Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

U N I V E R S I D A D D E L B I O - B I O
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Alexander Opazo Vega

"*PROPUESTA DE REHABILITACIÓN SÍSMICA PARA ESTRUCTURA ECLESIÀSTICA CON ALTO VALOR PATRIMONIAL*"

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de Ingeniero Civil

MANUEL ERWIN VARGAS ESPINOZA

CONCEPCIÓN, SEPTIEMBRE DEL 2015

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Dedicatoria:

Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas.

A él sea la gloria por los siglos. Amén.

Mi trabajo es dedicado a:

Dios, Padres, Esposa e hija.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

AGRADECIMIENTOS

El tiempo ha pasado, y con ello se finaliza este proceso de formación universitaria. En muchas ocasiones complicada, por ello, no puedo dejar de agradecer a todas las personas maravillosas que estuvieron a mi lado en este proceso de crecimiento y desarrollo personal.

En primer lugar deseo agradecer a Dios por mantener su promesa, y acompañarme en todo este transcurso.

A mis padres Juan y Rosa, que me apoyaron, siguieron, y creyeron en mi cuando parecía imposible.

A mi esposa Camila e hija María paz, que fueron mi fortaleza para luchar cada día en este desafío impuesto.

A mi profesor guía, Alexander Opazo, por su tiempo, dedicación y comprensión en este proceso universitario.

Por último, agradezco al cuerpo de docentes del departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, por los conocimientos brindados a lo largo de estos años.

Gracias.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

NOMENCLATURA

A_f = Área de la sección transversal de refuerzo, mm^2

A_n = Área de la junta de pega, mm^2

C_E = Factor de reducción ambiental

c = Distancia desde el eje neutro hasta la línea más comprimida de muro, mm

d_f = Profundidad efectiva de FRP a flexión, mm

E_f = Modulo de elasticidad del FRP, MPa

f_{fe} = Resistencia efectiva del FRP, MPa

f_{fu} = Resistencia de diseño a rotura por tracción de FRP, MPa

f_{fu}^{*} = Resistencia ultima del FRP entregada por fabricante, MPa

f'_m = Resistencia a compresión de la albañilería, MPa

f_{tm} = Valor medio de la resistencia a la tracción, MPa

H = Altura del paño de albañilería, m

L = Largo del paño de albañilería, m

M_n = Momento nominal a flexión, $N * mm$

M_u = Momento ultimo a flexión, $N * mm$

n_f = Numero de capas de láminas o fibras de FRP

P_n = Carga axial nominal a flexión, N

P_u = Carga axial ultima a flexión, N

P_{fm} = Fuerza por unidad de ancho a flexión, N/mm^2

P_{fv} = Fuerza por unidad de ancho al corte, N/mm^2

S_f = Espaciamiento de refuerzo entre centros, mm

t = Espesor nominal del muro de albañilería, mm

t_f = Espesor nominal de una capa del refuerzo de FRP, mm

V_f = Contribución de refuerzo de FRP al corte, N

V_n = Carga de corte nominal, N

V_u = Carga de corte ultima, N

W_f = Ancho del refuerzo por FRP, mm

β_1 = Relación de tensión al eje neutro del bloque, mm

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

$\boldsymbol{\varepsilon_{fe}}$ = Deformación efectiva del FRP, $\boldsymbol{mm/mm}$

$\boldsymbol{\varepsilon_{fu}}$ = Deformación de diseño a la rotura del FRP, $\boldsymbol{mm/mm}$

$\boldsymbol{\varepsilon_{fu}^{*}}$ = Deformación de diseño a la rotura del FRP entregado por fabricante, $\boldsymbol{mm/mm}$

$\boldsymbol{\varepsilon_{mu}}$ = Tensión máxima de la albañilería, $\boldsymbol{mm/mm}$

$\boldsymbol{\gamma}$ = Multiplicador de f'm para el cálculo de distribución de tensión de la albañilería

$\boldsymbol{k_m}$ = Coeficiente de reducción que por flexión

$\boldsymbol{k_v}$ = Coeficiente de reducción que por Corte

$\emptyset$ = Factor de reducción de fuerzas

$\boldsymbol{\omega_f}$ = Índice de refuerzo de FRP

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

INDICE

1.1.- Objetivos de la investigación 5
1.1.1 Objetivo general 5
1.1.2 Objetivos específicos 5
1.2.- Metodología 6
2.- TÉCNICA DE REHABILITACIÓN 7
2.1.- Polímero reforzado con fibra de carbono (FRP) 7
2.1.1.-Fibras de Carbono 7
2.1.2.-Platinas de Carbono 8
2.2.- Diseño del sistema estructural reforzado con FRP 8
2.2.1.- Diseño de muros de albañilería según ACI 440.7R-10 9
2.2.2.- Diseño de elementos estructurales de hormigón armado según ACI 440.2R-08 11
3.- MATERIALES Y MÉTODOS 13
3.1.-Analisis historiográfico 13
3.2.- Levantamiento arquitectónico 13
3.3.- Levantamiento topográfico 14
3.4.- Evaluación de laboratorio 14
3.5.- Determinación en terreno 14
3.6.- Descripción del sistema estructural 15
3.7.- Modelamiento estructural 19
3.8.- Caracterización de fallas 20
4.- PROPUESTA DE REHABILITACION. 22
4.1.- Explicación de daños en el sistema estructural. 22
4.1.1.- Propiedades dinámicas de la estructura. 22
4.1.2.- Desplazamientos sísmicos. 23
4.1.3.- Nivel de tensiones en los muros de albañilería 24
4.2.- Desempeño del sistema estructural. 26
4.2.1.- Verificación de la rigidez lateral del sistema estructural 26
4.2.2.- Verificación de la resistencia admisible de los elementos de albañilería 26
4.2.3.- Verificación de la resistencia ultima de pórticos de hormigón armado. 27
4.3.- Reparación y/o refuerzo para los muros de albañilería. 30
4.4.- Reparación y/o refuerzo en el hormigón armado. 34
5.- CONCLUSIONES 35
6. BIBLIOGRAFÍA 38
7.- ANEXOS 40

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº1: Metodología general 6
Figura Nº2: Fibra de CFRP 8
Figura Nº3: Platina de CFRP 9
Figura Nº4: (a) deslizamiento de la junta, (b) tensión diagonal, (c) aplastamiento en la base.....10
Figura Nº5: Planta referencial de la capilla.....15
Figura Nº6: Elevación X4;(a) Elevación natural, (b) Elevación grilla 16
Figura Nº7: Estructura de madera para bóveda de cielo Capilla.....17
Figura Nº8: Espectro del 27/F, registro transversal.....19
Figura Nº9: Caracterización de fallas en el eje X5 21
Figura Nº10: Deformada de la estructura para la combinación de cargas DSXA 22
Figura Nº11: Tensiones de tracción verticales en cara interior de muro del eje X5 24
Figura Nº12: Tensiones de corte S12 en muro del eje X5 25
Figura Nº13: Muro Y8;(a) Columna 1, (b) Columna 2, (c) Viga 1, (d) Viga 2. 28
Figura Nº14: Diagrama de corte solicitante sobre pórticos de hormigón armado Y6 29
Figura Nº15. Esquema representativo de las zonas de conflicto a flexión en el muro.....30
Figura Nº16. Esquema representativo de zonas de conflicto de corte en el muro.....31
Figura Nº17: Esquema representativo del muro reforzado a flexión. 32
Figura Nº18: Esquema representativo del muro reforzado al corte.....32
Figura Nº19. Esquema representativo de la columna reforzada al corte. 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº1: Factor de reducción ambiental 8
Tabla Nº2: Zonificación de sectores para caracterización de daños. 20
Tabla Nº3: Periodos de vibración en cada dirección de análisis. 23
Tabla Nº4: Tensiones solicitantes promedio en los muros de albañilería 26

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

PROPUESTA DE REHABILITACIÓN SÍSMICA PARA ESTRUCTURA ECLESIATICA CON ALTO VALOR PATRIMONIAL

Autor: Manuel Vargas Espinoza

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: manvarga@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Alexander Opazo Vega

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: aopazo@ubiobio.cl

RESUMEN

En el transcurso de la historia, Chile ha sido participe de terremotos de todo tipo de envergadura, esto ha generado un daño a nivel global en el país, y además en el Patrimonio. Este informe tiene como objetivo proponer una rehabilitación sísmica, en la cual se expone como caso de estudio una Capilla de gran valor para la Ciudad de Concepción que fue dañada por el terremoto del 27/F. Este proyecto consta de dos grandes etapas:

En la primera etapa se realizara un diagnóstico de la capilla que tienen por objeto caracterizar su estado actual, y levantar información relevante para el desarrollo de propuesta de reparación y/o refuerzo estructural. En esta etapa se contempla el desarrollo de un análisis historiográfico, levantamiento arquitectónico, levantamiento topográfico, y levantamiento crítico estructural donde se explica la causa de daños en el edificio.

En la segunda etapa se expone la recuperación y/o refuerzo a generar en el proyecto, de los antecedentes y análisis realizados en la etapa anterior. En esta etapa se contempla una caracterización de las fallas del edificio, determinaciones y evaluaciones experimentales a elementos y/o materiales, tanto en terreno como en laboratorio, un modelamiento estructural, y por último el diseño del refuerzo estructural. Para esto se utiliza el FRP como propuesta de la rehabilitación sísmica, ya que, es el que mejor cuida los aspectos técnicos y estéticos requeridos del patrimonio.

Palabras Claves: Rehabilitación Sísmica, Recuperación, Refuerzo, FRP.

7285 Palabras Texto + 23 Figuras/Tablas*250 = 13.000 Palabras aprox.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

PROPOSAL FOR REHABILITATION SISMIC FOR ECCLESIATIC STRUCTURE FOR HIGH PATRIMONY VALUE

Author: Manuel Vargas Espinoza

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Email: manvarga@alumnos.ubiobio.cl

Professor Sponsor: Alexander Opazo Vega

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío

Email: aopazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

In the course of history, Chile has been involved in earthquakes of all kinds of scale, this has generated a damage on a global level in our country, and in addition in our heritage. This report has as objective to propose a seismic rehabilitation, which exposes as a case study the Chapel of great value for the City of Concepción that was damaged by the earthquake of 27/F. This project consists of two major phases:

In the first stage will be a diagnosis of the chapel, which is meant to characterize the current state of the chapel and lift information relevant to the development of proposal for repair and/or structural reinforcement. In this stage calls for the development of a historiographical analysis, a lifting architectural, a topographic survey and a critical structural lifting where explains the cause of damage to the building.

In the second stage recovery and/or reinforcement is exposed to generate in the project, from the background and analysis conducted in the previous stage. This stage provides a characterization of the failures of the building, determinations and experimental evaluations to elements or materials, both field and laboratory, a structural modeling, and finally structural reinforcement design, in this case used the FRP as proposal of rehabilitation seismic, is that better fits to the care of the heritage.

Keywords: Seismic rehabilitation, Recovery, Reinforcement, FRP.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

1.- INTRODUCCIÓN

En Chile es característico que cada cierta cantidad de años existan terremotos, estos han provocado un deterioro en el patrimonio nacional como en la infraestructura ordinaria. Esta investigación analiza el caso particular, como fue el terremoto del 27/F, que tuvo una magnitud de 8.8 Mw según la escala de Richter.

El patrimonio en una nación o cultura es aquello que lo caracteriza a lo largo de la historia, las generaciones en la sociedad pasan, pero sus obras tanto arquitectónicas como de ingeniería hablan por ellos a lo largo de los años. En Chile existe un ente con el fin de la conservación de estos monumentos de gran valor para la sociedad (CNM), los cuales están protegidos por la ley Nº 17.288.

El ingeniero estructural busca que cada diseño tenga un buen comportamiento estructural durante toda su vida útil, pero existen factores que muchas veces no están al alcance de la ingeniería, estos han generado en el patrimonio el deterioro o el colapso en muchas estructuras. El Consejo Nacional de Monumentos de Chile en esta búsqueda de conocer el resultado luego del terremoto del 27/F se demostró que del 100% de las estructuras catastradas el 25% tiene daños mayores, los cuales se pueden recuperar o reforzar según lo descrito por la Nch 433 of 1996 mod. 2009.

La ingeniería civil tiene un papel importante en lo que se refiere a la rehabilitación de estructuras de esta índole. Hoy en día con el avance de la programación computacional es posible realizar simulaciones numéricas a través de software específicos, los cuales permite al diseñador realizar análisis estructurales a través del método de elementos finitos.

Los refuerzos estructurales tienen como finalidad aumentar la capacidad, ductilidad y rigidez. Para este fin existen dos grandes grupos de refuerzo, tales como es el refuerzo tradicional e innovativo.

El tratamiento que requiere el patrimonio debe cumplir con las solicitaciones de ingeniería, además con el resguardo del aspecto artístico, arquitectónico de ellos por su gran valor para la humanidad. Una de las respuestas que se acopla de mejor manera a estas necesidades es el polímero reforzado con fibra de carbono (FRP) el cual se expone con mayor detalle en este proyecto.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

1.1.- Objetivos de la investigación

1.1.1 Objetivo general

- Proponer un plan de rehabilitación sísmica de una estructura eclesiástica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Sintetizar el estado del arte para la reparación de estructuras de hormigón armado y albañilería.

- Explicar las causas de daños en la estructura después del terremoto de 27/F, a través de simulaciones numéricas por el método de elementos finitos.

- Evaluar el desempeño de la estructura frente a la normativa sísmica vigente en Chile.

- Establecer una propuesta de rehabilitación de la estructura por métodos no invasivos.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

1.2.- Metodología

En la Figura Nº1 se observa un esquema general de los pasos a seguir respecto a los objetivos propuestos en este informe.

ETAPA	SUB-ETAPA			HITO
Estudio de antecedentes	Revisión Bibliográfica	Revisión normativa	Selección material	Estado del arte
Justificación de daños	Antecedentes proyecto	Modelación (simulación 27/F)	Análisis de resultado	Nivel de daños
Evaluación de la estructura	Modelación (Análisis estático)	Verificación v/s normativa	Análisis de resultado	Desempeño estructural
Plan de rehabilitación	Subdivisión de daños	Diseño del refuerzo	EE.TT	Informe de rehabilitación

Figura Nº1: Metodología general.

En la Figura Nº1 se muestra el trabajo en 4 etapas (izquierda), a las cuales se asocia un hito de término (derecha). En la parte central se señalan las actividades que se llevan a cabo durante el desarrollo de estas.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

2.- TÉCNICA DE REHABILITACIÓN

En este capítulo se expone a nivel global el tipo de rehabilitación sísmica de estructuras, como es el caso del método de polímeros reforzados con fibra de carbono (FRP). Además se desarrolla la filosofía de diseño del FRP, y sus estados límites. Esto se despliega para el refuerzo en los elementos de hormigón armado y albañilería.

En primer lugar es necesario definir dos términos utilizados por la NCh 433 para la recuperación estructural: reparación y refuerzo. En el anexo A de la Nch. 433 of.1996 Mod.2009, se establece que: "*La recuperación estructural se denomina "reparación" cuando a una estructura dañada se le restituye al menos su capacidad resistente y su rigidez original"*. Por otra parte la misma normativa estable que*: "La recuperación estructural se denomina "refuerzo" cuando a una estructura dañada o sin daño se le modifican sus características de modo de alcanzar un nivel de seguridad predeterminado mayor que el original"*.

2.1.- Polímero reforzado con fibra de carbono (FRP)

El FRP viene como una gran alternativa para estructuras patrimoniales, ya que por sus características físicas causan un impacto menor en la parte artística y arquitectónica de los monumentos, y además sus características mecánicas proporcionan a los elementos resistentes de una estructura grandes ventajas frente a los elementos de recuperación tradicional.

De los polímeros reforzados con fibra de carbono que son más utilizados en Chile están: las platinas de Sika CarboDur y los tejidos Sikawrap.

2.1.1.-Fibras de Carbono

El SikaWrap es un tejido de fibras de carbono unidireccionales. El material es saturado en obra con un sistema epóxico y es colocado en capas para conformar el sistema compuesto reforzado con fibras FRP. La ventaja del tejido SikaWrap respecto a las platinas Sika CarboDur es que se coloca envolviendo elementos de forma irregular, cosa que no se puede hacer con las platinas ya que son rígidas y no se doblan (Sika, 2015).En la Figura Nº2 se presenta la fibra del CFRP como se proporciona en el mercado.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

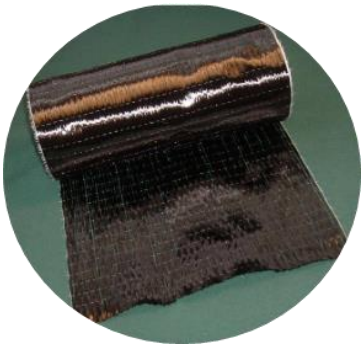


Figura Nº2: Fibra de CFRP.

2.1.2.-Platinas de Carbono

Las platinas Sika CarboDur son una combinación de fibras de carbono y una matriz de resina epóxica que tienen en dirección de la fibra una resistencia y rigidez muy altas, así como un comportamiento excepcional a la fatiga, mejor que la del acero y su densidad es muy baja. Las fibras están colocadas en dirección longitudinal correspondiendo a la dirección de la solicitación (Sika, 2015).En la Figura Nº3 se muestra la pletina de CFRP.

Figura Nº3: Platina de CFRP.

2.2.- Diseño del sistema estructural reforzado con FRP

En este ítem se sintetiza el diseño del FRP para elementos estructurales de albañilería según el código ACI 440.7R-10, y por otro lado de hormigón armado según ACI 440.2R-08.

El comité ACI 440 propone que el medio ambiente influye en las características mecánicas del FRP, por ello en la Tabla Nº1 se expone un factor de reducción por incidencia del medio ambiente.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla Nº1: Factor de reducción ambiental

Condiciones de exposición	CE
Ambiente exterior	0.95
Ambiente interior	0.85
Ambiente agresivo	0.85

El código ACI 440 establece que el factor de reducción ambiental es el que modifica la deformación unitaria y el esfuerzo a tracción del FRP como se muestra en la Ec.1 y Ec.2.

$$f_{fu} = C_E * {f_{fu}}^* \quad \text{Ec.1}$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E * {\varepsilon_{fu}}^* \quad \text{Ec.2}$$

2.2.1.- Diseño de muros de albañilería según ACI 440.7R-10

a) Diseño a flexión reforzado con FRP para cargas fuera del plano

El diseño propone que la capacidad del muro de albañilería reforzado con FRP multiplicado por un factor de reducción ($\phi = 0.6$) es mayor o igual a la solicitaciones sobre el muro con cargas fuera del plano. En la Ec.3 se expresa la fórmula de diseño que se debe cumplir para garantizar la resistencia.

$$\emptyset M_n \geq M_u \quad \text{Ec.3}$$

La resistencia nominal se expresa en la Ec.4

$$M_n = A_f f_{fe}\left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2}\right) + P_u\left(\frac{t}{2} - \frac{\beta_1 c}{2}\right) \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

$\boldsymbol{A_f}$ = Área de la sección transversal de refuerzo, $\boldsymbol{mm^2}$

$\boldsymbol{f_{fe}}$ = Resistencia efectiva del FRP, $\boldsymbol{MPa}$

$\boldsymbol{\beta_1}$ = Relación de tensión al eje neutro del bloque, $\boldsymbol{mm}$

$\boldsymbol{d_f}$ = Profundidad efectiva de FRP a flexión, $\boldsymbol{mm}$

$\boldsymbol{c}$ = Distancia desde el eje neutro hasta la línea más comprimida de muro, $\boldsymbol{mm}$

$\boldsymbol{t}$ = Espesor nominal del muro de albañilería, $\boldsymbol{mm}$

$\boldsymbol{P_u}$ = Carga axial ultima a flexión, $\boldsymbol{N}$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

b) Diseño a corte para cargas en el plano

El diseño propone que la capacidad del muro de albañilería reforzado con FRP multiplicado por un factor de reducción (ϕ= 0.8) es mayor o igual a la solicitante sobre el muro con cargas en el plano. En la Ec.5 se expresa la fórmula de diseño que se debe cumplir para garantizar la resistencia.

$$\emptyset V_n \geq V_u \qquad \text{Ec.5}$$

La capacidad nominal depende de la suma entre el aporte de muro de albañilería más el refuerzo de FRP. La capacidad nominal del muro sin el refuerzo se calcula como el mínimo entre los modos de falla del muro tal como se muestra en la Fig. Nº1 y en la Ec.6.

