

Daño Sísmico, Reparación y Refuerzo Estructural en Edificación. Casos Pre y Post Terremotos.

CONGRESO INTERNACIONAL TERREMOTOS Y
VULNERABILIDAD

Suelos, Estructuras Sismorresistentes y Diagnóstico Post Sismo

24 de junio de 2023 – Punta Cana. República Dominicana

Eduardo Hurtado Gajardo

Ingeniero Civil - PUC

Jefe de Departamento de Ingeniería y Construcción

División de Edificación Pública

Dirección de Arquitectura

Ministerio de Obras Públicas CHILE



Ministerio de
Obras Públicas

TEMARIO.

1. Conceptos Generales.
2. Diagnóstico de daños.
3. Importancia de las fallas.
4. Alzaprimado de emergencia
5. Alternativas de recuperación estructural.
6. Algunos métodos de recuperación de la resistencia.
7. Izado de edificios de muros
8. Reparación de estructuras de albañilería confinada.
9. Conclusiones.



1. CONCEPTOS GENERALES

Terminología para una intervención estructural de Reparación y Refuerzo.



Patología: Parte de la ingeniería que estudia anomalías es decir, síntomas, mecanismos, causas y orígenes de los defectos de las OOC, y que conducen al diagnóstico del problema.

Terapia: Son las medidas de corrección y solución de los problemas patológicos o incluso de envejecimiento natural.

Síntomas: Son manifestaciones externas características de un problema patológico, que permite deducir la naturaleza, origen y mecanismo de los fenómenos involucrados, y estimar sus posibles consecuencias.

Mecanismo: Proceso a través del cual ocurre el problema patológico, llamado también vicio oculto.

Origen: El origen de un síntoma puede estar en cualquiera de las etapas del ciclo de vida de un proyecto, pero se manifiestan en la construcción y operación

Terminología para una intervención estructural de Reparación y Refuerzo.



La identificación adecuada del origen permite establecer la terapia más adecuada.

Causas: Son agentes causantes de los problemas patológicos, como cargas, variaciones de humedad, variaciones térmicas, agentes biológicos, incompatibilidad de materiales, agentes atmosféricos, entre otros.

Consecuencias y oportunidad de la intervención

Las consideraciones para el buen diagnóstico se dividen en dos tipos las que afectan la seguridad de la estructura, y las asociadas a condiciones de servicio. Los problemas patológicos son evolutivos en general. Mientras más tarde se intervenga dentro del ciclo de vida del proyecto más caro es el costo y la técnica asociada.

Finalidad de una intervención estructural de Reparación y Refuerzo.



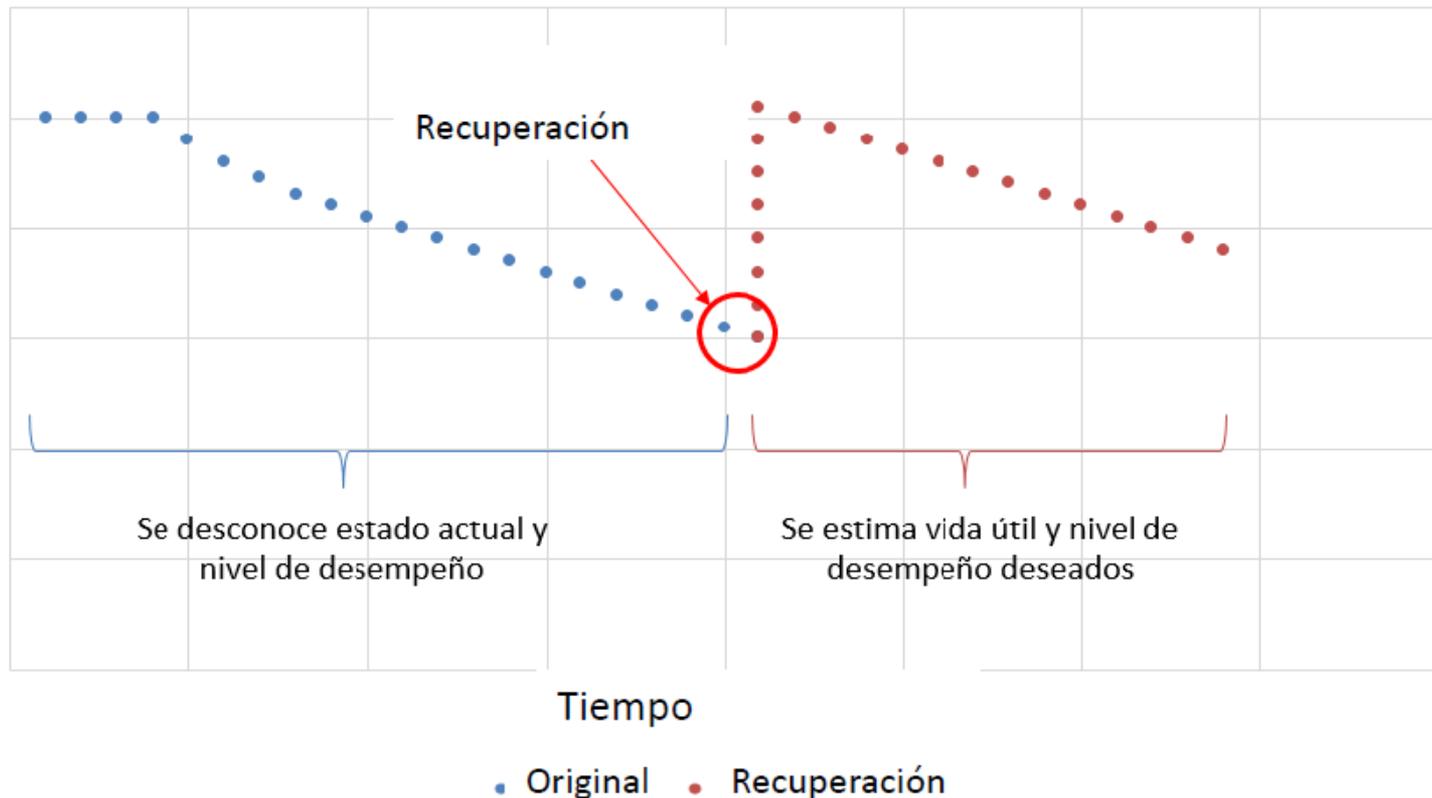
El proyecto de la rehabilitación de la estructura a mejorar debe:

