron dañadas pero no totalmente, y las que estaban en los cerros tuvieron daños no evidentes y mucho menores a los del plano.

También se pudo notar la diferencia de comportamiento en construcciones que presentaban algunas medidas sismoresistentes y las que no. La mayoría de las construcciones nuevas sin estas medidas se comportaron tan mal como las de adobe y fueron igualmente arrasadas. En este punto es necesario hacer notar que la explosión demográfica que experimentó la ciudad antes del sismo, provocó que se construyera una gran cantidad de construcciones sin medidas apropiadas para resistir un sismo de importancia y la mayoría de estas sucumbió a este terremoto, demostrando que era necesario normar de alguna manera las obras en el futuro.

Después del sismo de 1822, se produjo el trazado de calles más regulares y espaciosas en aquellos lugares que debían ser reconstruidos. Y después del sismo de 1906 se utilizó la coyuntura para replantear algunas calles y avenidas agrandándolas o rectificándolas, en donde por ejemplo apareció la calle Pedro Montt, se abovedaron los esteros como el de las delicias sobre el cual actualmente se encuentra la avenida Argentina, se hizo traslado de cañerías y de agua potable y desagües, y de gas, se repararon las líneas eléctricas y de tranvías, y como hecho notable se niveló el plan que antes era irregular e incluso existían sectores bajo el nivel del mar que se inundaban en las lluvias invernales, y para ello se utilizó material de escombros de la misma catástrofe. Esta reparación del plano hizo que el Almendral se valorizara posteriormente, y se construyeron muchos edificios de importancia en él como por ejemplo la Universidad Católica de Valparaíso.

-Periodo desde 1906 al terremoto Lolleo del 3 de Marzo de 1985.

El periodo comienza con la implementación del Servicio Sismológico en 1908, a cargo de la Universidad de Chile en 1927, y luego impulsado por el terremoto de Talca del año siguiente, se redactó un proyecto de ley que intenta reglamentar las construcciones en Chile, cuyo proceso termina con la puesta en práctica de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanismo en 1935, a pesar de haber sido redactada en 1931. Posteriormente, a consecuencia del catastrófico terremoto de Chillan de 1939, las autoridades nacionales decidieron modificar la ordenanza en sus regulaciones sismoresistentes, modificaciones que fueron introducidas en 1949. Estas reglamentaciones siguieron siendo modificadas y generaron posteriormente la norma chilena para edificaciones de 1974, la cual sigue renovándose hasta el presente, pero en sus aspectos básicos se han mantenido dichas medidas y han sido de gran eficacia para la seguridad sísmica de edificaciones y no serán tratadas en este trabajo ya que se pueden ver en

la norma del mismo año y las siguientes, pero su importancia en las construcciones presentes y futuras es fundamental.

El terremoto de 1985 termina con este periodo de reglamentaciones, y si bien no fue tan destructivo como los anteriores, fue un sismo muy documentado y probablemente el mejor medido de la historia hasta el presente, su intensidad, si bien menor que la de los grandes sismos conocidos en la zona, fue notable. Los daños están bien documentados y si bien existieron, están lejos de los dejados por los sismos importantes de tiempos anteriores, y no produjeron pérdidas en vida humanas en la ciudad de Valparaíso. El puerto se dañó gravemente conjunto con el de San Antonio que estaba ubicado más cerca del epicentro del sismo. Las construcciones antiguas que no estaban sujetas a las normas hechas posteriores a ellas, si sufrieron consecuencias importantes, y muchas de ellas quedaron gravemente dañadas.

Concluyendo con este periodo y lo expuesto en este subcapítulo, las consecuencias de este sismo fueron significativamente menores que las vistas en terremotos anteriores y esto confirmó que las medidas tomadas en la norma chilena, si bien mejorables, apuntaban en la dirección correcta, cual es evitar que un movimiento sísmico de gran intensidad atente contra la seguridad de las construcciones y con esto evitar colapsos y pérdidas de vidas humanas y reducir las pérdidas económicas.

En la ciudad de Valparaíso, se pudo notar con claridad algo que ya venía elucubrándose, cual es que la intensidad de los sismos era sentida con mayor fuerza en el plano en las zonas con suelo de relleno, que en las zonas sin relleno y aun menos en los cerros en donde el suelo está compuesto principalmente por roca. También se verificó que las obras construidas sin medidas sismoresistentes estaban mas susceptibles a ser dañadas importantemente ante una sollicitación sísmica como esta, que las que si tenían medidas y que cumplen con las normas de edificación como la actual.

Luego de haber revisado la historia de Valparaíso, se puede notar claramente que las principales amenazas para una construcción en ella, son los movimientos sísmicos y en segundo lugar los maremotos a consecuencia de estos mismos, muy por encima de otras amenazas ambientales como las que derivan del clima. También hay que hacer notar que los diseños constructivos deben incluir este factor en sus proyectos no solo para cumplir con las normas existentes, sino para no estar expuestos a posibles tragedias a consecuencia de este factor.

c. Arquitectura de Valparaíso siglo XIX

A principios de este siglo el país se independiza de España, y termina por tanto el periodo colonial chileno. Con esto las construcciones que dominaban el período anterior empiezan a quedar en desuso paulatinamente. Con la independencia la ciudad empieza a tener un auge económico que traería las nuevas tecnologías y estilos que se estaban empleando en Europa, puesto que este continente seguía teniendo una influencia cultural importante en el país.

Llegó al país la albañilería que dominó las construcciones del periodo, pero también llegó el hormigón y el fierro, aunque se hicieron menos construcciones de este tipo en este periodo. El adobe estaba en franca retirada e incluso sería prohibido en el periodo siguiente.

Referente al estilo, se puede decir que la expulsión de los jesuitas del imperio español en 1776, hace que el estilo barroco, propio del siglo anterior vaya en decadencia y sea reemplazado progresivamente por el estilo neoclásico. Sumado a lo nuevo convivían también estilos antiguos modificados criollamente como el estilo Mudéjar del que se habló anteriormente, el estilo colonial también continuaba existiendo, y en la autoconstrucción vernácula de la ciudad, se empezaron a preferir construir viviendas en madera, no necesariamente obedeciendo algún estilo en particular.

d. Formas Constructivas mas Empleadas en el Periodo.

Se ha investigado en este aspecto por dos caminos que deben ser relacionados con la inspección visual de la primera visita a terreno vista en este capítulo mas adelante. La primera línea dice relación con la información histórica arquitectónica de Valparaíso, con el objeto de poder colocar esta iglesia en el contexto que la rodea, en este sentido se conoce por ejemplo los materiales y técnicas de construcción empleados en Chile por periodo histórico, generalmente establecidos entre sismos de gran magnitud y llegada de nuevas tecnologías al país, y también se conoce el orden de avance urbanístico de la ciudad, pudiendo conocerse por ejemplo que el cerro Cordillera fue el segundo cerro en empezar a ser poblado en la ciudad. En cuanto a la segunda línea de investigación, ésta apunta a determinar la forma de construir con la materialidad de la que se disponía en la época de construcción como por ejemplo con albañilería de adobe en el pasado, en particular en edificios más importantes o de mayor envergadura como lo pueden ser consideradas las iglesias, y ésta investigación también suficientemente profunda entrega datos como por ejemplo cuales fueron las primeras medidas constructivas “sismoresistentes” que se emplearon en el país para este tipo de material, y contesta el cuando se empezaron a aplicar estas medidas, lo cual, como se dijo anteriormente, basta por si solo ya que debe ser contrarrestada con la realidad misma de la iglesia en cuestión que pudiera no haber sido construida como se hacía en la época en que ésta se erigió. En definitiva esta información puesta a disposición del lector, solo servirá como antecedente para contextualizar la construcción en cuestión, y no como referente de la realidad de la misma.

Entonces en la primera línea se puede decir, como se vio anteriormente, que producto de los terremotos, en Chile se aplicaron progresivamente, a medida que un sismo sacudía destruyendo las construcciones hechas hasta el momento, medidas constructivas que adaptaron los estilos extranjeros al contexto nacional, de tal manera de agregarle cierta sismoresistencia a las obras. Tal es el caso de por ejemplo un mayor ancho de muros y disminución de éstos con la altura. Pero también en adición, la aplicación de muros en direcciones principales, disminución de peso en altura, por ejemplo en el envigado de madera de los cielos o en las cerchas de los techos. También se reduce la altura de muros superiores y entre pisos.

Las fundaciones más comunes, eran o inexistentes, o zapata corrida de mampostería, generalmente de piedra pegada con algún aglomerante (cal con arena) parecido al mortero actual. El piso no tenía trabajo más que una nivelación y sobre el suelo se entablillaba con madera sobre una cuadrícula de maderos.

Hay aplicación de contrafuertes en fachadas y muros perimetrales. Se implementan las soleras en la parte superior de los muros. Disminución de luces, lo que resultó en construcciones de planta regular con una dirección evidentemente mayor que la otra. Hay mas trabazón entre muros por el hecho de que se construye con ladrillos endentándose con los de la otra dirección, incluso con colocación de escuadras de madera cada ciertos distancia como por ejemplo tres unidades o bloques, descartando en este caso por ejemplo, la soga en pila, vale decir una unidad de albañilería sobre la otra en la misma posición.

Los pisos superiores al primero reemplazarían lozas de materiales pesados, por lozas de maderas hechas de cuadrículas, lo cual no le quita tanta trabazón a los muros y si le disminuye el peso, que al parecer los constructores antiguos ya veían como una posible causa de mal comportamiento sísmico.

A finales del periodo (siglo XIX), se comienza a armar en el mundo la albañilería con fierro fundido, lo que después se llamaría albañilería reforzada, lo cual permitió construir edificios de mayor altura incluso en zonas sísmicas.

Más tarde también se emplearían los métodos de amarre de elementos, pilares y cadenas de hormigón, que rodean un muro de albañilería y que lo confinan, disminuyendo así su trabajo a la tracción provocada por momentos flectores sísmicos.

La mayoría de estas medidas mejoraron sustancialmente el comportamiento antisísmico y prueba de ello es que la mayoría de las obras antiguas que todavía sobreviven en la actualidad, contaban con alguna de estas medidas precautorias.

Sin embargo de lo anterior, en el periodo en cuestión (siglo XIX), paralelo a estos avances, hubo un retroceso, ya que la llegada de constructores europeos, principalmente arquitectos, con estilos arquitectónicos nuevos y de moda en sus países de origen que carecían de terremotos, hizo que muchas de las construcciones nuevas de este periodo carecieran de estas u otras medidas antisísmicas, con lo cual el terremoto de 1906, produjo gran daño en ellas, acabando con muchas de estas incluso, lo cual hizo necesario normar estas medidas constructivas en el periodo siguiente, como ya se explico anteriormente en el informe.

En la segunda línea investigativa entonces, se tiene que la materialidad de la iglesia es importante para conocer su forma constructiva. Esta materialidad esta separada en tres partes: fundaciones, muros y columnas, y pilares y techumbre. La primera parte no dista mucho de la empleada en construcciones de casas actuales y consistiría en cimientos en todos los bordes que componen muros o pilares. Estos cimientos estarían compuestos por piedras pegadas con mortero con una profundidad variable ya que el terreno está en desnivel, pero que no es menor al metro de profundidad. La segunda componente muros y columnas, estaría compuesta por albañilería que en ocasiones es ladrillo cocido y en otras es adobe o ladrillo secado al sol, al parecer según se ve en ciertas partes de la iglesia, habría colocación de maderos como pies derechos a manera de quincha, vale decir, la albañilería en estos casos es solo de relleno y la madera sería el material estructural. Siguiendo con el segundo componente, se empleó ladrillo

en la conformación de las columnas del pórtico, el cual es posible ver por las grietas que estas tienen.

Respecto de la albañilería, esta habría sido en Chile, así como casi en toda latinoamérica, constituida principalmente de adobe hasta el siglo XIX. Este adobe era de barro solo o con paja secado al sol, unidades de gran tamaño y peso que a un hombre le costaba levantar y cuya precaria medida de resistencia usada en ocasiones, era la de que una unidad simplemente apoyada en los extremos, soportare un humano en medio de la luz o algunas 2 o 3 unidades de adobe en el mismo lugar sin fractura visible. Posterior a eso, llevo el ladrillo, unidad más pequeña y que consistía en barro secado al horno, y que era posible producirlos en masa manteniendo cierta uniformidad, pero en la época no habrían fabricas en Chile y solo en pocos lugares en Sudamérica lo producían, ya que se prefería traerlo de Europa a modo de lastre para los barcos. También se empleó piedra como albañilería, pero los terremotos fueron desestimando este tipo de material constructivo y quedan muy pocas construcciones hechas así en el presente, y no en buen estado tampoco.

Las unidades de albañilería se pegaban con mortero de cal, extraída de las canteras de yeso, yeseras, o de cal, caleras, que se mezclaba con agua y arena. El cemento recién se fabricaría en el país en el siglo XX. Según Vargas (1998), la calera de Catapilco se empleo en la construcción de los almacenes fiscales en 1849.

El método constructivo era colocar unidades en hileras horizontales sobre una capa longitudinal de mortero y luego colocar sobre éstas otra capa de mortero y sobre ella la siguiente hilera con un orden o soga determinado que generalmente podría ser soga de media, que es poner la siguiente unidad sobre la junta de las dos unidades inferiores, y continuar hasta terminar elemento con este mismo orden. La calidad resistente del mortero era baja, ya que la gran mayoría de las veces éste se fabricaba manualmente en el lugar, quedando como consecuencia para una misma obra, un material muy heterogéneo, que por ejemplo en zonas al poco tiempo, se podía desgranar con el dedo. No se amarraban los paños ni con pilares ni con cadenas como se hace en la actualidad, aunque si en ocasiones se dividían paños con machones para marcar ejes los cuales servían de contrafuerte y de amarre vertical. La solera ya había aparecido pero su uso no era del todo corriente.

Continuando con la materialidad, en la tercera componente se empleó la madera como material estructural, como en los pilares interiores que componen las naves, los cuales son bastante gruesos, unas 8 pulgadas, de madera noble posiblemente roble o pino Oregón, la cual también estaría presente en las vigas transversales del cielo. Finalmente como parte de esta tercera componente, las cerchas que sostienen el techo también presentan madera que sería pino Oregón de menor sección transversal aunque colocadas de canto aprovechando la inercia del elemento.

Respecto de la madera, en la época de la iglesia, esta generalmente se importaba cuando se necesitaba emplear en elementos estructurales importantes como grandes vigas o pilares y se culminaba el techo con una armado de cerchas o tijeral de madera también, pero de menor calidad, la cubierta de la techumbre generalmente estaba constituida de tejas, las cuales podrían ser de arcilla, o también madera, y que en construcciones menores era muy frecuente el uso de paja. Las tejas de arcilla fueron también descartándose con el tiempo por el mucho

peso que le agregaban y su pésimo comportamiento sísmico que ya se apreciaba en aquella época.

Con respecto a las terminaciones cabe mencionar que la albañilería de muros generalmente se estucaba con barro, a veces mezclado con paja, como es el caso de la iglesia a tratar. Este barro generalmente era del mismo lugar en que se emplaza la obra y por ende, tampoco era suficientemente heterogéneo y esto hacía que en zonas se desprendiera con facilidad. Los elementos de madera están cubiertos por pintura o por entablados o ambos, como los que dan forma a los arcos interiores y al cañón central.

3.3. Antecedentes Estructurales.

a. Levantamiento de información.

La estructuración básica del inmueble está compuesta por cuatro muros perimetrales exteriores de adobe, mientras que los pilares interiores y techumbre constan de vigas y columnas de madera. Cuenta con aproximadamente 300 m² construidos en la base, y tiene una altura hasta la cumbrera del techo de 9 m., además de una torre sobre ésta de otros 6 m., llegando a una altura total de 15 m. desde la base de sus muros.

El piso no presenta trabajo aparente, y al parecer, es como se ha visto en otras obras de la época un entablillado de madera sobre el suelo razado existente.

Las vigas y columnas principales, al parecer de pino Oregón, estaban revestidas por madera de más baja calidad, dejando un espacio entre el madero estructural y la madera de revestimiento, es más, la forma de este revestimiento es distinta, y por ejemplo simula arcos semicircunferenciales que no son tales entre hileras. Este revestimiento se encuentra muy deteriorado y en ciertas piezas ya no existe si quiera.

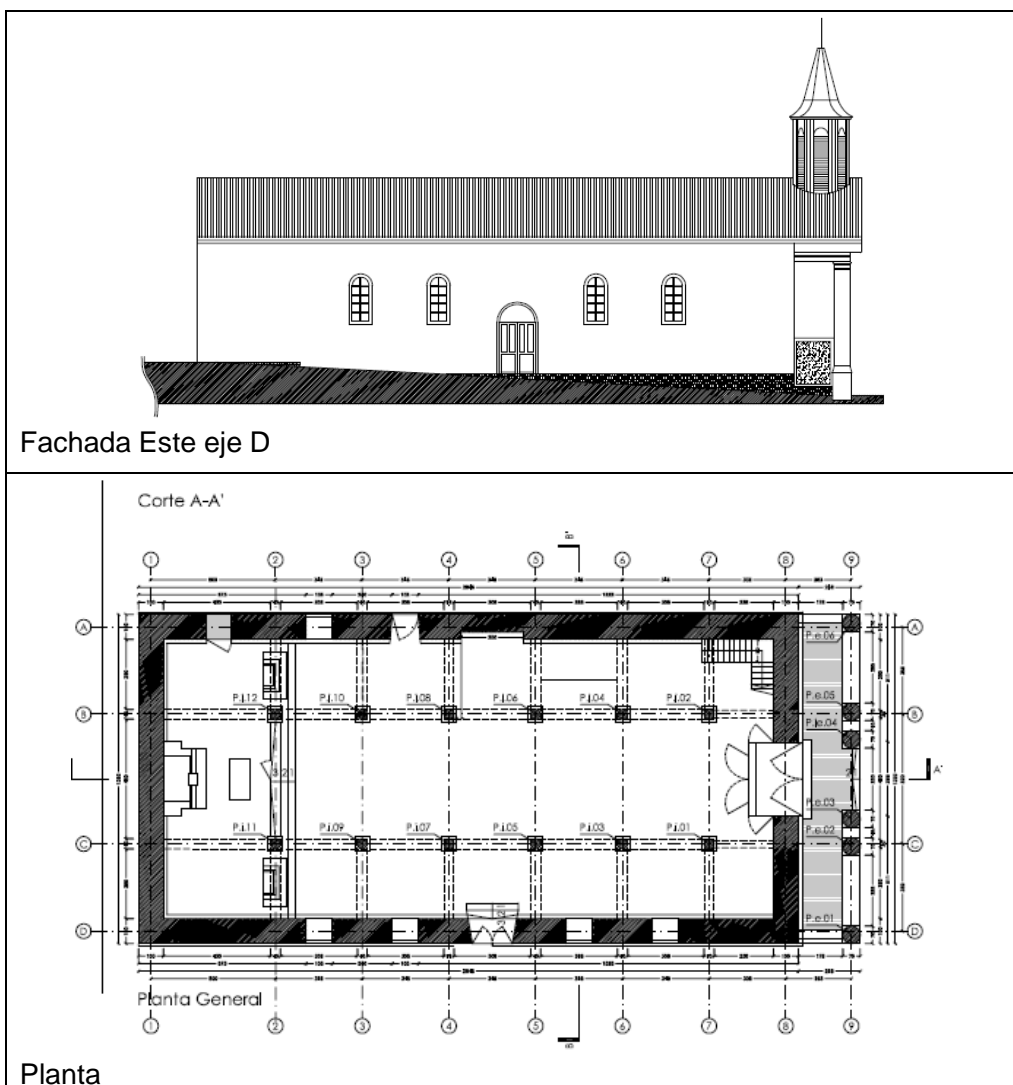
Se desconoce cómo son las fundaciones exactamente, pero se pueden hacer conjeturas según como se ha construido en la zona. Según la información recopilada anteriormente, las fundaciones en esta época podían ser de dos tipos, no existente, o de zapata corrida. Por lo que es visible, es muy probable que este edificio presente zapata corrida de mampostería de piedra ligada con un mortero de la época. Es posible que las dimensiones de la zapata sean las que son visibles en la parte frontal de la iglesia, manteniéndose pareja en dimensiones y nivel, ya que no presenta asentamientos diferenciales notorios.

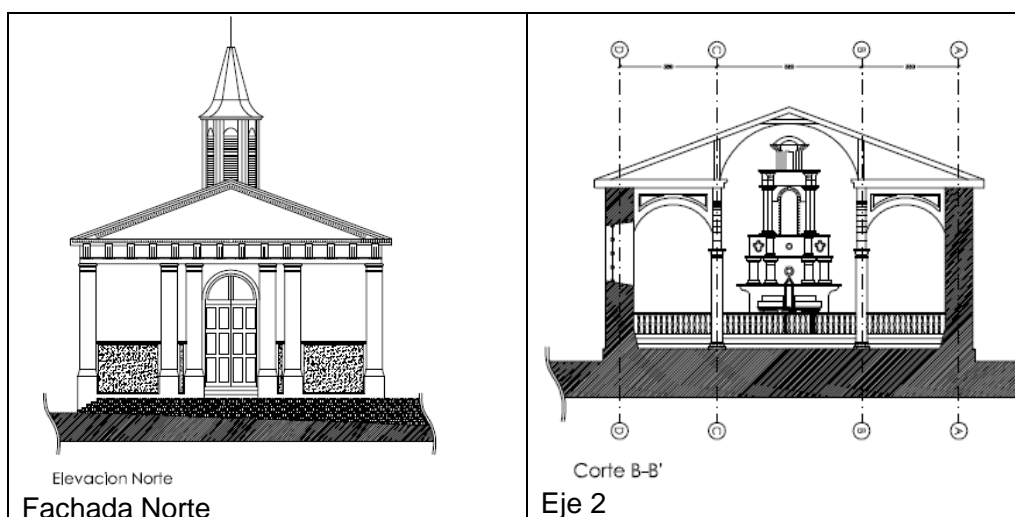
Con respecto a la techumbre, esta presenta cerchas que desde el interior tiene forma de arco en el vano longitudinal central y que unidas por el revestimiento del cielo en esta misma dirección generan la forma de cañón. Estas cerchas están arriostradas entre si en el borde del cañón que es sobre las hileras de pilares interiores, con crucetas. Entre cerchas en las naves laterales existe un entablamiento en una dirección, que es la transversal, al punto de tres vigas por vano sin contar con la cercha. Estas cerchas se apoyan en los muros en donde no se aprecia que haya presencia de anclajes, sino que más bien parece un apoyo deslizante con un espacio libre del espesor del muro lo cual es bastante. Muchas de las conexiones vistas entre

piezas de madera están reforzadas por uniones modernas con pernos pintadas de diferente color lo que sugiere distintos tiempos de reparación.

Como ya se dijo, se puede ver a simple vista que esta ya ha sido intervenida en oportunidades anteriores, pero por el momento se desconocen el carácter de estas intervenciones, la data y la magnitud de éstas.

Ilustración 3.1.- Planos generales Iglesia Santa Ana





Fuente. Archivos unidad técnica de patrimonio, Ilustre Municipalidad de Valparaíso

b. Tipo de suelo de la zona

Entre las características geográficas de la zona según Gajardo se puede decir que el puerto y ciudad de Valparaíso está situado en los $33^{\circ}2'$ de latitud sur y $0^{\circ} 59' 7''$ Longitud oeste, al borde de una bahía semicircular abierta al norte en una extensión de cerca de 3 kilómetros con un fondo y rodeada de cerros o collados pendientes de 300 a 400 metros de altura.

Entre la línea del agua y la base de éstos, se extiende un plano longitudinal estrecho en la parte del oeste y más dilatado en la sección oriental y sobre el se asienta la población, la cual también los declives y las mesetas de los mismos collados; asumiendo por esta circunstancia una disposición anfiteatral característica.