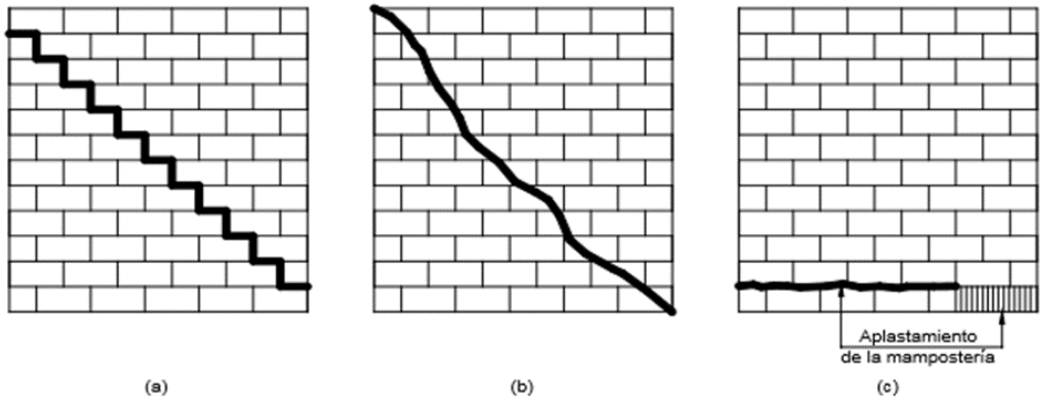


Figura Nº4: (a) deslizamiento de la junta, (b) tensión diagonal, (c) aplastamiento en la base.

$$V_n{}^{URM} = \min(V_{bjs}, V_{dt}, V_{tc}) \qquad \text{Ec.6}$$

Donde:

$\boldsymbol{V_n{}^{URM}}$ = Resistencia al corte nominal por modos de falla, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{V_{bjs}}$ = Resistencia al deslizamiento de la junta, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{V_{dt}}$ = Resistencia a tensión diagonal, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{V_{tc}}$ = Resistencia al aplastamiento en la base, $\boldsymbol{N}$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Por otro lado del aporte de FRP viene dado por la Ec.7 que se muestra posteriormente.

$$V_f = p_{fv}\frac{d_v}{s_f} \quad \text{Ec.7}$$

En el cual:

$\boldsymbol{V_f}$ = Contribución de refuerzo de FRP al corte, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{p_{fv}}$ = Fuerza por unidad de ancho, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{d_v}$ = Distancia min en el largo y el ancho del muro, $\boldsymbol{mm}$

$\boldsymbol{s_f}$ = Espaciamiento de centro a centro del FRP, $\boldsymbol{mm}$

Por último, se calcula la suma de la resistencia nominal del muro con la contribución del FRP como se muestra en la Ec.8, para luego evaluar la Ec.5. De esta manera se garantiza la resistencia, seguridad y serviacibilidad del elemento estructural reforzado

$$V_{n,s} = V_n{}^{URM} + V_f \quad \text{Ec.8}$$

2.2.2.- Diseño de elementos estructurales de hormigón armado según ACI 440.2R-08

a) Diseño a corte para elementos estructurales

El diseño propone que la capacidad del elemento reforzado con FRP multiplicado por un factor de reducción ($\phi = 0.8$) es mayor o igual a la solicitante sobre el elemento estructural. En la Ec.9 se expresa la fórmula de diseño que se debe cumplir para garantizar la resistencia.

$$\emptyset V_n \geq V_u \quad \text{Ec.9}$$

La capacidad nominal depende de la suma entre el aporte del hormigón, estribos, y el refuerzo FRP. En la Ec.10 se expresa lo explicado anteriormente.

$$V_n = V_c + V_s + V_f \quad \text{Ec.10}$$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Donde:

$\boldsymbol{V_n}$ = Resistencia al corte nominal, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{V_c}$ = Contribución del hormigón al corte, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{V_s}$ = Contribución de los estribos al corte, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{V_f}$ = Contribución de refuerzo de FRP al corte, $\boldsymbol{N}$

La contribución de hormigón al corte, y la de los estribos se calculan de acuerdo al código ACI 318-11. Por otro lado, la contribución del FRP se determina de como se muestra en la Ec.11.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin\alpha + \cos\alpha) d_{fv}}{s_f} \qquad \text{Ec.11}$$

En el cual:

$\boldsymbol{A_{fv}}$ = Resistencia al corte nominal, $\boldsymbol{N}$

$\boldsymbol{f_{fe}}$ = Contribución del hormigón al corte, $\boldsymbol{N}$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente capítulo se presentan las características históricas, topográficas, arquitectónicas, y mecánicas de la Capilla del sagrado Corazón de Concepción. Se presenta la caracterización de falla, y por último la modelación de la estructura en estudio en 3D.

3.1.-Analisis historiográfico

Esta edificación es una obra del primer modernismo, es decir, una obra que reconstruye Concepción posterior al terremoto de 1939. Desde un punto de vista histórico-arquitectónico, el edificio del colegio y su capilla tienen valor patrimonial también por sus autores, la destacada oficina de arquitectos Zaccarelli, Gacitúa y Barbieri. Desde el punto de vista artístico, la obra guarda la producción de dos importantes artistas: el escultor y pintor argentino Mario Ormezzano (1915-1983), y del artista chileno Laureano Guevara (1889-1968), Premio Nacional de Arte 1967, autor de los vitrales de la capilla. Con todo, el colegio y la capilla del Sagrado Corazón de Concepción representa una obra significativa y de gran valor patrimonial para la ciudad (CITEC UBB, 2015).

3.2.- Levantamiento arquitectónico

En este ítem se describe el levantamiento arquitectónico realizado en terreno, de lo propuesto anteriormente se tiene:

En cuanto a su descripción arquitectónica, la capilla es un volumen compuesto por una nave central de doble altura con forma de bóveda de crucería. Esto significa que la bóveda tiene un punto máximo y una curvatura dada por una elipse, lo cual la hace irregular. En el extremo opuesto a la entrada existen dos volúmenes laterales de dos pisos que se extienden perpendiculares a la nave central.

En el primer nivel existen dos pasillos techados, perimetrales a la nave central, que generan un espacio intermedio entre el exterior e interior y que se conectan directamente a los patios del colegio. Por extensión, estos pasillos existen también en el segundo nivel, aunque no techados.

La envolvente vidriada se compone de cristales simples modulados que forman un paño de 1,6m x 5m, aproximadamente, pintados con técnica vitral en diferentes diseños. Los vidrios son puestos sobre una estructura reticulada de fierro fundido, colocada aproximadamente en el medio del muro soportante. Los vidrios son unidos a la estructura de fierro fundido a través de masilla.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Los pavimentos son en baldosa microvibrada en diferentes colores. Los colores son separados a través de huinchas metálicas color bronce. La estructura de techumbre se compone de dos partes: la estructura soportante de cubierta y la estructura de cielo. La forma abovedada se termina dando a través de la colocación de una malla hexagonal para posteriormente realizar un revoque de yeso en espesor suficiente para garantizar una superficie lisa. Esto se remata a través de pintura blanca (CITEC UBB, 2015). En el anexo A se exponen los planos entregados por arquitectura en detalle.

3.3.- Levantamiento topográfico

Del levantamiento topográfico se expresa que en general la Capilla no presenta asentamiento ni desviaciones en muros que puedan atribuirse de manera exclusiva al terremoto. Las diferencias en los niveles de piso así como las diferencias en la verticalidad de los muros, son sólo diferencias constructivas que obviamente se vieron afectadas por los grandes movimientos del terremoto, pero en general se concluye que la estructura está en una condición de niveles muy estable (CITEC UBB, 2015). En el anexo B se presenta el informe realizado explicando el levantamiento topográfico.

3.4.- Evaluación de laboratorio

Los ensayos se desarrollaron en el Laboratorio de Ciencias de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío, laboratorio acreditado INN bajo la norma NCh ISO17025. De estos resultados se extrae que las columnas de hormigón armado presenta un grado estructural H-25 según la norma NCh170 of85, además de acuerdo a la norma NCh2123.Of1997, el promedio de las 3 unidades ensayadas es de 10,04 MPa, por ende el ladrillo cumple con el requisito mínimo de 4 MPa (CITEC UBB, 2015). En el anexo C se presenta el informe de evaluación en laboratorio.

3.5.- Determinación en terreno

Las determinaciones en terreno, proporcionan información base adicional en la definición de las características mecánicas de los principales elementos de la estructura del edificio. Esta contempló la homogeneidad del grado estructural del hormigón y determinación del diámetro de armadura.
Los resultados obtenidos con el esclerómetro de impacto expresa que el promedio del índice esclerométrico de las columnas es de 29.7 con una desviación estándar de 1.4. Esto demuestra que

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

las columnas tienen una calidad similar, pudiendo extrapolarse estos resultados al resto de los ejes no analizados. De esta forma, al comparar los resultados de los índices esclerometricos con los ensayos de compresión, se concluye que todas las columnas tienen resistencias a compresión similares al hormigón H-25. Además este procedimiento realizado en los demás elementos estructurales da como resultado que el hormigón posee características similares al H-25.

En cuanto a la detección de armadura en la estructura se tiene que las columnas poseen enfierraduras verticales presumiblemente concentradas en 2 caras extremas, compuestas por fierros lisos verticales variables en el largo de esta (por cada cara). Estas enfierraduras verticales están amarradas por estribos transversales, compuestos por fierros lisos de 6mm de diámetros, espaciados a 60cm, en algunos sectores (CITEC UBB, 2015).

3.6.- Descripción del sistema estructural

La descripción está sujeta a la arquitectura, determinación en terreno y los antecedentes técnicos-históricos de la Capilla. Posteriormente se muestra en la Figura Nº5 la planta de la estructura.

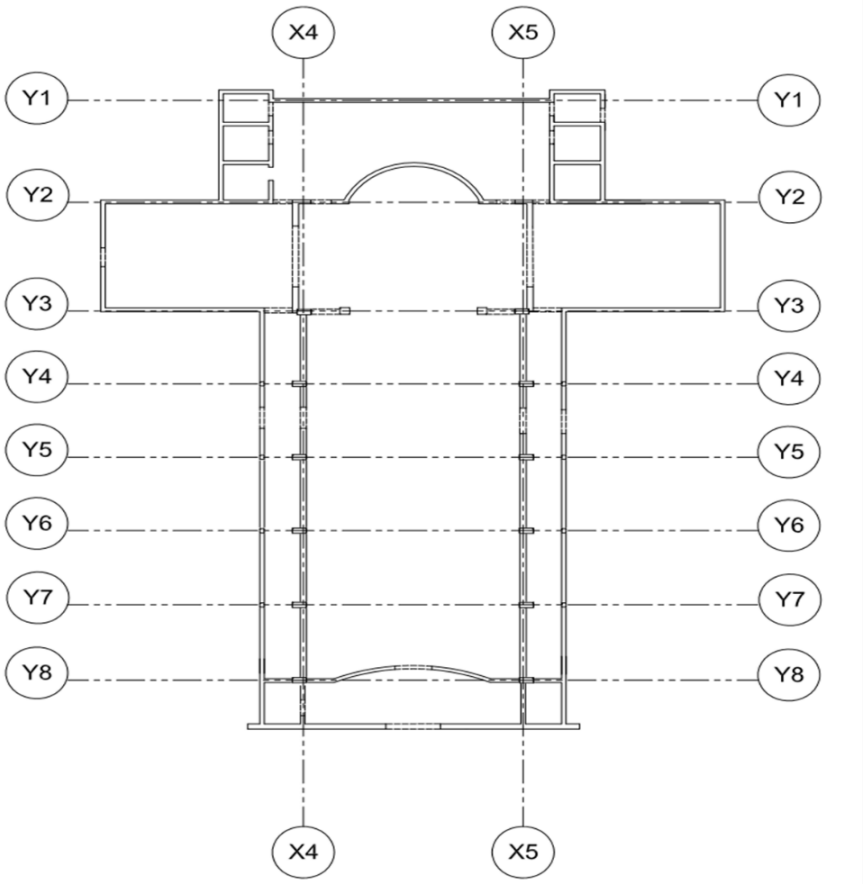


Figura Nº5: Planta referencial de la capilla.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

- Muros soportantes:

  Los muros de la capilla son de albañilería, confinada solo parcialmente con pilares y cadenas de hormigón armado. La unidad de ladrillo es del tipo macizo artesanal, con unas dimensiones aproximadas de 34cm x 17cm x 7cm. El mortero de pega tiene espesores entre los 2 y 3 cm. En general existen 2 tipos de espesores de muros: 34 cm para la nave central y 25 cm para el resto del edificio. Estos espesores son de obra gruesa pues todos los muros tenían recubrimientos del tipo estuco de mortero de 5 cm de espesor en cada cara (CITEC UBB, 2015). En la Figura Nº6 se presenta una elevación de albañilería.

(a) **(b)**

Figura Nº6: Elevación X4;(a) Elevación natural, (b) Elevación grilla.

-Pórticos: Se verifica que en los ejes Y4 a Y8 existen unos pórticos de hormigón armado, conformados por 2 columnas verticales de 45 cm x 90 cm que se conectan en su borde superior con 2 vigas de 45 cm x 90 cm que siguen la pendiente del techo.

-Losas: Las losas presentes en el proyecto son de hormigón armado y poseen los siguientes espesores: la losa posterior posee una losa de 17 cm; los bloques laterales tiene una losa de 10 cm de espesor; y por último la losa de los pasillos es de 20 cm (CITEC UBB, 2015).

-Bóveda de cielo de la capilla: La bóveda del cielo de la capilla está estructurada íntegramente en base a piezas de madera. La especie maderera es similar al roble. En particular se distinguieron 3 tipos de elementos:

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Piezas para cascaras curvas: consisten en una serie de elementos de madera de escuadría de 2.5cm x 2.5cm, que son curvadas y van separadas a 2.5cm. Esta cascara es revestida con una malla de alambre y posteriormente revocada con yeso.
Piezas de unión y ensamblaje: consisten en una serie de elementos de madera de escuadría aproximada de 2.5cm x 20cm, que son curvadas y generan ensambles entre las cascaras curvas.

Piezas colgantes: consisten en una serie de elementos de madera de escuadría aproximada de 2.5cm x 10cm, dispuestas en forma semi-verticales. El objetivo de estos elementos es conectar a las piezas de unión y ensamblaje con las costaneras de techo. De esta forma se logran configurar una serie de conexiones colgantes que le dan mayor seguridad estructural a la bóveda.

Otro elemento importante a considerar, consiste en un conjunto de piezas de madera que configuran un arco que va debajo de cada pórtico. Este sistema no es fácil de identificar, pero se intuye que consisten en 2 piezas de madera de 2.5cm x 15cm, espaciadas, cadeneteadas cada 50cm y reforzadas con dos diagonales de madera en una configuración del tipo X. Esta estructura sirve como una especie de costura y nervio rigidizante de las cascaras curvas que se encuentran (CITEC UBB, 2015).

Figura Nº7: Estructura de madera para bóveda de cielo Capilla.

-Techumbre: En particular se identificaron 4 tipos de techumbres.
Techumbre de nave central de capilla: Está delimitada por los ejes X4-X5-Y2-Y8 y consiste en planchas de asbesto-cemento de sección ondulada, sobre costaneras de madera.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Las costaneras tienen una sección de 6.5cm x 18cm y están espaciadas cada 50cm. Además tienen elementos anti volcamiento en los tercios de su longitud de apoyo, en configuración X.

Techumbre en sectores laterales al altar de la capilla: Está delimitada por los ejes Y2-Y3-X1-X4 e Y2-Y3-X5-X8. Desde el borde superior al inferior tiene los siguientes elementos: a) plancha de zinc ondulada, b) fieltro, c) cama de adobe de 3.5cm, d) costaneras de madera de 4.5cm x 4.5cm espaciadas a 95cm, e) entablado de madera continua de 5cm de espesor, f) costaneras de madera de 4.5cm x 8.5cm espaciadas a 95cm, g) vigas de hormigón armado de 40cm x 50cm espaciadas a 130 cm, h) costaneras de madera de 4.5cm x 6.0cm espaciadas a 50cm, i) cascara de madera con piezas de 5cm x 5cm espaciadas a 2.5cm y revocadas inferiormente malla de alambre y yeso.

Techumbres en sector posterior a la capilla: Está delimitada por los ejes X2-X3-Y1-Y2 e X6-X7-Y1-Y2. Desde el borde superior al inferior tiene los siguientes elementos: a) plancha de zinc ondulada, b) fieltro, c) costaneras de madera de 5cm x 7.5cm espaciadas a 60cm, d) entablado de madera continua de 2.5cm de espesor, e) cerchas de madera triangulares con escuadrías de 5cm x 12.5cm espaciadas a 100cm, f) entramado de madera de 5cm x 5cm espaciados a 40cm, g) plancha de revestimiento de cielo tipo yeso cartón de 10mm.

Techumbres en sector posterior a la capilla: Está delimitada por los ejes X3-X6-Y1-Y2. Desde el borde superior al inferior tiene los siguientes elementos: a) plancha de zinc ondulada, b) fieltro, c) costaneras de madera de 5cm x 7.5cm espaciadas a 60cm, d) entablado de madera continua de 3cm de espesor, e) plancha de masisa de 1cm espesor, f) tijerales de madera con escuadrías de 5cm x 18cm espaciadas a 50cm, g) entramado de madera de 5cm x 5cm espaciados a 40cm, h) plancha de revestimiento de cielo tipo yeso cartón de 10mm (CITEC UBB, 2015).

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3.7.- Modelamiento estructural

El modelo matemático que representa la estructura se realiza a través de la herramienta de análisis estructural ETABS versión 9.7.4, que utiliza el método de los elementos finitos para las simulaciones numéricas. Este modelo se realiza en base a los antecedentes recabados en los ítems anteriores. Esta simulación posee dos grandes objetivos: la explicación de daños del sistema estructural, y la evaluación del desempeño de la capilla frente a la normativa vigente.

En lo que se refiere a la explicación de daños se intenta, a través, de la base científica poder obtener el nivel de daños provocados en la capilla por el terremoto del 27/F. Para esto se incorporó la geometría del levantamiento arquitectónico, la caracterización de los elementos principales, las propiedades mecánicas de los materiales gracias a los datos técnico-históricos, y ensayos de laboratorios, y las cargas de peso propio. Por último se le aplico el espectro del 27/F, que se obtiene del acelerograma de la dirección transversal de la Ciudad analizada, obtenido de la estación de Concepción. Esto fue realizado con el programa SeismoSignal vers.5.1.2.

El espectro obtenido fue reducido por ductilidad igual a 2, ya que, la estructura incursiono en ese rango por la materialidad que esta posee. Los pórticos poseen enfierradura lisa, que en algunos casos es menor a la cuantía minina. Por otro lado, la albañilería estaba distribuida en pares de ladrillos juntos. Estos argumentos justifican en parte el valor de ductilidad utilizado. La Figura Nº8 se muestra el espectro del 27/F en la dirección transversal.

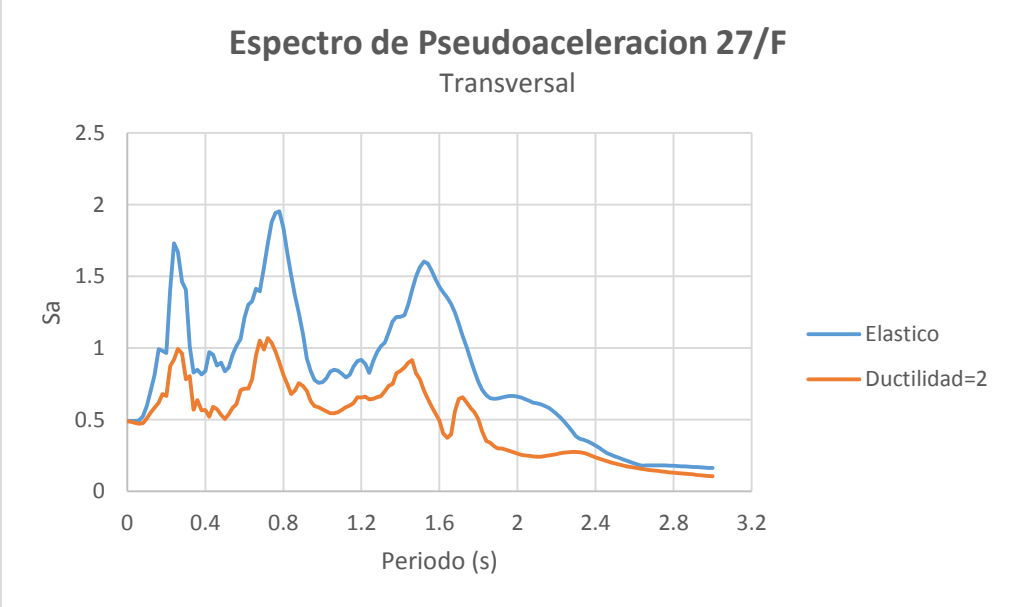


Figura Nº8: Espectro del 27/F, registro transversal, estación Concepción.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Por otro lado, para evaluar el desempeño del sistema estructural se le aplico de igual manera que el caso anterior la geometría según arquitectura, la caracterización de los elementos principales, las propiedades mecánicas de los materiales de los datos técnico-históricos, y ensayos de laboratorios. Además se le aplico las combinaciones de carga propuestas por la Nch 3171. Las cuales se describen en la Tabla Nº2. Finalmente se le realizó un análisis estático según la NCh. 433.of 1996 Mod.2009 más el D.S 61. En el anexo D se muestran las figuras representativas de la modelación estructural en 3D.Además, las combinaciones de cargas son de acuerdo a la NCh 3171. Las combinaciones poseen una nomenclatura en particular, la cual se expone posteriormente.

DSXA: Combinación de peso propio mas sismo en la dirección transversal a la estructura.
DSYA: Combinación de peso propio mas sismo en la dirección longitudinal a la estructura.

Las propiedades mecánicas, y sus respectivas cargas ingresadas en la modelación se muestran en el anexo E.

3.8.- Caracterización de fallas

La caracterización de los daños se realizó a partir de una serie de visitas a terreno e inspecciones visuales, complementadas con herramientas de medición básicas. La información extraída en terreno se basa en los siguientes criterios para su caracterización: ubicación de fallas, longitud, profundidad, ancho y tipo. De este extenso trabajo realizado en terreno se genera el siguiente resumen describiendo el sector, numero de fallas y porcentaje del total. Posteriormente se exponen en la Tabla Nº2, y además la Figura Nº9 el resumen de la caracterización de fallas del sistema.

Tabla Nº2: Zonificación de sectores para caracterización de daños

SECTOR	DESCRIPCION	N° FICHAS	PORCENTAJE
A	Sectores posteriores a la capilla en 1° y 2° nivel	37	9.9%
B	Eje X5 entre ejes Y2 e Y8	122	32.6%
C	Cielo de la capilla entre ejes Y2 e Y8	51	13.6%
D	Eje X4 entre ejes Y2 e Y8	85	22.7%
E	Eje Y3 entre ejes X4 y X8	30	8.0%
F	Eje Y2 entre ejes X4 y X8	12	3.2%
G	Eje Y8 entre ejes X4 y X5	25	6.7%
H	Galería segundo nivel entre ejes X4 y X5	8	2.1%
I	Eje Y10 entre ejes X4 y X5	4	1.1%
	TOTAL	**374**	**100%**

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

De las 374 fichas de fallas registradas se pueden observar daños tanto en elementos estructurales (muros de albañilería, pilares, vigas y cadenas de hormigón armado) como en elementos no estructurales (bóvedas y cielos de madera revocadas con yeso). En general se observa que el nivel de daños presente en la capilla es moderado, y se puede generar un proyecto de rehabilitación estructural, que permita a esta edificación cumplir con las normativas sísmicas vigentes (CITEC UBB, 2015). En el anexo F se presentan de forma ilustrativas las fallas caracterizadas en terreno para los sectores señalados anteriormente. En la Figura Nº9 se presenta una caracterización de catastro realizado.