1. Estar diseñada tal que mantenga su propósito de uso, sea segura y durable.
2. Mejorar el desempeño sísmico de componentes estructurales o no estructurales de un edificio.
3. Seleccionar un objetivo de rehabilitación para el edificio. Cada objetivo de rehabilitación debe definir en su memoria de cálculo de un nivel esperado de desempeño y de un nivel de amenaza.

Finalidad de una intervención estructural de Reparación y Refuerzo. Cont.

Retrofit es equivalente a readecuación, reparación y rehabilitación.

Desempeño



Daño sísmico y Recuperación Estructural.

El Anexo A de la NCh 433 en Chile fija criterios para:

- Clasificar y evaluar daño estructural
- Orientar la recuperación estructural

Además indica que las características de una estructura que se pueden modificar con un proceso de recuperación estructural son su resistencia, rigidez, ductilidad, masa y sistema de fundaciones.

Daño sísmico y Recuperación Estructural.

Define a demás los siguientes conceptos, la recuperación estructural se denomina:

Reparación (Retrofit): cuando a una estructura dañada se le restituye al menos su capacidad resistente y su rigidez original, *sin modificar mayormente su rigidez original*.

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**, de tal modo que cumpla con las disposiciones de diseño que fija la norma.

Daño sísmico y Recuperación Estructural.

- **Rehabilitación** cuando a **una estructura sana** se le modifican sus características de modo de **alcanzar un nivel de seguridad mayor que el original** de tal modo que cumpla con las disposiciones de diseño que fija la norma.

Daño sísmico y Recuperación Estructural.

Así el criterio para decidir entre reparación y refuerzo es el que sigue:

INTENSIDAD DEL SISMO	PROB DE OCURRENCIA	GRADO DE DAÑO SÍSMICO			
		MUY LEVE	LEVE	MODERADO	SEVERO
LEVE	50% - 30 años				DEMOLICIÓN O REFUERZO MAYOR
INTERMEDIO	50% - 50 años		REPARACIÓN	REFORZAMIENTO	
FUERTE	10% - 50 años		REPARACIÓN MENOR		
MUY FUERTE	10% - 100 años	REPARACIÓN ESTÉTICA			

Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.

El grado de daño sísmico de un edificio puede ser:

- Muy leve
- Leve
- Moderado
- Severo

La estimación del grado de daño debe ser realizada por un profesional especialista, quien debe analizar y cuantificar el comportamiento de todos los parámetros que definen el daño.

Daño sísmico y Recuperación Estructural.

Tabla A-1 - Niveles de funcionamiento de las edificaciones

	Peligro de Colapso	Poca seguridad para ocupantes	Ocupación inmediata	100% operacional
Daño	Severo (S)	Moderado (M)	Leve (L)	Muy Leve (ML)
General	<p>Grandes deformaciones permanentes</p> <p>Poca resistencia y rigidez residual, pero columnas y muros funcionan</p> <p>Falla o inicio de falla en estructuras no soportantes</p> <p>Edificio cerca de colapsar</p>	<p>Existen deformaciones permanentes</p> <p>Existen resistencia y rigidez residual en todos los sectores</p> <p>Elementos soportantes funcionando.</p> <p>No hay muros desaplomados</p> <p>Reparación puede ser económicamente inviable</p>	<p>No hay deformaciones permanentes</p> <p>Se mantienen casi toda la resistencia y rigidez original</p> <p>Grietas menores en muros, divisiones, cielos y elementos estructurales</p> <p>Elevadores tienen reparación</p>	<p>No hay deformaciones permanentes</p> <p>Se mantiene toda la resistencia y rigidez original</p> <p>Grietas menores en muros, divisiones, cielos y elementos estructurales</p> <p>Todos los sistemas importantes operando</p>

Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.