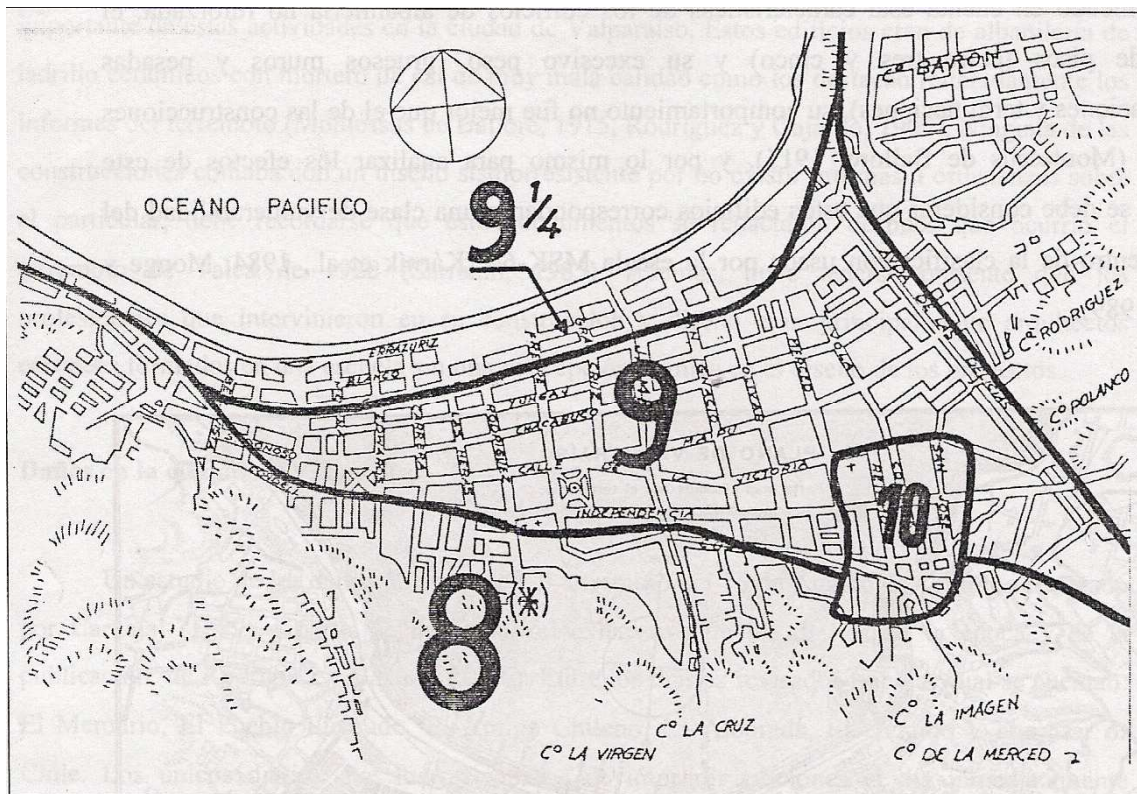
La obra se encuentra emplazada en uno de estos cerros, el cerro cordillera, a una altura sobre el nivel del mar de 100 metros aprox. ya que la calle cintura que pasa una cuadra más arriba de la calle de la Balmes, se hizo a una altura promedio sobre el nivel del mar de 100 metros.

Los cerros de Valparaíso tienen un origen geológico común, así que la mayoría de estos debiera presentar roca a poca profundidad. Según estudios la roca aparece entre los 3 y 30m de profundidad en la ciudad. Según la información de Sturm, de los análisis de Verdugo de 1995, el basamento rocoso es encontrable en las quebradas de la zona del Castillo san José, en afloramiento, y en promedio a 1,5 m de profundidad, lo cual se verifica ya que la zona del cerro Cordillera que rodea a la iglesia limita con pendientes muy pronunciadas como se ve en la foto satelital, y en donde se ve que aflora la roca. Se estima que la roca no debiera estar por debajo del metro y medio de profundidad.

La profundidad de la napa en el llano fluctúa entre el metro y medio, y los cuatro metros según los estudios anteriores de Verdugo, que no llegaron a tanta altura, con lo que para el caso de los cerros hay menos información y debiera verificarse en terreno en algún grado la información. En estos estudios con frecuencia se verificó que la rigidez en los cerros era alta lo que también se podría concluir de los análisis de intensidades sísmicas en la zona.

Como se concluyó en el subcapítulo anterior, sísmicamente el suelo en los cerros tiene una amortiguación de intensidad de entre uno y dos grados, lo cual justifica que en los cerros, salvo el terremoto de 1730 que dañó el castillo del cerro cordillera gravemente, los daños por sismos han sido menores que en el plan. También esto haría concluir que en el caso de un sismo fuerte de poco más de 8 grados, el nivel de intensidad que experimentaría una construcción en un cerro como el cordillera por ejemplo, sería de 7, lo cual ya lo coloca como un temblor fuerte pero no necesariamente un terremoto, esto se puede ver en los registros de sismo de 1985, por Canales y Perreta. Esta información es usada en muchos proyectos sobre construcciones en Valparaíso y la fuente principal viene de un estudio de intensidad MSK hecho por Carvajal para el terremoto de 1906, el cual se ve en la siguiente ilustración.

Ilustración 3.2.



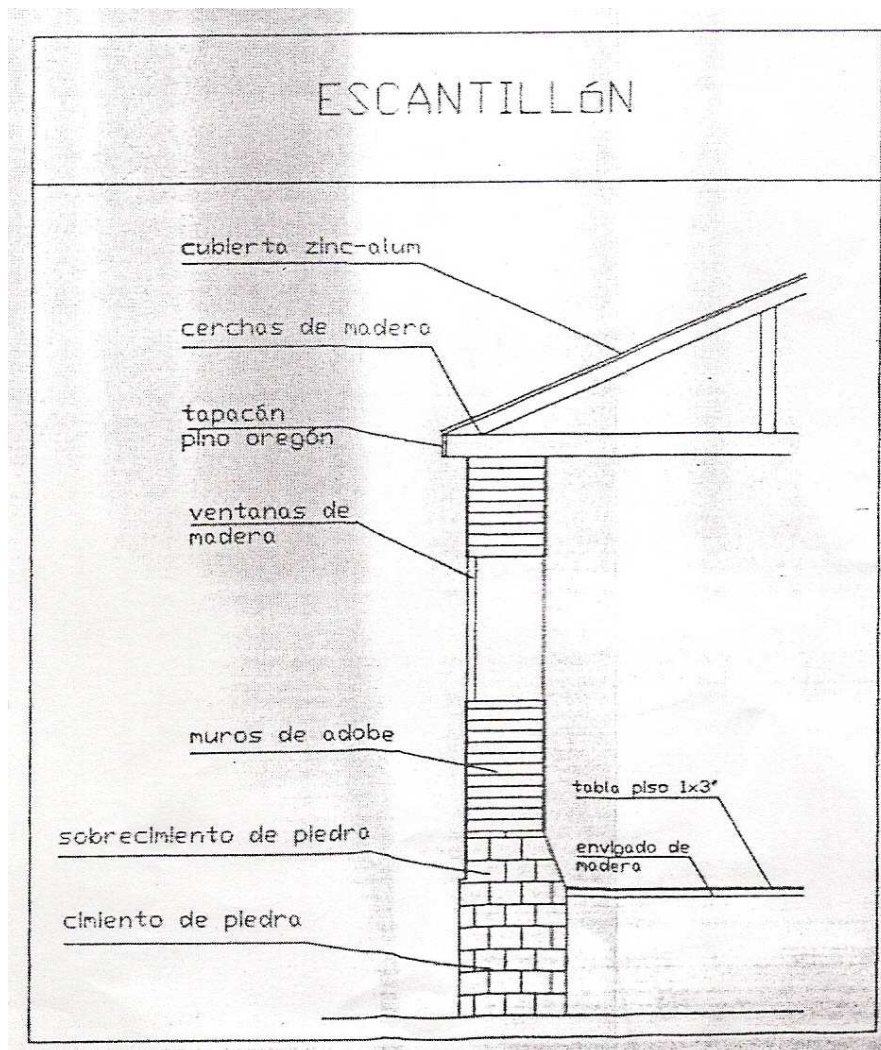
Fuente Carvajal, 1989

Como el lugar está en zona costera se deduce zona sísmica 3, a pesar de que según los estudios podría considerarse otra zona en virtud de la rigidez del manto rocoso que componen los cerros, los cuales incluso tienen propiedades de amortiguamiento. Ahora con respecto al tipo de suelo, este debería considerarse tipo I, en vista de que los cerros de Valparaíso en las zonas altas están dominados por un suelo E-1 compuesto por roca fundamental y/o roca meteorizada, y que esta está con seguridad a partir de los 3 metros de profundidad, pudiendo incluso tener afloramiento cerca de las quebradas. Sin embargo para esta situación se considerará suelo 2 en vista de lo recomendado por Grimme y Alvarez 1984, ya que el relleno que hay entre la roca y el nivel suelo es de roca meteorizada con baja presencia de arcilla y con poca ligazón entre partículas, aunque de alta resistencia a la compresión y baja permeabilidad, no deba considerarse la roca como suelo de fundación.

c. Materialidad del Inmueble.

Es importante conocer la materialidad del inmueble, ya que con esto se puede conocer el funcionamiento mecánico de la obra ante solicitaciones. Conocer por ejemplo si las cargas vienen en cierta dirección, que material hará la resistencia y de qué modo, y que otros no debieran ser considerados en tal caso.

Ilustración 3.3.1.



Fuente: Waisberg, 1998

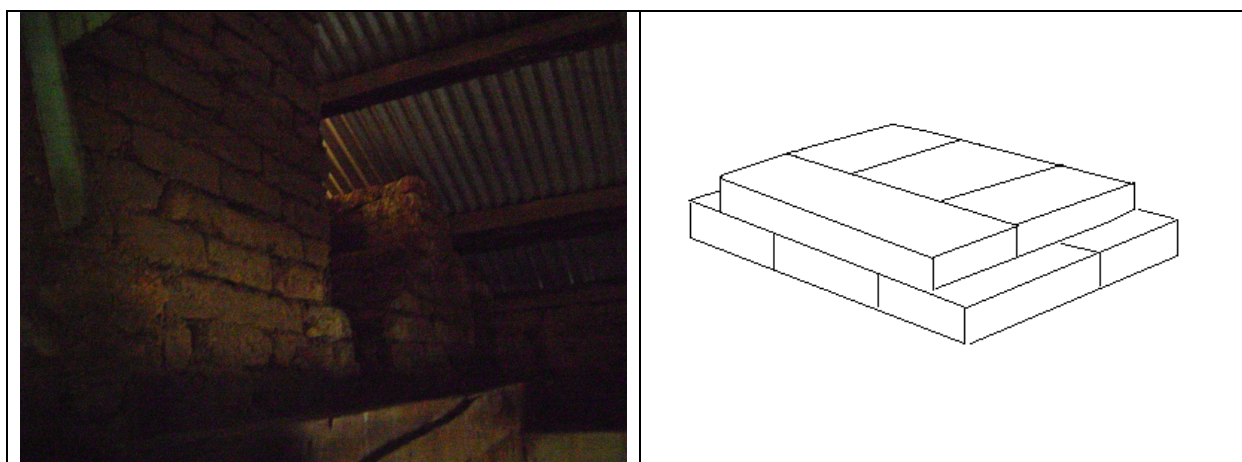
i. Albañilería.

El inmueble como se dijo anteriormente está compuesto en sus muros por albañilería de adobe, en donde cada bloque mide 39 cm. de largo 6,5 cm. de alto y cerca de 20 cm. de ancho y los cuales casi no tienen cantería siendo esta inferior al centímetro, el mortero de pega se ve que puede ser de cal y arena o del mismo lodo que compone los adobe. La soga de los bloques es variable aunque en algunas partes se pudo determinar la conformación de la ilustración 3.4.2.

El adobe es un material introducido por la influencia española, aunque hay que considerar que en América ya existía mampostería y que si bien el adobe americano es distinto del europeo, el concepto inicial es el mismo. La forma de confección no ha variado mucho a lo largo de la historia de la humanidad debido a que parece casi natural la idea de construir de esta manera. Sin embargo lo que sí ha cambiado es la tecnificación del sistema; el tamaño de los bloques, la regularidad de estos, el secado, el agregado de otros materiales, el aglomerante, etc. Por lo que es difícil saber exactamente como se hacían los bloques en una época determinada., pero se puede tener una idea según zonas donde todavía se utiliza y no ha cambiado mucho la manera de hacerlo. Considerando esto en general un bloque de adobe se construye de la siguiente manera: se genera una cuadrilla de madera que tiene las dimensiones de un bloque, se acumula el material, generalmente lodo aunque también se mezcla con paja en ocasiones, u otros materiales, el cual se revuelve y se mezcla intentando homogeneizarlo, luego se rellena la cuadrilla con el material y se rasa, finalmente se saca la madera y queda el bloque expuesto al sol hasta que se seque.

Esto varía según las condiciones del lugar puesto que el insumo principal es la arcilla que hay en la zona cercana, o en otros casos la paja o material vegetal que se introduce si es que tiene. Luego también cambia según el clima, por efectos de humedad o temperatura y según el individuo que lo confecciona y también el que lo coloca. Con esto se puede decir que estandarizar este material de tal manera que las propiedades de los bloques se mantengan con una confiabilidad aceptable, no es del todo posible.

Ilustración 3.3.2. Aparejo de adobes



Fuente propia. A la izquierda tímpano muro en eje 8 entre ejes C y D. A la derecha la posición en que están colocados los bloques de adobe en esta zona.

Con todo esto, las propiedades físicas de este material son difíciles de conocer puesto que se trata de un material que por su manera de ser confeccionado, es de una materialidad heterogénea, y que por tanto al hacer experimentos para obtener sus propiedades mecánicas los valores obtenidos tienen una alta varianza, lo que implica que las propiedades de un bloque pueden variar bastante respecto de otro, o incluso en el mismo bloque, y por consecuencia lógica, también varían respecto de un elemento a otro, o sea, entre un muro y otro o incluso en las diferentes partes de un mismo muro. Sin embargo en el pasado y presente se han hecho intentos por homogeneizar las unidades o bloques, tomando medidas de estandarización como por ejemplo pruebas de resistencia mínima, cual son que un bloque entre dos separados a una luz de un bloque, soporte un humano sobre él en el punto medio, o soporte dos bloques de la misma camada. Si bien estas medidas u otras podrían haberse tomado en la construcción de un edificio en el pasado, no ayudan a indicar precisamente la propiedad mecánica de un bloque, y además nadie puede garantizar que estas medidas se hayan tomado en la construcción de tal o cual inmueble antiguo ya que no hay registros de aquello.

No obstante lo anterior, se pueden hacer ciertas conjeturas. Por ejemplo las densidades en general para este tipo de material fluctuarían entre 1,5 y 1,8 Tonf/m³ siendo más común valores entre 1,6 y 1,7, a pesar que en la norma chilena figuran valores mayores de 2, lo cual es un caso bastante desfavorable en términos sísmicos. Con ello se puede tener una idea del peso de un elemento al compararlo por ejemplo con el hormigón cuyos valores de densidad son 2,5 ton/m³. También se puede hacer conjeturas respecto de las propiedades mecánicas de este material como por ejemplo resistencia a la compresión al corte o a la tracción. Pero en este caso deben hacerse varios supuestos. La albañilería por ejemplo se puede considerar con valores de modulo de elasticidad $E = 500.000 \text{ tonf/m}^2$ bastante inferior (un cuarto) a un hormigón H20 al cual se puede considerar $1.880.000 \text{ tonf/m}^2$ y al del acero que es un orden de magnitud mayor ($21.000.000 \text{ tonf/m}^2$). Y la resistencia de la albañilería se puede considerar en 500 tonf/m^2 , un cuarto de la de un hormigón H20, mismo valor según la norma NCh1928 que indica que la tensión admisible por compresión axial es de 50 tonf/cm^2 . Como la resistencia a la tracción se considera generalmente un 10% de la de compresión para materiales cerámicos como es el caso, puede usarse este criterio en cálculos. En el caso del adobe pueden considerarse estos valores castigados por algún factor obtenido con alguna justificación. En esta línea, se puede tomar las recomendaciones del Instituto de Ingeniería de la UNAM 1979 para refuerzo de viviendas rurales, que en vista de sus experiencias recomiendan usar para diseño los siguientes valores:

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Resistencia a la compresión | 60 ton/m ² |
| Resistencia en tensión por flexión | 20 ton/m ² |
| Resistencia en cortante | 8 ton/m ² |
| Modulo de elasticidad | 25000 ton/m ² |
| Modulo de rigidez al cortante | 7500 ton/m ² |

En este mismo estudio se comprobó que la humedad afectaba las propiedades mecánicas del material adobe de forma sustantiva, reduciendo su capacidad ostensiblemente a casi la nulidad cuando esta alcanzaba un 12%, por lo que es de suma importancia proteger este material de la influencia de este factor ambiental.

Por ultimo en estos mismos estudios se llegó a la conclusión de que las variaciones de resistencia a compresión y a flexión de un elemento muro, variaban ligeramente según el tipo de mortero utilizado en ellas, el cual podía ser lodo, cal y arena o cemento cal y arena, y si variaban en resistencia cortante siendo mejor en las de cemento para cortante, luego lodo y finalmente cal y arena.

ii. Madera.

Pero la Iglesia está compuesta también por vigas de madera en su techumbre y columnas de este material en el interior. Lo que implica que la madera también es un elemento a tener en cuenta estructuralmente. La madera se conoce, es un material isotrópico, vale decir, presenta propiedades en una dirección distinta de otra. Generalmente, sus propiedades son sustantivamente superiores en dirección de la fibra que compone la madera en comparación con el caso perpendicular a estas, y por esta razón el elemento de madera presenta en general las fibras en la dirección longitudinal del perfil cual es el caso presente en esta obra.

Los pilares de los arcos eran originalmente de roble, que según la norma chilena pesan alrededor de 778Kg/m^3 , estos pilares son piezas de aproximadamente 8 x 8 pulgadas (20 cm.), se ve en algunos de estos arcos que esta madera esta expuesta y se nota por el color que esta se ha oxidado bastante lo cual es esperable por la data de los elementos, situación que no le quita mucho en cuanto a sus propiedades mecánicas que en este caso serian de compresión axial. Pero hay un pilar que presenta un madero distinto a simple vista de los otros, y evidentemente más nuevo, se cree que este madero seria de pino oregón, el cual tiene un peso según norma chilena de 515Kg/m^3 .

Respecto a la madera que compone los adornos, esta seria de alerce y por su nobleza estos se han conservado bastante bien.

En la estructura de techo se tiene otra vez el roble en vigas, pero también se nota que ha sido reemplazado en ocasiones por piezas de pino oregón. Los maderos de menor sección al parecer serian de álamo y posiblemente esté también este presente en todas las estructuras livianas.

Se sabe según se fue entregando la información compositiva de los elementos de la obra, que la densidad del pino oregón es de 500gr/cm^3 (0.5 tonf/m^3), la del álamo y alerce es levemente menor y la del roble es superior a ese valor, por lo que se pueden hacer estimaciones del peso de la techumbre utilizando estos valores. Según la norma NCh 933 of. 74, las propiedades mecánicas de la madera pueden considerarse las siguientes:

| | |
|---------------------------------|---------------------------|
| Modulo de elasticidad de diseño | 800000 ton/m^2 . |
| Fatiga de flexión | 700 ton/m^2 . |
| Fatiga de compresión paralela | 630 ton/m^2 . |
| Fatiga de tracción | 750 ton/m^2 . |

iii. Piedra.

Las fundaciones de la iglesia, estarían compuestas por cimientos de albañilería de piedra, de unidades de distintos tamaños aunque todas superan la malla máxima, las unidades de piedra se ve que son suficientemente no redondas, así que deben haber sido chancadas en algún grado en la cantera o en terreno antes de ser colocadas o las eligieron con bordes filosos persiguiendo probablemente este mismo objetivo. Las unidades están aglomeradas con algún mortero, muy posiblemente de cal con arena, el cual debe haber sido protegido por algún material impermeable, ya que el material expuesto visible mantiene buena consistencia y dureza y no se ve se haya desgranado ni es posible hacer esto con facilidad en el presente.

El sobrecimiento como se puede ver en la figura superior ilustración 3.3 esta constituido de la misma manera con la diferencia que su espesor disminuye hasta el espesor de los muros ligando ambos elementos.

La piedra en general no presenta buena propiedades mecánicas a la tracción, tampoco presenta una elasticidad importante, pero a la compresión a menudo su capacidad supera enormemente las solicitaciones, lo cual en este caso resulta auspicioso debido a que no se ve ninguna fisura y probablemente se este muy seguro en el uso al que a ella se le ha dado en esta obra. Otra propiedad importante de la piedra es su escasa permeabilidad, lo que también aporta en combatir la exposición a la humedad, tanto ambiental como la propia del suelo que sube por capilaridad, y por lo que se ve en terreno ha sido eficaz en este sentido ya que hay zonas expuestas a un alto grado de humedad que presentan un muro deteriorado y desgranado y un cimiento sano y seco.

iv. Otros.

Hay presencia de otros materiales aunque no estructurales en la obra. El principal es la cubierta compuesta en la actualidad por planchas de zinc corrugado. Este material también está presente en el revestimiento exterior del inmueble intentando suplir la perdida de revestimiento por erosión u otros factores. Según datos de Internet de algunos proveedores la densidad de un plancha de zinc seria de 7140 Kg/m^3 lo que llevado a metros cuadrados da del orden de 30 Kg/m^2 , lo cual puede considerarse techumbre liviana. Sin embargo Según la norma chilena de sobrecargas NCH1537 Of.86, el valor a considerarse es de 7.1 Kg/m^2 para una pieza acanalada de 8mm de espesor, lo cual es bastante menos que le valor de proveedores.

El entablado de revestimiento presente en pilares, arcos y cielos interiores puede considerarse de pino para efectos de la norma y en tal caso se considera 32 Kg/m^3 .

3.4. Estado de Conservación.

En Chile según la norma nacional, la principal amenaza estructural para los inmuebles es la actividad sísmica, la cual en el país tiene considerable magnitud y también una cierta frecuencia, destacando los sismos centenarios que son de gran magnitud y que este inmueble se supone habría resistido dos de ellos, ver tabla 3.3. Pero dado que el inmueble se construyó hace bastante tiempo, este ha estado expuesto al deterioro natural debido a las condiciones ambientales como por ejemplo la humedad, los vientos o los sismos de gran intensidad que éste ha enfrentado. Algunos de los factores que intervienen son los descritos a continuación.

Según la ubicación de la iglesia, se puede decir que el viento que recibe la iglesia, podría afectar la techumbre en un grado que debe ser revisado.

La humedad de la zona costera, es otro factor que produce deterioro debido a que el material adobe sufre pérdida de características aglomerantes al estar expuesto al agua, para evitar que ocurra esto se revisten los muros de este material con estuco, pero este se ha caído o se encuentra agrietado en buena parte de su superficie, por lo que es posible hayan revestido la iglesia posteriormente con planchas de zinc corrugada. Estas planchas lamentablemente también están deterioradas debido a que la pintura se ha caído o gastado, y en ciertas planchas están oxidadas o caídas, lo cual presenta un peligro para la estructura. La madera también es afectada por la humedad, el tipo de madera, el revestimiento que esta tenga o el tratamiento de ella, son medidas que atenúan considerablemente la influencia de la humedad en ellas. La madera con la humedad se pudre o se puede doblar, todo lo cual hace que ella pierda sus características resistentes. En el caso de la Iglesia en cuestión, ésta cuenta con maderos de pino Oregón y al parecer de roble para las columnas, maderas que se pueden considerar madera de calidad puesto que es más densa que el pino radiata o el insigne, con lo cual resiste mas sollicitaciones y es menos susceptible a la pudrición y al fuego, pero esto por sí solo no es suficiente, ya que el revestimiento de madera de mala calidad que tenía en algunas partes se ha perdido, lo cual indica que también estos elementos deben ser reacondicionados o quizás reemplazados.

Otro factor que puede dañar la estructura de la obra es el uso que esta haya tenido, o en este caso mal uso, ya que puede haber sido ocupada o solicitada con cargas que no corresponden al objetivo original, y que pudieran haber quebrado la madera que reviste las columnas o las que componen el entablado de piso. Este mal uso o ausencia de cuidado ha hecho también que el desgaste de los materiales sea mayor del esperable, y la pérdida de pinturas, estucos o recubrimientos de terminaciones es notoria.

Las precipitaciones son principalmente de lluvia, se dice que no ha nevado nunca o casi nunca en la región, por lo que la lluvia sería la única carga a considerar y esta representa problemas para techos de pendiente inferior al 10%, por causa del apozonamiento, situación que no ocurre en esta Iglesia, aunque si podría presentar problemas de filtraciones al estar deteriorada la techumbre que en el presente es de planchas de zinc corrugado, material que no debe ser el original, luego se deduce que antes también tuvo problemas de este tipo, por lo que el interior de la obra debe haber estado expuesto a altas humedades que evidentemente la han afectado en algún grado que simple vista parece importante.

De esta manera, la iglesia Santa Ana ha sufrido estos avatares y después de haber revisado lo anterior se comprueba en terreno que la gran mayoría de las fallas vistas, corresponden a las producidas por el factor sísmico, y que la magnitud de estas producida es mayor que la de los otros factores, tal y como sostienen los expertos estructurales que este factor es el principal a tener en cuenta en el país. Esto no significa en todo caso que el mal mantenimiento por si solo no tenga influencia, ni que el sismo por si solo lo tenga completamente, sino que es la suma de ambos factores, o dicho de otra manera, el factor sismo no habría tenido tanta influencia de no ser por el deterioro y la influencia de los otros factores.