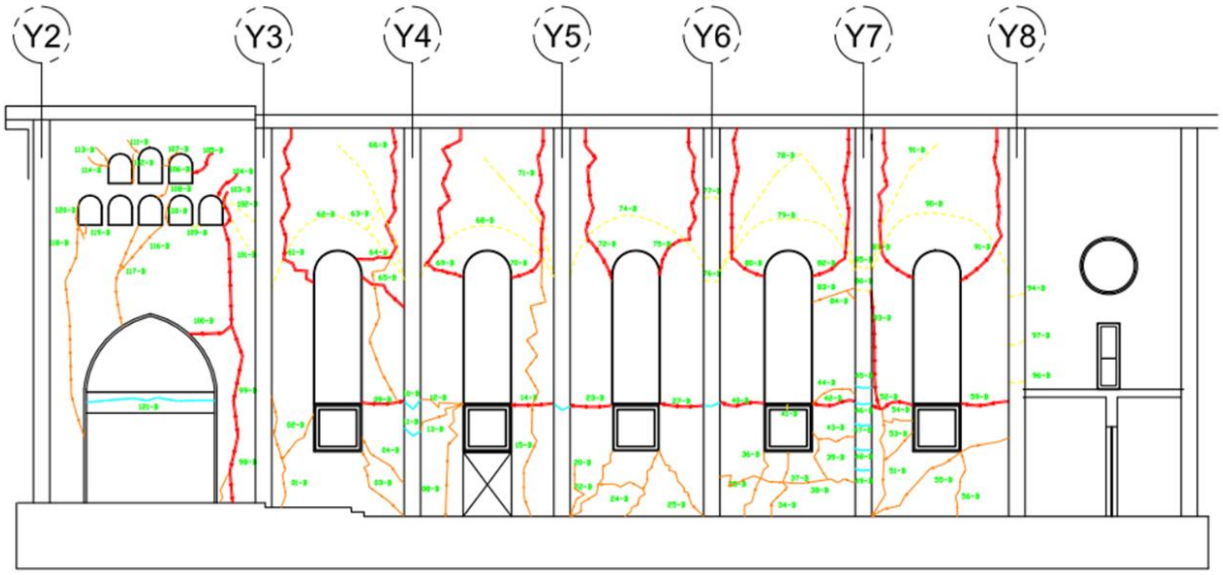


Figura Nº9: Caracterización de fallas en el eje X5

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.- PROPUESTA DE REHABILITACIÓN.

En este capítulo se presentan lo descrito por la NCh 433, en el anexo A. Lo propuesto por la normativa Chilena consta de tres grandes ítems: explicación de daños, la evaluación del desempeño de la estructura frente a la normativa vigente en Chile, y por ultimo proponer un plan de rehabilitación.

En lo que se refiere a la explicación de daños se subdividen en los siguientes ítems: propiedades dinámicas de la estructura, desplazamiento sísmicos, y nivel de tensiones en los muros de albañilería.

Por otro lado, en lo que se describe al desempeño estructural de la capilla se subdivide en los siguientes ítems: verificación de la rigidez lateral del sistema estructural, verificación de la resistencia admisible de elementos de albañilería, y verificación de la resistencia ultima de marcos de hormigón armado.

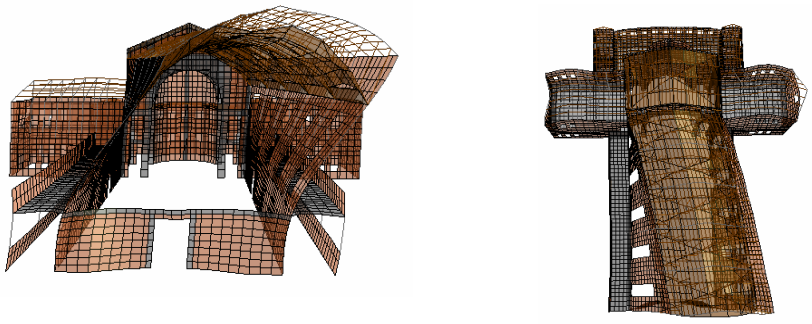
Por último, la propuesta de rehabilitación se basa en el diseño de la recuperación y/o refuerzo de los elementos estructurales de albañilería y hormigón armado.

4.1.- Explicación de daños en el sistema estructural.

En este ítem se muestran los resultados obtenidos de acuerdo al análisis modal realizado.

4.1.1.- Propiedades dinámicas de la estructura.

Al modelo se le realizó un análisis modal con la técnica de los vectores de Ritz. Los periodos de vibración fundamentales y sus respectivos porcentajes de participación modal se muestran en la tabla Nº3, además en la Figura Nº10 se muestran las deformadas del modo de vibrar 1.



(a) **(b)**

Figura Nº10: Deformada de la estructura para la combinación de cargas DSXA (Amplificada 600 veces, dirección X, T=0.38 s)

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla Nº3: Periodos de vibración en cada dirección de análisis

Modo	Periodo	UX (%)	UY (%)	Suma UX (%)	Suma UY (%)
1	0,379965	24,8011	0	24,8011	0
2	0,204295	6,5791	0	31,3802	0
3	0,169284	0,0022	38,5793	31,3824	38,5793

De la tabla Nº3 se extrae que la capilla posee dos modos de vibrar con mayor participación, los cuales son el 1 y el 3.Además se observa que la estructura es más flexible en su dirección transversal X, y tiene un periodo fundamental de vibración de 0.38 segundos. El periodo de vibración fundamental en la dirección Y es de 0.17 segundos. El detalle de lo modos de vibrar se presentan en el anexo G.

4.1.2.- Desplazamientos sísmicos.

La norma NCh 433 Of 1996 Mod 2009 establece en el apéndice 5.9.5 que:" *En pisos sin diafragma rígido, el valor máximo del desplazamiento transversal de entrepiso de las cadenas, producido por solicitaciones que actúan perpendicularmente al plano del muro sobre el que se ubica la cadena, debe ser igual o menor que la altura de entrepiso multiplicada por 0.002*". Como la altura del muro es aproximadamente 13m, los desplazamientos máximos permitidos son del orden de los 2.6cm.

Como se mencionó anteriormente el edificio es más flexible en la dirección X, por lo tanto esta es la dirección más desfavorable a estudiar desde el punto de vista de las deformaciones sísmicas. De acuerdo a los análisis realizados por el método modal espectral, se obtuvo que los desplazamientos laterales, perpendiculares al borde superior de los muros de albañilería de los ejes X4 y X5, para la combinación DSXA, es de 3.05 cm. En el anexo G se exponen los desplazamientos para las distintas combinaciones de carga.

Por lo tanto, se deduce que la estructura de la capilla sufrió desplazamientos laterales levemente superiores a los máximos permitidos, superándolos en un 17.3% aproximadamente, esto explica en parte las fisuras en la estructura.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.1.3.- Nivel de tensiones en los muros de albañilería.

En la Figura Nº11 se muestran las tensiones de tracción verticales (S22) en el muro del eje X5, en la cara interior de la capilla. Estas tensiones generan grietas relativamente horizontales. En la Figura Nº11 se grafica las tensiones con la combinación DSXA, la cual genera flexión perpendicular al plano de muro.

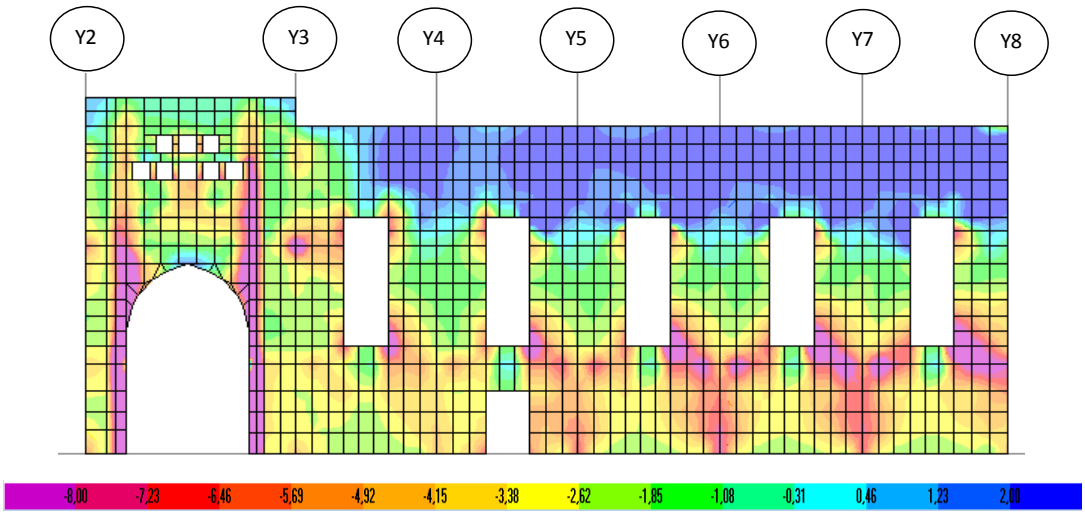


Figura Nº11: Tensiones de tracción verticales en cara interior de muro del eje X5

La norma NCh 2123 of 2003 en la tabla Nº2 de esta, propone que la resistencia admisible a flexo tracción fuera del plano (Fbt), posee variaciones para ladrillos cerámicos que varían desde 1 kgf/cm2 a 3 kgf/cm2. Como se observa en la Figura Nº8, las tensiones verticales en las zonas más desfavorables en la línea de acción de los vitrales (color morado), fueron del orden de los 7 kgf/cm2.

Por lo tanto, queda demostrado que las grietas horizontales generadas por el terremoto del 27/F en estos muros son bastantes lógicos, esto se debe a la falta de resistencia a flexo tracción.

Por otro lado, se utilizó la modelación para explicar la aparición de grietas diagonales en el plano de los muros característicos X4 y X5. Estas son generadas por cargas actuantes en el plano del muro, que se identifican como de corte (tracciones diagonales), que en el modelo se representan por la sigla S12. En la Figura Nº12 se muestra los resultados obtenidos para la combinación DSYA en el muro X5, la combinación genera esfuerzos de corte en el plano del muro.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

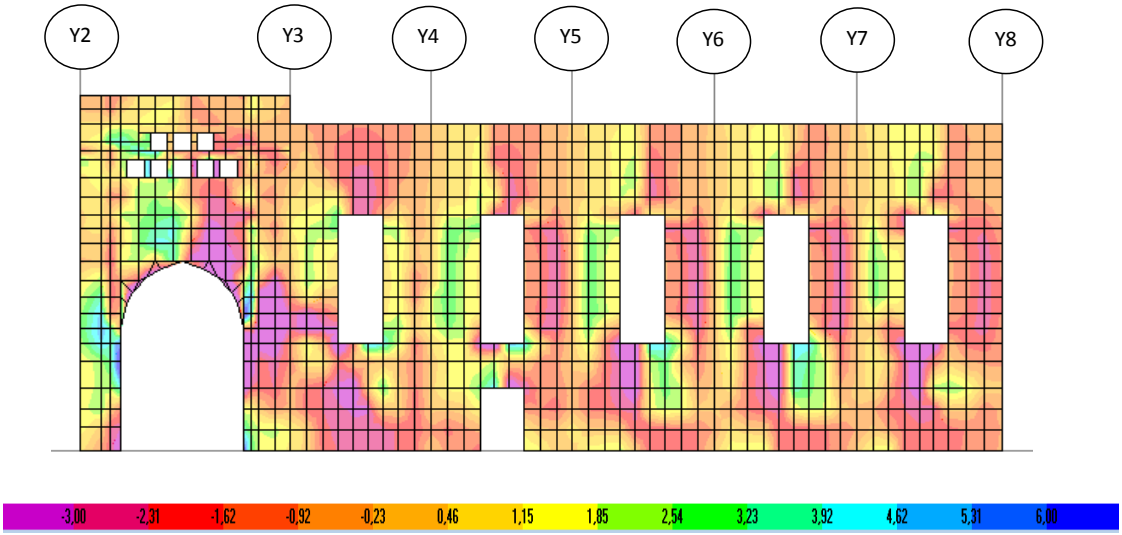


Figura Nº12: Tensiones de corte S12 en muro del eje X5

La NCh 2123 of 2003, la resistencia admisible al corte, de distintos tipos de albañilerías con ladrillos cerámicos, varía desde 0.9 kgf/cm2 a 2.1 kgf/cm2. Como se observa en la Figura Nº12, las tensiones más desfavorables generadas por el espectro descrito en el anexo están en el centro del muro, fueron del orden de 2.8 kgf/cm2.

Por los antecedentes recabados anteriormente, queda demostrado que las grietas diagonales por el terremoto del 27/F en los muros son bastantes lógicas, debido a una falta de resistencia al corte.

Finalmente, si se comparan las Figura Nº11-12 con los registros de daños en muros de albañilería mostrados en la Figura Nº9, se puede observar la buena correlación entre el modelamiento y lo ocurrido realmente en la estructura. Por lo tanto, el modelo puede ser utilizado como herramienta válida para el proyecto de rehabilitación estructural de la capilla del Colegio del Sagrado Corazón de Concepción. Si se desea analizar el eje X4 sus respectivos antecedentes se encuentran en el anexo G.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.2.- Desempeño del sistema estructural.

En este ítem se presenta el desempeño de la estructura a través del análisis sísmico de acuerdo a lo descrito por la NCh433 of 1996 Mod.2009, en este caso por las condiciones de la estructura se realiza por el método de análisis estático.

4.2.1.- Verificación de la rigidez lateral del sistema estructural

En cuanto a los desplazamientos máximos laterales, fueron del orden de 2 cm para la combinación de peso propio mas sismo en la dirección transversal. De este valor se desprende que la estructura original sin daños posee una rigidez suficiente, que permite controlar los desplazamientos laterales sísmicos. Por lo tanto, no se requiere dar más rigidez a los marcos de hormigón armado. Sin embargo, es necesario realizar una recuperación del tipo "reparación" para dotar a la estructura dañada de una rigidez igual o superior a la condición sin daños.

4.2.2.- Verificación de la resistencia admisible de los elementos de albañilería

En el ítem 4.1.3 se describe el método de evaluación de las tensiones de tracción para cargas fuera del plano, y otro lado corte generada por cargas en el plano. Las tensiones más desfavorables para la combinaciones DSXLA y DSYLA se muestra en la Tabla Nº4. En esta se exponen los resultados obtenidos del modelo versus la tensión admisible según la NCh 2123 of 2003.

Tabla Nº4: Tensiones solicitantes promedio en los muros de albañilería (Zonas mayor concentración).

EJE	Tipo tensión	Valor tensión solicitante (kgf/cm2)	Tensión admisible (kgf/cm2)
X4	S22	4,12	0.50*
	S12	2,13	0.58**
X5	S22	3,38	0.50*
	S12	2,13	0.58**

Como se observa en la Tabla Nº4, los niveles de tensiones generadas en los muros de albañilería superan sus capacidades admisibles tanto en tracción fuera del plano y corte en el plano. Por lo tanto, estos elementos requieren una recuperación estructural del tipo "refuerzo".

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.2.3.- Verificación de la resistencia ultima de pórticos de hormigón armado.

La estructura en el sentido transversal está conformada por pórticos de hormigón armado, los cuales posteriormente serán verificados con respecto a su resistencia última.

4.2.3.1.- Verificación de los pórticos bajo interacción flexión-carga axial

De acuerdo a un muestreo de preliminar de 2 columnas, a una altura de 4m sobre la base, se determinó que las estas tenían enfierraduras longitudinales verticales compuestas por 6 fierros de 25mm de diámetro (3 en cada cara corta de la columna). Esta exploración hacia presumir que las columnas tenían cuantías del orden del 0.73%. Sin embargo, a partir de exploraciones posteriores en dos nuevas columnas, a una altura de 1.2m sobre la base, se encontraron cuantías mayores cercanas al 1.70% (de 6 a 8 fierros de 25mm de diámetro en cada cara corta de la columna).
De esta forma, considerando lo mencionado anterior, para la verificación a flexo-compresión de las columnas se consideraron 3 secciones transversales:

- Sección 1: de 45cm x 90cm (color azul), con enfierradura de 6+6Φ25, cuantía 1.45%, desde la base de la columna, hasta los 3.75m de altura.
- Sección 2: de 45cm x 90cm (color negro), con enfierradura de 3+3Φ25, cuantía 0.73%, desde los 3.75m de altura hasta los 9.58m.
- Sección 3: de 45cm x 120cm (color rojo), con enfierradura de 6+6Φ25, desde los 9.58m de altura hasta los 11.50m. Además considera el ensanchamiento promedio del extremo superior de la columna y se asume una cuantía del orden de 1.09% en esa zona.

Por otro lado, para la verificación a flexo-compresión de las vigas se consideraron 2 secciones transversales:

- Sección 4: de 45cm x 140cm (color rojo), con enfierradura de 6+6Φ25, cuantía 1.45%, desde el hombro de la estructura, hasta los 90 cm.
- Sección 5: de 45cm x 90cm (color azul), con enfierradura de 3+3Φ25, cuantía 0.73%, desde los 90cm hasta la cumbrera del pórtico.

En la Figura Nº13 se muestra el diagrama de interacción de diseño en el eje fuerte de las secciones 1,2, 3,4 y 5. Adicionalmente se muestran los puntos correspondientes a las cargas solicitantes (colores de las secciones coinciden con los colores de las solicitaciones).

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

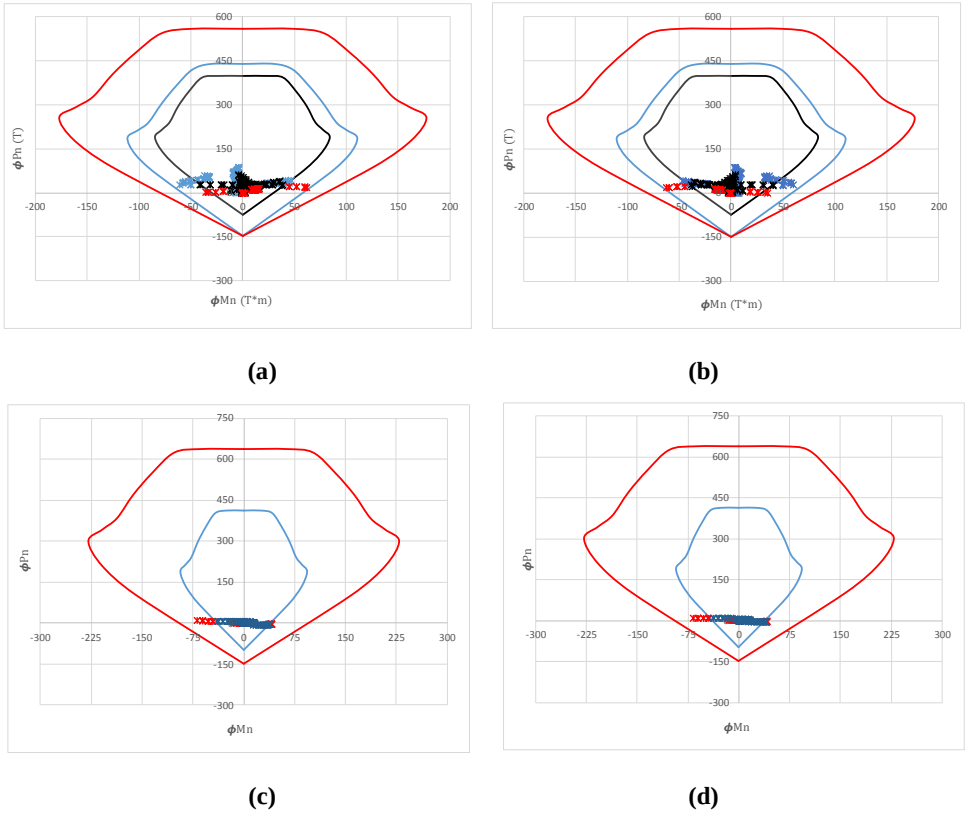


Figura Nº13: Eje Y8;(a) Columna 1, (b) Columna 2, (c) Viga 1, (d) Viga 2.

Como se puede observar de la Figura Nº13 las secciones existentes de las vigas y columnas resisten de buena manera las cargas solicitantes. Por lo tanto, del punto de vista de las enfierraduras longitudinales de las vigas solo se requiere una recuperación estructural del tipo "reparación" en caso de ser necesario. En el anexo H se exponen los diagramas de interacción para los distintos ejes en columnas y vigas de la capilla.