Se puede hacer una descripción del estado de la obra, según lo visto en la primera visita a terreno, esta descripción cualitativa se analizará en el capítulo siguiente para tener un primer nivel del grado de daño y del estado del arte del inmueble.

En esta primera visita a terreno realizada se observó a simple vista daños evidentes en la estructura. Presentaba por ejemplo, cierta inclinación lateral hacia el noreste de la fachada, se verificó la existencia de otros materiales de mampostería (como albañilería de ladrillo cocido) colocados en reemplazo de los adobes, en ciertas zonas de la iglesia. Había cantidad no estimada de material suelto, perdido botado en el suelo. El entablado de madera del piso presentaba numerosas roturas, hoyos y pérdidas de material. La mayoría de los adornos estaban dañados o caídos. El campanario estaba inclinado, los revestimientos estaban dañados, se apreciaron grietas de diversas profundidades y espesores, y un posible leve desacople de muros. Parece haber un vaciado de muros en las zonas de dinteles de ventanas en un costado de la iglesia.

a. Catastro de daños

Si bien el nivel de daños estructurales se determinará en el capítulo 4, la descripción cualitativa permite obtener el estado del arte en un primer nivel, objetivo a desarrollar más adelante, y no quita utilidad al análisis estructural puesto que otorga la información necesaria en cuanto a composición de elementos estructurales y geometría que con las características mecánicas de los materiales que la componen, permiten sacar algunas cálculos de capacidades a utilizar en el análisis estructural. Con todo esto se hará la descripción de los daños apreciados en las siguientes ilustraciones exponiéndolos en dibujos basados en los planos de arquitectura presentados con anterioridad pero adaptándolo a las mediciones terreno con el objeto de hacer más fidedigno el análisis:

La siguiente ilustración 3.4.1 sobre la planta de la iglesia esta basado en el plano de arquitectura mostrado con anterioridad, y en ella se muestran los ejes principales con los que se trabajará, además de las distancias relevantes como distancias de vanos y entre ejes. Se muestran las columnas enumeradas en orden desde el 1 hasta el 6 desde el eje D hacia el A. También se muestran los muros principales, notándose los vanos vacíos que componen ventanas o puertas y que puede considerarse para el análisis puesto que la resistencia al corte de los antepechos si bien existe, es posible despreciarla poniéndose en un caso conservador.

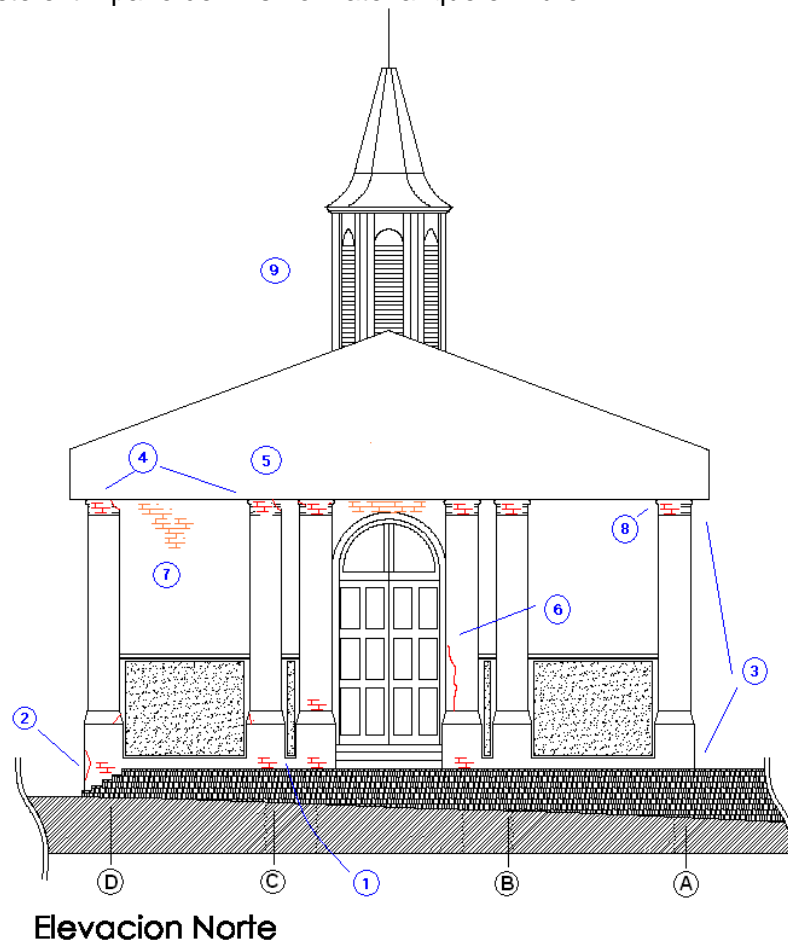
Respecto de la descripción de daños, se puede decir que el pilar Pi 07 presenta perdida total de revestimiento tal como se ve en la fotografía de la ilustración 3.4.2., También el pilar Pi 03 presenta perdida de importante de revestimiento. En esta misma imagen se puede ver la

Ilustración 3.4.2. Fotografía desde el coro al interior de la iglesia.



Siguiendo con la descripción cualitativa, esta es la fachada principal en la siguiente ilustración.

Ilustración 3.4.3. Dibujo de Fachada calle Balmes y daños visibles. Se ve eje 9 compuesto por columnas y frontón y detrás de este, el eje 8 con el muro respectivo la puerta de principal de acceso y sobre este el tímpano del mismo material que el muro.



En la elevación se aprecian numerados puntos en azul que serán descritos a continuación:

-El punto 1 se basa en la pérdida de recubrimiento en la base de los pilares.

-El punto 2 dice relación a la pérdida de material del cemento en ese borde de la iglesia, ver ambos puntos en siguiente ilustración.

Ilustración 3.4.4. Fotografía parte baja fachada.



-El punto 3 remarca que al menos en la parte del pórtico, no habría una correcta dilatación entre estructuras lo que ha afectado el muro de albañilería alto presente en ese lado eje A, además de la mal resolución de agua lluvia que descarga en la parte inferior del murete lo cual se puede apreciar en la imagen superior.

-El punto 4 consta de un factor de preocupación cual es el deplorable estado en que se encuentran los capiteles de las columnas de ladrillo cocido ver ilustración 3.4.5. a continuación. Se aprecia pérdida de recubrimiento, grietas y pérdida de material.

-El punto 5 no se puede apreciar en la elevación, pero se puede indicar que entre el muro del eje 8 y la viga que une en su parte superior las columnas, en eje 9 existen 15 maderos que unen ambos ejes, estas vigas de madera están todas dañadas importantemente, algunas reemplazadas otras tienen palos y maderos clavados para mantener la sección que esta disminuida por la pudrición. En particular el 5° y 15° de izquierda a derecha de la elevación, están inutilizados y deben ser reemplazados lo antes posible. Ver ambos puntos en siguiente imagen de la ilustración 3.4.5.

Ilustración 3.4.5. Fotografía capiteles columnas de fachada



-El punto 6 habla de que tanto esta columna llamada pilar exterior Pe 04 como su par Pe 03, presentan una grieta longitudinal que recorre toda su altura aunque no verticalmente, siendo mas acentuada la abertura en la columna Pe 04 que es la 4ª de izquierda a derecha, llegando a medir mas de 4 mm de espesor. Las otras columnas también presentan grietas de similares características pero de mucho menor espesor y largo.

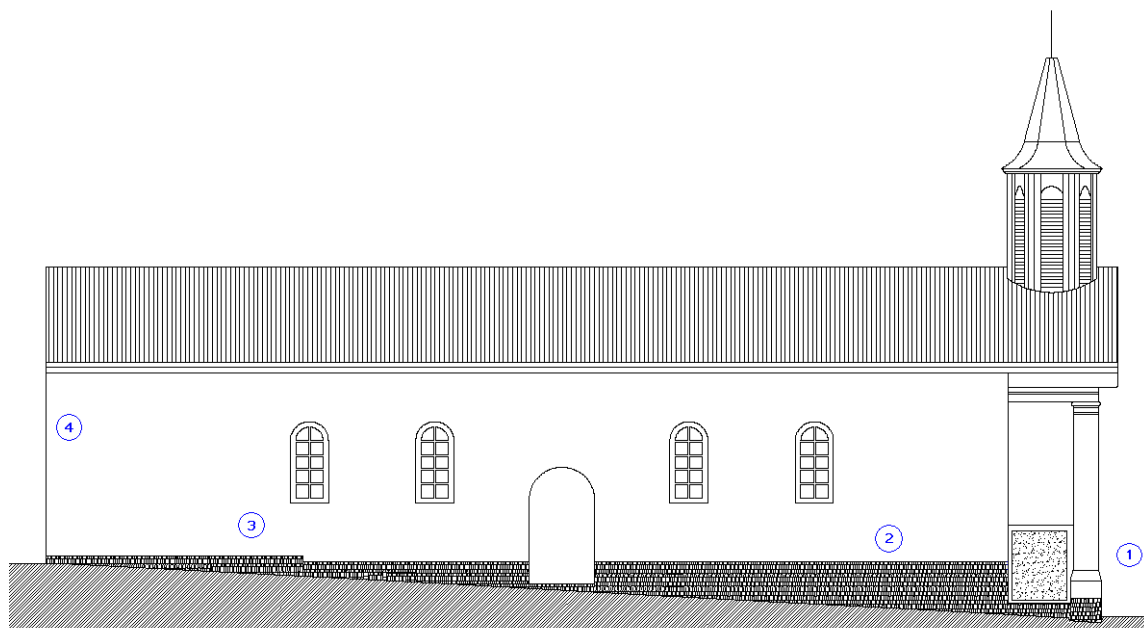
-El punto 7 consta de la pérdida de estuco y mortero de pega en muro situación que se aprecia en la ilustración 3.4.5., pero que también se vio en la parte superior de la puerta principal.

-El punto 8 trata de deterioro de la albañilería en el borde de muro en la esquina de ejes A y 8, aun se ve mas deteriorado el muro exterior del eje A, que el del eje 8.

-El punto 9 es acerca de la inclinación de la torre apreciable en las imágenes de presentación en el capítulo 1, pero que no quedo reflejado en esta fachada por ser el dibujo basado en la información de arquitectura.

Continuando con la descripción de daños se procede a describir la fachada lateral eje D, la cual aparentemente presenta pocos daños.

Ilustración 3.4.6. Fachada lateral calle Eyzaguirre, eje D.



En esta ilustración se obtuvo que la pendiente del terreno es de un 5,2% dato que en terreno se midió un poco mayor al 10% valor que por la forma precaria de medición y por lo específico de la muestra debido al lugar donde se tomó, podría ser un caso más desfavorable, pero en ningún caso superior al 20%. Las observaciones en los puntos azules son las siguientes.

-En el punto 1 se apreció lo mismo que en la fachada eje 9, o sea, que hubo un manifiesto desprendimiento de material y mortero del que no hay restos en el suelo pero que se nota por el plomo del cemento y muros. El resto del cemento se ve en buen estado no percibiéndose que haya ocurrido esta misma situación.

Ilustración 3.4.7.



-El punto 2 consiste en la presencia de capa vegetal en las piedras exteriores que componen el cimiento o en los bordes de ellas, estas indican que se ha metido capa orgánica en las asperezas ya sea por que se ha perdido la terminación o recubrimiento o se ha desgranado el mortero. Se nota también que el cimiento fue pintado con un material impermeable que la protege pero seguramente la frecuencia de este mantenimiento no es la adecuada. También cabe mencionar en este punto el deterioro de la cubierta de zinc que cubre muros y parte de los cimientos la cual es posible ver en ilustración 3.4.9.

Ilustración 3.4.8. Estado de mampostería de piedra que compone cimiento.



-El punto 3 enmarca la dificultad que hay para determinar si la zapata es escalonada en ese lugar, y bajo el nivel calle, aunque pareciera que si, porque sube un escalón, es posible que el sello de fundación sea el mismo en todo el largo. Si bien es más favorable la segunda situación, el escalón también es una buena medida para evitar deslizamientos.

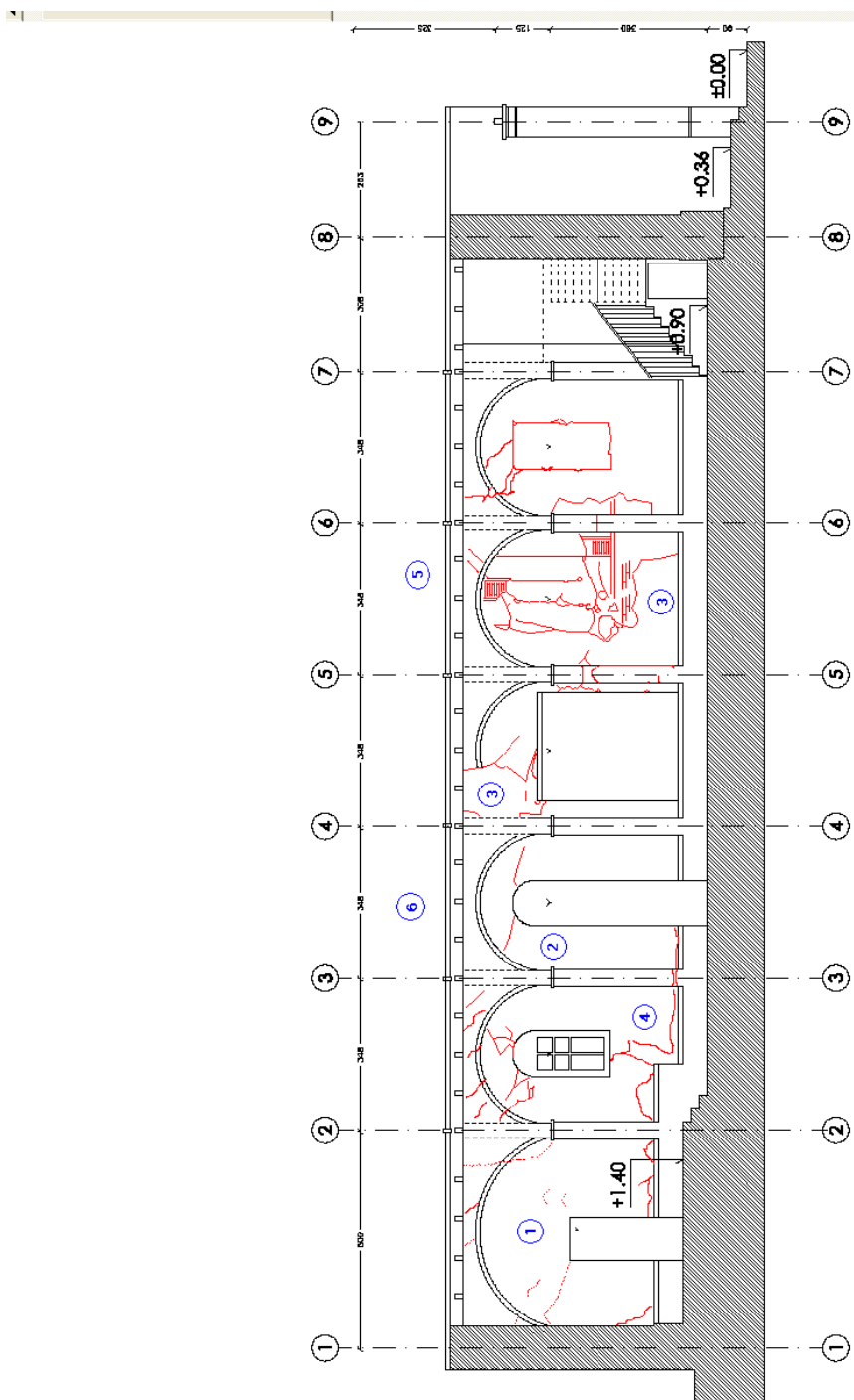
-Por ultimo el punto 4 dice relación con la posible falta de dilatación entre el muro eje 1 y el edificio contiguo población unión obrera.

Ilustración 3.4.9. Fotografías eje D con eje 1 desde fachada exterior



Pasando al interior de la iglesia, se dibujó basándose nuevamente en los planos de arquitectura cuya precisión no es óptima, la estructura de los ejes de muro longitudinales A y D con sus respectivas enumeraciones de daños apreciados en terreno.

Ilustración 3.4.10. Dibujo de daños en Eje A desde el interior de la iglesia.



Cabe mencionar que toda la pared tiene recubrimiento que simula arcos incrustados que descansan en pilares falsos, los cuales también reciben a los arcos transversales, pero estos pilares están armados con bloques en la dirección transversal con lo cual pueden cumplir con la función de pilares estructurales dividiendo el largo muro en muros entre ejes transversales, no se puede decir lo mismo de los arcos longitudinales que cumplen solo una función ornamental.

En la ilustración 3.4.10. se colocaron varios puntos en relación a tipos de daños apreciados algunos de los cuales se repitieron en mas de una ocasión pero para no atiborrar de información el dibujo solo se repitió el punto 3, que se presento dos veces.

-El punto 1 dice relación con grietas de pequeño espesor o relieves del estuco posiblemente causadas por grietas en el muro que no han sido todavía traspasadas al estuco que reviste el muro, o por humedades que han englobado el estuco al no poder salir en vista de que el estuco es mas impermeable que el material adobe, o posiblemente ambos factores conjugados. Mención aparte están las grietas presenciadas en los vanos entre ejes 5 y 6 y entre 6 y 7, que corresponderían a la diferencia de materialidad que habría por un supuesto relleno o tapiado de antiguas ventanas por ladrillo secado al horno puestos en pila, situación que se deduce por la posición de estas grietas y coinciden con la ubicación de ventanas en otros vanos, (ver ilustración 3.4.11. y 3.4.12. derecha), situación que se logra evidenciar por la escasa resistencia que ofrece esta disposición de bloques a la resistencia de fuerzas fuera del plano del muro.

Ilustración 3.4.11. Fotografía vano de muro en eje A, entre ejes 6 y 7.



Fuente propia.

-El punto 2 habla de la pudrición de los elementos de madera que aunque están presentes su estado no es óptimo y, o ya no recubren adecuadamente a lo elementos estructurales o estos elementos de madera con esta condición están con una resistencia menor y deben o ser reemplazados o reparados.

-El punto 3 consta de el vaciado de muro que se presenció en dos zonas del eje D, marcadas en la ilustración 3.4.10., y que se muestran en la siguiente imágenes de la ilustración 3.4.12, situación en la cual la presencia de aguas es evidente por lo que se presume la acción de la humedad y de los movimientos sísmicos en estos casos.

-El punto 4 muestra una constatación que se dio en casi todo el largo del muro cual es la perdida de estuco en la parte inferior de los muros en el borde con el sobrecimiento. Esto es muy probable se deba a la acción de la humedad que se acumula en el borde inferior de muro y sobrecimiento y que trepa por capilaridad. También se presenció este caso de forma crítica en la esquina inferior con eje 1 y se vio también pérdida de estucos en varios grados en otros

vanos, ya sea por derrame de aguas o por grietas más grandes que provocan el desprendimiento del estuco.

-El punto 5 se presencia en dos zonas con claridad, entre ejes 4 y 5 y entre ejes 5 y 6, y consiste en la visibilidad de la albañilería por pérdida total del estuco, esta albañilería era de ladrillo cocido en y adobe, siendo mas visible el de ladrillo, el cual se nota esta colocado en pila, lo cual tiene muy poca resistencia a acciones fuera del plano del muro, lo que provocó el vaciamiento en algunos casos.

Ilustración 3.4.11. Fotografías vanos de muro en eje A.

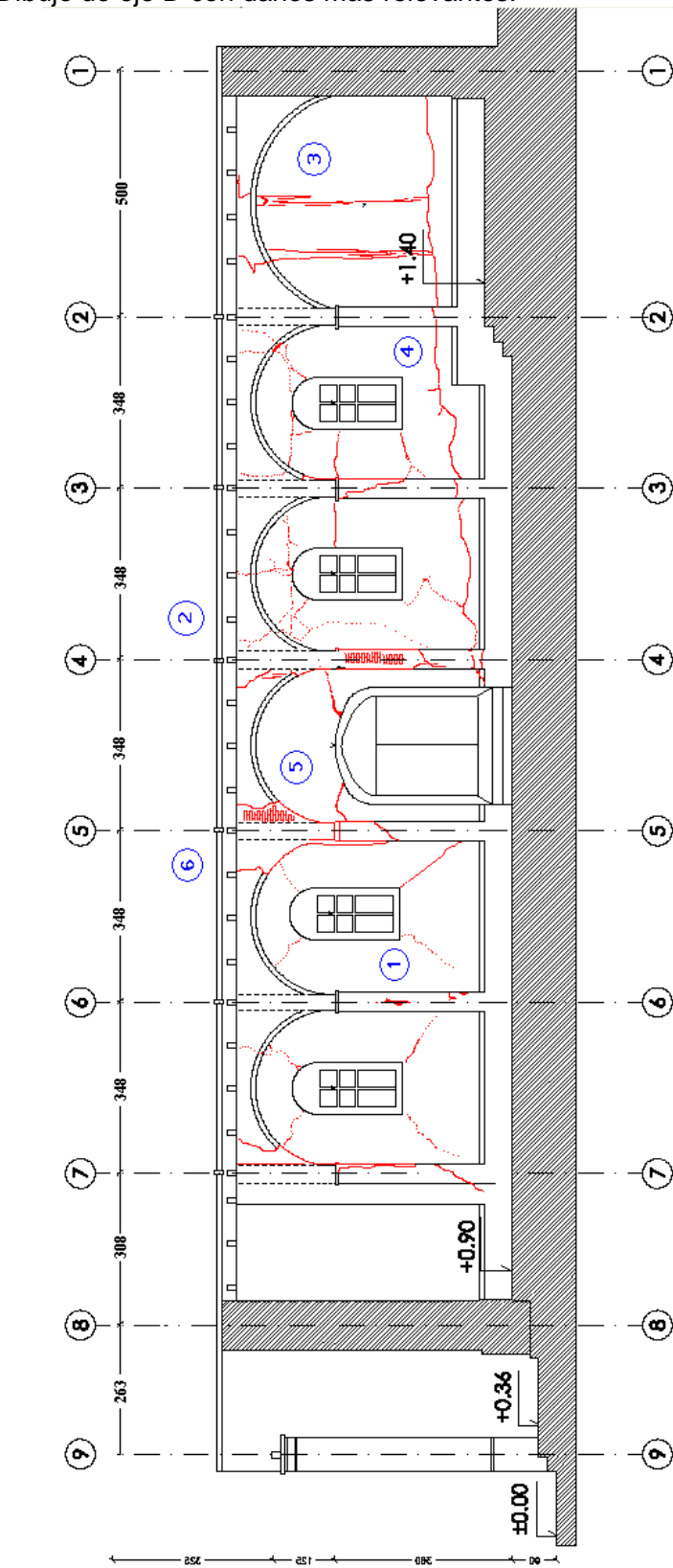


Fuente propia. A la izquierda vano entre ejes 4 y 5, a la derecha vano entre eje 5 y 6.

-El punto 6 habla de la pérdida de recubrimiento de madera y el deterioro de estos elementos, si bien hay presencia de este tipo de daño, en este eje este no es tan marcado como en el eje D donde hay ausencia total de este.

Continuando con la descripción de daños se procede ahora a describir el eje D visto ahora desde el interior de la iglesia, en donde también se ha intentado ajustar el dibujo a la realidad alterando la fuente primaria que son los planos de arquitectura presentados anteriormente.

Ilustración 3.4.13. Dibujo de eje D con daños más relevantes.



La descripción de los puntos señalados se hace análoga a la hecha en el eje anterior a pesar de no haberse presenciado exactamente los mismos casos.

-El punto 1 dice relación con las grietas apreciadas en terreno, las cuales están dibujadas intentando que quede expresado la magnitud de ellas, esto es mas gruesas aquellas que lo son, mas débiles aquellas que e ven con dificultad o que corresponden a englobamiento del revestimiento estuco, lo que podría significar una grieta oculta o una futura grieta visible. En este punto se vio que a diferencia del eje anterior no hay grietas que hagan visible un cambio de material pero si hay presencia de grietas que parecen de corte (en forma de equis), en los vanos con ventana entre ejes 7 y 6 y entre 6 y 5, las cuales deben ser atendidas en vista de que si bien no han llegado a un estado catastrófico, le restan resistencia a estos muros y seguramente aumentarán en magnitud ante nuevas solicitaciones de este tipo. Otro aspecto a remarcar es el hecho de que se constató que muchas de la grieta que nacen o llegan a vértice superior de ventana parecen ser horizontales, lo cual puede deberse a la presencia de maderos horizontales que componen dinteles y que soportan el adobe sobre ellos y posiblemente también la fuerzas horizontales con lo que su acción quedaría en evidencia con esta grietas al romperse la ligazón entre la madera y el adobe en donde ellas están. Estos maderos han sido vistos al descubierto en el eje A pero solo en las zonas donde hubo reemplazo de material, aunque también se ven el marco de la puerta del pórtico en eje 8 y no tan claramente en la parte superior de ventana de vano de muro en eje A entre ejes 2 y 3, por lo que se presume están presentes en todas las ventanas o puertas en el dintel de ellas y también en el alfeizar del antepecho de ventanas pero no se puede determinar las dimensiones de estos maderos.