4.2.3.2- Resistencia a corte de los pórticos de hormigón armado

En base a las detecciones de enfierraduras, se observaron estribos de 6mm de diámetro espaciados a 60cm. Estas cuantías de estribos son menores a los requerimientos mínimos exigidos en los códigos actuales, por ejemplo el ACI318-2011.En la Figura Nº14 se muestran el diagrama de corte para el eje Y6.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

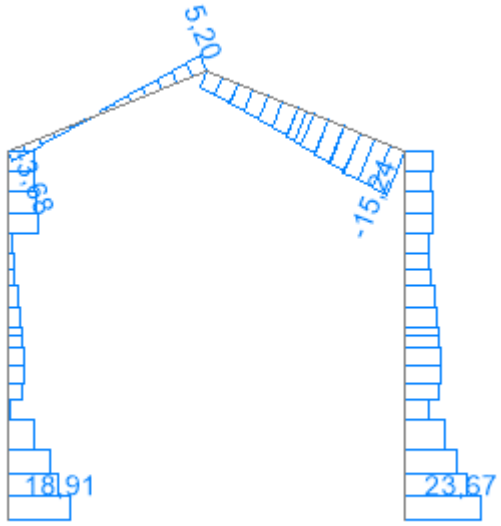


Figura Nº14: Diagrama de corte solicitante sobre pórticos de hormigón armado Y6 (combinación de cargas DEXNLH)

De la Figura Nº14 se puede observar que el máximo corte solicitante es del orden de Vu=24 (T). La capacidad de la sección a corte con los estribos detectados en terreno es ΦVn=23.5 (T), lo que implicaría que las secciones existentes podrían resistir las demandas de corte solicitantes. Sin embargo, el código ACI318-2011 indica que es necesario incluir una cantidad mínima de estribos (art. 11.4.6), para evitar fallas repentinas por efecto de tracciones o sobrecargas no consideradas, que pueden generar agrietamiento inclinado, perdida de ductilidad y el consiguiente peligro de falla de la sección. Esta cuantía mínima de estribos debe ser dispuesta en las zonas donde Vu sea mayor que 0.5*ΦVc (11 T para esta columna). Además, los estribos mínimos no deben estar espaciados a una distancia mayor a d/2 (42.5cm para esta columna). Por lo tanto, desde el punto de vista de la resistencia al corte, en todas las columnas de los pórticos de hormigón armado se debe aplicar una recuperación sísmica del tipo “refuerzo”. En el anexo H se presentan los diagramas de corte para los demás ejes.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.3.- Reparación y/o refuerzo para los muros de albañilería.

En este capítulo se expone la propuesta de rehabilitación para los distintos tipos de elementos estructurales analizados del sistema. Como se explicó en el primer capítulo la propuesta dependerá del tipo de reparación que se deba realizar, esto es, en algunos casos del tipo "refuerzo", y en otros "reparación".

Para los muros de albañilería se requiere de una recuperación estructural del tipo "refuerzo" como se demostró en el capítulo anterior. La técnica de reforzamiento elegidas será con tejidos de FRP SikaWrap. Esta técnica aumenta la resistencia a flexión para cargas fuera del plano, y además aumenta la capacidad al corte para para cargas en el plano sobre el sistema estructural. Los resultados obtenidos del diseño según el código ACI 440.7R-10 se determinaron por zonas de conflicto sobre la capilla, las cuales fueron captadas por la modelación estructural, y la realidad observada en terreno. Las zonas elegidas para el diseño se esquematizan en la Figura Nº15-17.

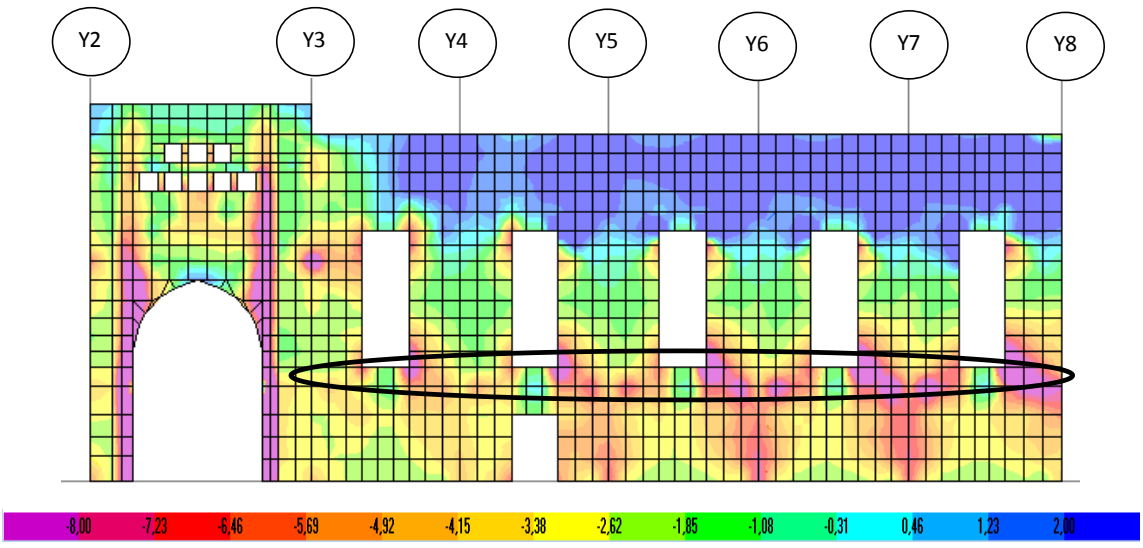


Figura Nº15. Esquema representativo de las zonas de conflicto a flexión en el muro.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

De acuerdo al diseño, la propuesta adoptada según el código ACI 440.7R-10 se muestra en la Figura Nº16.

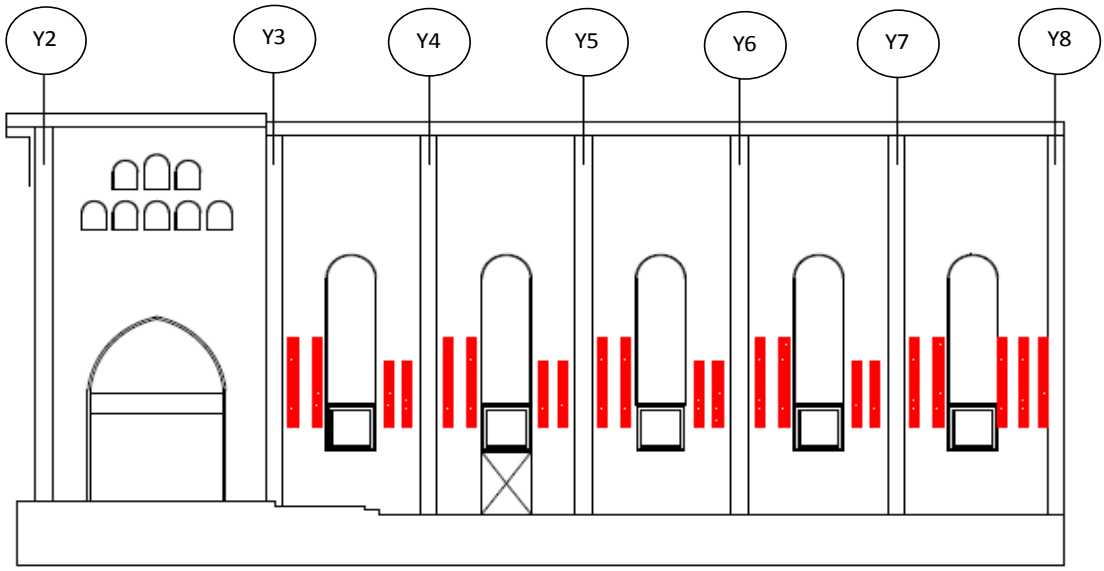


Figura Nº16. Esquema representativo de la estructura reforzada a flexión.

Como se muestra en la Figura Nº15 entre los ejes Y7-Y8 se requiere de mayor refuerzo de FRP. Esto se genera, porque es una zona de mayor flexibilidad frente al sismo. Entre los ejes Y3-Y7 posee un comportamiento similar la albañilería frente a las solicitaciones, por lo tanto, el refuerzo posee la misma distribución en el sistema estructural entre esos ejes.

Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos de acuerdo al diseño según el ACI 440.7R-10. Las características geométricas del refuerzo son:

- Ancho del refuerzo : 200 mm
- Largo del refuerzo: posee longitud de 1.5 m y 2 m dependiendo de la zona.
- Espaciamiento entre refuerzo: posee distancia 600 mm y 800 mm dependiendo de la zona.

Este refuerzo aumento la capacidad de la albañilería obteniendo relaciones entre la demanda v/s la oferta sobre el muro de albañilería (Mn/Mu) de un orden de 2.
En el anexo I se muestra la memoria de cálculo del FRP para el muro de albañilería.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Por otro lado, las zonas de conflicto por tensiones de corte en el muro de albañilería se muestra en la Figura Nº17.

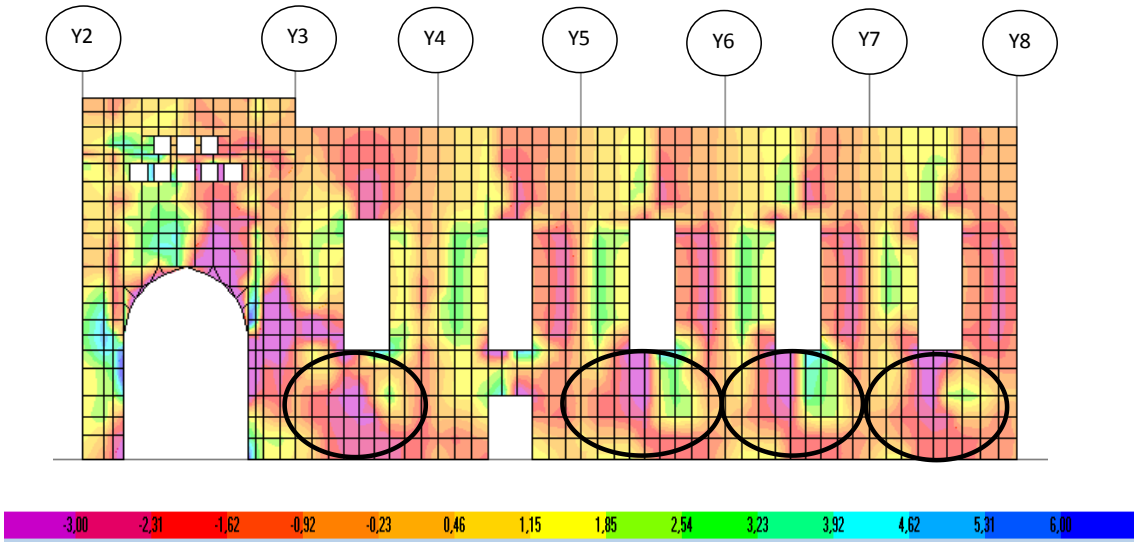


Figura Nº17: Esquema representativo de las zonas de conflicto de corte en el muro.

De acuerdo al diseño, la propuesta adoptada según el código ACI 440.7R-10 se muestra en la Figura Nº18.

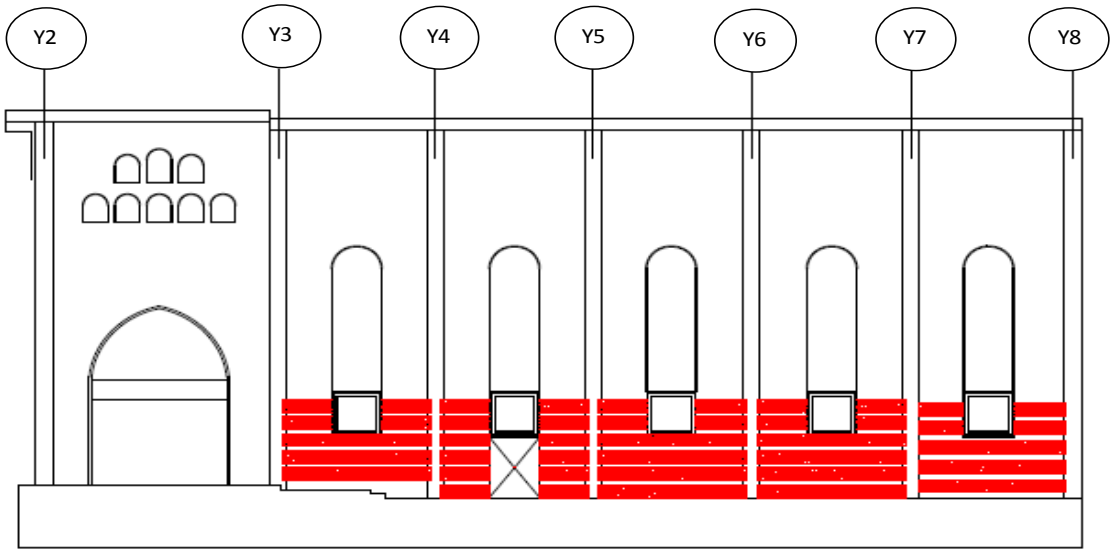


Figura Nº18: Esquema representativo de la estructura reforzada al corte.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Luego, se muestran los resultados obtenidos de acuerdo al diseño según el ACI 440.7R-10. Las características geométricas del refuerzo son:

- Ancho del refuerzo : 300 mm
- Largo del refuerzo: posee una longitud de 5 m aprox.
- Espaciamiento entre refuerzo: posee distancia 400 mm y 450 mm dependiendo de la zona.

Finalmente, el diseño al corte es satisfactorio, ya que, se obtuvieron relaciones (Vn/Vu) mayores a 1.En el anexo I se muestra la memoria de cálculo del FRP para el muro de albañilería.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.4.- Reparación y/o refuerzo en el hormigón armado.

Las columnas de hormigón armado necesitan recuperación estructural tipo “refuerzo” al corte, se escoge la técnica de reforzamiento exterior con láminas FRP. Esta técnica tiene la ventaja de aumentar la resistencia al corte de la columna, sin modificar su geometría ni estética. Las láminas de FRP que se utilizaran son del tipo Sika Carbodur S512, de 1.2m de espesor y 50mm de ancho. Estas se colocaran en las 3 caras exteriores de las columnas, espaciadas cada 100mm. Con esta solución se puede aumentar la resistencia de la columna al corte ΦVn desde las 23.52 T existentes hasta las 30.17 T. Esta última resistencia es similar a la que se lograría aumentando la cuantía de los estribos existentes hasta las exigencias mínimas indicadas en el código ACI318. En la Figura Nº19 se representa los descrito anteriormente para el refuerzo de FRP. En el anexo I se muestra la memoria de cálculo del FRP para la columna de hormigón armado.

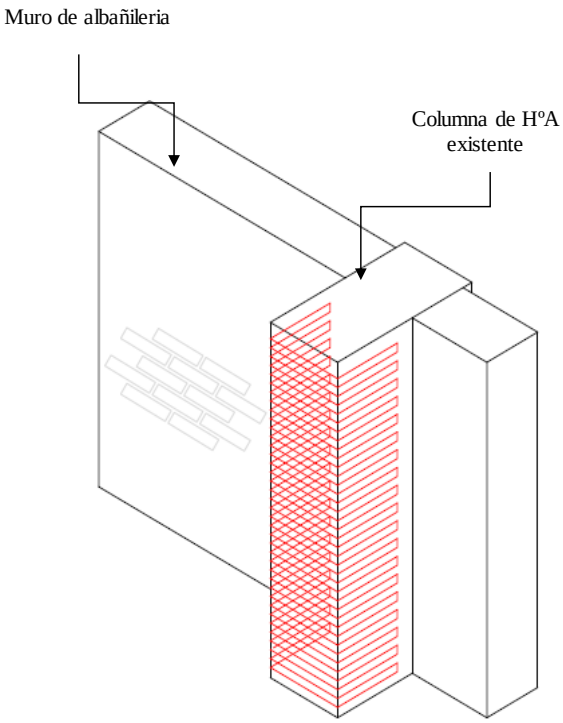


Figura Nº19. Esquema representativo de la columna reforzada al corte.

Finalmente, los pórticos de hormigón armado que necesitan recuperación estructural del tipo “reparación” se escoge la técnica de inyección de grietas, ya que esta no modifica la geometría de la estructura, pero provoca que el elemento estructural quede en una condición igual o mejor que la original.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

5.- CONCLUSIONES

En el presente capítulo se exponen las conclusiones generales del proyecto e investigación realizada para la propuesta de rehabilitación sísmica en la capilla de colegio Sagrado Corazón de Concepción.

En relación a la explicación de daños se tiene:

- La simulación numérica, generada por el método de elementos finitos con el software ETABS, logra capturar de buena manera el comportamiento estructural, ya que, demostró el déficit de resistencia de los elementos estructurales, que posteriormente se ven reflejados en las grietas de la estructura frente al terremoto del 27/F. Por ello, el software es una herramienta válida para el proyecto de rehabilitación.

- La estructura analizada posee daños moderados en su sistema estructural, ya que, posee déficit de resistencia en los elementos albañilería y hormigón armado. Por otro lado, no posee colapso de secciones estructurales. Por lo tanto, es posible realizar una rehabilitación sísmica.

- El modelo demuestra que la estructura posee en la dirección transversal un comportamiento flexible, que sufrió desplazamientos de un 17.7% mayores a los permitidos por la normativa sísmica, para la solicitación de peso propio mas sismo en la dirección transversal. Esto explica en parte la ocurrencia de los daños observados.

- La modelación demuestra que el sistema estructural posee niveles de tensiones a tracción verticales mayores a la resistencia admisible de la albañilería. Estos estuvieron del orden de un 100% mayor al admitido. Con todos estos antecedentes se explica el patrón de agrietamiento casi horizontal por debajo de los vitrales en los muros X4 y X5.

- La modelación estructural demuestra que el sistema estructural posee tensiones de corte mayores a la resistencia admisible de la albañilería. Estos estuvieron del orden de un 50% mayor al admitido. Con todos estos antecedentes se explica el patrón de agrietamiento diagonal por debajo de los vitrales en los muros en los ejes X4 y X5.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Por lo lado, en cuanto al desempeño del sistema estructural para la elección del tipo de refuerzo según la NCh 433 en el anexo A, se tiene:

- La rigidez transversal de la estructura de la capilla (en condición original, sin daño) es adecuada para controlar los desplazamientos relativos, según las exigencias de la norma NCh 433. Por lo tanto, es necesario realizar una reparación estructural del tipo "reparación" a los elementos estructurales.

- Los muros de albañilería de los ejes X4 y X5 de la capilla (en condición original, sin daño) no tienen capacidad suficiente para resistir la concentración de tensiones de tracción por flexión fuera del plano, estas tensiones poseen un déficit del orden de 3 veces la capacidad admisible permitida por la NCh 2123. Por lo tanto, es necesario generar una recuperación estructural del tipo "refuerzo" en las zonas dañadas de los muros, para aumentar su capacidad.

- Los muros de albañilería de los ejes X4 y X5 de la capilla (en condición original, sin daño) no tienen capacidad suficiente para resistir la concentración de tensiones de corte en algunas zonas particulares, estas tensiones poseen un déficit del orden de 3 veces la capacidad admisible permitida por la NCh 2123. Por lo tanto, es necesario generar una recuperación estructural del tipo "refuerzo" en las zonas dañadas de los muros, para aumentar su capacidad.

- Los pórticos de hormigón armado de los ejes X4 a X8 (en condición original, sin daño) resisten las solicitaciones generadas por la interacción flexión-carga axial, por lo que solo deben poseer una recuperación estructural de tipo "recuperación".

- Las columnas no cumplen con los requisitos de estribos mínimos exigidos por el código ACI318, ya que, posee déficit de 85 kN al corte. Por lo tanto deben incorporar una recuperación estructural del tipo "refuerzo" al corte.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Po otro lado, en cuanto a la elección del refuerzo estructural para la recuperación y/o refuerzo de los elementos del sistema estructural se utilizó como técnica el FRP, y la inyección en grietas. De esto se desprende que:

- En cuanto a los muros, se utilizó SikaWrap como técnica de "refuerzo" para el déficit de capacidad a flexión con cargas fuera del plano, las relaciones de aumento para la capacidad nominal fueron del orden el 50%. Esto es una buena medida para el aumento de su capacidad nominal, y además por el poco impacto en la arquitectura de la capilla.

- Por otro lado, se utilizó SikaWrap como técnica de "refuerzo" para el déficit de capacidad al corte para cargas en el plano, las relaciones de la demanda v/s la oferta fueron superiores a 1.Esto es una buena medida para el aumento de su capacidad nominal, y además por el poco impacto en la arquitectura de la capilla.

- Para las columnas de hormigón armado, se utilizó como técnica de "refuerzo" el FRP como pletina Sika Carbodur. Esta técnica aumento la capacidad al corte alcanzado el 94% de lo requerido por el código ACI 318.

- Para las grietas menores en los pórticos de hormigón armado, se utilizó como técnica de "reparación" la inyección en ellas. Esta técnica garantiza el aumento de su capacidad hasta alcanzar su resistencia en condiciones sin daño.

- En la estructura de la cúpula del cielo de la capilla, conformada por piezas curvas de madera, con mallas metálicas de pequeño espesor y yeso, se generaron una serie de daños no estructurales, del tipo estético. Este informe no hace referencia a la reparación de estos daños, pues su solución corresponde a técnicas más bien artísticas. En términos generales, se debe demoler parcialmente el yeso suelto, afianzar nuevamente la malla metálica a la madera en las zonas dañadas, y volver a enlucir con yeso.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

6. BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2008). ACI 440.2R. Guide for the design and construction of externally bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, USA.

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2010). ACI 440.7R. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Systems for Strengthening Unreinforced Masonry Structures, USA.

- AMR S.ELNASHAI, LUIGI DI SARNO. (2008).Fundamentals of earthquake engineering, Illinois, USA.

- BARIS ERDIL, DILEK OKUYUCU. (2011). Seismic performance evaluation of adilcevaz zal pasha mosque, Ankara, Turquía.

- GOBIERNO DE CHILE. (2013).Monumentos, Ediciones Consejo de monumentos nacionales de Chile, Santiago, Chile.

- LUIS ROSERO. (2013). Reforzamiento de estructuras de hormigón armado con FRP (fiber reinforced polimers). Aplicación al caso de una losa y columnas de un salón de audiovisuales y auditorio, Tesis de pregrado, Escuela politécnica del ejército, Sangolqui, España.

- MAJA KRESLIN, PETER FAJFAR. (2009). Bull Earthquake Eng, Seismic evaluation of an existing complex RC building, Ljubljana, Slovenia.

- N. GALATI, E. GARBIN, G. TULIMIALAN, and A. NANNI. (2006). Design Guidelines for Masonry Structures: Out of Plane Loads, Roma, Italia.

- P. GULKAN, E.T.WASTI. (2009). Tech Science Press, Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures, Estambul, Turquía.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

- UFUK HANCILAR, ESER CAKT, MUSTAFA ERDIK. (2011). Bull Earthquake Eng, Earthquake performance assessment and rehabilitation of two historical unreinforced masonry buildings, Estambul, Turquía.