-El punto 2 que trata sobre estado de deterioro de maderas, al igual que en el otro eje, se presenció pero con más evidencia en este eje D en particular desde el eje 1 hasta el 6, en donde las maderas que componen el cielo están rotas y ausentes en largos tramos, las que recubren los pilares de muro en varios vanos están absolutamente ausentes y la vigas transversales a la vista en muchos casos, están en mal estado y algunas con refuerzos, se ve que algunas han sido reemplazadas.

-El punto 3 referente a vaciado de muro, no se ve en este eje, pero si la acción del agua, que sobre todo en el vano entre eje 1 y 2 es evidente al verse el escurrimiento e incluso se puede sentir en el ambiente y al tocar el muro se puede descascarar el estuco o desgranar el adobe con la mera acción del dedo, lo cual hace pensar que si bien no se ha producido vaciamiento, la posibilidad de que esto ocurra es de carácter inminente. Ver ilustración 3.4.14. izquierda.

-El punto 4 eferente a la perdida de estuco esta ligado a la presencia de humedad, y se ve que en la parte baja de los muros entre el sobre ancho del sobrecimiento y el muro se produce esta situación recorriendo el muro desde el eje 1 hasta casi el 7. Pero también hay perdida de estuco por grietas y otros efectos sobre todo en el vano de la puerta lateral entre ejes 4 y 5, (ver ilustración 3.4.14.) en donde hay una conjunción de factores que causarán la perdida total de éste, pero mas importante, dejaran expuesto el muro a la acción de la humedad y acusan el hecho de que la perdida de resistencia del muro va en aumento lo cual debe ser atendido.

-El punto 5 es un grado más que el punto anterior y es la posibilidad de ver el material constituyente del muro, en este caso el adobe, por una pérdida de estuco y recubrimiento. Estos bloques visibles, se observa que todavía están trabajando de buena manera pero da la impresión que alguno de ellos se han partido y por esta razón es difícil de entender el aparejo

en el que se colocaron los bloques. En las zonas donde son visibles los bloques no se nota presencia de cambio de material aunque si pudiera haber diferencia de tamaño de bloques. (Ver ilustración 3.4.14. derecha).

Ilustración 3.4.14. Fotografías vanos de muro de eje D



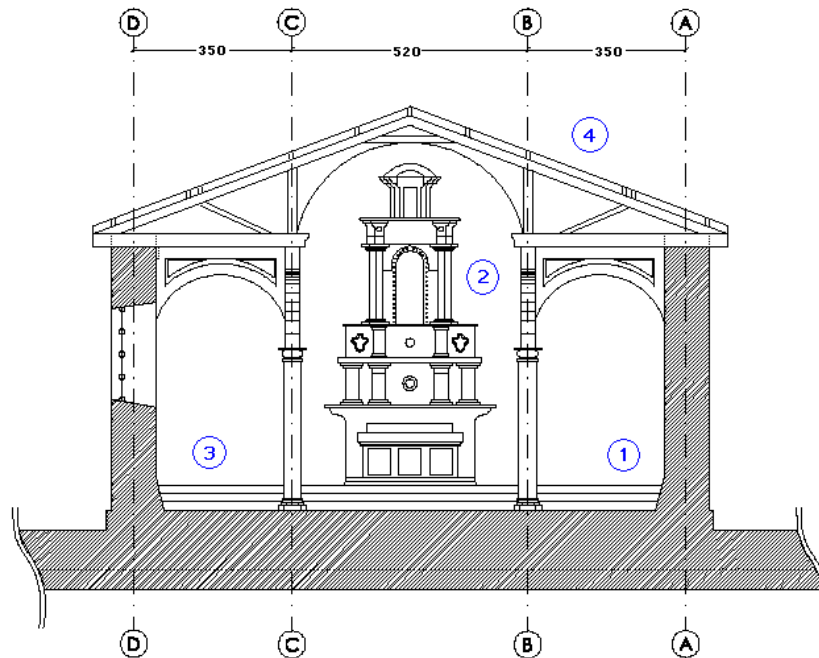
Fuente propia. A la izquierda vano de muro entre ejes 1 y 2, a la derecha vano de muro entre ejes 4 y 5.

-El punto 6 ligado al punto 2, como muestra la ilustración superior, que las maderas se han deteriorado al punto de que hay pérdida total de recubrimiento de ellas, las vigas están a la vista por pérdida de recubrimiento de madera en el cielo, y las vigas mismas si bien se mantienen en buenas condiciones tanto de uniones como el elemento mismo, es posible que tengan pudrición no visible, y algunas de ellas han sido reemplazadas.

Para continuar con la descripción hace falta ver los ejes 1 y 8, pero no se tiene dibujo de arquitectura de ellos, por lo que se analizaran en base al dibujo transversal apoyado por las fotografías obtenidas en terreno.

La siguiente ilustración muestra un corte que pudiera considerarse desde el eje 5 hacia el eje 1, en donde se dibujó el componente estructural visto en terreno, salvo por un madero que parte en la cabeza de los pilares y sube en diagonal tangencial al que compone los el arco del cañón, y que se obvió por el hecho de que no pudo ser visto en terreno su completa ubicación. Esta situación ocurre con el eje 1, ya que el cielo de madera y el altar mayor impide ver muro y el tímpano triangular de adobe detrás de ellos. Sin embargo, se pudo observar que habría una hendidura en el muro en el cual se apoya el altar, siendo difícil de determinar las dimensiones de ésta o los posibles anclajes que pudiera haber entre el altar y el muro. También en este eje 1, se ven en los ejes B y C, un pilar inmerso en el muro al cual llegan los arcos longitudinales, y hay también arcos transversales ornamentales en la pared en los vanos de muro laterales, no así en el vano central que tiene otro tipo de terminación.

Ilustración 3.4.15. Eje transversal



El punto 1 marca el vano de muro entre ejes A y B, el cual se ve en la ilustración 3.4.16. y en donde se apreció que la humedad que en los ejes longitudinales hizo perder el estuco en la parte inferior de los muros, acá se encuentra en un grado mucho mas avanzado llegando a desgranar o deshacer el adobe del muro no pudiendo distinguirse ni los bloques que lo comprenden. Esta humedad vendría desde el borde superior de pilar de muro posiblemente originada por alguna falla en la cubierta de techo, y es evidente que hubo primero un escurrimiento de agua, el cual puede que este corregido, pero que no evita que la humedad ya presente siga haciendo efecto dañino en el muro, ya que el eje 1 tiene escasa iluminación (objetivo buscado en la concepción del inmueble) y la humedad ambiental es todavía patente en el lugar.

Ilustración 3.4.17. Vano de muro en eje 1 entre ejes A y B.



Continuando con el punto 2, este muestra el vano central entre ejes B y C, el cual se ve en ilustración 3.4.18., y en el que se ve hay presencia o bien de resaltos en forma de grietas o de grietas horizontales en dos alturas, unas un poco mas arriba de la altura donde llegan los arcos longitudinales pero bajo la línea de donde llegan las vigas que componen los marcos longitudinales, y otra a la altura de donde comienza el cañón de madera un poco sobre la línea donde llegan las vigas que componen los marcos longitudinales. Estas grietas parecen estar mas ligadas a la interacción del muro con el altar mayor que a la acción de la estructura que viene perpendicular al eje del muro, sin embargo podrían también ser generadas por otros factores necesitándose una mejor inspección para tener un mejor diagnostico de esta situación.

Ilustración 3.4.18. Altar mayor en eje 1 entre ejes B y C.



El punto 3 referente al vano entre ejes C y D, presenta una situación similar al punto 1, en donde la humedad esta vez originada en el muro del eje D, ha producido una pérdida de estuco y de material grave sobre todo en la esquina de muros, pero de menor intensidad que la apreciada en el punto 1. Cabe destacar la presencia de grietas verticales que si bien todavía son pequeñas, indican que este muro podría estar siendo afectado por las sollicitaciones sísmicas ayudadas por la pérdida de resistencia debidas al deterioro de la materialidad por humedad.

Ilustración 3.4.19. Vano de muro en eje 1 entre ejes C y D.



El punto 4, se dejó para evaluar la estructura de techo a lo largo de la iglesia. En este sentido se pudo ver que el cañón está compuesto por piezas de madera arqueadas en forma de costilla de 5 costillas por vano. Estas tienen en el punto central del arco presencia de un madero pequeño que las amarra a los largueros superiores de la cercha que soportan el techo y que serían al menos de sección 2"x6". El revestimiento de madera del cañón tiene solo dos zonas pequeñas en donde estos están rotos por lo que el estado es bastante bueno en comparación con el revestimiento de madera de los arcos. Las cerchas principales están colocadas en cada eje apoyadas por los pilares interiores de sección 8x8" y ligadas a los muros por piezas de 2x6" a lo menos, las cuales atraviesan el muro encontrándose con los maderos superiores que apoyan el techo en el muro. Continuando con la composición de las cerchas, hay diagonales que van desde cerca del punto de apoyo de pilares al punto medio de la pieza superior de la cercha, siendo estos de sección distintas no superando un 2x4", esto se debe probablemente a que fueron colocados posteriormente o a que hubo reemplazo de piezas. Entre cerchas a la altura de las vigas a muros pero en el sentido longitudinal, existen dos más dos piezas de 3x8" con un taco cada cierta distancia, sobre ellos diagonales que arriostran en el sentido longitudinal las cerchas. Por último sobre las piezas que soportan el techo existen cadenas de 2x2" o 2x3" que hacen el largo del techo y que sirven para apoyar las planchas de zinc, estas piezas han sido reemplazadas, están colocadas desprolijamente, algunas presentan refuerzos, etc., situación que podría explicar por que se ha filtrado agua lluvia a la iglesia en el pasado.

Para terminar la descripción de daños corresponde mencionar el eje 8 visto desde el interior. Para esto se emplearon tres fotografías que se ven en la ilustración 3.4.20. y de las cuales se hablará a continuación.

Ilustración 3.4.20. Vanos de muro Eje 8



Fuente propia. En imagen izquierda vano entre ejes A y B, en imagen central vano entre ejes B y C, y en imagen derecha vano entre ejes C y D.

Desde izquierda a derecha se puede decir que el vano en eje 8 entre ejes A y B esta bastante sano, con algunas grietas de pequeño espesor y una horizontal más grande que parte en el borde de muro a mitad de altura de este avanzando hacia el centro. El estuco esta envejecido pero en buen estado, la escalera de madera sobrevive bastante bien y se puede pisar sin problemas, pero la huella es muy pequeña y un tanto peligrosa. Bajo la escalera hay una pequeña bodega. La pared de muro presenta un arco de ornamental que comienza en la esquina de muro y termina en un pilar de similares características a los de los ejes longitudinales.

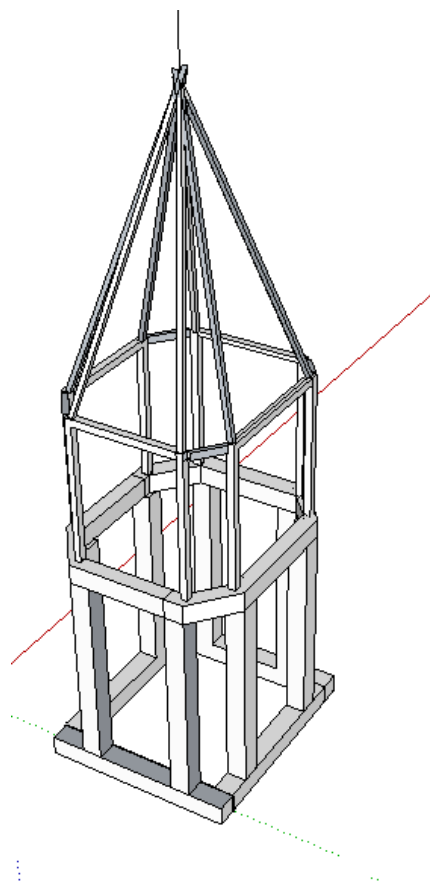
En el vano central esta la puerta de acceso principal y que sigue funcionando como tal, la cual presenta una mampara y cuya cota de piso es más baja que la del interior de la iglesia, teniendo que subirse dos escalones para entrar. Sobre la mampara apoyado en los pilares P02 y P01, esta la losa del coro, que es una losa flexible que debe tener un entablillado en dos direcciones que no es posible apreciar. Esta losa carece de baranda lo que la hace peligrosa y sobre ella comienza el cañón dando poca altura para erguirse en los bordes y mayor al centro. El estado de esta losa es bastante bueno, no apreciándose hoyos o tablas rotas, a pesar que el mantenimiento de ella es deplorable teniendo una capa de polvo y tierra considerable. Adosado al muro existe una escalera que lleva a una puerta en el tímpano del muro con el objeto de acceder a la torre aunque esto no es posible de lograr en la actualidad puesto que no hay una losa exterior ni escalera que continúe subiendo, sino que la puerta da al vacío, pudiendo verse desde arriba las 15 vigas que unen el muro eje 8 con la línea de las columnas en eje 9, y cuyo estado ya se menciono es paupérrimo habiendo vigas absolutamente desintegradas, otras con tabla de refuerzo y la mayoría podridas por la acción orgánica de las aves o insectos, o la humedad del ambiente. Llama la atención que las vigas centrales entre las que sostiene la torre pasan a este lado interior del muro pudiendo observarse la cabeza de ellas en ilustración 3.4.21. Se observan también en este punto grietas horizontales similares a las apreciadas en el muro opuesto en eje 1, y se ve parte de la estructura soportante de la torre, la cual consiste en cuatro marcos que no coinciden en las esquinas generando la forma octogonal de la base que sube en elevación. La piezas de madera que componen el techo de la torre tienen un cambio de pendiente en la base, y en el dibujo de arquitectura figura una diagonal que arriestra los marcos pero no se pudo comprobar su existencia en las visitas a terreno, como tampoco los maderos

pequeños que hacen cadeneta a media altura del techo, aunque estos últimos si es muy probable existan.

Ilustración 3.4.21. Parte superior central de muro eje 8



Ilustración 3.4.22. Dibujo 3D estructuración torre campanario



b. Análisis Estático

Una vez conocida la materialidad del inmueble se pudo obtener sus propiedades mecánicas. Luego, conocida la geometría que lo compone del catastro realizado anteriormente, se han reconocido sus elementos soportantes y las propiedades físicas de los mismos, información que permite realizar un análisis estático acorde a la norma chilena sísmica para edificios NCh 433 of.96. De esta norma se desprende, que no es posible realizar un análisis modal a la estructura, ya que su composición principal es de albañilería simple de adobe.

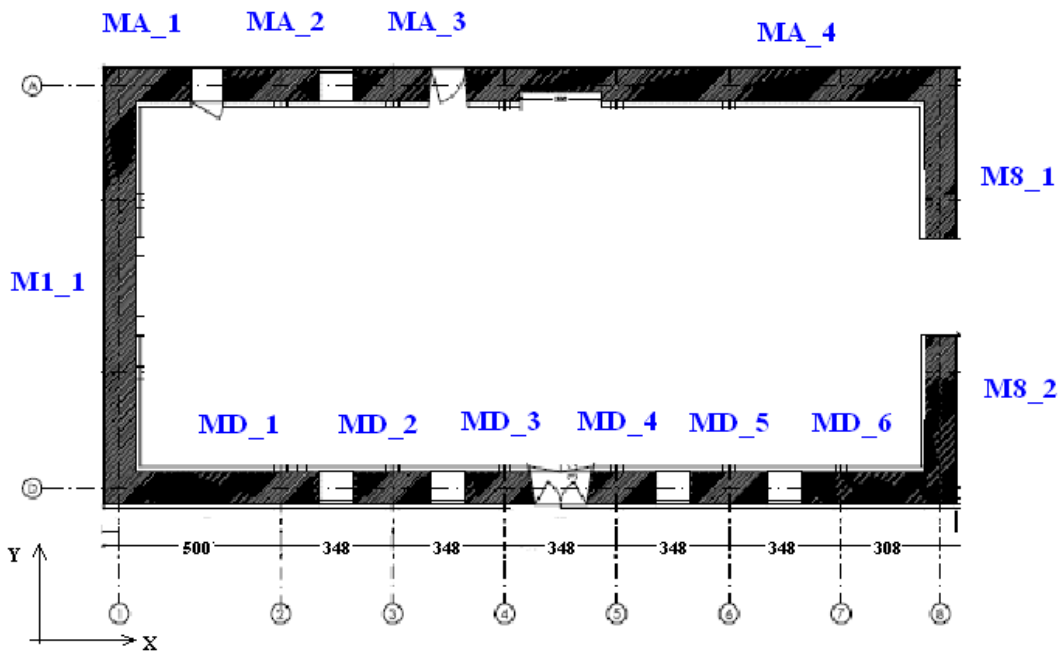
Se considera entonces que el inmueble está en zona sísmica 3, esto indica que de la tabla 6.2 de la norma, la aceleración A_0 a considerar es de 0.4-g. De los análisis anteriores se obtuvo que el tipo de suelo a considerar es suelo tipo II, con lo que de la tabla 6.3. de la norma, los valores a usar para el análisis son:

| Tipo de suelo | S | T_0 (sg) | T^* (sg) | n | p |
|---------------|---|------------|------------|------|-----|
| II | 1 | 0.3 | 0.35 | 1.33 | 1.5 |

Finalmente de los datos de entrada, es necesario definir la categoría del edificio, la cual según lo que expresa la norma se considerará de tipo A al ser una iglesia un lugar de aglomeración de personas, con lo que el factor de importancia (I) resultante es 1,2.

Para obtener el corte basal se utiliza la siguiente fórmula $Q = C \cdot I \cdot P$, en donde C es el coeficiente sísmico el cual se determina como se explicará a más adelante, I es el factor de importancia antes mencionado y P es el peso sísmico, que en este caso se considerará el peso de la geometría de los muros dividido en dos ya que teóricamente la mitad inferior del peso la toma el suelo y no aporta a las sollicitaciones sísmicas.

Luego según el plano de planta de la ilustración 3.4.1. simplificado en la imagen inferior, se considerará como dirección Xx la longitudinal, y como dirección Yy la transversal, por lo que en la siguiente tabla descontando los vanos aunque sean de ventanas, los muros a analizar con sus dimensiones son los siguientes:



| Muros en X | largo [cm] | A=L*e [m ²] | Vol=A*h/2 [m ³] | peso sísmico | Muros en Y | largo [cm] | A=L*e [m ²] | Vol=A*h/2 [m ³] | peso sísmico |
|------------|------------|-------------------------|-----------------------------|--------------|------------|------------|-------------------------|-----------------------------|--------------|
| MA_1 | 273 | 2.73 | 9.1 | 18.3 | M1_1 | 1320 | 13.2 | 54.1 | 108.2 |
| MA_2 | 300 | 3 | 10.1 | 20.1 | M8_1 | 511 | 5.11 | 21.0 | 41.9 |
| MA_3 | 232 | 2.32 | 7.8 | 15.5 | M8_2 | 511 | 5.11 | 21.0 | 41.9 |
| MA_4 | 1517 | 15.17 | 50.8 | 101.6 | | | | | |
| MD_1 | 673 | 6.73 | 22.5 | 45.1 | | | | | |
| MD_2 | 240 | 2.4 | 8.0 | 16.1 | | | | | |
| MD_3 | 200 | 2 | 6.7 | 13.4 | | | | | |
| MD_4 | 200 | 2 | 6.7 | 13.4 | | | | | |
| MD_5 | 240 | 2.4 | 8.0 | 16.1 | | | | | |
| MD_6 | 481 | 4.81 | 16.1 | 32.2 | | | | | |
| total [m] | 43.56 | | | 291.85 | | 23.42 | | | 192.04 |

Entonces para obtener el peso propio de manera conservadora, utilizando el peso específico del adobe $\gamma=2 \text{ tonf/m}^3$, se necesita primero conocer el volumen y para ello se considera espesor de muros de un metro, a pesar que el aporte estructural puede llegar a ser de solo 80cm. La altura de muros en dirección Xx se considera de 6.7m sobre la cota interior de la capilla +0.90; en la dirección Yy en cambio, el tímpano genera una altura variable que se puede considerar de 8.2m en promedio al ser esta variación lineal. De esta manera como figura en la tabla superior el peso total de los muros es de 484ton, a lo que hay que agregar el peso de la techumbre que como se vio anteriormente esta compuesto por maderamen y planchas de zinc cada uno con valores de 30 kg/m², y se toma como área de techo todo el largo del inmueble 26.48m y el borde inclinado redondeado hacia arriba de 7.5m dando un peso total de 23.8 ton.

| | |
|-----------------------|--------|
| Peso muros en x [ton] | 291.85 |
| Peso muros en y [ton] | 192.04 |
| Peso Techumbre [ton] | 23.83 |
| Peso sísmico [ton] | 507.7 |

Con todo esto se tiene que el peso sísmico es de 507.7 ton, valor que esta en el mismo orden de magnitud contrastado con el obtenido del modelo SAP2000, teniendo en consideración que no se consideran dinteles de ventanas o puertas y que la sobrecarga de techo no se considera en este tipo de análisis.

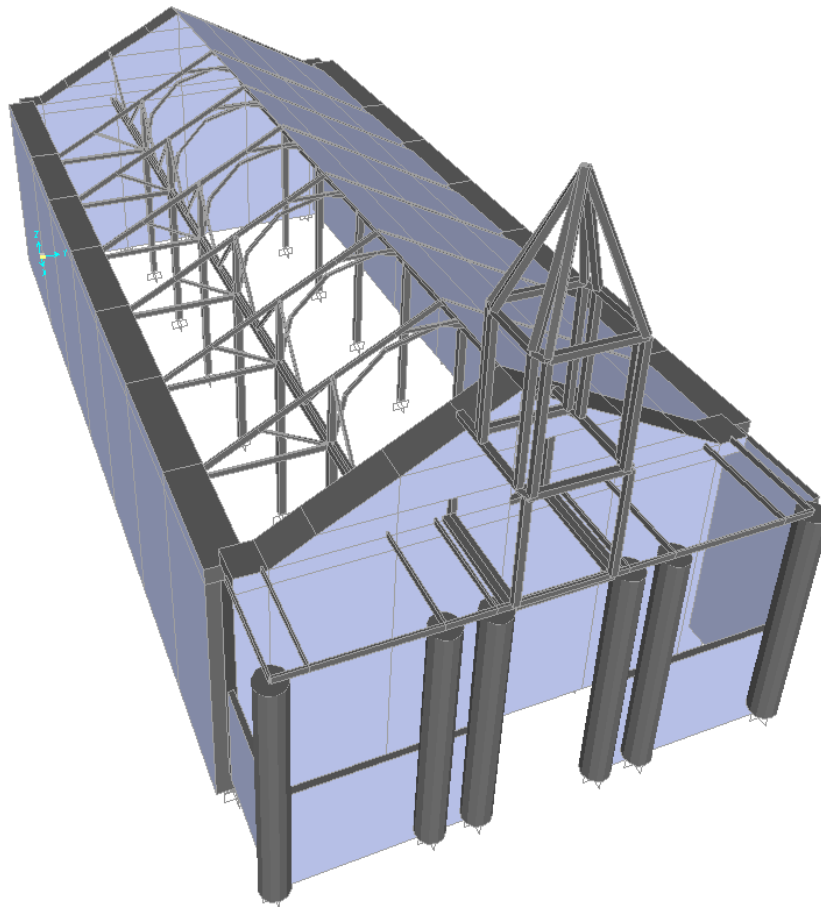
Entonces para obtener el corte basal, se debe conocer primero el valor del coeficiente sísmico

$$C = 2.75 \frac{A_0}{R \cdot g} \left(\frac{T}{T_i} \right)^n$$

C, el cual esta definido por la norma según la siguiente formula como: en donde T_i en segundos, es el valor del periodo de mayor masa traslacional en la dirección del análisis, valor que recomiendan los estudios de la UNAM, para un muro aislado utilizar 0.09sg. con lo cual el valor de C llegaría a 3.348. En el modelo SAP2000 sin embargo se llegó a que la iglesia considerando solo los muros de adobe que la componen con las propiedades mecánicas recomendadas para diseño, era de valores cercano al segundo para ambos periodos de mayor masa traslacional que coincidían con el movimiento de los muros en las dos direcciones principales, situación esperable debido a la planta regular en forma de rectángulo, y considerando la participación de la estructura de techo y cerchas los valores de períodos bajaban a 0,4 y 0,2 segundos para X_x e Y_y , teniéndose valores de C de 0.46 y 1.158 respectivamente.

Como el coeficiente sísmico esta limitado por la norma por un mínimo, $C_{min} = A_0/6g = 0.07$, y un C máximo acorde a la tabla 6.4 o sea, $C_{max} = 0.36$, no se puede considerar ninguno de los valores anteriores dominados por el valor máximo, y si se podría considerar el valor sugerido de $T=1sg$ que da un coeficiente sísmico $C = 0.136$, pero como a su vez este período es improbable para una estructura tan rígida, se considerará valores intermedios para la de $T=0,8sg$ y $0.5sg$ para dirección x e y respectivamente, considerados mas ajustados a la situación de rigidez estructural en la que se encuentra, ya que el eje y es cerca del doble mas rígido que el eje x. A continuación el corte basal obtenido para cada hipótesis.

| | T [s] | c | Q basal ton] |
|--------------|-------|-------|--------------|
| Cmax | 0.4< | 0.36 | 219.3 |
| Dirección x | 0.5 | 0.342 | 208.5 |
| Dirección y | 0.8 | 0.183 | 111.6 |
| Muro aislado | 1.0 | 0.136 | 82.9 |



Con esto el Corte basal obtenido es $Q = 208.5$ ton en la dirección Xx y 111.6 ton en la dirección Yy teniéndose un Q_{max} de 219.3 ton, valores obtenidos también en el modelo por lo que el orden de magnitud es aceptable. Con estos valores se procede a distribuir el corte basal entre los elementos verticales de muro según el porcentaje de área que aportan en cada dirección y según las rigideces que ellos tienen según la dirección del análisis y sin considerar el aporte del ancho colaborante de los muros en la dirección perpendicular a ellos como en el caso de los muros esquina.

| muros en X | largo [cm] | A=L*e [m2] | % | Q [Ton] | σ [T/m2] | Muros en Y | largo [cm] | A=L*e [m2] | % | Q [Ton] | σ [T/m2] |
|------------|------------|------------|------|---------|-----------------|------------|------------|------------|------|---------|-----------------|
| MA_1 | 273 | 2.18 | 0.06 | 13.1 | 6.0 | M1_1 | 1320 | 10.56 | 0.56 | 62.9 | 6.0 |
| MA_2 | 300 | 2.40 | 0.07 | 14.4 | 6.0 | M8_1 | 511 | 4.09 | 0.22 | 24.4 | 6.0 |
| MA_3 | 232 | 1.86 | 0.05 | 11.1 | 6.0 | M8_2 | 511 | 4.09 | 0.22 | 24.4 | 6.0 |
| MA_4 | 1517 | 12.14 | 0.35 | 72.6 | 6.0 | | | | | | |
| MD_1 | 673 | 5.38 | 0.15 | 32.2 | 6.0 | | | | | | |
| MD_2 | 240 | 1.92 | 0.06 | 11.5 | 6.0 | | | | | | |
| MD_3 | 200 | 1.60 | 0.05 | 9.6 | 6.0 | | | | | | |
| MD_4 | 200 | 1.60 | 0.05 | 9.6 | 6.0 | | | | | | |
| MD_5 | 240 | 1.92 | 0.06 | 11.5 | 6.0 | | | | | | |
| MD_6 | 481 | 3.85 | 0.11 | 23.0 | 6.0 | | | | | | |
| total [m] | 43.6 | | | 208.5 | | | 23.42 | | | 111.6 | |

| muros en X | largo [cm] | A=L*e [m2] | K | % | Q [Ton] | σ [T/m2] | Muros en Y | largo [cm] | A=L*e [m2] | K | % | Q [Ton] | σ [T/m2] |
|------------|------------|------------|--------|------|---------|-----------------|------------|------------|------------|--------|------|---------|-----------------|
| MA_1 | 273 | 2.18 | 20.3 | 0.01 | 1.1 | 0.5 | M1_1 | 1320 | 10.56 | 2300.0 | 0.90 | 186.8 | 17.7 |
| MA_2 | 300 | 2.40 | 27.0 | 0.01 | 1.4 | 0.6 | M8_1 | 511 | 4.09 | 133.4 | 0.05 | 10.8 | 2.7 |
| MA_3 | 232 | 1.86 | 12.5 | 0.00 | 0.6 | 0.3 | M8_2 | 511 | 4.09 | 133.4 | 0.05 | 10.8 | 2.7 |
| MA_4 | 1517 | 12.14 | 3491.1 | 0.87 | 181.5 | 15.0 | | | | | | | |
| MD_1 | 673 | 5.38 | 304.8 | 0.08 | 15.8 | 2.9 | | | | | | | |
| MD_2 | 240 | 1.92 | 13.8 | 0.00 | 0.7 | 0.4 | | | | | | | |
| MD_3 | 200 | 1.60 | 8.0 | 0.00 | 0.4 | 0.3 | | | | | | | |
| MD_4 | 200 | 1.60 | 8.0 | 0.00 | 0.4 | 0.3 | | | | | | | |
| MD_5 | 240 | 1.92 | 13.8 | 0.00 | 0.7 | 0.4 | | | | | | | |
| MD_6 | 481 | 3.85 | 111.3 | 0.03 | 5.8 | 1.5 | | | | | | | |
| total | 43.6[m] | | 4010.6 | | 208.5 | | | 23.4 [m] | | 2566.8 | | 111.6 | |

En la primera tabla la distribución del corte es pareja, al estar diferenciados los muros entre si solo por su largo luego cada cual se lleva esfuerzos proporcionales y el corte se compensa.

En la segunda tabla la distribución de corte es en cuanto a su rigidez total, luego también los muros comparten casi todas sus propiedades salvo el largo, pero esta dimensión es más decisiva y provoca que el muro mas largo tome gran porcentaje de la sollicitación del inmueble en la dirección de su largo.

Si se tiene en cuenta que la tensión admisible al corte según lo recomendado por los valores de los estudios de la UNAM es de 8ton/m² no debiera haber problemas debidos al corte a nivel local, según se muestra en la primera tabla. Ahora si se toma los muros individualmente distribuyendo con respecto a sus rigideces, la tensión de corte supera el admisible para el caso de los muros más largos, cuya rigidez solo varia con respecto a los demás en el largo.

Este análisis introduce el hecho de que cada muro toma esfuerzos según su rigidez, considerando un ancho estructural de 80 cm., y el largo de cada elemento por lo que se reparte el corte por igual al ser todos los muros de igual ancho, tener teóricamente el mismo modulo de elasticidad y altura. Los resultados excluyen como se dijo, el aporte de muros colaborantes, y el aporte que puedan tener los pilares y columnas que estén conectados a la techumbre, la que se puede considerar como diafragma por lo que traspasaría esfuerzos a estos elementos.

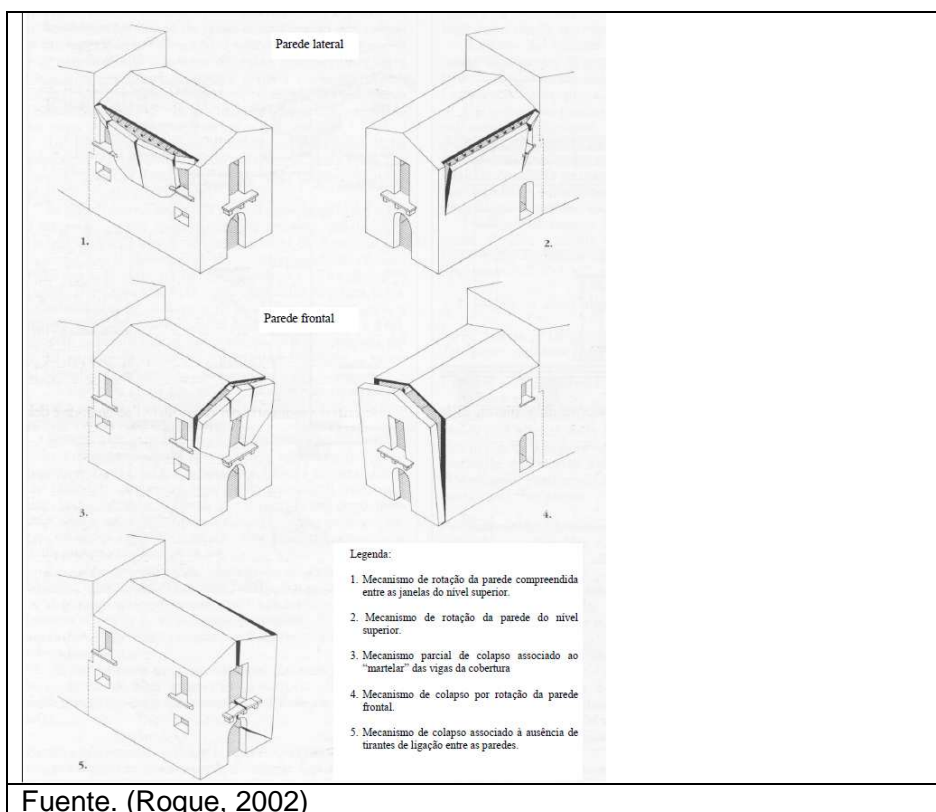
CAPITULO IV

APLICACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS.

4.1. Cuantificación del grado de Daño

En este capítulo se concluirá con lo visto en la primera visita a terreno, utilizando los criterios que se usaron en la memoria de Cecilia Trigueros del Pino (Trigueros del Pino, 2002), ya que en esta se hizo este análisis para la arquidiócesis de la zona central chilena, después del terremoto de 1985 y entonces se podrá homologar esta observación con aquella. No es un análisis estructural cuantitativo, sino que es solo una apreciación cualitativa para tener una referencia del grado de deterioro estructural de una iglesia, deterioro que fue catalogado en la mencionada memoria siguiendo los conceptos generales establecidos en la Escala de Daños MSK, que usan actualmente países europeos como España. En una escala discreta que va del 0 al 5, en donde 0 es ningún daño visible y 5 es colapso total, se intenta hacer una correlación entre daños de una estructura e intensidad sísmica percibida en la naturaleza y por las personas del lugar. Esta revisión no acuciosa, trata solo de observar los daños que se aprecian a simple vista, como los que se ven en la siguiente ilustración descritos a continuación a modo de ejemplo: adornos dañados o caídos, muros agrietados o caídos, desaplomo de muros, desacoplo de muros, vaciado de muros etc....Con esta información se podrá comparar el estado del arte del inmueble en cuestión con otros similares y se tendrá una referencia comparativa.

Ilustración 4.1 - Ejemplo fallas observables



Fuente. (Roque, 2002)

Como se mencionó en el capítulo anterior algunas fallas vistas en la primera visita a terreno fueron entre otros. Presencia de cierta inclinación lateral hacia el noreste de la fachada. Se verificó la existencia de otros materiales de mampostería (como albañilería) colocados en reemplazo de los adobes, en ciertas zonas de la iglesia. Presencia de material suelto en el suelo. El piso presentaba numerosas roturas, hoyos y pérdidas de material. La mayoría de los adornos estaban dañados y algunos estaban caídos. El campanario estaba inclinado, los revestimientos exteriores e interiores estaban dañados, en los muros se apreciaron grietas de diversas profundidades y espesores, y un posible desacople de los mismos. Parece haber un vaciado de muros en las zonas de dinteles de ventanas en un costado de la iglesia. Grietas radiales en arcos de ventanas.

En Chile la principal amenaza para las construcciones, son las solicitaciones sísmicas. Esto es, las cargas, empujes y deformaciones provocadas por el movimiento de la tierra a causa de los movimientos tectónicos entre placas. Por esta razón, la construcción en cuestión ha sido afectada por varios movimientos sísmicos y algunos de ellos de importancia. En particular dos de ellos, el terremoto de Valparaíso de 1906, y el de Lolleo 1985. El estado actual depende en gran medida de la sobrevivencia a estos sismos, Ya que en la visita a terreno se verificó como se encuentra ésta en cuanto a estas solicitaciones. Como se presentó al comienzo del ítem, se utilizará el mismo criterio de la memoria de Cecilia Trigueros del Pino (Trigueros del Pino, 2002), ya que en esta tesis se hizo un catastro de primer orden de todas las Iglesias de la zona central según la Arquidiócesis de Santiago, y al usar estos criterios, se podrá uniformizar estos con los de otras construcciones. Este criterio es solo de primer orden, y casi puramente visual. Los puntos a observar en la tabla a continuación:

Tabla 4.1

| | | |
|---|--|--|
| 0 | sin daños aparentes | |
| 1 | daños ligeros - fisuras | grietas finas en estucos pequeñas grietas en muros y torres primeras grietas en clave de arcos grietas en arcos ojivales caída de elementos ornamentales sobresalientes |
| 2 | daños moderados - grietas | grietas en estucos grietas en encuentro de muros y dinteles ventanas grietas en torres, campanario y/o área del coro caída de parte del material ornamental |
| 3 | daños mayores sin incluir derrumbe - desconexión | grietas con separación en zona de encuentro de muros, con o sin desaplomo de muros desaplomo y desconexión de estructuras sobresalientes (torre, tímpanos, gárgolas) Agrietamiento generalizado de muro de fachada derrumbe de más del 50% del ornamento desaplomo de la estructura de torre-campanario grietas graves en arcos ojivales, con pérdida de material |
| 4 | daños graves - derrumbe parcial - destrucción | pérdidas de cohesión en encuentro de muros muros o parte de ellos se derrumban profundas grietas en más del 50% del área de muros colapso parcial o total de torres colapso de gran parte de la estructura con poca capacidad de recuperación |
| 5 | daño total - colapso total Iglesia | colapso total de la iglesia, sin recuperación |

Fuente. Trigueros del pino (2002)

En la visita a terreno se pudo ver todos los puntos hasta el grado dos, y algunos del grado 3 y 4, pero la escala es discreta por lo tanto si no cumple todo los puntos del punto 4 no puede serlo, ni tampoco puede ser tres y medio. Además de los puntos que no cumplían en la topología 3, es porque no correspondían al caso, tal es la situación del punto sobre arcos ojivales, que en la obra no eran tales, aunque si había arcos semicirculares de dinteles en ventanas y puertas. Con esto el resultado es que se está en presencia de daños mayores, o sea nivel 3.

4.2. Vulnerabilidad Sísmica.

Finalmente el inmueble será analizado sísmicamente, con tal de ver si las condiciones actuales de éste son suficientes como para enfrentar una sollicitación de este tipo en el futuro o si se debiera hacer algunos cambios en él que permitan que analíticamente el inmueble entregue seguridad para enfrentar este tipo de cargas, y poder ser usado nuevamente.

Como se explico anteriormente, la materialidad del inmueble hace que este no puede ser analizado por métodos modernos que basan sus hipótesis en características no presentes en este caso como por ejemplo, la homogeneidad de los materiales utilizados, que en el caso de la normativa actual es acero, hormigón o albañilería de ladrillo, lo que contrasta con la realidad actual de la iglesia consistente adobe, madera o piedra, por lo que un análisis de este tipo no es aplicable todavía en estos tiempos.

Para este tipo de análisis entonces, existen métodos que utilizan hipótesis y datos para modelar una supuesta respuesta del inmueble de manera cuantitativa basándose en datos cualitativos apreciados en terreno.

Las características estructurales del edificio o la arquitectura propia de este, así como las propiedades del entorno y los materiales que componen en el inmueble, son factores que influyen en un análisis, y otorgan datos y orientaciones acerca de cómo se puede comportar la obra ante cargas de tipo sísmicas.

Así nace el concepto de vulnerabilidad sísmica de un edificio, por lo cual se debe entender que consiste en una calificación de la eventual respuesta frente a un terremoto de un edificio, la cual depende de sus características o cualidades.

a. Búsqueda de modelos aplicables.

Este ítem es complejo y busca encontrar el modelo más interpretativo a la realidad que se tiene. Algunas directrices que se mencionarán a continuación. En primer lugar, como se explica en el capítulo 3, se ha determinado que el adobe no es modelable como el acero o el hormigón, ya que éste es un material no homogéneo, en este sentido sería improbable obtener por ejemplo un módulo de resistencia de éste ya que probablemente en un muro podría llegarse a un valor promedio muy distinto que en otro. Esto puede verse en el análisis de sensibilidad del capítulo en cuestión. Otra dificultad que presenta el adobe, también tratada, es su característica no sismorresistente, ya que por ejemplo todas las construcciones de este material en Chile anteriores al terremoto de 1730 colapsaron, y luego se fueron tomando medidas de aprendizaje en la construcción que han hecho que construcciones con este material hayan llegado hasta el día de hoy. En este sentido se han determinado que tipo de medidas son las que pueden hacer que una obra de adobe sea considerada sismorresistente. Respecto a los modelos en si, se ha llegado a ver que en el mundo se ha modelado iglesias antiguas de gran tamaño hechas de materiales como albañilería simple de ladrillo u hormigón o incluso madera, pero estos modelos son bastante complejos y se cree en este momento que no son del todo necesarios para cumplir con la tarea encomendada. Algunos ejemplos se puede ver en las iglesias de San Francisco y de la Capilla de Las Hermanas de La Providencia, hecho en el proyecto MAR

VASTO 2008, que si fueron modeladas estructuralmente con programas de métodos de elementos finitos, pero que no se utilizó esto en la de Iglesia de la Matriz, puesto que esta era de adobe, y muy parecida aunque de mayores dimensiones a la que se debe estudiar en este trabajo.

Existen diversas formas de modelar edificios sísmicamente, pero la mayoría de estos métodos son para estructuras que cumplan con la normativa vigente. En este sentido con los avances en las matemáticas y en computación, se ha llegado a los programas que utilizan métodos de elementos finitos (FEM), los cuales necesitan la implementación de varios supuestos físicos que idealizan la realidad (modelan la realidad), como por ejemplo la homogeneidad de los materiales, el traspaso de cargas homogéneo, cargas con funciones continuas o puntuales, etc. Para las construcciones mas antiguas se analiza caso a caso y se pueden y se han hecho, programas que intentan modelar situaciones sísmicas, con el problema de que sus hipótesis deber revisadas exhaustivamente para afinarlas a la realidad y eventualmente llegar a resultados de poca precisión. Otra desventaja particular es el costo que esto tiene, el cual es elevado tanto en esfuerzo como económicamente, a lo que se agrega lo difícil de aplicarlo en forma generalizada para otras construcciones. Así que por esto no se aplicara en este caso simulaciones computacionales, ni metodologías con la norma vigente, las cuales si podrían ser útiles en el futuro para analizar las intervenciones, en caso que ellas existan, ya que estas intervenciones debieran ser de materiales modernos, o combinación de ellos, para lo cual existen programas y metodologías de diseño y análisis, aunque en tal caso, eso no excluiría el hecho de hacer supuestos importantes y levantar hipótesis consistentes que necesitaran ser ajustadas para que estos análisis no estén tan alejados de la realidad.

Como se ha dicho anteriormente, es difícil de modelar construcciones antiguas ya sea porque se desconoce información relevante en cuanto a diseño, construcción, materialidad, o también por que esta materialidad no es homogénea y que no responde a cálculos matemáticos y que puede ser mixta en la mayoría de los casos, todo lo cual dificulta estandarizar una metodología a cualquiera de estas construcciones, a diferencia de lo que se hace con las obras actuales, en que varias construcciones distintas entre si, pueden ser diseñadas análogamente según las normas y de hecho se replican metodologías y hasta programas computacionales.

Como es difícil de modelar, lo que se suele hacer en el mundo en países de características similares las chilenas, es analizar según el resultado presente, y para esto se deben obtener información cuantitativa de las obras, para lo cual por ejemplo, el modelo italiano diseñó una variable llamada vulnerabilidad del edificio (GNDT), la cual se obtiene según lo obtenido en el catastro de la obra. Este valor permite no solo comparar la obra con otras, sino que entrega las medidas a tomar para bajar el factor de vulnerabilidad a un punto en el que se considera que la estructura debiera poder seguir sin problemas en el tiempo. Existen otros índices que se usan en otros países, la mayoría de ellos son similares y ocupan el catastro para obtener por ejemplo un porcentaje de área efectiva que estaría trabajando para resistir un sismo en una determinada dirección, pero de todos estos índices, al parecer el modelo italiano es el que mejor podría adoptarse en esta situación, ya que ofrece también un factor para adaptar la vulnerabilidad a otra realidad, en particular la chilena. Esto tiene mucho sentido ya que los terremotos chilenos como es sabido, son de características distintas de los de Italia, Portugal, Estados Unidos o México, y por ejemplo, generalmente la primera medida antisísmica que se tomó en la realidad chilena fue aumentar el espesor de lo muros y disminuir el de las partes altas, luego existe un factor llamado de "factor de masa" el cual puede entregar una corrección al índice de vulnerabilidad para adaptarlo al caso chileno.

Aun así en el análisis de vulnerabilidad es posible realizar estas calificaciones de las obras con distintos grados de complejidad y alcance dependiendo del estudio en particular realizar, con lo cual se puede abarcar varias topologías de obras antiguas.

Según Sturm, 2008, cualquiera sea el método para determinar la vulnerabilidad sísmica de un edificio, se debe entender su funcionamiento estructural y el mecanismo de fuerzas concebido por sus constructores. Además se deben identificar los factores que pueden haber modificado el sistema estructural original, entre los que se pueden destacar: efectos de sismos anteriores, asentamientos diferenciales, deterioro debido a la exposición la intemperie, a agentes químicos u otros efectos ambientales, modificaciones hechas a la estructura y efectos de incendios. Con lo cual se puede decir que es ineludible conocer la estructuración del inmueble y por tanto conocer su funcionamiento.

Ilustración 4.1.

| Índices | |
|------------------------------------|--|
| Índice de Meli: | $d_n = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_{mj}}{n \cdot A_p}$ |
| Índices de Lourenço: | $\gamma_{1,i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_j}{A_p}$ |
| | $\gamma_{2,i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_j}{W_T}$ |
| | $\gamma_{3,i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_j \cdot \tau_m}{C_s \cdot W_T}$ |
| | $\%A_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_j}{A_{PM}}$ |
| Índice de Vulnerabilidad del GNDT: | $I_v = \frac{\sum_{i=1}^{11} \frac{k_i \rho_i}{q_i}}{I_{\max}}$ |
| Índice de Gallegos: | $I = [P \times E \times S \times C] * [F]$ |

Algunos índices. Fuente. Sturm (2008)

Ilustración.4.2.

Figura 6. Ejemplo tabla para índice de vulnerabilidad par iglesias

| INDICE DI DANNO E VULNERABILITÀ | | | |
|---|--|--|--|
| 1 – RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA | | | |
| Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | | |
| Vulnerabilità | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Presidi antisismici Presenza di catene longitudinali Presenza di efficaci elementi di contrasto (contrafforti, corpi addossati, altri edifici) Ammorsamento di buona qualità tra la facciata ed i muri della navata | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Indicatori di vulnerabilità Presenza di elementi spingenti (punti di copertura, volte, archi) Presenza di grandi aperture nelle pareti laterali in vicinanza del cantonale | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Danno | attuale | Distacco della facciata dalle pareti o evidenti fuori piombo | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | vecchio | Distacco della facciata dalle pareti o evidenti fuori piombo | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2 – MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA | | | |
| Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | | |
| Vulnerabilità | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Presidi antisismici Presenza di collegamenti puntuali con la copertura (travi-catene) Presenza di controventi di falda Presenza di cordoli leggeri (metallici reticolari, muratura armata, c.a. sottili) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Indicatori di vulnerabilità Presenza di grandi aperture (rosone o altro) Presenza di una sommità a vela di grande dimensione e peso Cordoli rigidi, trave di colmo in c.a., copertura pesante in c.a. | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Danno | attuale | Lesioni inclinate a (taglio) - Lesioni verticali o arcuate - Rotazioni delle capriate | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | vecchio | Lesioni inclinate a (taglio) - Lesioni verticali o arcuate - Rotazioni delle capriate | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3 - MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA | | | |
| Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | | |
| Vulnerabilità | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Presidi antisismici Presenza di catene in controfacciata Contrasto laterale fornito da corpi addossati o facciata inserita in aggregato | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Indicatori di vulnerabilità Presenza di grandi aperture (anche tamponate) Elevata snellezza (rapporto altezza/larghezza) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Danno | attuale | Lesioni inclinate (taglio) - Lesioni verticali o arcuate (rotazione) - Altre fessurazioni o spaccamenti | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | vecchio | Lesioni inclinate (taglio) - Lesioni verticali o arcuate (rotazione) - Altre fessurazioni o spaccamenti | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4 – PROTIRO - NARTECE | | | |
| Presenza del macroelemento in relazione al meccanismo: <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | | Peso nella fabbrica (≤ 1): _____ |
| Vulnerabilità | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Presidi antisismici Presenza di catene Presenza di colonne, pilastri di adeguata rigidità | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No | Indicatori di vulnerabilità Presenza di elementi spingenti (archi, volte) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| Danno | attuale | Lesioni nella trabeazione per rotazione delle colonne - Distacco complessivo dalla facciata - Martellamento del protiro - Archi lesionati | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | vecchio | Lesioni nella trabeazione per rotazione delle colonne - Distacco complessivo dalla facciata - Martellamento del protiro - Archi lesionati | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

4.3. Método GNDT

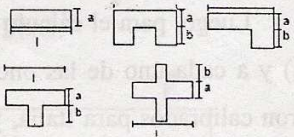
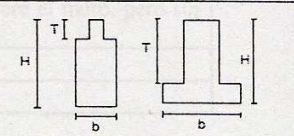
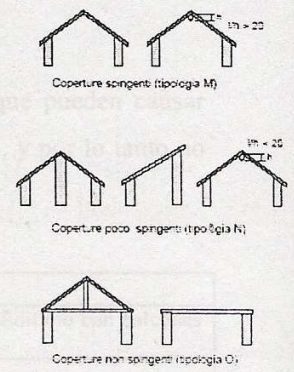
a. Definición de Metodología y Aplicación

Finalmente se aplicará el método italiano de vulnerabilidad sísmica GNDT (Gruppo Nazionale per la difesa dei Terremoto), ya que este mismo se aplicó en el mismo Cerro Cordillera el año 2007 en el marco del proyecto Mar Vasto (Manejo de Riesgos en el Área de Patrimonial de Valparaíso) por parte de la municipalidad en cooperación con un equipo italiano de expertos y algunas universidades chilenas. Este proyecto se dedicó a analizar más profundamente tres iglesias entre ellas la de la Matriz, y también la viviendas del cerro cordillera hasta la altura del ascensor, por lo cual la Iglesia que como ya se explico esta en la parte superior del cerro, quedó excluida de este catastro.