- SILVIA ROCCA, NESTORE GALATI, ANTONIO NANNI, (2009).Interaction diagram methodology for design of FRP-confined reinforced concrete columns, USA.

- ZEHRA CAGNAN. (2011). Computer modelling and seismic performance assessment of a byzantine basilica, Mersin, Turquía.

- Manual ETABS: Manual de aplicación para el programa ETABS v.9.7.4, Computers & structures, Caribe, 2008.

- NCh 433 Of. 96 Mod. 2009. Diseño sísmico de edificios. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 1996. Mod. 2009.

- NCh 1537 Of. 2009 Diseño estructural de edificios – Cargas permanentes y sobrecargas de uso. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 2009.

- NCh 3171 Of. 2010 Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 2010.

- NCh 2123 Of. 2003 Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización, 2003.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

7.- ANEXOS.

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Planos de arquitectura 42

Anexo B: Levantamiento topográfico 43

Anexo C: Evaluación en laboratorio 44

Anexo D: Modelo y Documentos del Proyecto 45

Anexo E: Parámetros de Diseño según Normas Chilenas de Cálculo Estructural. 50

E.1.- Cargas y Combinaciones de Cargas 50

Anexo F: Caracterización de fallas 53

Anexo G: Explicación de daños en el sistema estructural. 54

Anexo H: Desempeño del sistema estructural. 57

Anexo I: Memoria de Cálculo en el diseño del FRP. 61

Anexo I.1.-Diseño al corte de Columnas reforzadas con FRP según ACI 440.2R-08. 61

Anexo I.2.-Diseño a la flexión del muro reforzadas con FRP, según ACI 440.7R-10. 64

Anexo I.3.-Diseño al corte del muro reforzadas con FRP, según ACI 440.7R-10. 68

Anexo F: Especificaciones Técnicas del refuerzo y/o reparación. 71

Anexo F.1.- Especificaciones técnicas de inyección de grietas en hormigón armado (Sika.cl). 71

Anexo F.1.- Especificaciones técnicas del refuerzo con láminas de FRP en hormigón armado (Sika.cl). 76

Anexo F.3.- Especificaciones técnicas del refuerzo con tejidos de FRP en albañilería (Sika.cl). 82

Anexo G: Planos de la rehabilitación sísmica de la capilla. 88

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura D1. Vista isométrica del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs..... 46
Figura D2. Elevaciones del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs 47
Figura D3. Elevaciones del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs 48
Figura D4. Elevaciones del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs. 49
Figura G1: Tensiones de tracción verticales en cara interior de muro del eje X4..... 55
Figura G2: Tensiones de corte S12 en muro del eje X4..... 55
Figura H1: Interacción Flexo- Compresión;
(a) C 5, (b) C 7, (c) C 9, (d) C11, (e) C13, (f) C15, (g) C17, (h) C19. 56
Figura H2: Interacción Flexo- compresión;
(a) V 232, (b) V 244, (c) V 256, (d) V 268, (e) V 280, (f) V 292, (g) V 304, (h) V 316. 57
Figura H3: Diagramas de corte los distintos ejes;
(a) Eje Y8, (b) Eje Y7, (c) Eje Y5, (d) Eje Y4 58
Figura F1: Esquema referencial a técnica de inyección en grietas. 72
Figura F2: Esquema referencial a técnica de láminas de FRP 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla E1. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el modelo. 51
Tabla E2. Peso propio de los materiales a incluir en el modelo..... 51
Tabla E3. Peso propio de los materiales a incluir en el modelo..... 52
Tabla E4. Parámetros para la definición de aceleraciones sísmicas..... 52
Tabla G1: Desplazamientos laterales máximos. 54

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo A: Planos de arquitectura

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo B: Levantamiento topográfico

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo C: Evaluación en laboratorio

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo D: Modelo y Documentos del Proyecto

El modelo de la estructura de la capilla se realiza a través del software ETABS, el cual corresponde a un sistema completamente integrado, en donde se maneja una interface intuitiva y simple, encajando además con poderosos métodos numéricos, y procedimientos de diseño, y códigos internacionales. Además, presenta numerosas herramientas de dibujo, que hacen mucho más simple la implementación de las viviendas tal cual como fueron estructuradas, como en este caso, basadas íntegramente en la arquitectura, más los elementos de techumbre y entrepiso proyectados. Etabs usa objetos para representar miembros físicos. Al crear un modelo, el usuario empieza dibujando la geometría del objeto, y después asignándole propiedades y cargas para definir completamente la estructura del edificio.

Una de las características más importantes que ofrece Etabs es el reconocimiento de los niveles de pisos, permitiendo el ingreso de datos de construcción de una forma conveniente y lógica. Es decir, los modelos se definen piso por piso, viga por viga, columna por columna, muro por muro, etc. Así la definición estructural es simple ordenada y significativa. Posteriormente se muestra en la Figura D1 el isométrico realizado para la capilla.

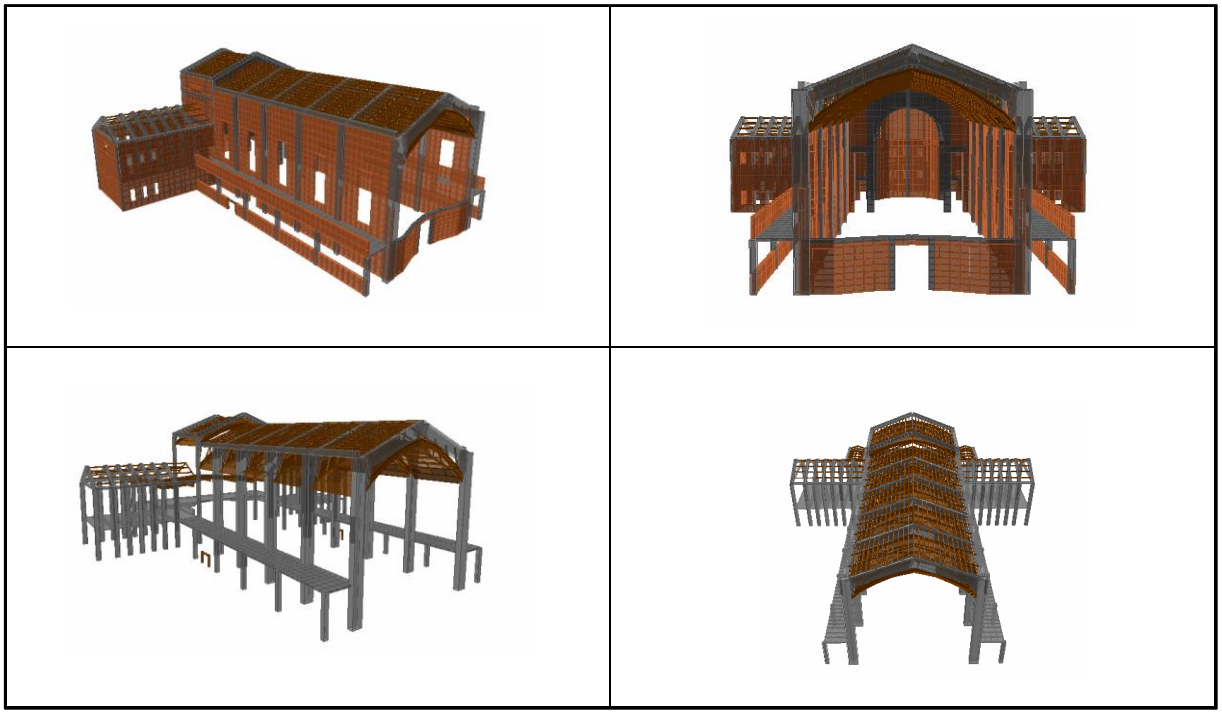


Figura D1. Vista isométrica del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Las siguientes figuras muestran los ejes principales de la capilla con la caracterización esta.

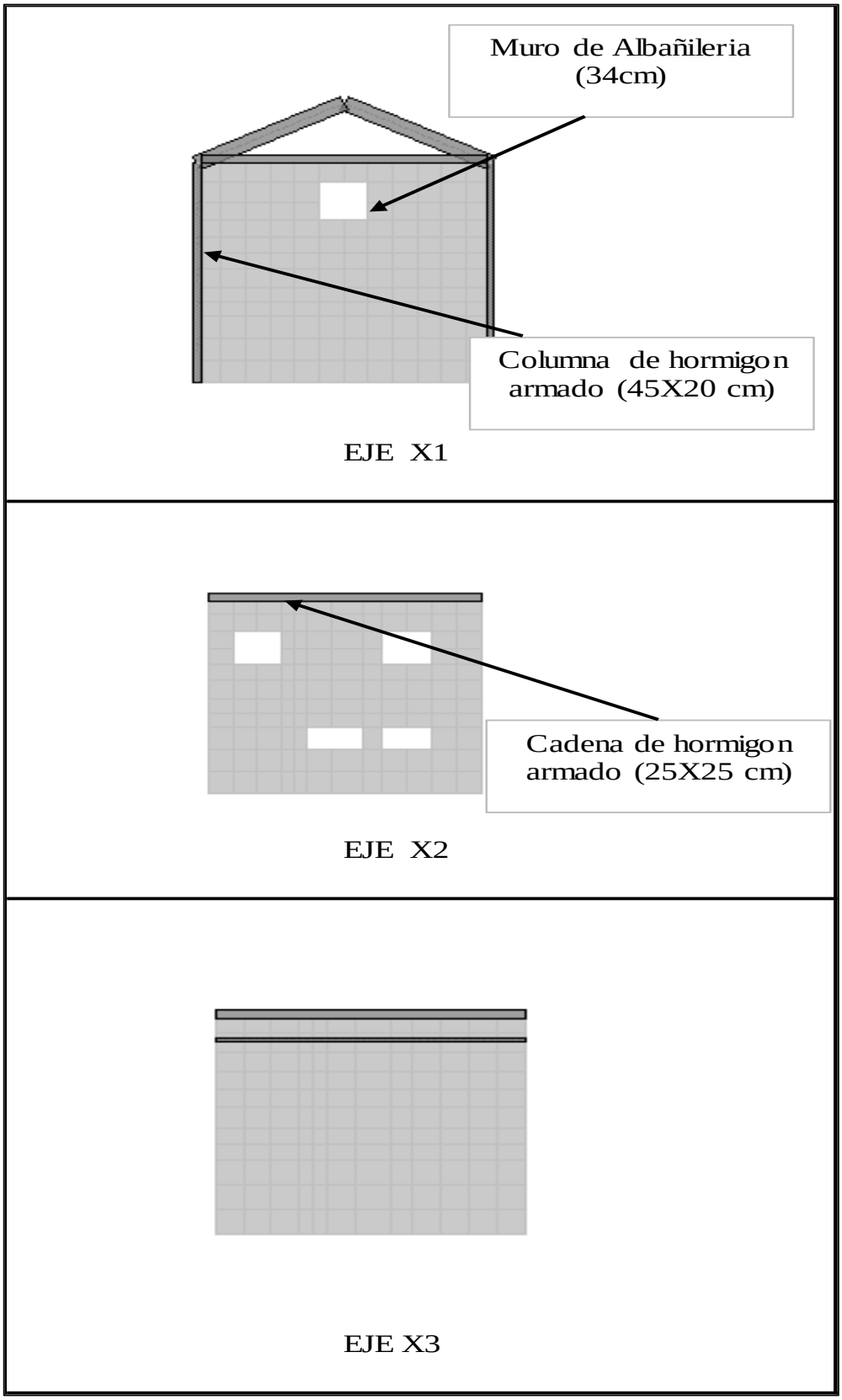


Figura D2. Elevaciones del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

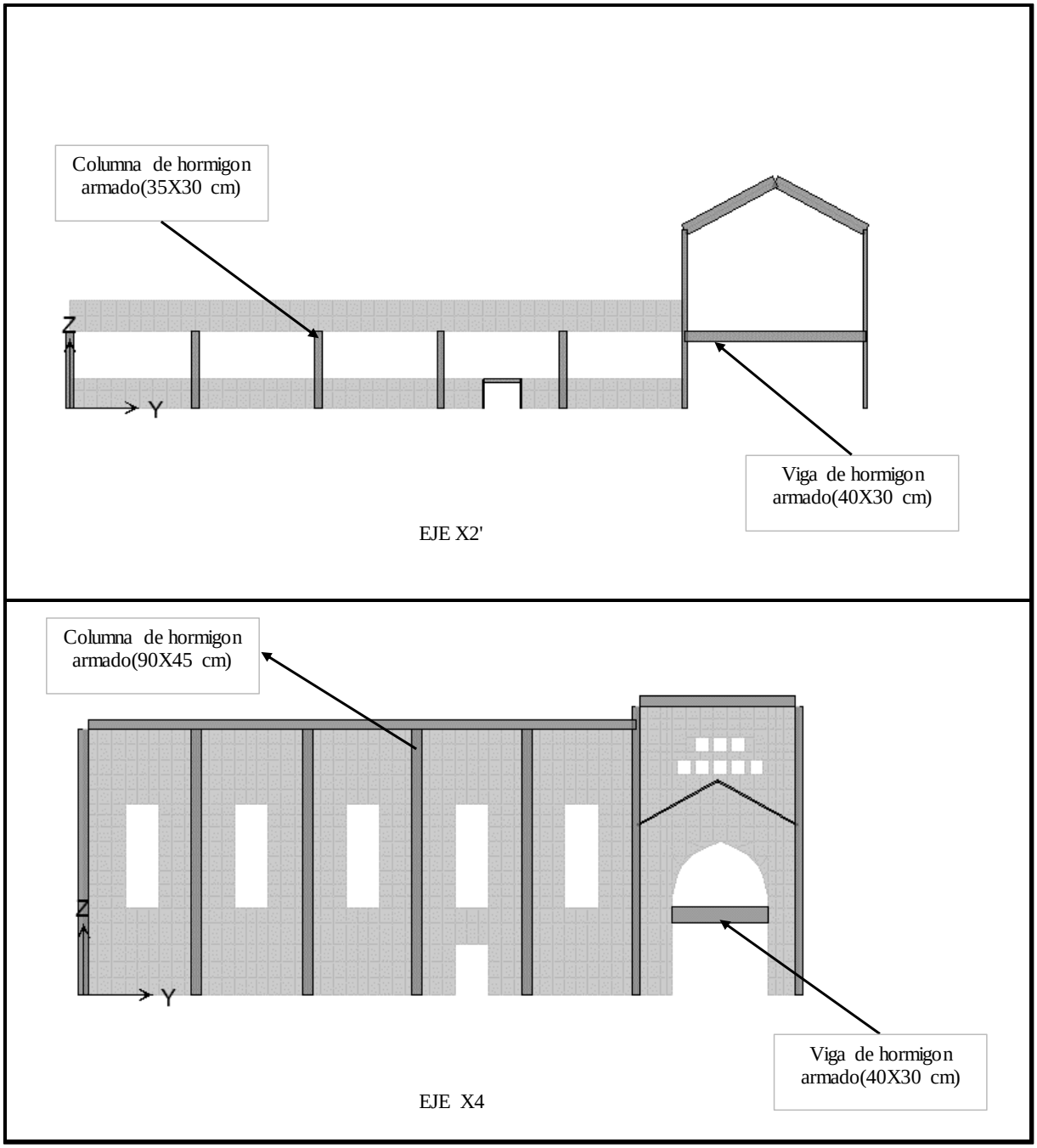
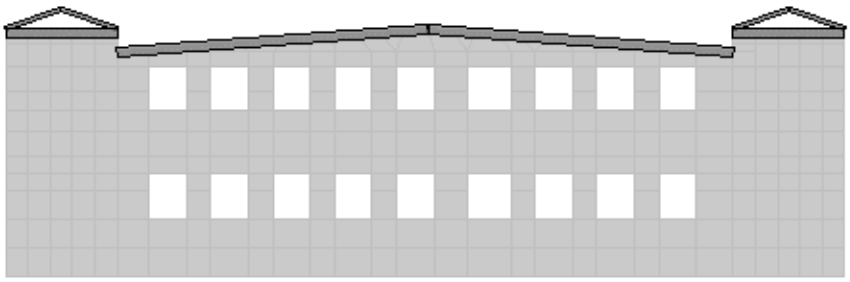
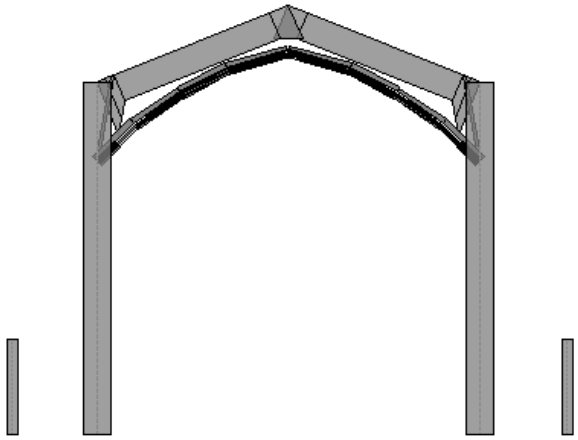


Figura D3. Elevaciones del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile



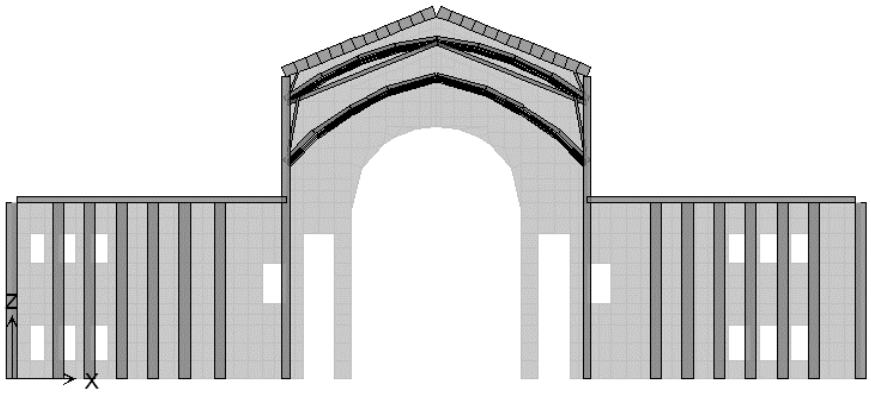
EJE Y1



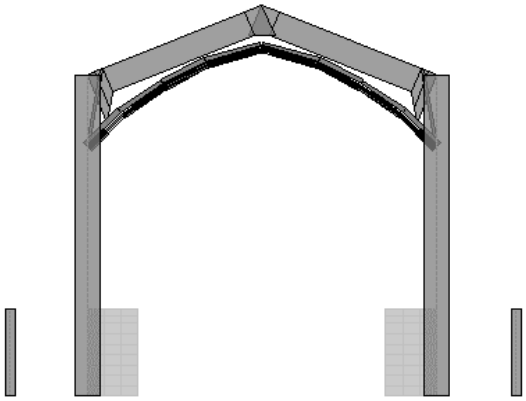
EJE Y4

Figura D4. Elevaciones del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile



EJE Y2



EJE Y8

Figura D5. Elevaciones del sistema estructural de la Capilla modelada en Etabs

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo E: Parámetros de Diseño según Normas Chilenas de Cálculo Estructural.

E.1.- Cargas y Combinaciones de Cargas

Se observa en tabla siguientes los valores adoptados para la modelación estructural en ambiente Etabs vers.9.7.4. En la Tabla E.1 se presentan las combinaciones de carga.

Tabla E1. Combinaciones de Cargas.

Identificación	PP	SCp	SCt	SX	SY
Combinaciones para tensiones admisibles (deformaciones y albañilería)					
DEADA	1				
DSXA	1			1	
DSXNA	1			-1	
DSYA	1				1
DSYNA	1				-1
DLLRA	1	0.75	0.75		
DEXNLA	1	0.75		-0.75	
DEXLA	1	0.75		0.75	
DEYNLA	1	0.75			-0.75
DEYLA	1	0.75			0.75
Combinaciones para diseño a la rotura (hormigón armado)					
DEADH	1.4				
DSXH	1.2			1.4	
DSXNH	1.2			-1.4	
DSYH	1.2				1.4
DSYNH	1.2				-1.4
DEXPLH	1.2	1		1.4	
DEYPLH	1.2	1			1.4
DLLRH	1.2	1.6	0.5		
DEXNLH	1.2	1		-1.4	
DEYNLH	1.2	1			-1.4

La tabla E1 expone las propiedades obtenidas por ensayos de laboratorio, formulas del código ACI 318-11, antecedentes técnicos – históricos, y datos obtenidos de las normas chilenas de albañilería y madera.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla E1. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el modelo.

Material	Propiedad Mecánica	Fuente
Hormigón	Tensión de rotura a compresión f'c=200(Kgf/cm2)	*Ensayos de laboratorio*
	Módulo de elasticidad Ec=213546(Kg/cm2)	*Fórmulas de código ACI-2011*
Acero de refuerzo	Tensión de fluencia fy=2800(Kgf/cm2)	*Antecedentes técnico - Históricos*
	Tensión de rotura fu=4400(Kgf/cm2)	*Antecedentes técnico - Históricos*
	Módulo de elasticidad Es=2100000(Kgf/cm2)	*Antecedentes técnico - Históricos*
Albañilería	Tensión de compresión por unidad fp=100(Kgf/cm2)	*Ensayos de laboratorio*
	tensión de compresión del prisma f'm=25(Kgf/cm2)	*Formulas de la NCh 2123 of 2003*
	Módulo de elasticidad Em=25000(Kgf/cm2)	*Formulas de la NCh 2123 of 2003*
Madera	Módulo de elasticidad Ef=9100(Kgf/cm2)	*Tabla de la NCh 1198 of. 2006 (Roble)*

La tabla E2 expone los datos incorporados de sobrecarga según la NCh 1537.

Tabla E2. Peso propio de los materiales a incluir en el modelo.