Se adaptó la ficha usada para viviendas a una ficha traducida que es la que se ocupará en este caso. Esta ficha esta pensada para ser ocupada en edificios de albañilería, tabaquería de adobe o adobe, y si bien es una ficha para viviendas tiene también una pequeña adaptación a casas grandes de albañilería, la cual cambia un punto en particular.

La ficha a utilizar es la siguiente que es la adaptación que se hizo para el caso Valparaíso en el proyecto MAR VASTO, y de ella se desprende que consta de 5 columnas y once filas, cada una de las cuales indica un punto o tópico a analizar. Se utilizara la versión para casas de gran tamaño, que solo varía en el punto 3, el cual se detalla mas adelante.

Ilustración tabla ficha 4.3.1 Tabla GNDT par viviendas

| PARAMETRO | | Cali. | Cali. Inf. | ELEMENTO DE EVALUACION | ESQUEMAS Y VALORES | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------|------------|--|--------------------|---|--|--|---|--------------|--|--|------------------------------|
| 1 | TIPO DE ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA | | | Norma nueva o equivalente | A | | | | | | | | |
| | | | | Cordones y/o cadenas y/o contra fuertes en todos los niveles | B | | | | | | | | |
| | | | | Buenas conexiones entre muros y entre todos los pisos consecutivos | C | | | | | | | | |
| | | | | Edificio con malas conexiones | D | | | | | | | | |
| 2 | CALIDAD DEL S.R. | | | 1. Albañilería simple | — | | | | | | | | |
| | | | | 2. Muros mixtos | | | | | | | | | |
| | | | | 3. Sistema mixto albañilería/tab. de adobe | | | | | | | | | |
| | | | | 4. Edificio de tabiquería de adobe | | | | | | | | | |
| 3 | RESISTENCIA CONVENCIONAL | | | a) Losa con respecto a edif. contiguo (m) | — | | | | | | | | |
| | | | | b) Posición en la cuadra | | | | | | | | | |
| | | | | c) Homogeneidad con los edif. contiguos | | | | | | | | | |
| | | | | d) Numero de pisos N | | | | | | | | | |
| 4 | POSICIÓN DEL EDIFICIO Y FUNDACION | | | e) Superficie cubierta S | — | | | | | | | | |
| | | | | f) Peso específico muros ρ (kg/m ³) | | | | | | | | | |
| | | | | a) Pendiente porcentual del terreno (%) | |  | | | | | | | |
| | | | | b) Diferencia max cota Δh (m) | | | | | | | | | |
| c) Roca (S/N) | | | | | | | | | | | | | |
| d) Terreno suelto sin empuje (S/N) | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | SISTEMA DE PISO | | | e) Terreno suelto con empuje (S/N) | — | | | | | | | | |
| | | | | a) Losa con diferencia de cota (S/N) | |  | | | | | | | |
| | | | | 1. Losa rígida y bien colgada | | | | | | | | | |
| | | | | 2. Losa deformable y bien colgada | | | | | | | | | |
| 3. Losa rígida y mal colgada | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | CONFIGURACION DE LA PLANTA | | | 4. Losa deformable y mal colgada | — | | | | | | | | |
| | | | | Relación porcentual $\beta_1 = a/l$ (a:29 l:56) | |  | | | | | | | |
| | | | | Relación porcentual $\beta_2 = b/l$ (b:0 l:56) | | | | | | | | | |
| | | | | 1. Aumento o disminución de masa (%) | | | | | | | | | |
| 2. Superficie pórtico (%) | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | CONFIGURACION EN ELEVACION | | | 3. T/H (%) | — | | | | | | | | |
| | | | | 8 | | D _{max} ESTRUCTURA | | | Esbeltez horiz. max. l/s (l: 14 s: 0.9) | — | | | |
| | | | | 9 | | | | | SISTEMA DE TECHO | | | | 1. Techo con empuje (S/N) |
| | | | | | | | | | | | | | 2. Cadena y/o conexión (S/N) |
| 10 | ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES | | | | (Ver manual) | | | | | | | | — |
| | | | | | 11 | ESTADO DE CONSERVACION | | | | (Ver manual) | | | |

La primera columna es el nombre del punto o de la característica considerada en la determinación de la vulnerabilidad.

La segunda columna dice relación con la calificación o clase de vulnerabilidad la cual puede calificarse en cuatro grupos A, B, C o D, decreciendo desde A el caso mas favorable. La

explicación de cómo calificar cada uno de los 11 puntos se explicará mas adelante y es particular a cada característica.

La tercera columna llamada calidad de información se evalúa en E, M, B o A, en orden respectivo desde E el caso mas favorable hasta A el mas desfavorable. Los valores y criterios se explican en la siguiente tabla.

Ilustración tabla 4.3.2

| Calidad de la información | | Descripción |
|---------------------------|-----|--|
| E | 1.1 | Se entiende como una calidad elevada de información cuando ésta se obtiene en forma directa (medición in-situ, planos confiables, vista directa del elemento de información, etc) con un grado de confiabilidad cercano a la certeza. |
| M | 1.0 | Se entiende como una calidad media : cuando ésta se obtiene por lectura indirecta como por ejemplo a través de una fotografía, medida tomada de manera no minuciosa, ensayos no destructivos de origen empírico, deducciones directas de situaciones análogas, información oral de alguna persona con conocimiento, etc, con un grado de confiabilidad intermedia entre el término E y B. |
| B | 0.9 | Se entiende como una calidad baja : cuando esta se obtiene por medida deducida de una hipótesis razonable basada en modalidades similares y frecuentes en el área o información oral distinta a la anterior, con un grado de confiabilidad un poco superior a una mera conjetura. |
| A | 0.8 | Se entiende como información ausente , cuando la información está al límite de una conjetura. En este caso, la información del relator tiene un valor meramente indicativo; durante la elaboración de los resultados se podrá decidir si se toma en cuenta esta información o si se considera otra basada en la observación de la zona. |

La cuarta columna indica los factores que se evalúan en la característica e indica simplifícadamente el como hacerlo.

Finalmente existe una ultima columna que solo indica esquemas de apoyo para evaluar los factores de la columna anterior y solo para algunas características.

Luego de haber completado esta ficha, se procede a cuantificar los resultados, y para ello tal como en la tabla 4.3.2, existen valores numéricos asociados a la calificación. Estos valores reciben una letra las cuales se combinan al final de forma matemática obteniéndose un valor numérico total que en este caso se llama índice de vulnerabilidad (Iv).

El valor de la tabla 4.3.2 se llama q_i , en donde q es el valor numérico correspondiente a la letra o a la evaluación e i la característica a la que corresponde esta evaluación.

La calificación tiene un puntaje por característica llamado k_i , puntaje que no es el mismo para cada característica aunque se repitan en ocasiones. Estos valores salen en la tabla 4.3.4, al igual que el peso o ponderación de la variable.

La ponderación o peso de la variable llamado p_i , también varía según la característica i , tal como se ve en la tabla, pero además para las características 5, 7 y 9, este peso es variable.

Ilustración tabla 4.3.3

| Característica considerada | Puntaje por Clase, k | | | | Peso p |
|---|----------------------|---|----|----|-----------|
| | A | B | C | D | |
| 1) <i>Organización del sistema</i> | 0 | 5 | 20 | 45 | 1 |
| 2) <i>Calidad del sistema resistente</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 1.5 |
| 3) <i>Resistencia convencional</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.5 |
| 4) <i>Posición del edificio y fundación</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.75 |
| 5) <i>Sistema de piso</i> | 0 | 5 | 15 | 45 | 0.35 |
| 6) <i>Configuración de la Planta</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.35 |
| 7) <i>Configuración de la elevación</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.35 |
| 8) <i>Esbeltez horizontal de las fachadas</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.35 |
| 9) <i>Sistema de techumbre</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.35 |
| 10) <i>Elementos no estructurales</i> | 0 | 0 | 25 | 45 | 0.75 |
| 11) <i>Estado de conservación</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 1 |

Ilustración tabla 4.3.4

| Característica considerada | Puntaje de Clase, k | | | | Peso p |
|---|---------------------|----|----|----|-----------|
| | A | B | C | D | |
| 1) <i>Organización del sistema</i> | 0 | 5 | 20 | 45 | 1 |
| 2) <i>Calidad del sistema resistente</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.25 |
| 3) <i>Resistencia convencional</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 1.5 |
| 4) <i>Posición del edificio y fundación</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.75 |
| 5) <i>Sistema de piso</i> | 0 | 5 | 15 | 45 | var |
| 6) <i>Configuración de la Planta</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.5 |
| 7) <i>Configuración de la elevación</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | var |
| 8) <i>Esbeltez horizontal de las fachadas</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.25 |
| 9) <i>Sistema de techumbre</i> | 0 | 15 | 25 | 45 | var |
| 10) <i>Elementos no estructurales</i> | 0 | 0 | 25 | 45 | 0.25 |
| 11) <i>Estado de conservación</i> | 0 | 5 | 25 | 45 | 1 |

Finalmente el valor del índice se obtiene de la suma total del valor obtenido de multiplicar la ponderación de una característica, por su puntaje y dividir esto por su calidad de información. Y esto dividirlo por el valor máximo que puede tener esta variable. De tal manera de normalizarlo y tener un índice entre 0 y 1.

b. Catastro detallado de daños estructurales:

Como se vio anteriormente, la ficha de catastro a emplear es la de la ilustración 4.3.1, y consta de 11 puntos de características a evaluar. Cada característica se evalúa distinto manteniendo solo la forma de calificar la calidad de la información. Existen dos tipos de fichas las cuales cambian solo en una característica, cual es la tercera, y se explicara mas adelante en que consiste esta diferencia.

A continuación según entonces lo traducido por Sturm 2008 se define cada punto o característica a evaluar, con su forma de calificación y lo obtenido en terreno.

1. Organización del Sistema Estructural.

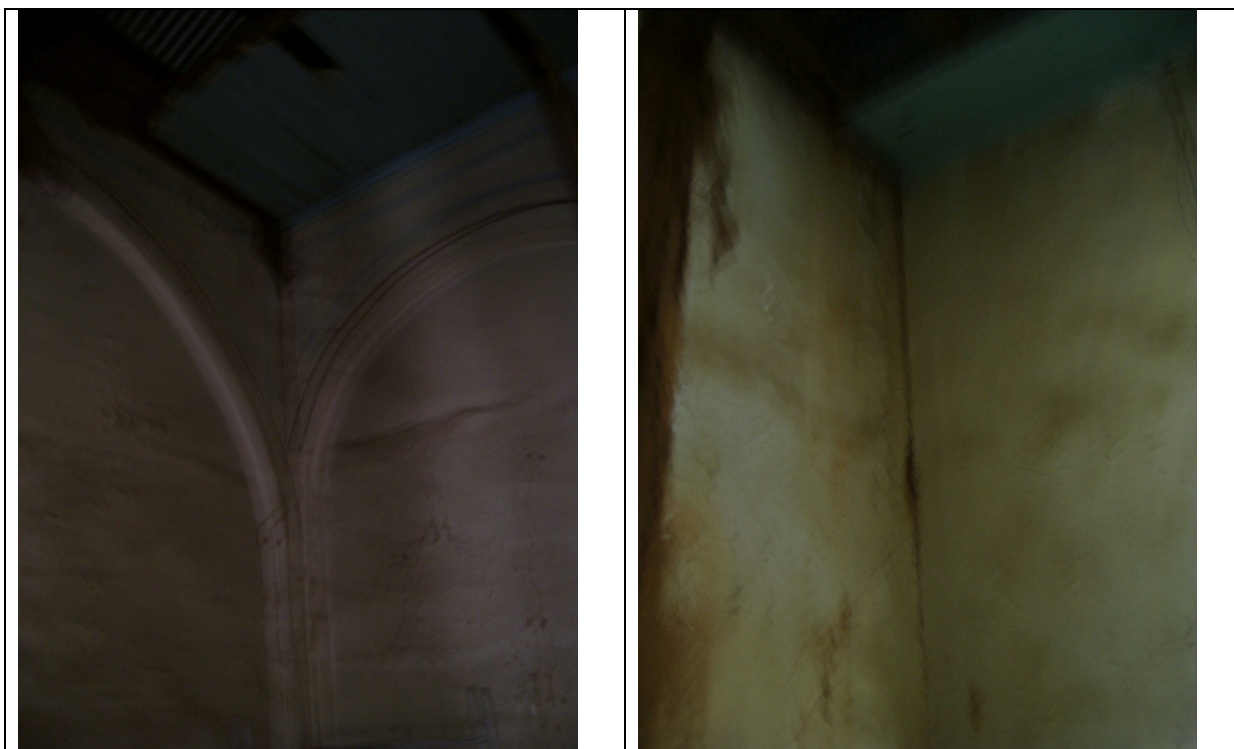
En este punto se evalúa el grado de integración que existe entre los elementos verticales (muros), que forman el sistema estructural, prescindiendo de la materialidad de estos, dando cuenta de la efectividad de la unión entre muros y de los elementos que garanticen su estabilidad una vez que se agrietaron.

La evaluación de esta característica según el cuadro inferior.

| Clase | Definición |
|-------|---|
| A | Edificio construido de acuerdo a la normativa vigente o con características equivalentes |
| B | Edificio que tiene conexiones a lo largo de todos los pisos, que presenta cadenas o contrafuertes y que tiene muros con encuentros de trabazón completa |
| C | Edificio con ausencia de elementos de cadenas y contrafuertes, pero cuyos muros estén bien conectados |
| D | Edificio con conexiones malas entre muros |

Según lo visto en terreno, la Iglesia presentaba buena unión entre muros, debido a que solo se apreció una grieta pequeña en todo el alto de los cuatro encuentros principales, pero no había separación de ellos ni pérdida de material debida a esta causa. Es posible con cierta seguridad que los adobes estén endentados y que incluso presenten una pequeña escuadra de madera que se usaba en la época cada cierta altura con este mismo propósito de mejorar la conectividad entre muros. Si careciere de estos elementos seria conveniente reforzar estas uniones ya sea con elementos de madera que tienen buen funcionamiento con el adobe, o con materiales modernos (hormigón y acero) si se piensa en una solución mayor.

Ilustración 4.4. Esquina de muro eje 1 con A en izquierda y eje 8 con D a la derecha.



Con lo que se vio en terreno y que algo se desprende de las fotografías como la de la ilustración, no es posible que sea calificado el inmueble como A, debido a que no tiene medidas según la norma vigente, tampoco puede ser B ya que no hay presencia de cadenas, así que según lo apreciado la clasificación es C.

2. Calidad del Sistema Sismorresistente

Se distingue en este punto entre los tipos de albañilería, diferenciándolos por los materiales usados en su construcción y por su homogeneidad. La evaluación va conforme a la siguiente tabla.

| Clase | Definición |
|-------|--|
| A | Albañilería de ladrillo, homogénea en todas las direcciones |
| B | Albañilería mixta y no homogénea |
| C | Sistema constructivo mixto compuesto por albañilería en pisos inferiores y tabiquería de adobe en los superiores |
| D | Sistema compuesto de tabiquería de adobe o adobe |

La iglesia esta compuesta principalmente de adobe, sus muros eran de adobe a pesar de que posteriormente se ha tapiado zonas con ladrillo. También en el pórtico los muros son de ladrillo, pero la albañilería puede considerarse de adobe. Por lo que la calificación podría ser B o D, colocando D el caso mas desfavorable.

Ilustración 4.5.



Ladrillos rojos colocados en pila, con elementos de madera tipo quincha que habrían servido como pie derechos si no hubieran terminado a esa altura. Se ve que bajo la viga de madera hay y hubo adobe que se desgranó por desgaste y terminó de caerse con movimientos sísmicos.

3. Resistencia Convencional

Esta característica relaciona la situación propia del edificio y de su entorno. La clase se determina a través del parámetro α , el cual para esta ficha se evalúa numéricamente considerando los datos siguientes:

Numero de pisos (N).

Área total de la planta en m^2 (A_t).

Área de muros en la dirección x en m^2 (A_x).

Área de muros en la dirección y en m^2 (A_y).

Resistencia convencional del material resistente en tonf/m^2 (τ_k). Los rangos de resistencia que se proponen para albañilería no reforzada van de $2 \text{ tonf}/m^2$ a $3 \text{ tonf}/m^2$

Altura media entre pisos.

Peso específico de los muros en tonf/m^3 (p_m). Los rangos del peso específico que se proponen son entre $1.6 \text{ tonf}/m^3$ a $2.2 \text{ tonf}/m^3$.

Peso permanente de techo en tonf/m^2 (p_s). Los valores propuestos para la techumbre son $0.1 \text{ tonf}/m^2$ a $0.2 \text{ tonf}/m^2$.

En caso que se disponga de información mas precisa de las variables τ_k , p_m y p_s se pueden ocupar. En caso que las distintas elevaciones estén conformadas por distintos materiales, se anotan las resistencias en la última columna denominada τ_x . Luego τ_k queda definida como el mínimo valor de τ_x .

Una vez obtenida esta información se definen los siguientes parámetros:

A = mínimo entre A_x y A_y

B = máximo entre A_x y A_y

$$a_0 = \frac{A}{A_t}$$

$$\gamma = \frac{B}{A}$$

$$q = \frac{(A_x + A_y) \cdot h}{A} \cdot p_m + p_s$$

Finalmente el valor C se obtiene con la ecuación siguiente:

$$C = \frac{a_0 \tau_k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a_0 \tau_k (1 + \gamma)}}$$

Y con este parámetro se calcula α que definen las clases mas abajo. $\alpha = \frac{C}{0.4}$

| Clase | Definición |
|-------|---------------------------------------|
| A | Edificios con $1,0 \leq \alpha$ |
| B | Edificios con $0,6 \leq \alpha < 1,0$ |
| C | Edificios con $0,4 \leq \alpha < 0,6$ |
| D | Edificios con $\alpha < 0,4$ |

Para obtener este valor es importante conocer los datos de la siguiente tabla:

| | | | |
|----------------------------------|----------|---------|-------|
| a) numero de pisos | N | nº | 3 |
| b) área total planta | At | m2 | 382,3 |
| c) área muro dirección x | Ax | m2 | 47,6 |
| d) área muro dirección y | Ay | m2 | 23,6 |
| e) resistencia convencional mat. | τ_k | tonf/m2 | 3 |
| f) altura media pisos | h | m | 5,6 |
| g) peso especifico muros | p_m | tonf/m3 | 1,7 |
| h) peso permanente techo | p_s | tonf/m2 | 0,1 |

Se considero como un edificio de 3 pisos debido a su altura, y a que efectivamente a nivel de techumbre hay un pequeño entrepiso al que se suma el piso de la torre o campanario.

El área total se obtuvo considerando las medidas del plano de 1997, y tomando toda el área incluyendo el pórtico.

Las áreas de muros es descontando los vanos de puertas. La altura media se dividió la altura total por el número de pisos que da una situación desventajosa.

La resistencia al corte, tiene diversos valores encontrados. El valor mínimo encontrado esta precisamente en el rango que propone el manual, sin embargo todos los otros valores mencionados en la bibliografía son superiores. Se considerará arbitrariamente el valor mayor propuesto por el manual para no castigar en demasía el cálculo que ya tiene todo el resto de los valores en casos desfavorables.

El peso específico de los muros corresponde al material de adobe, que a diferencia del valor de resistencia al corte, varia mucho menos siendo desfavorable mientras mayor es el valor, así que se considerará el valor 1.7 ton/m^3 .

Finalmente el techo de madera es difícil de calcular y se emplearan muchos supuestos. La cubierta como se explico anteriormente puede considerarse de 7.1 Kg/m^2 , lo que es 0.03 ton/m^2 , se le puede sumar el entablillado del techo y del cielo lo que sigue siendo mucho menor al propuesto por el manual. Si el peso de una pieza de madera noble como el roble según la norma chilena de sobrecargas NCh1537 of86, según se vio anteriormente pesa poco mas de 700kg/m^3 , entonces cubicando el techo sin su cubierta se puede llegar a un valor de 70Kg/m^3 , por lo que considerar el valor mínimo del manual sería aceptable.

4. Posición del edificio y fundación.

En este punto se considera la influencia del terremoto y de la fundación en el comportamiento. Para ello se toman los siguientes aspectos:

- a) Pendiente porcentual del terreno.
- b) Diferencia máxima de cotas del terreno.
- c) Presencia de roca de fundación SI/NO.
- d) Presencia de terreno suelto sin empuje SI/NO.
- e) Presencia de terreno suelto con empuje SI/NO.

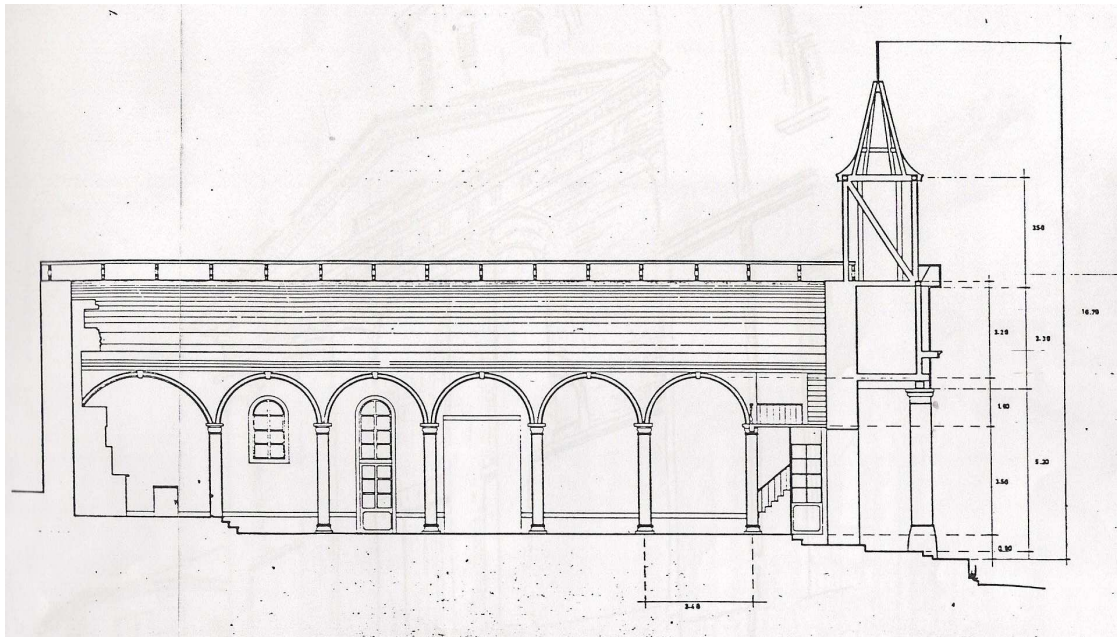
En esta característica no se toman en cuenta fenómenos de asentamiento ni de licuefacción, es mas bien un análisis de la estabilidad general del terreno ante un evento sísmico.

| Clase | Definición |
|-------|---|
| A | Edificio construido sobre suelo estable con pendiente \leq a 10%. Posición de la fundación en una misma cota. Ausencia de empujes de tierra |
| B | Edificio puesto sobre roca en terreno con pendiente comprendida entre 10% y 30%; Edificio sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre 10% y 20%. Diferencia de la cota de fundación no superior a un metro. Ausencia de empujes de tierra |
| C | Edificio sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre 20% y 30%. Edificio construido sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre 30% y 50%. Diferencia de cota de fundación no superior a un metro. Presencia de empujes de tierra |
| D | Edificio construido sobre terreno suelto con pendiente no menor a 30% o sobre terreno rocoso con pendiente no menor al 50%. Diferencia de cota de fundación superior a un metro. Presencia de empujes de tierra |

En el catastro se verifico que la pendiente era pronunciada, pudiendo superar un 10% pero siempre inferior a un 20%. No se pudo verificar la presencia de roca de fundación la cual debiera estar a partir del metro y medio aproximadamente. El terreno no es compactado pero no se aprecia que hubiera empujes de tierra importantes, salvo que por el desnivel de la cota de la construcción, arriba de la pendiente en el eje 1, y en los laterales ejes A y a D estuvieran muy por encima de la cota inferior en eje 9, en tal caso la base de un metro y de forma trapezoidal debiera bastar para funcionar como muro de contención y de hecho no se aprecia influencia evidente de este factor en la iglesia.