Ítems	Presión(kgf/m2)
Piso (ares general)	300
Piso (pasillos)	400
Techo I	30

I: Sobrecarga de mantención del techo es reducida por pendiente.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

La tabla E3 muestra los pesos que son incorporados en la modelación misma, y además los que se ingresan como peso sobre la modelación estructural.

Tabla E3. Peso propio de los materiales a incluir en el modelo.

Ítems	Densidad(kgf/m3)	Peso(kgf/m2)
Hormigón armado	2500	n/a
Acero	7850	n/a
Madera	778	n/a
Yeso	1750	n/a
Plancha asbesto-cemento ondulada	n/a	20
Plancha de zinc ondulada	n/a	5
Plancha de yeso cartón 10 mm	n/a	10
Albañilería	2000	n/a
Mortero	2000	n/a
Adobe	1800	n/a
Mobiliario, tabiques y revestimientos sobre losa	n/a	100

El análisis sísmico fue realizado según la NCh 433 of 1996 Mod 2009, en este caso se realizó un análisis estático para evaluar el desempeño de la estructura frente a la normativa. La Tabla E4 muestra los valores capturados de la clasificación de suelo, y la normativa propiamente tal.

Tabla E4. Parámetros para la definición de aceleraciones sísmicas (NCh 433 of 1996 Mod 2009).

Parámetro	Valor o categoría
Tipo de suelo (I)	D(medianamente denso)
	S=1.2
Zona sísmica	3
	A0=0.4g
Factor de modificación de respuesta (II)	R=4(albañilería)
Categoría de ocupación	III
	l=1.2
Coeficiente sísmico máximo	0.432
Fuerza sísmica en cada nudo (III)	F=0.432*1.2*1.2*P=0.622*P
Peso sísmico total	1633(T)
Corte basal	1015(T)

I: El tipo de suelo se estimó en base al parámetro Vs (244 m/s) medido en un estudio del 2012 en el suelo posterior a la capilla (informe DICTUC Nº 1062868)

II: El facto R más representativo corresponde a 4, asociado a sistemas con muros de albañilería (Tabla 5.1 NCh433)

III: A cada nudo del modelo se le aplicó una fuerza correspondiente al producto de su peso tributario por el coeficiente sísmico máximo, por el factor de importancia y por un factor 1.2 asociado a estructuras sin diafragma rígido en el nivel superior (art. 6.2.6 NCh 433)

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo F: Caracterización de fallas

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo G: Explicación de daños en el sistema estructural.

En el presente anexo se expone los resultados obtenidos para la explicación de daños, la herramienta utilizada fue el software ETABS. Para la explicación de daños se utilizó para el análisis sísmico el espectro registrado del 27/F.

En la Tabla G1 se presentan las propiedades dinámicas de la estructura.

Tabla G1: Periodos de vibración en cada dirección de análisis

Modo	Periodo	UX (%)	UY (%)	Suma UX (%)	Suma UY (%)
1	0,379965	24,8011	0	24,8011	0
2	0,204295	6,5791	0	31,3802	0
3	0,169284	0,0022	38,5793	31,3824	38,5793
4	0,164358	0,0549	11,4453	31,4374	50,0246
5	0,160321	0,0463	3,0064	31,4837	53,0311
6	0,154672	8,0105	0,0016	39,4942	53,0327
7	0,146655	6,4634	0,0001	45,9576	53,0328
8	0,142997	0,0324	0,0005	45,99	53,0333
9	0,134235	0,0003	0,5251	45,9902	53,5584
10	0,125027	0,9965	0	46,9868	53,5584
11	0,122064	0,0004	3,1178	46,9871	56,6763
12	0,120141	0,0048	0,751	46,992	57,4273
13	0,116821	1,2627	0,0095	48,2546	57,4368
14	0,107399	4,0985	2,7739	52,3531	60,2107
15	0,106224	6,7545	2,5352	59,1076	62,7458
16	0,102944	2,5846	0,6235	61,6922	63,3694
17	0,097298	3,4373	0,1173	65,1295	63,4867
18	0,090915	2,463	0,4065	67,5925	63,8932
19	0,088029	2,0949	0,5409	69,6874	64,4341
20	0,078283	0,3688	7,8979	70,0562	72,3321
21	0,075257	9,2692	0,3105	79,3253	72,6426
22	0,065406	0,1318	7,4819	79,4571	80,1244
23	0,064193	8,0796	0,0726	87,5367	80,197
24	0,055039	0,0173	5,7773	87,554	85,9744
25	0,049411	4,2321	0,0293	91,7861	86,0036
26	0,042104	0,0103	4,5069	91,7964	90,5106

En la Tabla G2 se expresan los desplazamientos laterales máximos para las distintas combinaciones de carga.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla G2: Desplazamientos laterales máximos.

Punto en borde superior de ejes	Desplazamiento lateral máximo (cm)	Combinación de cargas
X4-Y8	3,05	DSXN
	3,05	DSX
X4-Y7	2,67	DSXN
	2,67	DSX
X4-Y6	2,27	DSXN
	2,27	DSX
X4-Y5	1,78	DSXN
	1,78	DSX
X4-Y4	1,16	DSXN
	1,16	DSX
X5-Y8	3,05	DSXN
	3,05	DSX
X5-Y7	2,68	DSXNA
	2,68	DSXA
X5-Y6	2,27	DSXN
	2,27	DSX
X5-Y5	1,77	DSXN
	1,77	DSX
X5-Y4	1,16	DSXN
	1,16	DSX

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

La Figura G1-G2 grafica los niveles de tensión máximo para la capilla en su eje X4, el cual es su cara exterior para la combinación DSX.

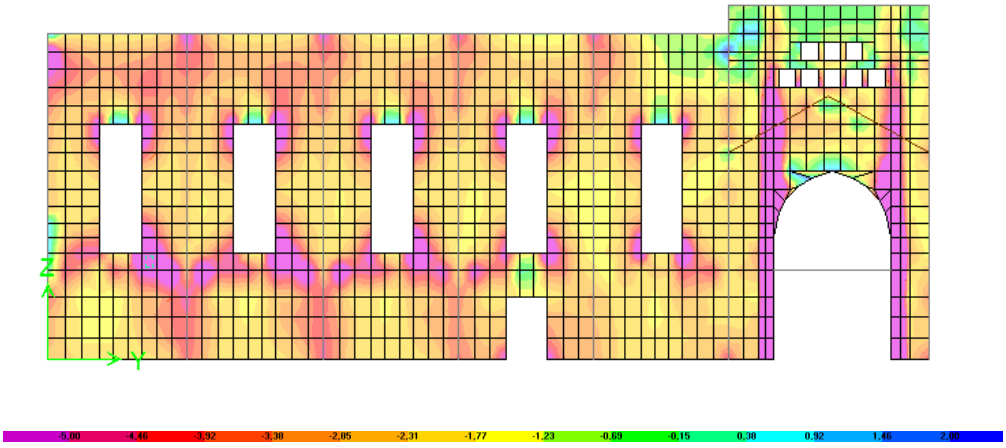


Figura G1: Tensiones de tracción verticales en cara interior de muro del eje X4

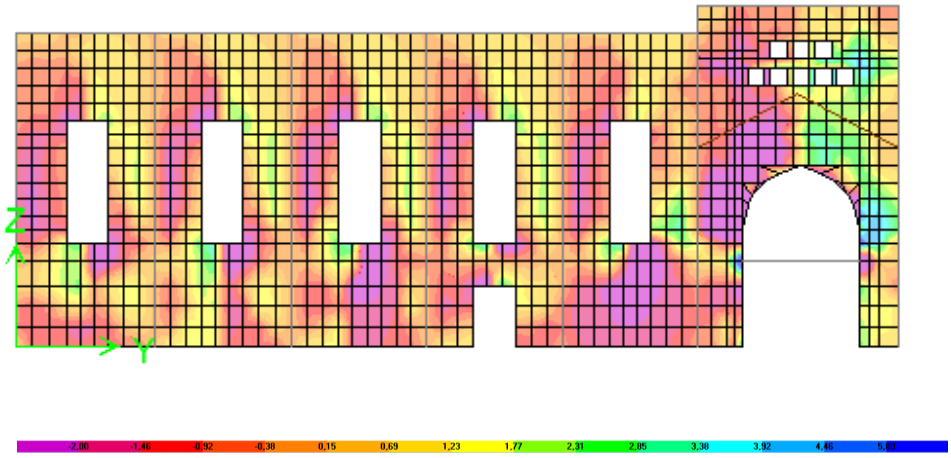


Figura G2: Tensiones de corte S12 en muro del eje X4

Análogamente, al caso mostrado en el informe en el capítulo 3 los niveles de tensiones superiores se observan debajo de los vitrales, esto es, para tensiones de tracción verticales y al corte.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo H: Desempeño del sistema estructural.

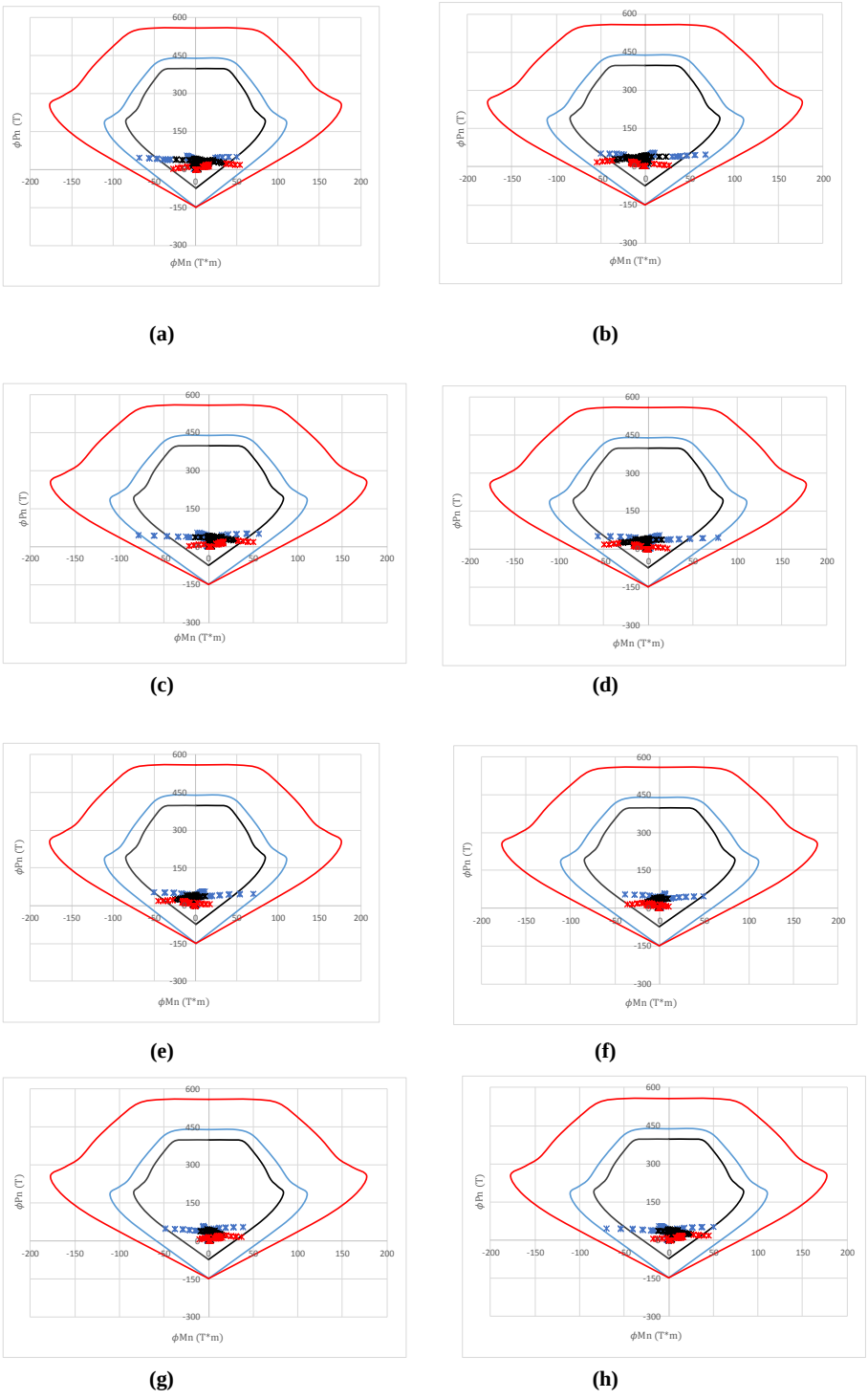
En este anexo se presentan los resultados obtenidos del desempeño del sistema estructural en estudio.

Tabla H1: Desplazamientos laterales máximos.

Punto en borde superior de ejes	Desplazamiento lateral máximo (cm)	Combinación de cargas	Estatus
X4-Y8	2,07	DSXNA	OK
	1,87	DSXA	OK
X4-Y7	1,99	DSXNA	OK
	1,75	DSXA	OK
X4-Y6	1,81	DSXNA	OK
	1,56	DSXA	OK
X4-Y5	1,54	DSXNA	OK
	1,31	DSXA	OK
X4-Y4	1,22	DSXNA	OK
	0,94	DSXA	OK
X5-Y8	1,87	DSXNA	OK
	2,07	DSXA	OK
X5-Y7	1,75	DSXNA	OK
	1,99	DSXA	OK
X5-Y6	1,56	DSXNA	OK
	1,81	DSXA	OK
X5-Y5	1,31	DSXNA	OK
	1,54	DSXA	OK
X5-Y4	0,94	DSXNA	OK
	1,12	DSXA	OK

En las Figuras H1-H2 se muestra la interacción a flexo- compresión de los pórticos de hormigón armado de Y7 hasta Y4. Las columnas serán nombradas según la modelación.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile



(a) **(b)**

(c) **(d)**

(e) **(f)**

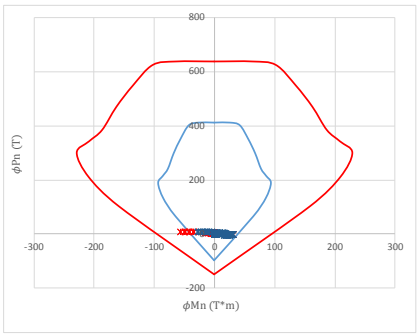
(g) **(h)**

Figura H1: Interacción Flexo- Compresión;

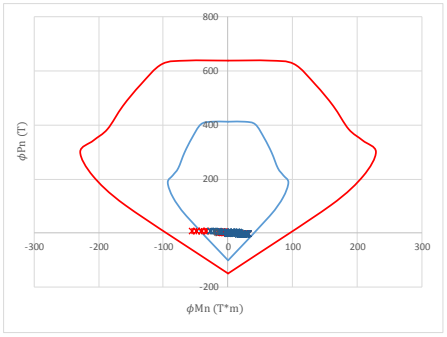
(a) C 5, (b) C 7, (c) C 9, (d) C11, (e) C13, (f) C15, (g) C17, (h) C19.

Por otro lado, las vigas se comportaron como se muestra en la Figura H2.

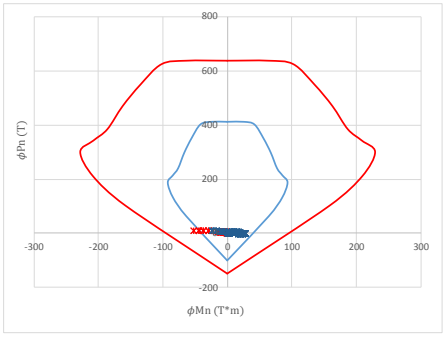
Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile



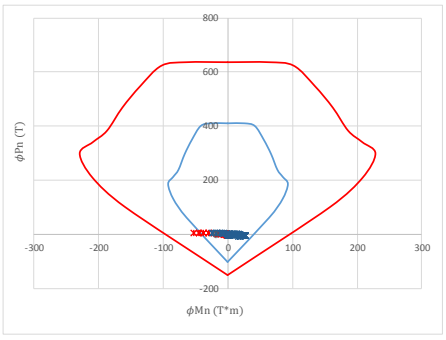
(a)



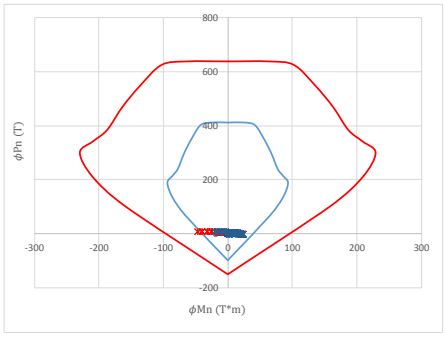
(b)



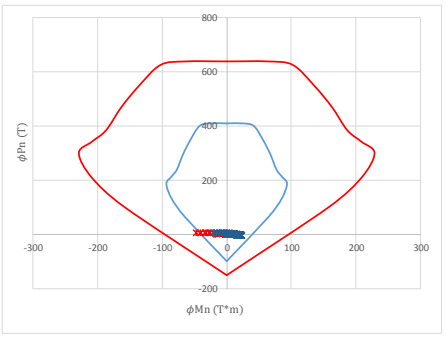
(c)



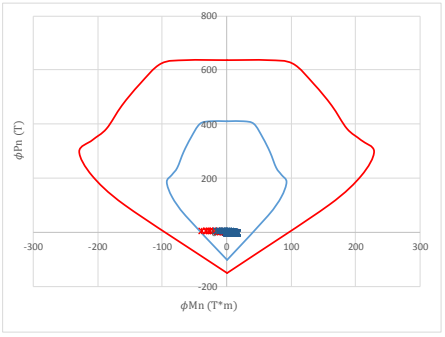
(d)



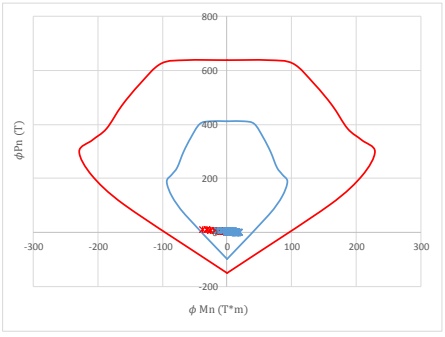
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura H2: Interacción Flexo- compresión;

(a) V 232, (b) V 244, (c) V 256, (d) V 268, (e) V 280, (f) V 292, (g) V 304, (h) V 316.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Finalmente, el comportamiento de los muros de hormigón armado estuvo controlado por el corte deficiente, esto fue producto de la falta de estribos como se explicó en el capítulo 4. En la Figura H3 se exponen los diagramas de los distintos ejes.

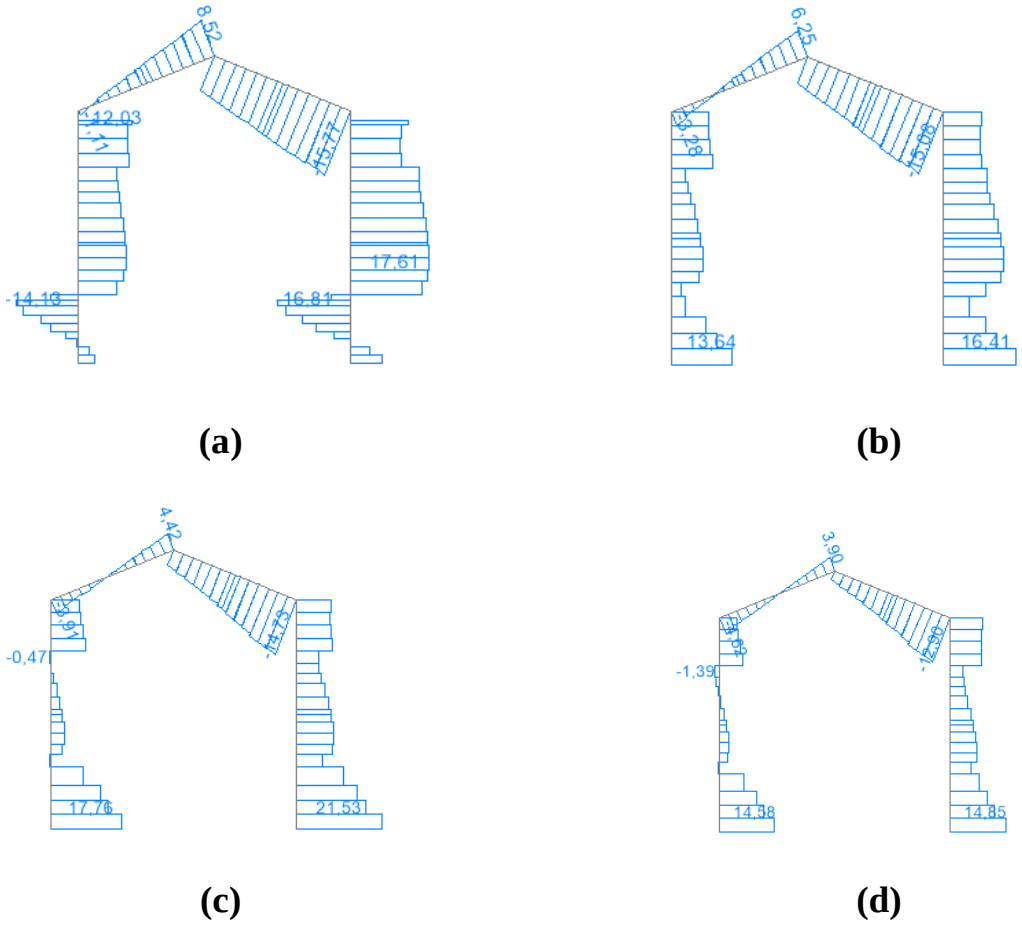


Figura H3: Diagramas de corte los distintos ejes;
(a) Eje Y8, (b) Eje Y7, (c) Eje Y5, (d) Eje Y4.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo I: Memoria de Cálculo en el diseño del FRP.

En el posterior anexo se exponen las memorias de cálculo en el diseño de FRP para columnas de hormigón armado al corte, y por otro lado diseño de muros reforzados con FRP al corte y flexión.

Anexo I.1.-Diseño al corte de Columnas reforzadas con FRP según ACI 440.2R-08

El diseño al corte que se muestra posteriormente, se realiza en base al capítulo Nº11 del código ACI 440.2R-08. Por otro lado, la columna en análisis es la del eje X4-Y6 de 90x45 cm, ya que, esta es la que posee mayor solicitación según la combinación DSXH.

a) Datos de geometría, mecánicos de la columna de 90x45 cm, y además datos de fábrica del FRP.

$$w = 450\ mm$$
$$d = 850\ mm$$
$$f'_c = 20\ MPa$$
$$f_y = 280\ MPa$$
$$S_{real} = 60\ mm$$
$$d_s = 6\ mm$$
$$C_E = 0.85$$
$$f_{fu}^{*} = 3100\ MPa$$
$$\varepsilon_{fu}^{*} = 0.018$$
$$E_f = 170000\ MPa$$

b) Resistencia al corte: según ACI 318-11.

$$V_c = \frac{1}{6} * \sqrt{f'_c} * w * d = 285.099\ kN$$
$$A_{v_real} = 2 * \pi * \frac{{d_s}^2}{4} = 0.565\ cm^2$$
$$V_{s_real} = \frac{A_{v_real}}{S_{real}} * f_y * d = 22.431\ kN$$
$$\emptyset V_{n_real} = 0.75 * \left(V_c + V_{s_{real}}\right) = 230.647\ kN$$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

c) Resistencia al corte mínima: según ACI 318-11.

$$A_{v_min} = max(\,0.062 * \sqrt{f'_c} * \frac{w}{f_y}, 0.35 * \frac{w}{f_y}) = 0.563\ cm^2$$

$$V_{s_min} = A_{v_min} * f_y * d = 133.875\ kN$$

$$\emptyset V_{n_min} = 0.75 * \left(V_c + V_{s_{real}}\right) = 230.647\ kN$$

Como se puede observar de las ecuaciones anteriores, para cumplir con resistencia mínima al corte requerido por ACI 318-2011, es necesario aumentar la resistencia al corte en 85 kN.

d) Reforzamiento de la columna al corte con láminas de FRP.

Paso Nº1: Reducción ambiental de los parámetros mecánicos, Tabla 9.1 ACI 440.2R-08.

$$f_{fu} = C_E * f_{fu}^{\ *} = 2.653 * 10^3\ MPa$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E * f_{fu}^{\ *} = 0.015$$

Paso Nº2: Calculo de la deformación efectiva del FRP reducida por adherencia; Ec. (11-7), Ec. (11-10), Ec. (11-6b).

$$L_e = \frac{23300}{n_f * t_f * E_f^{\ 0.58}} = 19.399\ mm$$

$$k_1 = \frac{f'^{\ 3}_c}{27} = 0.819$$

$$d_{fv} = 400\ mm$$

$$k_2 = \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} = 0.952$$

$$k_v = k_1 * k_2 * \frac{L_e}{11900 * \varepsilon_{fu}} = 0.083$$

$$\varepsilon_{fe} = k_v * \varepsilon_{fu} = 0.00127$$

Ok, menor que 0.004.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Paso Nº3: Elección de la lámina de FRP, iteración del diseñador.

$$n_f = 1$$
$$t_f = 2\ mm$$
$$w_f = 50\ mm$$

Paso Nº4: Calculo de la resistencia al corte provista por el FRP; Ec. (11-3), Ec (11-4), Ec. (11-5).

$$A_{fv} = 2 * n_f * t_f * w_f = 120\ mm^2$$
$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} * E_f = 215.871\ MPa$$
$$S_f = 100\ mm$$
$$V_f = A_{fv} * f_{fe} * \frac{d_{fv}}{S_f} = 103.618\ kN$$

h) Calculo de la resistencia de diseño total al corte reforzada, Ec. (11-2).

$$\emptyset V_{n_frp} = 0.75 * \left(V_c + V_{s_{real}} + 0.85 * V_f\right) = 296.704\ kN$$

Con este reforzamiento se alcanza el 94.4% de la resistencia mínima al corte recomendada por el código ACI318-2011, lo cual se considera aceptable para efectos de diseño.

$$\frac{\emptyset V_{n_frp}}{\emptyset V_{n_min}} * 100 = 94.4\ \%$$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo I.2.-Diseño a la flexión del muro reforzadas con FRP, según ACI 440.7R-10.

El diseño a flexión que se muestra posteriormente, se realiza en base al capítulo Nº9 del código ACI 440.7R-10, donde se expone el diseño a flexión para cargas fuera del plano. Por otro lado, el muro para el diseño es la del eje X4 entreY7-Y8 de 5x3.75 m (P1 como se describe en el capítulo Nº5 del informe) .El análisis es para la combinación DSXH.

a) Datos de geometría, mecánicos del muro de 5x3.75m, y además datos de fábrica del FRP.

$$H = 3.75\ m$$
$$l = 5\ m$$
$$l_m = 50\ mm$$
$$t = 350\ mm$$
$$A_n = 2 * l_m * l = 500000\ mm^2$$
$$f'_m = 10\ MPa$$
$$\varepsilon_{mu} = 0.0025$$
$$C_E = 0.85$$
$$k_m = 0.45$$
$$f_{fu}{}^* = 3500\ MPa$$
$$\varepsilon_{fu}{}^* = 0.0155$$
$$E_f = 225000\ MPa$$
$$S = \frac{I}{t/2} = 6.488 * 10^7\ mm^3$$
$$d_v = min(l, m) = 3.75 * 10^3\ mm$$

b) Cargas solicitantes sobre el muro de albañilería: Estas cargas fueron extraídas de la modelación estructura.

$$M_u = 33051691\ N * mm$$
$$P_u = 165267\ N$$
$$V_u = 80410\ N$$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

c) Reforzamiento del muro a flexión con tejidos de FRP.

Paso 1: Calculo de la resistencia a tracción, tabla 7.1 de ASCE 41.

$$f_r = 0.1\ MPa$$

$$\emptyset = 0.6$$

$$\emptyset * f_r = 0.06\ MPa$$

$$f_b = \frac{M_u}{S} - \frac{P_u}{A_n} = 0.179\ MPa$$

Ok es necesario reforzar, f_b mayor que f_r.

Paso 2: Calculo del momento nominal requerido.

$$M_n = \frac{M_u}{\emptyset} = 55086.152\ N * m$$

Paso 3: Calculo de propiedades mecánicas del FRP; Ec. (8-3), Ec. (8-4), Ec. (8-8).

$$f_{fu} = C_E * {f_{fu}}^* = 2.975 * 10^3\ MPa$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E * {f_{fu}}^* = 0.013$$

$$f_{fe} = k_m * {f_{fu}}^* = 2 * 10^3\ MPa$$

Ok, menor que f_{fu}.

$$\varepsilon_{fe} = k_m * {f_{fu}}^* = 0.007$$

Ok, menor que 0.004 ε_{fu}.

Paso 4: Calculo de propiedades mecánicas del FRP; Sección 9.4.1, Sección 9.4.4.

$$\gamma = 0.7$$

$$\beta_1 = 0.7$$

$$\alpha = \frac{1}{2} * \gamma * {f'}_m * {\beta_1}^2 * l = 8575000\ \frac{N}{m}$$

$$\beta = -\gamma * {f'}_m * \beta_1 * l * t = -8575000\ N$$

$$\delta = M_n + \frac{1}{2} * P_u * t = 84007.877\ N * m$$

$$c = \frac{-\beta - \sqrt{\beta^2 - 4 * \alpha * \delta}}{2 * \alpha} = 10\ mm$$

$$A_f = \frac{\gamma * {f'}_m * c * l - P_u}{f_{fe}} = 48.987\ mm^2$$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Paso 5: Modos de falla del refuerzo en el muro.

$$\varepsilon_{mu} = 0.0025$$

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{fe} * \left(\frac{c}{t-c}\right) = 0.002$$

Ok, menor que 0.004 ε_m.

Paso 6: Calculo del área de refuerzo a instalar, iteración del diseñador para realizar un diseño constructivo.

$$w_{f_req} = \frac{A_f}{t_f} = 151.194\ mm$$

$$w_{f_int} = 200\ mm$$

$$S = 1200\ mm$$

$$n_f = 1$$

$$A_f = \frac{l}{S} * n_f * w_{f_{int}} * t_f = 270\ mm^2$$

Paso 7: Espaciamiento máximo, sección 11.3.1.

$$S_{f_max} = 3 * t + w_{f_{int}} = 1250\ mm$$

Ok, espaciamiento de diseño menor que S_{f_max}.

Paso 8: Fuerza máxima del FRP, Ec. (8-9).

$$p_{fm} = n_f * t_f * f_{fe} = 510.3\ \frac{N}{mm}$$

Paso 9: Resistencia al corte de la pared existente, según ACI 530.

$$\emptyset V_n = 0.6 * min\left(0.3 * A_n * \sqrt{f'_{m'}}\, 2 * A_n, 0.4 * A_n + 0.15 * P_u\right) = 179.832kN$$

$$V_u = 80410\ N$$

Ok, $\emptyset V_n > V_u$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Paso 10: Longitud de desarrollo para anclar el FRP, Ec. (11-1)

$$f_{tm} = 0.1 * f'_m = 1\ MPa$$

$$l_d = \sqrt{\frac{E_f * t_f}{2 * f_{tm}}} = 190.919\ mm$$

$$l_d = 200\ mm$$

Paso 11: Verificación a flexión del FRP.

$$\emptyset M_n = 0.6\left(A_{f_{int}} * f_f * \frac{t}{2} + \gamma * f'_m * \beta_1 * c * l * \left(\frac{t}{2} - \beta_1 * \frac{c}{2}\right)\right) = 69601.75\ N * m$$

$$M_u = 33051691\ N * mm$$

Con este reforzamiento se alcanza el doble de la demanda a flexión para cargas fuera del plano.

$$\frac{\emptyset M_n}{M_u} = 2.1$$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo I.3.-Diseño al corte del muro reforzadas con FRP, según ACI 440.7R-10.

El diseño al corte que se muestra posteriormente, se realiza en base al capítulo Nº10 del código ACI 440.7R-10, donde se expone el diseño al corte para cargas en el plano. Por otro lado, el muro para el diseño es la del eje X4 entreY7-Y8 de 5x3.75 m (P1 como se describe en el capítulo Nº5 del informe) .Además, se ocupara los datos de geometría, características mecánicas, datos de fábrica del FRP, modos de falla, etc. El análisis es para la combinación DSYH.

a) Cargas solicitantes sobre el muro de albañilería: Estas cargas fueron extraídas de la modelación estructura.

$$\boldsymbol{M_u = 91828962\ N * mm}$$
$$\boldsymbol{P_u = 67060\ N}$$
$$\boldsymbol{V_u = 257969\ N}$$

b) Reforzamiento del muro al corte con tejidos de FRP.

Paso 1: Calculo de la capacidad al corte del muro sin reforzar, Ec. (10-1).

En este ítem se desprecia el aporte del muro de albañilería al corte, ya que, este muro será diseñado con daños sobre él, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{\emptyset V_n = {V_n}^{URM} + V_f = V_f}$$

Paso 2: Calculo de propiedades mecánicas del FRP; Ec. (8-3), Ec. (8-4).

$$\boldsymbol{f_{fu} = C_E * {f_{fu}}^* = 2.975 * 10^3\ MPa}$$
$$\boldsymbol{\varepsilon_{fu} = C_E * {f_{fu}}^* = 0.013}$$

Paso3: Calculo del área de refuerzo a instalar, iteración del diseñador para realizar un diseño constructivo.

$$\boldsymbol{w_f = 300\ mm}$$
$$\boldsymbol{S = 400\ mm}$$
$$\boldsymbol{n_f = 1}$$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

$$A_f = \frac{l}{S} * n_f * w_f * t_f = 1215\ mm^2$$

Paso 4: Calculo de propiedades mecánicas del FRP; Ec. (8-10), Ec. (8-11), Ec. (8-13).

$$\omega_f = \frac{1}{85} * \frac{A_f * E_f}{A_n * \sqrt{f'_m}} = 2.034\ mm^2$$

$$k_v = 0.1$$

$$\varepsilon_{fe2} = C_E * f_{fu}^{\ *} = 0.0132$$

$$\varepsilon_{fe} = k_v * f_{fu}^{\ *} = 0.0016$$

Ok, menor que 0.004 ε_{fe2}.

$$f_{fe} = E_f * \varepsilon_{fe} = 348.75\ MPa$$

Paso 5: Calculo de la resistencia al corte provista por el FRP; Ec. (8-14), Ec (10-4).

$$p_{fv} = n_f * t_f * f_{fe} = 112.995\ \frac{N}{mm}$$

$$V_f = p_{fv} * w_f * \frac{d_v}{S} = 317.798\ kN$$

$$\emptyset V_f = 254.239\ kN$$

Con este reforzamiento se alcanza a la demanda al corte para cargas en el plano.

$$\frac{\emptyset V_f}{V_u} = 1$$

Tabla I.1: Distribución de FRP a flexión.

Zona	fb	w (mm)	s (mm)	n	Relación (Mn/Mu)
1	0,179	200	1200	1	2,1
2	0,178	200	600	1	2,322
3	0,516	200	800	1	2,095
4	0,067	200	1250	1	2,451
5	-0,248	---	---	---	---
6	0,558	200	800	1	2,275

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla I.2: Distribución de FRP al Corte.

Zona	w (mm)	s (mm)	n	Relación (ϕVn/Vu)
1	300	450	1	1,033
2	300	500	1	1,038
3	300	450	1	1,014
4	300	400	1	1,027
5	300	450	1	1,029
6	300	400	1	1

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo F: Especificaciones Técnicas del refuerzo y/o reparación.

En el presente ítem se presenta las especificaciones técnicas, por un lado inyección en grietas de hormigón armado, refuerzo con láminas en hormigón armado, y por último refuerzo con tejidos en albañilería.

Anexo F.1.- Especificaciones técnicas de inyección de grietas en hormigón armado (Sika.cl).

Especificación: ETS 101- 0705

REPARACION DE GRIETAS EN HORMIGON MEDIANTE INYECCION A PRESION
CON RESINA EPOXICA Sikadur® 52

1 ALCANCE

La presente especificación establece las disposiciones generales, los materiales, equipos y procedimientos de ejecución para el trabajo de reparar grietas inactivas en hormigón mediante la inyección a presión de resina epóxica Sikadur® 52.

2 DISPOSICIONES GENERALES

2.1 Trabajos incluidos

Proveer todos los materiales, mano de obra, herramientas y equipos para la reparación de grietas inactivas en hormigón con Sikadur® 52.

2.2 Aseguramiento de Calidad

Calificación del Fabricante: El Fabricante del producto especificado debe tener Certificación de Calidad ISO 9001.
Calificación del Contratista: El Contratista debe ser un aplicador con experiencia en reparación de estructuras, que haya completado un programa de instrucción en el uso del material a emplear.

2.3 Transporte, Almacenamiento y Manipulación

Enviar los productos especificados en envases originales cerrados, con el nombre del fabricante, etiquetas, identificación de los productos y número de fabricación.

3 MATERIALES

3.1 Sikadur® 52

Aspecto: Líquido color amarillo transparente (mezcla A+B)
Densidad: 1,10 kg/dm3
Potlife de 1 kg. a 20º C : 20 minutos
Proporción de la mezcla: A : B = 2 : 1 (en peso)
Resistencias mecánicas (10 días a 20º C y H.R 65%):
Compresión: 530 kg/cm2
Flexión: 500 kg/cm2
Tracción: 250 kg/cm2

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Adherencia al hormigón: 40 kg/cm2
Adherencia al acero: 100 kg/cm2
Módulo de elasticidad: 10600 kg/cm2
Coef. expansión térmica: 89 x 10 -6 /°C
Viscosidad a 20°C: 500 mPa. s

3.2 Sikadur® 31 HMG
El adhesivo tixotrópico que se contempla garantiza la adherencia y resistencias adecuadas para confinar la resina de inyección en la grieta hasta que ésta termine su curado y para fijar los tubos de inyección es Sikadur® 31 HMG, el cual consta de dos componentes y debe cumplir con las siguientes especificaciones:
Densidad: 1,68 kg/dm³.
Pot-life de 1 kg a 23º C: 50 minutos aprox.
Resistencias mecánicas a 14 días (a 20º C y H.R. 65 %):
• Compresión (Norma ASTM D-695): 740 (kgf/cm²)
• Flexotracción (Norma ASTM D-790): 500 (kgf/cm²)
Consistencia: Pasta, color gris.
Proporción de mezcla:
• En peso A : B = 1 : 1,18
• En volumen A : B = 1 : 1
Adherencia (ASTM C-882, 22°C):
• 2 días curado seco: 340 kgf/cm2
• 2 días curado húmedo: 186 kgf/cm2
• 14 días curado húmedo: 283 kgf/cm2
Adherencia por tracción al hormigón: 30 - 35 kgf/cm2 (falla el hormigón)
Módulo de elasticidad: 43000 kgf/cm2
Adherencia a acero: 150 kgf/cm2 aprox.

4 EQUIPOS

4.1 Herramientas y accesorios
Se requiere un taladro de paleta de bajas revoluciones (400 a 600 r.p.m.), un recipiente de mezclado limpio y seco, un equipo de inyección (pistola manual o sistema de aire comprimido) que aplique una presión de 100 - 200 lb/plg², y boquillas para inyectar resina epóxica.

4.2 Equipo de protección
Cada vez que se aplique el producto se emplearán gafas de seguridad, guantes de protección y ropa de resistencia química.

5 EJECUCION

5.1 Condiciones generales

5.1.1 Condiciones Ambientales
No se aplicará Sikadur® 52 ni Sikadur® 31 HMG en presencia de lluvia o nieve, o con una temperatura del sustrato o el ambiente inferior a 5º C o superior a 30º C. La temperatura ideal está comprendida entre 10 y 20º C. Con temperaturas bajas aumenta la viscosidad del producto. Debido a las características de la resina, la grieta o fisura puede estar seca o húmeda pero sin agua libre antes de ejecutar la aplicación.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

5.1.2 Precauciones

Deben respetarse todos los procedimientos, limitaciones y precauciones para los productos especificados de acuerdo con folletos y publicaciones técnicas del fabricante.
Evitar el contacto con ojos y piel.

5.2 Preparación de la superficie

Al momento de la inyección el hormigón debe tener a lo menos 28 días de edad. La superficie del hormigón, en un ancho mínimo de 5 cm a lo largo de la grieta debe encontrarse sana, limpia y libre de material suelto o cualquier substancia que impida una correcta aplicación y adecuada adherencia del sello superficial. En hormigones estucados se debe eliminar totalmente el estuco a lo largo de la grieta en un ancho mínimo de 5 cm a cada lado de ella.
Para una adecuada limpieza es recomendable emplear métodos mecánicos como chorro de agua a alta presión, pulido, arenado, etc. Finalmente, se debe limpiar la superficie con chorro de aire a alta presión exento de aceite. Debe considerarse una superficie seca o saturada superficialmente seca para aplicar el sello superficial.
Si el interior de la grieta contiene suciedad o elementos que impidan una buena adherencia de la resina de inyección, deberá considerarse una limpieza interna con agua y aire a presión después de colocado el sello superficial. El interior de la grieta debe encontrarse sin agua libre al momento de la inyección.

5.3 Sello superficial con Sikadur® 31 HMG

5.3.1 Mezclado de Sikadur® 31 HMG

Mezclar totalmente los contenidos de los envases del componente A (resina) y del componente B (endurecedor) en el recipiente de mezclado, agitando en forma manual o mecánica durante 3 a 5 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.
Mezclar solamente la cantidad de material que se puede aplicar dentro del período de pot-life. En caso que el volumen a inyectar sea inferior al que entregan los envases, se podrá subdividir los componentes de Sikadur® 31 HMG respetando rigurosamente la proporción de mezcla indicada en 3.2.

5.3.2 Fijación de boquillas y sellado superficial.

Se efectuará la secuencia siguiente:
• Disponer las boquillas de inyección (puntos de entrada) en la superficie a lo largo de la grieta. La distancia entre esos puntos no debe exceder el espesor del elemento o la profundidad de la grieta. Si la grieta traspasa de un lado a otro, en el caso de muros se colocarán boquillas por ambas caras en alturas escalonadas, y en el caso de losas se sellará previamente la grieta en la superficie inferior con Sikadur® 31 HMG.
• Sellar la grieta superficialmente en toda su longitud y alrededor de las boquillas mediante adhesivo Sikadur® 31 HMG. Si la superficie del hormigón se encuentra débil, se debe picar una ranura en V a lo largo de la grieta con una profundidad mínima de 1 cm, o hasta encontrar hormigón firme y sano, luego fijar las boquillas y rellenar el espacio creado con el mismo producto.
• Una vez endurecido el material sellante, para lo que generalmente se dejan transcurrir 24 horas, verificar que existe un sistema abierto aplicando aire comprimido por todos los puntos. Este procedimiento sirve, además, para expulsar restos de polvo, agua u otro contaminante de la grieta, y para verificar el total confinamiento de ésta.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

5.4 Aplicación de Sikadur® 52

5.4.1 Mezclado de Sikadur® 52

Mezclar totalmente los contenidos de los envases del componente A (resina) y del componente B (endurecedor) en el recipiente de mezclado, agitando en forma manual o mecánica durante 3 minutos hasta alcanzar una mezcla homogénea.
Mezclar solamente la cantidad de material que se puede aplicar dentro del período de pot-life. En caso que el volumen a inyectar sea inferior al que entregan los envases, se podrá subdividir los componentes de Sikadur® 52 respetando rigurosamente la proporción de mezcla indicada en 3.1.