La diferencia de cota de fundación es o inexistente o del orden de un metro. Si la fundación corrida estuviera en desnivel también, situación que no se aprecia y que muy rara vez se daba, podría estar esta sujeta a desplazamientos laterales, pero no se aprecia a simple vista efectos de esta situación y considerando que la estructura ha enfrentado diversos movimientos sísmicos, se puede decir que la influencia de este factor tampoco es importante.

Ilustración 4.6.



En la elevación arquitectónica se puede apreciar que no habría desnivel en las cotas basales y por el modo constructivo que se ve en la foto, se puede presumir que la fundación también estaría a una cota pareja. Hay presencia de empuje de tierra pero no en el sentido de la pendiente puesto que hay una construcción en la parte de atrás de ésta, la cual podría afectarla en caso de que la fundación de ésta fuera común a la de la iglesia y eso debiera ser revisado. En el caso de los empujes transversales, éstos no son relevantes para una fundación que actuaría como muro de fundación con una base de muro de un metro. Con todo esto la clasificación es B, descartando empujes y pendientes mayores.

5. Sistema de piso

En esta característica se toman en cuenta el sistema de piso como posible amarre de los elementos verticales así como también de la propia estabilidad de estos elementos. Los factores a evaluar a continuación y luego en la tabla la clase de la característica.

Existencia de diferencia de cota entre la losa de un mismo piso SI/NO.

Rigidez del sistema y concesión con los muros.

Losa rígida y bien conectada.

Losa deformable y mal conectada.

Losa rígida y mal conectada.

Losa deformable y mal conectada.

| Clase | Definición |
|-------|--|
| A | Edificio con losas de cualquier naturaleza que cumpla las tres siguientes condiciones. a. deformaciones del piso solo fuera del plano de la losa b. conexión eficaz entre losa y muros c. ausencia de diferencia de cotas en un mismo piso 1 - N |
| B | Edificio con losas mas eficaces que la clase C pero que no satisfacen la clase A 1 - S |
| C | Edificio con losa deformable en su plano pero bien conectada a los muros 2 - S/N |
| D | Edificio con losas de cualquier naturaleza mal conectada a los muros 3/4 - S/N |

Esta sección no debiera aplicar, pero se considerará el amarre de las vigas con los muros, y se considerara el coro como para pensar en una losa.

Ilustración 4.7.



Como se ve en la fotografía, el envidado de las cerchas es solo en una dirección, lo cual no lo hace funcionar como diafragma, pero el techo al parecer si logra arriostrar le traspasaría el esfuerzo de corte a los muros laterales. La losa del coro es muy pequeña y flexible, la cual algo de rigidez aporta al muro de la fachada, apuntalándolo, pero como es más bien independiente de la estructura, y sus uniones son deslizantes por lo que aportaría con sus propios esfuerzos los cuales no son relevantes si ésta se conserva su carga liviana. Esta situación podría ser relevante si traspasara esfuerzos venidos de los marcos longitudinales, pero las uniones deslizantes a los muros han evitado un empuje al muro de la fachada que pusiera en riesgo un vaciamiento del mismo hacia fuera de la iglesia, situación que ha ocurrido en otras construcciones.

Ilustración 4.8.



Fuente Propia 2009

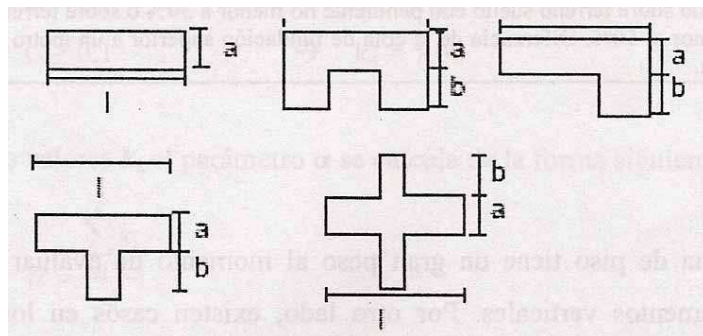
En fotografía izquierda losa de coro con escalera, de largo igual al vano de la nave central, ancho cercano a los tres metros, unido a marcos a través de los pilares y soportada por estos

más unos pilaretes propios que componen el portal interior vidriado. La clasificación es D con bastante certeza.

6. Configuración de planta

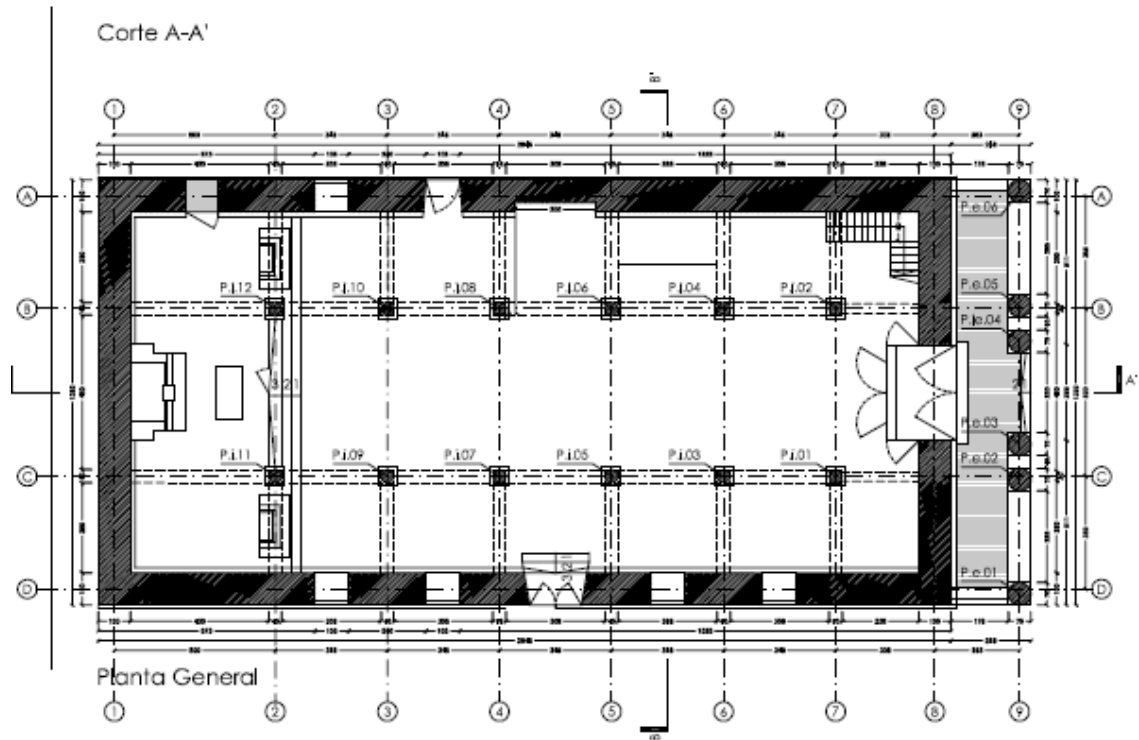
El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma de su planta. Para determinar la clase de acuerdo con esta característica se mide el lado más largo (l) de la planta del edificio, el ancho del cuerpo principal (a) y el ancho del cuerpo secundario (b), el cual vale cero en caso que no exista. Luego se calculan los siguientes parámetros $\beta_1=a/l$, y $\beta_2=b/l$ y de acuerdo con los valores obtenidos se establece la clase en la siguiente tabla.

| Clase | Definición | |
|-------|--------------------------|--------------------------|
| A | $\beta_1 \geq 0.8$ | $\beta_2 \leq 0.1$ |
| B | $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ | $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$ |
| C | $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ | $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$ |
| D | $0.4 > \beta_1$ | $0.3 < \beta_2$ |



La configuración de la planta es el caso más simple rectangular que sale en la figura superior, con una proporción cercana al 50%, producto muy posiblemente de un propósito arquitectónico que de la mera casualidad tal como se presentó en los primeros capítulos. Con esto la clasificación es C, con una excelente calidad de información.

Ilustración 4.9.



Plano arquitectura. 1997.

Se nota en la imagen de plano arquitectónico de planta esta configuración rectangular, la que trae consigo la conformación de dos ejes principales evidentes, uno en la dirección longitudinal y otro en la dirección transversal, y la disposición de los muros obedece a la configuración de planta con lo que el centro de gravedad y el centro de rigidez están relativamente cerca y esto evita efectos torcionales ante la acción sísmica, lo cual es bastante sano desde el punto de vista estructural. También esta disposición logra que los muros tomen la mayor parte del corte basal y no los pilares de madera y reduce los esfuerzos que toman las columnas exteriores las cuales también alcanzan a estar arriostradas por los muros de media altura exteriores.

7. Configuración de la elevación

En el caso de los edificios de albañilería, sobre todo los más antiguos, la mayor parte de las irregularidades se deben a la presencia de pórticos, logias y terrazas de techo. La presencia del pórtico se marca con el porcentaje de área que ocupa este en relación a la planta. Otro elemento importante en este sentido son las torres o torrecillas pesadas con respecto al resto del edificio o angostamiento de planta. Por lo tanto se anota el porcentaje resultante de la altura de la torre o del angostamiento (T) con respecto a la altura total del edificio (H).

Para evaluar el cambio de masa que existe entre un piso y otro se estima la variación porcentual de masa que existe en el piso superior con respecto al inferior. Esta variación se anota con un signo + en caso de aumento y – en caso de disminución. Si el porcentaje es menor al 10% se puede considerar como nulo. Una forma indirecta de estimar la variación de masa es medir la variación porcentual del área de elevación del piso superior con respecto al inferior.

Luego los términos que se detallan en la ficha son los siguientes:

Variación porcentual de la masa del piso superior con respecto al inferior.

Porcentaje que ocupa el pórtico en la planta.

Relación del angostamiento de los últimos pisos con respecto a su altura total (T/H).

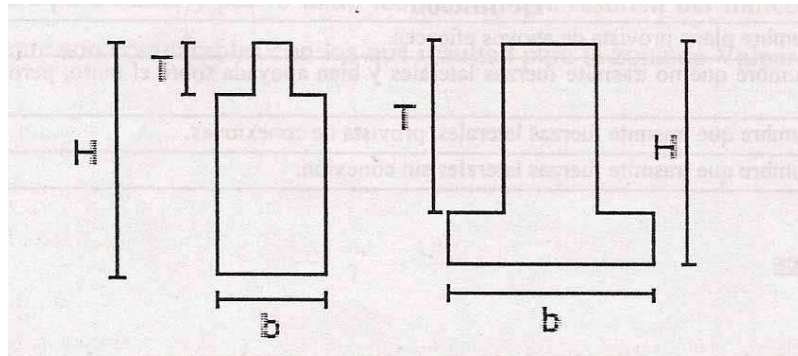
| Clase | Definición |
|-------|--|
| A | Edificio con distribución de masa y/o de elementos resistentes y/o volumétrica prácticamente uniforme en toda su altura; edificio con masa decreciente en altura y elementos resistentes continuos; edificios que tiene una reducción de planta en altura menor al 10% |
| B | Edificio con pórtico o logia modesta en dimensión, de tal manera de no ocupar mas del 10% del área total de la planta; edificios que tienen una reducción de planta en altura comprendida entre 10% y 20% |
| C | Edificio con pórtico o logia que ocupa entre un 10% y 20% del área total de la planta; edificio con una torre cuya altura sea inferior a 2/3 de la altura total del edificio |
| D | Edificio con pórtico o logia que ocupa mas del 20% del área total de la planta; edificio con una torre cuya altura sea superior a 2/3 de la altura total del edificio. |

En caso que la estructura presente variación en altura de los materiales ocupados o la forma constructiva, que implique una variación significativa de la rigidez o resistencia de la estructura vertical, la clase anteriormente escogida es penalizada de la siguiente manera:

Edificios que por geometría correspondían a la clase A o B, pasan a ser C.

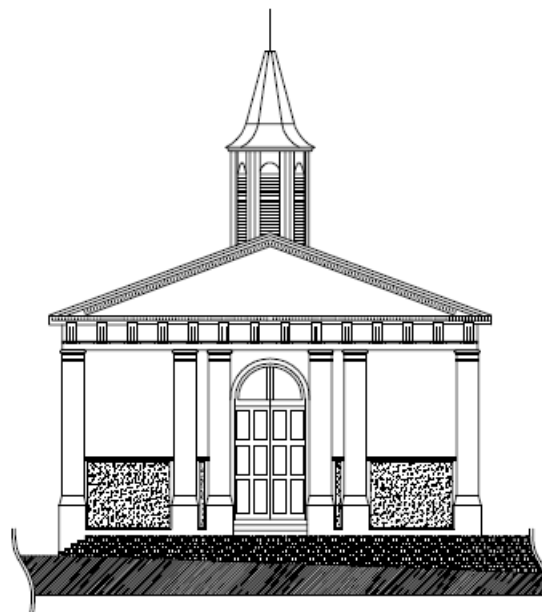
Edificios que por geometría correspondían a la clase C, pasan a ser D.

Ilustración 4.10.



Para el caso de la iglesia en cuestión, esta cuenta con pórtico pequeño en área en comparación con el resto de la planta, aunque con buena altura. La torre es el factor claro para definir la clase y cumple con las medidas del tercio, pero eso no excluye la necesidad de atender la estabilidad propia de ella puesto que se nota inclinada. Para ello es necesario revisar la estructuración de piezas de madera y las uniones entre sus elementos. La masa no influye ya que es evidente su disminución con la altura, seguramente por el reemplazo de las tejas originales más pesadas, por planchas de zinc más livianas, además de que la madera es dos tercios más liviana que el adobe y esta en menor volumen y que los mismos muros tienen una leve disminución de espesor en altura. La clasificación por tanto es C.

Ilustración 4.11.



Elevación Norte

8. Esbeltez Horizontal de las fachadas

Esta característica se relaciona con la existencia de sectores de la fachada, comprendidas entre los muros ortogonales a ella, que son muy largas, con lo cual la fachada se puede volcar hacia fuera. Para ello se anota el largo máximo (l) y el espesor de la fachada (s). Luego se calcula la relación l/s. En el caso de edificios de adobe se considera espesor mínimo 25 cm.

| Clase | Definición |
|-------|--|
| A | Edificio con una relación l/s no superior a 15 |
| B | Edificio con una relación l/s superior a 15 y no superior a 18 |
| C | Edificio con una relación l/s superior a 18 y no superior a 25 |
| D | Edificio con una relación l/s superior a 25 |

La fachada norte presenta buen índice teniendo un l de 13,2 metros a lo que hay que descontarle quizás la puerta de acceso, y un espesor de un metro, incluso puede ser mas si se considera revestimiento y sobrecimiento. Con todo el índice es menor a 15 siendo clase A. Para el caso de la fachada lateral, el índice podría considerarse clase C, al tener un buen espesor de un metro, pero un largo que podría considerar de 24 metros sino se consideran los vanos por puerta y por ventanas. La clasificación es A, lo que no implica que no deba asegurarse esta condición en las futuras reparaciones.

En este punto cabe mencionar que si bien los muros no presentan solera ni cadena superior, cuentan con un buen índice ya que el espesor de los mismos, en comparación con su largo y en especial con su altura, esta bastante mejor que lo que recomiendan los libros y esta clasificación. Para mejorar esta situación se recomienda al menos poner una solera, aunque una cadena superior sería óptimo, con el objeto de confinar los vanos, y evitar que las piezas superiores se suelten y caigan o incluso que pueda haber vaciamiento.

9. Sistema de techumbre

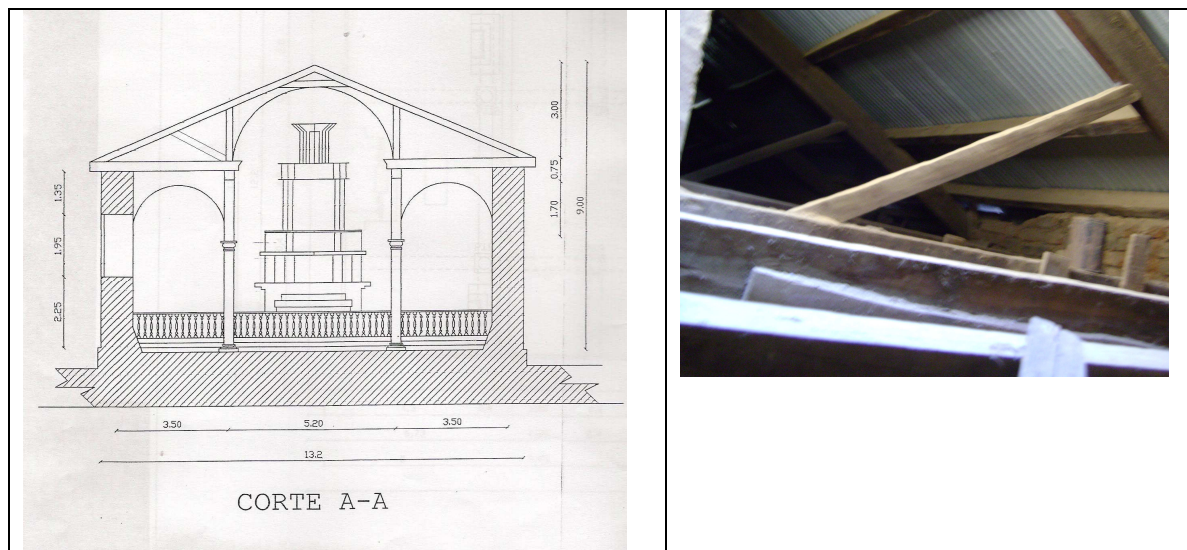
Los elementos que definen la influencia de la techumbre sobre el comportamiento sísmico de la estructura son la topología y la conexión con el muro de apoyo. Para evaluar esta característica se considera lo siguiente:

El techo transmite las fuerzas laterales sobre los muros de apoyo, SI/NO.

Existe cadena de apoyo o algún otro tipo de apoyo o conexión, SI/NO.

| Clase | Definición |
|-------|---|
| A | Edificio con techumbre plana provista de apoyos eficaces |
| B | Edificio con techumbre que no transmite fuerzas laterales y bien apoyada sobre el muro, pero sin conexión |
| C | Edificio con techumbre que transmite fuerzas laterales, provistas de conexiones |
| D | Edificio con techumbre que transmite fuerzas laterales sin conexiones |

Ilustración 4.12.



El sistema de techo estaría compuesto de la siguiente manera visible en la imagen superior. Es necesario notar que el dibujo original no comprendía el madero que aparece en lado izquierdo de la imagen izquierda, pero que si esta presente en la iglesia como se ve en la imagen derecha, por lo que deben haber sido colocados posteriormente para reforzar mas la estructura, incluso se nota una diferencia de tipo de madero y de edad. Este tipo de “cercha” transversal, se repetiría en cada eje transversal que incluye los arcos que componen el cañón, los cuales son amarrados por esa pequeña viga superior que no fue posible ver en terreno pero que muy probablemente esté ya que impide que el arco tenga mucho juego y pivotee en su punto medio superior, lo cual al parecer se ha cumplido puesto que no ven deteriorados por este posible movimiento. Entre estas cerchas van tres maderos de la misma sección solo en las naves laterales cruzando la luz de las mismas, y en el frontón también hay de estos maderos conectándolo con el muro de la fachada. Sobre este envigado que conecta las columnas y el frontón con el muro de la fachada se apoyan los maderos de sección cuadrada, posiblemente roble, que soportan la torre también de madera. Esta estructura visible en las fotos inferiores, hace pensar que la estructuración de la torre visible en el dibujo de elevación de arquitectura de corte longitudinal no correspondería ala realidad situación que no pudo ser verificada en ya que se encuentra cerrado el acceso a la torre. Las conexiones a los muros son visibles en el punto cinco y algo en las imágenes de este punto y a pesar que no fue posible observarlas de cerca, se consideran bastante buenas en cuanto a tener una huelga que contemplaría las deformaciones elásticas de la estructura de techo al pasar hacia afuera del muro atravesándolo, aunque como no se anclan o empotran al muro no traspasarían corte sísmico.

Ilustración 4.13.



Envigado del atrio. Fuente propia.

10. Elementos no estructurales.

Este punto da cuenta de la presencia de elementos no estructurales que pueden causar daño a personas o cosas en caso de sismo. Se trata de elementos secundarios, y por lo tanto no vale la pena distinguir entre las primeras dos clases.

| Clase | Definición |
|-------|--|
| A-B | Edificio provisto de accesorios bien colgados a la pared, de peso modesto. Edificio con balcones que no son parte integral de la estructura |
| C | Edificio con accesorios externos de dimensiones pequeñas mal colgadas. |
| D | Edificio que presenta: accesorios mal colgados de peso, parapetos mal hechos o cualquier otro elemento pesado que pueda colapsar en caso de sismo. Balcones u otro elemento anexado al edificio con posterioridad y que no está bien unido a la estructura |

Ilustración 4.14.



Altar mayor. Fuente propia 2009

En la foto un ejemplo de objetos no estructurales presentes en la obra. El principal objeto es el altar mayor, el cual presenta esta estructura compuesta de madera (aparentemente ciprés), y que cuelga simplemente apoyada a la estructura de muro a sus espaldas. En el muro existe una disminución de sección con el objeto de que esta estructura se apoye en él. El altar no tiene peligro de caída ya que esta está sujeta a la suerte que tenga el muro que la sostiene. Es un objeto esbelto y no liviano a pesar que disminuye su peso con la altura. Pero el objeto es estable y prueba de ello es que es muy difícil sacarlo, cosa que tendrá que hacerse para su

restauración debido a que podría haber deterioro y peligros por el lado de la poca mantención que ha tenido este objeto y la iglesia en su conjunto.

11. Estado de Conservación

Esta característica se refiere al estado de conservación del edificio y la clase se define a continuación.

| Clase | Definición |
|-------|---|
| A | Muros en buenas condiciones sin fisuras visibles |
| B | Edificios que presentan fisuras capilares, con excepción si éstas se produjeran a raíz de un terremoto |
| C | Edificio con fisuras medianas (entre 2 y 3 cm) o con lesiones capilares producidas por un sismo; edificio que no presenta lesiones pero cuyos muros no están bien conservados |
| D | Edificio que presenta muros desaplomados y/o con lesiones graves.; Edificios con un grave deterioro del material de construcción |

Deplorable es el estado de conservación del inmueble. Esto se debe a que ha habido filtraciones de agua lluvia, desgaste por erosión, animales (ratones, palomas, gatos, etc.). Aun con esto no se vio un evidente desaplomo de muros, y el desgranamiento o pérdida de material de algunos muros que es muy significativo, no ha llegado a un punto crítico de colapso aun, a pesar que ya está afectando la resistencia admisible por la reducción de sección.

Ilustración 4.15.



Fuente propia, 2009

En las imágenes superiores, se ve deterioro por humedad y por agua lluvia respectivamente, en ambos casos la acción sísmica ayuda al deterioro produciendo caídas de material. En fotos anteriores se pudo ver la pérdida del recubrimiento de madera que adornaba los arcos y el

cañón, lo cual hace que las piezas de madera estructural estén expuestas al daño causado por animales, acción humana, humedad, y otros factores ambientales los que puede ser perjudiciales estructuralmente. El revestimiento de los muros que cumple una función fundamental impidiendo que la humedad penetre a éstos y haga que las propiedades aglomerantes del adobe o ladrillo se pierdan también, está altamente deteriorado. Y finalmente la techumbre y cubierta de zinc exterior también están en mal estado teniendo perdida de pintura doblamiento, corrimiento de planchas, etc.... cosa que favorece que las aguas lluvias lleguen a los elementos de muro o al interior de la iglesia.

c. Resultados.