5.4.2 Inyección a presión

Inyectar Sikadur® 52 al interior de la grieta a una presión constante a fin de lograr un completo llenado y penetración de la grieta sin incorporar aire o vacíos en la resina epóxica. Seguir la secuencia siguiente:
• Bombear Sikadur® 52 comenzando por el punto de entrada más bajo de cada grieta y continuar hasta que el adhesivo comience a salir por el punto adyacente. Para continuar la inyección se debe asegurar que la resina ha llenado completamente la grieta entre ambos puntos.
• Obturar el primer punto e iniciar la inyección en el siguiente hasta que la resina vuelva a aflorar en el punto próximo.
• En el caso que la grieta atraviese el total del elemento se debe verificar, además, que el adhesivo comience a salir por el punto opuesto más próximo en la otra cara del elemento. Obturar el punto opuesto y seguir inyectando según el procedimiento descrito. Si el adhesivo no fluye por el lado opuesto, se deberá inyectar el elemento por ambas caras.
• En el caso que hubiera puntos en los cuales no penetró, o en que no aflora la resina, debe dejarse un registro de lo ocurrido para una evaluación posterior por parte de la Inspección.
• Continuar la secuencia hasta inyectar la totalidad de la grieta.

5.4.3 Terminación

Una vez que haya curado la resina de inyección, remover mediante disco abrasivo u otro método mecánico el sello superficial y dar la terminación a la cara de la grieta en el mismo plano que el hormigón adyacente. No deberán quedar indentaciones ni protuberancias en los puntos de entrada.

5.5 Control de la Inyección

Para verificar que la resina de inyección ha penetrado apropiadamente en la grieta, deben extraerse testigos cuyo número y ubicación será indicada por el Proyectista o la Inspección.
La profundidad de penetración de la resina Sikadur® 52 se debe determinar por observación de los testigos.

5.6 Limpieza

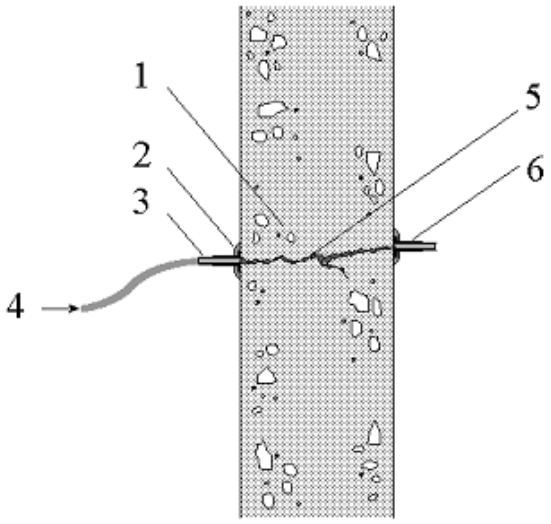
Se debe dejar el trabajo terminado y el área de trabajo en condición limpia, sin manchas notorias en las áreas adyacentes. Lavar muy bien la bomba, mangueras y equipos con solvente mientras la resina no haya curado. Una vez que la resina ha curado, sólo puede eliminarse mediante métodos mecánicos.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Sikadur® 52

ETS 101 - 0705 **Reparación de grietas mediante inyección a presión con resina epóxica**

REPARACIÓN DE GRIETA EN UN MURO



1. Muro de hormigón.
2. Sellado superficial y alrededor de las boquillas mediante adhesivo **Sikadur® 31 HMG**.
3. Boquilla de inyección.
4. Resina epóxica **Sikadur® 52**
5. Grieta.
6. Boquilla de control

Figura F1: Esquema referencial a técnica de inyección en grietas.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo F.1.- Especificaciones técnicas del refuerzo con láminas de FRP en hormigón armado (Sika.cl).

Especificación: ETS 130- 0705

REFUERZO ESTRUCTURAL MEDIANTE SISTEMA Sika® CarboDur®

1 ALCANCE

La presente especificación establece las disposiciones generales, los materiales, equipos y procedimientos de ejecución para el trabajo de refuerzo de elementos estructurales de hormigón armado mediante pletinas de fibra de carbono adheridas con resina epóxica en la cara traccionada.

2 DISPOSICIONES GENERALES

2.1 Trabajos Incluidos

Proveer todos los materiales, mano de obra, herramientas y equipos para el refuerzo de elementos estructurales sometidos a esfuerzos mediante el sistema Sika® CarboDur®.

2.2 Aseguramiento de Calidad

Calificación del Fabricante: El Fabricante del producto especificado debe tener Certificación de Calidad ISO 9001.

Calificación del Contratista: El Contratista debe ser un aplicador con experiencia en reparación y refuerzo de estructuras que haya completado un programa de instrucción en el uso del material.

2.3 Transporte, Almacenamiento y Manipulación

Enviar los productos especificados en envases originales cerrados, con el nombre del fabricante, etiquetas, identificación de los productos y número de fabricación.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3 MATERIALES

3.1 Sika® CarboDur®

El sistema Sika® CarboDur® (en particular, Sika® CarboDur® S 512) está compuesto por la pletina de polímero reforzado con fibras de carbono de alta resistencia. Componente que debe cumplir con las siguientes especificaciones:

• Aspecto: color negro
• Densidad: 1,6 g/cc
• Espesor: 1,2 mm
• Ancho: 50 mm
• Resistencia a tracción: >28.000 kg/cm2
• Modulo de elasticidad: >1.650.000 kg/cm2
• Deformación de rotura: >1,7 %
• Presentación: rollos de 250 m en cajas reutilizables
• Temperatura servicio: 50° C

3.2 Sikadur® 30

El sistema Sika® CarboDur® utiliza el adhesivo Sikadur® 30 de base epóxica sin solventes de altas resistencias mecánicas. Producto que debe cumplir con las siguientes especificaciones:

• Aspecto: color gris
• Densidad: 1,65 ± 1 kg/l (partes A y B mezcladas, a 23°C)
• Proporción de la mezcla: A : B = 3 : 1 (en peso o volumen)
• Pot life: 120 min a 8°C, 90 min a 20°C, 40 min a 35°C.
• Resistencia a compresión: 850 – 950 kg/cm2 (7 días, 35°C)
• Resistencia al corte: 170 – 200 kg/cm2 (14 días, 35°C)
• Resistencia a tracción: 27 – 32 kg/cm2 (14 días, 35°C)
• Open time: 150 min a 8°C, 110 min a 20°C, 30 min a 35°C
• Presentación: juego de 5 kg (A+B)

3.3 Mortero de Reparación / Nivelación

Si existen cavidades en la superficie del hormigón, estas se deben rellenar o nivelar con un mortero epóxico de reparación tipo Sikadur® 30 + Filler Sikadur® 501 en proporción 1 : 1 en peso.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4 EQUIPOS

4.1 Equipo para Regularizar la Superficie

Se pueden utilizar herramientas manuales o un equipo mecánico liviano de desbaste.

4.2 Equipo para Mezclado

Se requiere un taladro con paleta helicoidal de bajas revoluciones (400 a 600 r.p.m.), espátula y un recipiente de mezclado limpio y seco.

4.3 Herramientas y Accesorios

Se requiere de espátula y llana metálica para la terminación superficial.

4.4 Equipo de Protección

Cada vez que se aplique productos epóxicos como Sikadur® 30 se emplearán gafas de seguridad, guantes de protección y ropa de resistencia química.

5 EJECUCION

5.1 Condiciones Generales

5.1.1 Condiciones Ambientales

No aplicar Sikadur® 30 en presencia de lluvia o nieve, o con una temperatura del substrato o el ambiente inferior a 5º C o superior a 30º C. La temperatura ideal está comprendida entre 15 y 20º C. Con temperaturas bajas aumenta la viscosidad del producto. La temperatura ambiente durante el uso del producto debe ser por lo menos 3°C sobre el punto de rocío (condensación). La superficie debe encontrarse seca antes de ejecutar la aplicación. La humedad máxima del substrato es de 4%.

5.1.2 Precauciones

Debe respetarse todos los procedimientos, limitaciones y precauciones para los productos especificados de acuerdo con folletos y publicaciones técnicas del fabricante. Evitar el contacto con ojos y piel, y la inhalación de vapores. Mantener ventilación adecuada.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

5.1.3 Substrato

Uniformidad / planeidad o nivel (según FIB14):
La superficie del elemento a reforzar se debe nivelar, con variaciones y marcas del encofrado no mayor que 0,5 mm. La planeidad y nivel del substrato se comprobará con una regla de metal. Tolerancia para 2 m de longitud de 10 mm y para una longitud de 0,3 m se aceptan 4 mm. Estas tolerancias serán adaptadas a las pautas locales si existe alguna. Puede ser que sean más restrictivas.

Resistencia:
La resistencia del substrato (hormigón, albañilería, piedra natural) se debe verificar en todos los casos:
La resistencia a tracción media del substrato de hormigón preparado debe ser de 20 kg/cm2, mínimo 15 kg/cm2. Si estos valores no pueden ser alcanzados, entonces vea la hoja técnica de datos del producto SikaWrap® para las soluciones alternativas de Sika®.
El hormigón debe tener 28 días de edad como mínimo.

Contaminación, Humedad y Temperatura:
La superficie debe estar limpia y libre de aceite, grasa o cualquier elemento contaminante que impida la adherencia. Además debe encontrarse sana y sin partes sueltas.
La humedad superficial debe ser menor al 4%.
La temperatura ambiente durante el uso del producto debe ser por lo menos 3°C sobre el punto de rocío (condensación)

5.2 Preparación de la Superficie

5.2.1 Debe realizarse la secuencia siguiente:

• Preparar el substrato por arenado, hidroarenado, desbaste mecánico.
• Limpiar la superficie con chorro de aire o aspirado.

5.2.1 Limpieza de pletina Sika® CarboDur®:

• Colocar la lámina Sika® CFRP sobre una mesa de trabajo y limpiarla muy bien con Sika® Colma Cleaner o, en su defecto, con diluyente a la piroxilina.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

5.3 Aplicación de Adhesivo Epóxico Sikadur® 30

5.3.1 Mezclar totalmente los contenidos de los envases del componente A (resina) y del componente B (endurecedor) del producto base (Sikadur® 30) en el recipiente de mezclado, agitando en forma manual o mecánica por a lo menos 3 minutos hasta obtener una mezcla de consistencia homogénea y color uniforme.
Mezclar solamente la cantidad de material que se puede aplicar dentro del período de potlife. En caso que el volumen a emplear sea inferior al que entregan los envases, se podrá subdividir los componentes de Sikadur® 30 respetando rigurosamente la proporción de mezcla indicada en 3.2.

5.3.2 Sikadur® 30 debe ser aplicado sobre la pletina en el lado más áspero y también en el substrato mediante espátula o llana metálica en una cantidad de 0,35 kg/ml, formando una película en un espesor aproximado 2 mm en cada superficie.

5.3.3 Sika® CarboDur® debe colocarse sobre la resina aplicada en el substrato, una vez verificada su correcta posición presionar con un rodillo de goma a lo largo de toda su longitud hasta que la resina salga por los costados de la lámina. Remover el excedente de adhesivo epóxico.

5.3.4 Recubrimiento de protección contra incendios: si se desea proteger el refuerzo contra el fuego, se recomienda la utilización de placas ignífugas u otro tipo de recubrimiento, previa comprobación de adherencia y compatibilidad con el refuerzo.

5.4 Puesta en Marcha

El adhesivo adquiere su resistencia desde el momento en que es colocado hasta conseguir su endurecimiento total a los 7 días. Por lo tanto es necesario esperar ese tiempo para sobrecargar el elemento estructural a su carga máxima y no causar una falla por superar el límite de resistencia del adhesivo.

5.5 Control de Calidad

Previo a la ejecución de los trabajos se deberá controlar la resistencia mecánica del hormigón y comprobar la estabilidad y polimerización correcta del adhesivo (relación correcta endurecedor-resina).

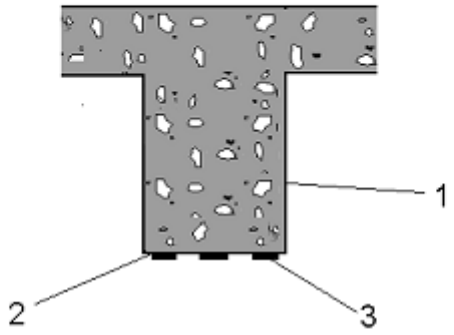
Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Finalizados los trabajos de refuerzo se deberá realizar pruebas de carga.

5.6 Limpieza

Se debe dejar el trabajo terminado y el área de trabajo en condición limpia, sin manchas notorias en las áreas adyacentes. Limpiar profundamente los equipos con diluyente a la piroxilina mientras la resina no haya curado. Una vez que la resina ha curado, solo puede eliminarse mediante métodos mecánicos.

ETS 130 – 0705 **Sika® CarboDur® Refuerzo de Elementos Estructurales**



1. Elemento de hormigón a reforzar.
2. **Sikadur® 30** adherido a substrato y pletina **Sika® CarboDur®**.
3. Pletina **Sika® CarboDur®**.

La fiscalización o inspección deberá observar continuamente todos los aspectos de preparación, mezcla y aplicación de materiales, incluyendo lo siguiente:

- Preparación de superficie
- Lotes de fabricación de los materiales
- Uso de los equipos y herramientas adecuados
- Mezclado del epóxico
- Aplicación del epóxico sobre la fibra y el substrato
- Curado de los materiales compuestos
- Todos los aspectos relacionados con la especificación del refuerzo

Figura F2: Esquema referencial a técnica de láminas de FRP.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo F.3.- Especificaciones técnicas del refuerzo con tejidos de FRP en albañilería (Sika.cl).

Especificación: ETS 130- 0705

REFUERZO ESTRUCTURAL MEDIANTE SISTEMA SikaWrap®

1 ALCANCE

La presente especificación establece las disposiciones generales, los materiales, equipos y procedimientos de ejecución para el trabajo de refuerzo de elementos estructurales de albañilería mediante tejidos de fibra de carbono adheridas con resina epóxica en la cara traccionada.

2 DISPOSICIONES GENERALES

2.1 Trabajos Incluidos

Proveer todos los materiales, mano de obra, herramientas y equipos para el refuerzo de elementos estructurales sometidos a esfuerzos mediante el sistema SikaWrap®.

2.2 Aseguramiento de Calidad

Calificación del Fabricante: El Fabricante del producto especificado debe tener Certificación de Calidad ISO 9001.

Calificación del Contratista: El Contratista debe ser un aplicador con experiencia en reparación y refuerzo de estructuras que haya completado un programa de instrucción en el uso del material.

2.3 Transporte, Almacenamiento y Manipulación

Enviar los productos especificados en envases originales cerrados, con el nombre del fabricante, etiquetas, identificación de los productos y número de fabricación.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3 MATERIALES

3.1 SikaWrap®

El sistema SikaWrap (en particular, SikaWrap 600 C) está compuesto por tejidos de polímeros reforzado con fibras de carbono de alta resistencia. Componente que debe cumplir con las siguientes especificaciones:

• Aspecto: color negro
• Densidad: 1,82 g/cc
• Espesor: 0.324 mm
• Ancho: 50 cm
• Resistencia a tracción: >35.000 kg/cm2
• Modulo de elasticidad: >2.250.000 kg/cm2
• Deformación de rotura: >1,55 %
• Presentación: rollos de 250 m en cajas reutilizables
• Temperatura servicio: 50° C

3.2 Sikadur® 300

El sistema SikaWrap® utiliza el adhesivo Sikadur® 300 de base epóxica sin solventes de altas resistencias mecánicas. Producto que debe cumplir con las siguientes especificaciones:

• Aspecto: amarillo claro
• Densidad: 1,16 ± 1 kg/l (partes A y B mezcladas, a 23°C)
• Proporción de la mezcla: A: B = 100: 34,5 (en peso o volumen)
• Pot life: 6 horas a 15°C, 4 horas a 23°C, 90 min a 40°C.
• Resistencia a tracción: 450 kg/cm2 (7 días, 23°C)
• Resistencia a la adherencia: 40 kg/cm2 (3 días, 23°C)
• Resistencia a tracción: 27 – 32 kg/cm2 (14 días, 35°C)
• Presentación: juego de 5 kg (A+B)

3.3 Mortero de Reparación / Nivelación

Si existen cavidades en la superficie del hormigón, estas se deben rellenar o nivelar con un mortero epóxico de reparación tipo Sikadur® 300 + Filler Sikadur® 501 en proporción 1: 1 en peso.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4 EQUIPOS

4.1 Equipo para Regularizar la Superficie

Se pueden utilizar herramientas manuales o un equipo mecánico liviano de desbaste.

4.2 Equipo para Mezclado

Se requiere un taladro con paleta helicoidal de bajas revoluciones (400 a 600 r.p.m.), espátula y un recipiente de mezclado limpio y seco.

4.3 Herramientas y Accesorios

El tejido puede ser cortado con tijeras especiales, navaja o cuchillo corta cartón. Nunca doble la tela.

4.4 Equipo de Protección

Cada vez que se aplique productos epóxicos como Sikadur® 300 se emplearán gafas de seguridad, guantes de protección y ropa de resistencia química.

5 EJECUCION

5.1 Condiciones Generales

5.1.1 Condiciones Ambientales

No aplicar Sikadur® 300 en presencia de lluvia o nieve, o con una temperatura del substrato o el ambiente inferior a 5º C o superior a 30º C. La temperatura ideal está comprendida entre 15 y 20º C. Con temperaturas bajas aumenta la viscosidad del producto. La temperatura ambiente durante el uso del producto debe ser por lo menos 3°C sobre el punto de rocío (condensación). La superficie debe encontrarse seca antes de ejecutar la aplicación. La humedad máxima del substrato es de 4%.

5.1.2 Precauciones

Debe respetarse todos los procedimientos, limitaciones y precauciones para los productos especificados de acuerdo con folletos y publicaciones técnicas del fabricante. Evitar el contacto con ojos y piel, y la inhalación de vapores. Mantener ventilación adecuada.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

5.1.3 Substrato

Uniformidad / planeidad o nivel :
La superficie del elemento a reforzar se debe nivelar, con variaciones y marcas del encofrado no mayor que 0,5 mm. La planeidad y nivel del substrato se comprobará con una regla de metal. Tolerancia para 2 m de longitud de 10 mm y para una longitud de 0,3 m se aceptan 4 mm. Estas tolerancias serán adaptadas a las pautas locales si existe alguna. Puede ser que sean más restrictivas.

Resistencia:
La resistencia del substrato (hormigón, albañilería, piedra natural) se debe verificar en todos los casos:
La resistencia a tracción media del substrato de hormigón preparado debe ser de 20 kg/cm2, mínimo 15 kg/cm2. Si estos valores no pueden ser alcanzados, entonces vea la hoja técnica de datos del producto SikaWrap® para las soluciones alternativas de Sika®.
El hormigón debe tener 28 días de edad como mínimo.

Contaminación, Humedad y Temperatura:
La superficie debe estar limpia y libre de aceite, grasa o cualquier elemento contaminante que impida la adherencia. Además debe encontrarse sana y sin partes sueltas.
La humedad superficial debe ser menor al 4%.
La temperatura ambiente durante el uso del producto debe ser por lo menos 3°C sobre el punto de rocío (condensación)

5.2 Preparación de la Superficie

5.2.1 Debe realizarse la secuencia siguiente:

• Preparar el substrato por arenado, hidroarenado, desbaste mecánico.
• Limpiar la superficie con chorro de aire o aspirado.

5.2.1 Limpieza de la lámina SikaWrap®:

• Colocar la lámina Sika® CFRP sobre una mesa de trabajo y limpiarla muy bien con Sika® Colma Cleaner o, en su defecto, con diluyente a la piroxilina.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

5.3 Aplicación de Adhesivo Epóxico Sikadur® 300

5.3.1 Mezclar totalmente los contenidos de los envases del componente A (resina) y del componente B (endurecedor) del producto base (Sikadur® 300) en el recipiente de mezclado, agitando en forma manual o mecánica por a lo menos 3 minutos hasta obtener una mezcla de consistencia homogénea y color uniforme.
Mezclar solamente la cantidad de material que se puede aplicar dentro del período de potlife. En caso que el volumen a emplear sea inferior al que entregan los envases, se podrá subdividir los componentes de Sikadur® 300 respetando rigurosamente la proporción de mezcla indicada en 3.2.

5.3.2 Sikadur® 300 debe ser aplicado sobre la pletina en el lado más áspero y también en el substrato mediante espátula o llana metálica en una cantidad de 0,35 kg/ml, formando una película en un espesor aproximado 2 mm en cada superficie.

5.3.3 SikaWrap® debe colocarse sobre la resina aplicada en el substrato, una vez verificada su correcta posición presionar con un rodillo de goma a lo largo de toda su longitud hasta que la resina salga por los costados de la lámina. Remover el excedente de adhesivo epóxico.

5.3.4 Recubrimiento de protección contra incendios: si se desea proteger el refuerzo contra el fuego, se recomienda la utilización de placas ignífugas u otro tipo de recubrimiento, previa comprobación de adherencia y compatibilidad con el refuerzo.

5.4 Puesta en Marcha

El adhesivo adquiere su resistencia desde el momento en que es colocado hasta conseguir su endurecimiento total a los 7 días. Por lo tanto es necesario esperar ese tiempo para sobrecargar el elemento estructural a su carga máxima y no causar una falla por superar el límite de resistencia del adhesivo.

5.5 Control de Calidad

La fiscalización o interventoría deberá observar continuamente todos los aspectos de preparación, mezcla y aplicación de materiales, incluyendo lo siguiente:

- Preparación de superficie
- Lotes de fabricación de los materiales
- Uso de los equipos y herramientas adecuados

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

• Mezclado del epóxico • Aplicación del epóxico sobre la fibra

• Curado de los materiales compuestos

• Ensayo de las muestras testigo

• Todos los aspectos relacionados con la especificación del trabajo de reforzamiento.

• Idoneidad del personal involucrado en el proyecto de reforzamiento.

5.6 Limpieza

Se debe dejar el trabajo terminado y el área de trabajo en condición limpia, sin manchas notorias en las áreas adyacentes. Limpiar profundamente los equipos con diluyente a la piroxilina mientras la resina no haya curado. Una vez que la resina ha curado, solo puede eliminarse mediante métodos mecánicos.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo G: Planos de la rehabilitación sísmica de la capilla.