Finalmente se llega punto por punto al llenado de los valores en la tabla, explicados en este capítulo, los cuales con la valoración y ponderación explicadas al comienzo entregan los valores de vulnerabilidad por punto y totales.

El valor final obtenido es $I_v = 0,33$, valor que está entre los valores medios de los límites normalizados según Sturm, ver tabla siguiente:

| I_v | Calificación |
|-----------|----------------------------|
| $0,2 <$ | Sísmicamente competente |
| $0,2-0,4$ | Competencia sísmica media. |
| $<0,4$ | Sísmicamente vulnerable |

| Parámetro | Calif | Calid. Inf. | Elementos de Evaluación | | | I |
|--|-------|-------------|--|---|--|-------|
| 1 Organización del Sistema Estructural | C | M | norma nueva o equiv. | A | | 20,00 |
| | | | cadenas o contrafuertes | B | | |
| | | | buenas conex entre muros | C | | |
| | | | edif con malas conex. | D | | |
| 2 Calidad del Sistema Resistente | B | B | 1. albañilería simple 2. muros mixtos 3. sistema mixto alb/tab ado 4. edif de tab. De adobe | | | 1,39 |
| 3 Resistencia Convencional | D | M | a) numero de pisos N nº 3 b) area total planta At m2 382 c) area muro direccion x Ax m2 43,3 d) area muro direccion y Ay m2 23,6 e) resistencia convencional mat tk tonf/m2 3 f) altura media pisos h m 5,6 g) peso especifico muros pm tonf/m3 1,7 h) peso permanente techo ps tonf/m2 0,1 | | | 67,50 |
| 4 Posicion del Edificio y Fundación | B | B | a) pendiente porcentual del terreno % 19 b) diferencia max cota m 1,4 c) roca S/N N d) terreno suelto sin empuje S/N e) terreno suelto con empuje S/N | | | 8,33 |
| 5 Sistema de Piso | D | B | losa con diferencia de cota S/N N 1. losa rigida y bien colgada 4 2. losa deformable y bien colgada a0 Alm/At 1 3. losa rigida y mal colgada 4. losa deformable y mal colgada | | | 25,00 |
| 6 Configuracion de Planta | C | E | relacion porcentual $\beta 1$ a/l 0,53 relacion porcentual $\beta 2$ b/l 0 | | | 11,36 |
| 7 Configuracion de Elevación | C | M | aumento o disminucion de masa superficie pórtico m2 21,1 T/H l/s 0,33 | | | 12,50 |
| 8 Esbeltez Horizontal de las Fachadas | A | M | esbeltez hor. Max. 12 | | | 0,00 |
| 9 Sistema de Techumbre | B | M | techo con empuje S/N N cadena y/o conexión S/N N | | | 2,50 |
| 10 Elementos no Estructurales | A | M | elementos no estructurales | | | 0,00 |
| 11 Estado de Conservación | C | M | estado de muros, fisuras o grietas | | | 25,00 |

I_{tot} 173,59
 I_{max} 520,313
 I_v 0,33

CAPITULO V

CONCLUSIONES.

Recopilando la información obtenida, se llega al índice de vulnerabilidad del edificio, el cual por sí solo no entrega mucha información. Y al compararlo con los rangos de valores, se podría decir que la Iglesia presenta una vulnerabilidad sísmica importante.

Ahora si se analiza la vulnerabilidad por características a tomar en cuenta, el análisis puede aportar mucha mas información en cuanto a la situación del inmueble en cuestión.

1 - En este sentido se puede ver que la conexión entre muros es bastante buena teniendo un valor de vulnerabilidad bajo, lo que no implica que no se puedan hacer mejoras al sistema.

2 - Respecto de la materialidad, esta no es la mejor, pero evidentemente ha funcionado durante más de cien años, por lo que no está en cuestionamiento un reemplazo de la misma sino más bien mejorar su conservación. El valor de vulnerabilidad es bajo también debido a que no tiene tanta importancia para el factor.

3 - El tercer punto presentó el mayor valor. Cabe notar que el valor α tiene una sensibilidad muy alta respecto de los valores de entrada, esto quiere decir por ejemplo que si se cambia el valor de la resistencia al corte τ_k por otro valor superior, la clase de la característica salta inmediatamente a la siguiente calificación superior, luego como obtener este tipo de información, sobre todo para un material tan heterogéneo como el adobe, es difícil, sería conveniente ajustar la información en el futuro con algún tipo de ensayo o algún calculo algebraico o de cubicación geométrica más preciso. Teniendo en cuenta esta situación, el índice de esta característica arroja un valor bastante malo, esto puede deberse a que las propiedades mecánicas del adobe son muy pobres, a pesar que la iglesia tiene un buen uso de esta materialidad con muros suficientemente gruesos en relación a su altura y teniendo una configuración de planta y ejes principales bastante simétrica.

4 - Referente a la cuarta característica de la estabilidad en la fundación, el índice indica un valor alto a pesar que en terreno se ve que estas son bastante buenas y que no presenta daños a pesar del largo tiempo de data y de la situación irregular del terreno circundante. No se propone variación alguna en este sentido, salvo un mejoramiento en la protección contra agentes externos, lo que implica una buena mantención futura del inmueble.

5 - No hay presencia de diafragmas rígidos en el plano horizontal, salvo la techumbre que descarga en la estructura de techo compuesta por cerchas, y que logra apuntalar los muros reduciendo su periodo de vibración de buena medida impidiendo también un vaciamiento de estos hacia el interior de la iglesia, e incluso hacia fuera debido a que su anclaje al muro ha sido suficiente para controlar esta situación. Se ve que de esta manera la estructura de la iglesia se ha comportado aceptablemente por lo que arriostar horizontalmente las naves laterales para traspasar mayor corte a los muros quizás transforme la situación a un escenario más complejo.

No se recomienda hacer nada en este sentido salvo que se estudie las consecuencias de la implementación de alguna medida en el sistema estructural en su conjunto.

6 - La configuración de planta evaluada en el punto seis, dio un valor bajo, y esto es porque la planta tiene una configuración simple rectangular a casi simétrica, con dos ejes principales bien marcados, en los cuales están dispuestos los muros perimetrales lo cual es bastante saludable en cuanto a acciones sísmicas se refiere, ya que se eliminan en buena medida los efectos torcionales que son en general muy dañinos.

7 - La configuración de la elevación si es un punto importante a observar y la información obtenida entrega algunas señales que pueden servir para mejorar la respuesta de esta construcción en el futuro. Por ejemplo la presencia de un pórtico pequeño, no afectaría la vulnerabilidad, como si lo haría significativamente la presencia de la torre del campanario, la cual se aprecia esta inclinada, indicando que su inestabilidad presenta un foco de atención a subsanar. El valor del índice es bajo en este punto, y no cambiaría significativamente con un mejoramiento de la torre, pero esto no quiere decir que esta no deba ser reparada y mejorada, lo cual se deduce de la observación en terreno y comparando con los modelos FEM de la iglesia de San Francisco en el proyecto MAR VASTO y el hecho en Sap200 para este trabajo, indican que este elemento o subestructura sufre grandes deformaciones en un movimiento sísmico. Es de importancia entonces rigidizar las uniones y/o intentar arriostrar los elementos verticales que la componen.

8 - La esbeltez propia de la fachada principal, no presenta peligro de vaciamiento, el índice es irrelevante en esta característica, y esto se debería al buen espesor de muro, en relación a su altura y su ancho de vano, menor a $1/7$ y $1/5$ respectivamente, los cuales según Grinke 2001, debieran ser $1/8$ para la altura y la longitud de vano debiera ser de 3 metros para muro de espesor 30cm lo cual esta también admisible en este caso. En terreno se apreció sin embargo, que en el frontón de muro de fachada o tímpano, la erosión por efecto de agua y acción de animales y otros factores, tenía la albañilería deteriorada habiendo unidades que estaban en peligro de caer. Se recomienda reemplazar completamente este frontón de muro por otro de otra materialidad más liviana, en vista de que su aporte estructural es bajo. En cuanto a los muros laterales, el criterio aplicado indica que los muros tendrían en los ejes transversales una especie de machón, que podría estar haciendo efecto de contrafuerte y por ende reduciendo la amplitud del vano a los 3 metros y medio y no al largo completo de los muros. Esto es muy saludable y se recomienda ensanchar estos machones.

9 - El punto nueve, respecto del sistema de techumbre. Presenta un índice de vulnerabilidad bajo, y quizás esto esta de acuerdo con la realidad, en cuanto se vio que los tijerales o cerchas y el cañón están bien resueltos con maderas nobles resistentes y no tan pesadas, con luces no exageradas, y un peso liviano de la cubierta. En todo caso si cabe mencionar que el sistema de evacuación de aguas debe ser mejorado sustantivamente, ya que es evidente su falla en el pasado, y los daños que esto ha ocasionado. Si hay piezas de madera que parezcan podridas por este efecto ambiental, deberán ser reemplazadas, lo mismo que para las piezas verticales en las cuales se ve una fisura vertical a lo largo del elemento como se vio en algunas piezas en terreno.

10 - Todos los elementos no estructurales deben ser revisados a pesar de que hay pocos y en la actualidad, y de que los que se encontraron se ven sin peligro de caída. Lo mismo debe

ocurrir con los elementos que se coloquen en el futuro, especialmente con los colgantes. Cso aparte es analizar la estabilidad del altar mayor la cual parece ligada al muro que lo apoya en su espalda, la forma que este tiene de perder volumen y pasividad en altura favorece su estabilidad pero se necesita igualmente conocer sus anclajes par evaluar bien su seguridad ante acciones sísmicas.

11 - Finalmente la ultima características, se vio claramente no solo por su alto nivel de vulnerabilidad, sino también por lo visto en terreno a simple vista, que la conservación del inmueble es muy mala. Deben reestablecerse los estucos, pintura y revestimiento de madera en su totalidad ya que aparte de mejorar la estética del inmueble, esto protegen los elementos estructurales del mismo.

Conclusiones y Propuestas de reparación.

Se concluye que el estado de respuesta sísmica del inmueble es bueno pero peligroso, y todavía aceptable. Muestra de ello incluso es que el terremoto de Concepción del 27 de Febrero del 2010, no ocasionó más que un poco de pérdida estuco.

Sin embargo lo anterior, no es posible que la obra continúe de esta manera y puede enfrentar otro sismo de gran magnitud sin ser afectada gravemente, o causar un daño que ponga en peligro su existencia o la vida de las personas que estén cerca o al interior de ella.

Para evitar que este peligro se mantenga o aumente, se deben tomar medidas y en este sentido, el índice de vulnerabilidad entrega las directrices para definir los puntos críticos donde la estructura podría estar débil y apuntar a ellos para mejorar su respuesta futura. También este índice sirve, para indicar que si bien hay características que aparecen bien evaluadas, éstas podrían mejorarse aun más pudiendo obtenerse que lleguen a ser bajamente vulnerables sísmicamente, lo cual es bueno en términos probabilísticas, y en este sentido se puede usar también a modo de prevención ante escenarios futuros y no necesariamente como método de reparación reactivo.

Según los puntos vistos en el análisis, se separarían las medidas de recuperación estructural en 3 aspectos principales:

Elementos verticales:

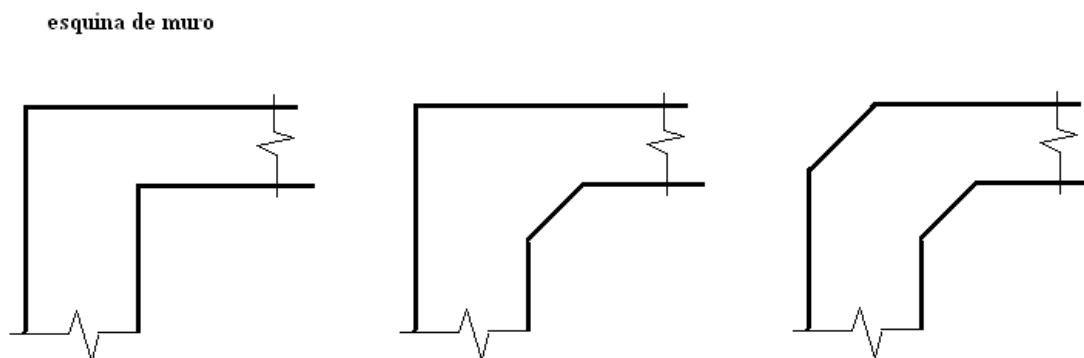
-Los muros de albañilería deben ser restituidos en su materialidad. Debe desgranarse todo el material suelto que tengan y restituirse de la misma manera, esto es, con maderos y adobes, o ladrillos según sea el caso, y no armados en pila sino que endentados según el aparejo mas usado en la iglesia quizás disminuyendo las dimensiones largas de los bloques. No estaría mal dejar los pies derechos de madera existentes aunque habría que aumentarles su separación entre si, de tal manera que los bloques de albañilería que rellenen puedan tener suficiente trabazón entre si y para con la madera. Para crear bloques de adobe se puede seguir las recomendaciones de los estudios de Meli, o de la experiencia peruana. Se recomienda ensanchar los machones que dividen vanos en los ejes transversales, en vista que disminuyen la esbeltez horizontal de los vanos de muro con lo cual evitan el vaciamiento entre otras cosas.

Las puertas y ventanas si bien presentan grietas sísmicas, estas son pequeñas, pueden restituirse bordeándose el marco por piezas de madera arqueadas y en grietas menores de 2cm puede inyectarse mortero sika u otro recomendado por un calculista. Conveniente sería mejorar o recuperar los dinteles con vigas de madera, mejorando la interacción entre esta y el adobe o el ladrillo, lo cual se puede lograr con morteros de mejor calidad.

En las esquinas si hay daños que no hayan sido presenciados en este informe, puede restituirse el material dañado o perdido colocando escuadras de madera cada tres bloques de adobe en altura y si ya las hubiera, se puede aumentar el ancho y largo de las mismas o puede aprovecharse de triangularizar la esquina por dentro con el objeto de aumentar la sección

resistente al corte además de favorecer el traspaso del corte entre muros de ejes perpendiculares y así aumentar su ancho colaborante aumentando el área al corte y mejorando su tensión admisible, esta solución no es poco común en disposiciones de planta de iglesias en donde se ha visto esquinas achatadas o directamente muretes oblicuos en lugar de esquinas.

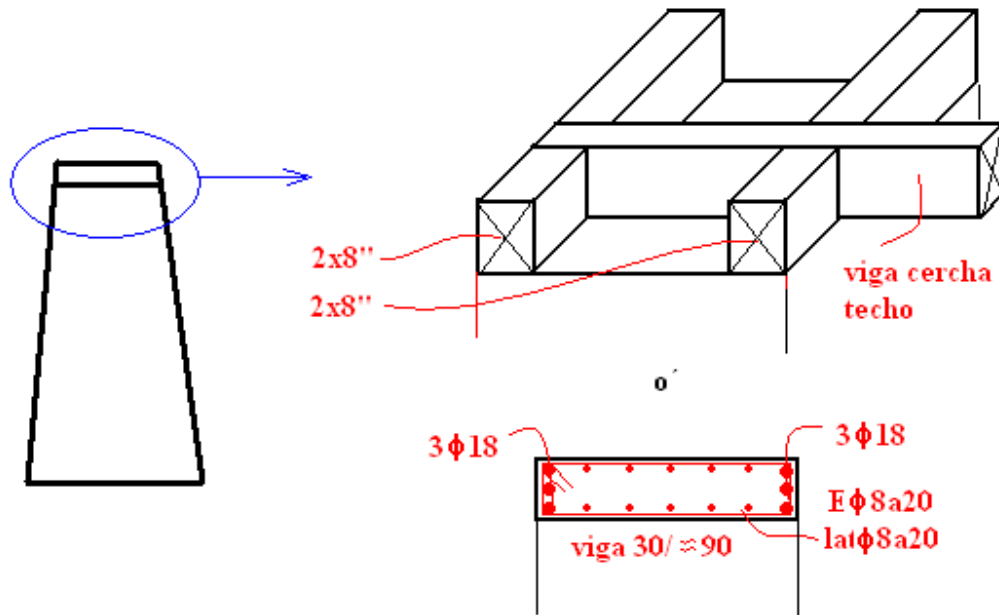
Ilustración 5.1. Planta de esquinas de muros



En el muro de la fachada principal, no se ve que no haya una razón suficiente para que continúe siendo de albañilería el triangulo superior que conforma el frontón del muro o tímpano, ya que es un peso sustancial en altura y su capacidad de soporte no esta siendo usada correctamente. Se propone sacarlo y reemplazarlo por un material más liviano como lo puede ser la madera.

Se habló también de coronar los muros perimetrales con alguna solera o cadena o ambas, la cadena que puede que no confine todo lo que se quisiera, pero al menos amarraría los muros y sus elementos constituyentes en el borde superior evitando que se desprendan y puedan caer, o evitando también un vaciamiento del muro. En caso de ser una cadena de hormigón la ligazón entre hormigón y adobe no es del todo buena en vista de que el adobe absorbe la humedad en mayor medida que el hormigón secando la unión y separando ambos materiales, por lo que de colocarse esta solución debe garantizarse que la superficie de contacto entre ambos materiales sea rugosa o incluso endentada con la colocación de espolones. Ahora en caso que sea de madera, según recomienda Meli del caso chileno, se puede crear una viga con dos maderos de travesaño ligados con mortero de lodo al adobe, según la ilustración 5.2. solución mas económica y bastante efectiva. Si se desean complementar o usar otras alternativas, se puede mallar los muros y estucar con shotcrete u hormigón bombeado; para el mallado hay diversos materiales a utilizar, los que pueden ir desde acero hasta mallas orgánicas. En el caso de aplicar soluciones de acero, existen la opción de usar barras o tensores de acero que pueden comprimir el adobe en el sentido vertical u horizontal, pero se cree que esto seria una exageración para el caso actual en vista de que como ya se mencionó anteriormente, la relación del espesor de muro versus su altura es muy buena.

Ilustración 5.2. Posibles cadenas de confinación de muro

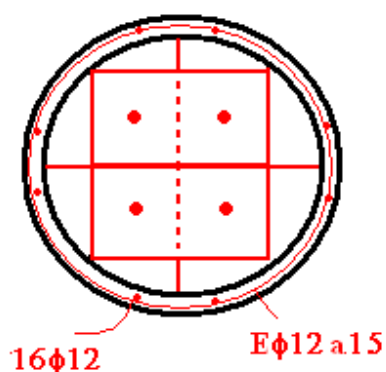


Techumbre y pórtico:

-El otro punto importante que se desprendió del análisis, es la estructura del techo. Se propone colocar refuerzos de pletinas con pernos en todas las uniones que conforman las cerchas. Tal como se vio, estas ya se habían colocado en la zona del atrio en alguna reparación anterior. En esta misma zona es probable que haya sido difícil colocar las pletinas por el costado de las piezas lo cual hubiera sido recomendable, pero si se puede hacer mejor será haciéndolo de esta manera. Siguiendo en esta zona, si bien el peso de la torre no es relevante estructuralmente, su inestabilidad puede ser corregida colocando pletinas en todas sus uniones y arriostrando en ambas direcciones la caja de madera que la conforma, con lo cual si bien se rigidiza la estructura, lo que aumentará los esfuerzos en los elementos soportantes, se gana en disminuir las deformaciones que actualmente llegan a ser permanentes y que la tienen inclinada en el presente con todo el riesgo que eso implica.

Las columnas que componen el frontis deben ser reemplazadas en lo posible por unas de hormigón armado o albañilería armada, cuyas armaduras verticales, ver ilustración 5.3, deben pasar hacia abajo de las fundaciones inyectándose o definitivamente construirse una fundación de pedestal nueva para ellas, ya que si bien la sollicitación a la que están sometidas no supera su capacidad, se encuentran dañadas por posibles deficiencias en los apoyos lo que sumado a su esbeltez hace que se forme un marco flexible que las hecho traccionarse y agrietarse. Puede mantenerse la albañilería inyectando algún epóxico en las grietas pero esto por si solo no será suficiente. De no ser reemplazadas se pueden dar otras medidas de reparación como encamisarlas en la parte baja, pero estas deben ser consultadas en su momento por un calculista.

Ilustración 5.3 Posible solución de reparación de columna



Encamisado a albañilería y/o albañilería armada

Terminaciones:

El tercer punto y principal en este caso, es la restauración de todos los elementos de terminaciones o recubrimientos, esto es, la cubierta de techo, los entablados que revisten arcos y cañón, la pintura y el estuco o recubrimiento de los muros. La falta de mantención ha sido el principal agente destructor de la Iglesia y este deterioro la ha expuesto en gran medida a que sea vulnerable sísmicamente, más allá de algunos errores en la estructuración de la misma.

En resumen la estructuración original de la iglesia fue concebida considerando el factor sísmico de una manera intuitiva que ha funcionado bastante bien considerando que en la época de construcción de la misma, no se tenía el conocimiento que se tiene en el presente de este factor. Lo dicho se puede observar en las dimensiones escogidas, la geometría, el aligerar peso en altura y varias mediadas utilizadas en una época en la que no había normas constructivas pero en la que si se seguían ciertos criterios y medidas obtenidas por los constructores chilenos mediante el ensayo y error, o la experiencia empírica que se había tenido de otros movimientos sísmicos importantes y que hicieron que la Iglesia Santa Ana haya enfrentado con éxito el último terremoto del 27 de Febrero de 2010 en Concepción además de otros dos terremotos con epicentro en las costas de la quinta región, pero que si se pretende restaurar y volver a abrir sus puertas, debe repararse todo aquello que se ha deteriorado y mejorarse aquello que fue mal diseñado sísmicamente en un principio, además de seguir un mantenimiento adecuado como por lo demás toda estructura lo necesita con tal que su funcionamiento para lo que fue concebida se conserve.

BIBLIOGRAFÍA.

- Augusti, G. (2000). "Heritage buildings and seismic reliability". Universidad de Roma.
- Augusti, G. (2001). "Seismic vulnerability monumental buildings".
- International Conference on the Conservation of Earthen Architecture (6ª:1990: Las Cruces, M). (1990). "Adobe 90 preprints". Sponsored by The Getty Conservation Institute ... [et al.]
- Graham M., (1824), "An account of some effects of the late earthquakes in Chile", Trans. Geol. Soc., London 2nd serv.
- Lagomarsino, Sergio. (2004). "Seismic vulnerability of ancient churches".
- Le Dantec, Francisco. (2003), "Crónicas del Viejo Valparaíso", Ediciones Universitarias de Valparaíso de la Universidad Católica de Valparaíso, Santiago, Chile.
- Lomnitz, (1971).
- Merril, Anthony French. (1949). "Casas de tierra apisonada y suelo cemento". Traducción y adaptación [por] José Luis Moia.
- Minke, Gernot (2001), "Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de tierra" Universidad de Kassel, Alemania.
- Neubauer, Loren Wenzel. (1974). "Métodos de construcción con adobe, empleo del adobe o tierra comprimida (construcción monolítica) para viviendas".
- P. Hernández, R. Meli, M. Padilla, (1979), "Refuerzo de Vivienda Rural en Zonas Sísmicas" Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Pereira Larraín, Teresa. (2005). "Casas de campo chilenas".
- Rodríguez A. y C. Fajardo, (1906), "La catástrofe del 16 de Agosto de 1906 en la Republica de Chile", Imprenta y Litografía Barcelona, Santiago, Chile.
- Roque J.,(2002), "Rehabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria".Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería, Universidad de Minho, Portugal.
- Rotondaro, Rodolfo. (1995). "Como mejorar una pared de adobe".
- Saez Godoy L., 2001
- Sturm, Thomas. (2008). "Valparaíso: su patrimonio histórico y los sismos". Tesis Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil.
- Trigueros del Pino, Cecilia. (2002). "Efecto sísmico en iglesias sismo del 3 de marzo de 1985" Tesis Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil.
- Vargas Gutiérrez, Luis Alejandro (1998). "Refuerzo estructural de la iglesia San Francisco del Cerro Barón de Valparaíso".

Vargas Neumann, Julio. (1984). "Resistencia sísmica de la mampostería de adobe".

Vicente, Martín y Manero. (1890). "Historia Eclesiástica de Valparaíso"

Viñueales, Graciela María. (1981). "Restauración de arquitectura de tierra".

Waisberg, Myriam (1992), "La arquitectura religiosa de Valparaíso : siglo XVI - siglo XIX".