La **Autoridad Comunal** puede ordenar el desalojo de todo edificio que presente un **grado de daño severo y la posibilidad de colapso total** o parcial frente a réplicas o sismos futuros.

La **Autoridad Comunal**, con el informe escrito concordante de al menos un profesional especialista, **puede ordenar la demolición de edificios con daños sísmicos severos que presenten la posibilidad de colapso, que ponga en peligro vidas humanas** o bienes ubicados en la vecindad del edificio.

La decisión sobre el tipo de recuperación estructural de un edificio no sólo debe considerar el grado de daño sino que también la intensidad sísmica que tuvo el evento en el lugar considerado.

Requisitos de un proyecto de Recuperación Estructural.

El proyecto de recuperación estructural debe incluir los siguientes antecedentes:

- catastro detallado de daños en los elementos componentes de la estructura resistente;
- estimación del grado de daño;
- determinación de las causas y justificación de los daños;
- nivel de seguridad sísmica de la recuperación estructural;
- criterios básicos de diseño;
- soluciones de reparación y de refuerzos;
- planos generales y de detalles;
- especificaciones técnicas constructivas;
- nivel de inspección de obras;
- aprobación del revisor del proyecto.

Edificios de Categoría Máxima de Ocupación

NCh 433. Categoría IV.

Edificios y otras estructuras clasificadas como edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública, incluyendo, pero no exclusivamente:

- cuarteles de policía;
- centrales eléctricas y telefónicas;
- correos y telégrafos;
- radioemisoras;
- canales de televisión;
- plantas de agua potable y de bombeo.

Edificios de Categoría Máxima de Ocupación

NCh 433. Categoría IV.

Edificios y otras estructuras clasificadas como instalaciones esenciales cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe, incluyendo, pero no exclusivamente:

- hospitales;
- postas de primeros auxilios;
- cuarteles de bomberos;
- garajes para vehículos de emergencia;
- estaciones terminales;
- refugios de emergencia;

Edificios de Categoría Máxima de Ocupación

NCh 433. Categoría IV.

Estructuras auxiliares (incluyendo, pero no exclusivamente a, torres de comunicación, estanques de almacenamiento de combustible, estructuras de subestaciones eléctricas, estructuras de soporte de estanques de agua para incendios o para consumo doméstico o para otro material o equipo contra incendios) requeridas para la operación de estructuras con Categoría IV durante una emergencia.

Torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo, y hangares para aviones de emergencia.

Edificios y otras estructuras que tengan funciones críticas para la defensa nacional.

Edificios de Categoría Máxima de Ocupación NCh 433. Categoría IV.

Edificios y otras estructuras (incluyendo, pero no exclusivamente, instalaciones que manufacturan, procesan, manipulan, almacenan, usan o desechan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) **que contienen sustancias peligrosas en cantidades superiores a las establecidas por la Autoridad Competente.**

Edificios y otras estructuras que contengan sustancias peligrosas deben ser clasificadas como estructuras de la Categoría de Ocupación II **si se puede demostrar satisfactoriamente** a la Autoridad Competente mediante una estimación de riesgo, como se describe en NCh3171, **que una fuga de estas sustancias no representa una amenaza para el público. No se permite** esta clasificación reducida si los edificios u otras **estructuras** también funcionan **como instalaciones esenciales o utilidad pública.**

Necesidad de Rehabilitación de Edificios Sanos.

Los edificios de la categoría IV, **se deben someter cada 10 años a una revisión** con el fin de establecer su conformidad con los requisitos de esta norma.

NUEVA VERSIÓN

La estabilización temporal de un inmueble dañado debe ser diseñada de tal manera que pueda resistir las cargas gravitacionales con los coeficientes de seguridad indicados en las normas pertinentes y **resistir una réplica que tenga un 90% probabilidad de no ser superada durante los 5 años posteriores al sismo**. Antes de dicho plazo la estructura debe ser sometida a una reparación o refuerzo definitivo, o bien demolida.



Modos de Colapso de elementos estructurales típicos de concreto reforzado.

Para ayudar a esta evaluación sirve la estrategia de clasificación de los estándares japoneses a continuación resumidos.

Miembros de soporte vertical	Definición
Muros de corte	Muros en el que la falla por corte precede a la falla por flexión
Muros de flexión	Muros en el que la falla por flexión precede a la falla por corte
Columnas de corte	Columnas en la que la falla por corte precede a la falla por flexión (excepto las columnas extremadamente frágiles)
Columnas de flexión	Columnas en los que la falla por flexión precede a la falla por corte.
Columna extremadamente frágil	Columnas en las que le precede la falla por corte, ante que la falla por flexión, y la razón de aspecto (altura libre versus sección) h_f/D es menos de 2.



Modos de Colapso de elementos estructurales típicos de concreto reforzado.

Para ayudar a esta evaluación sirve la estrategia de clasificación de los estándares japoneses a continuación resumidos.

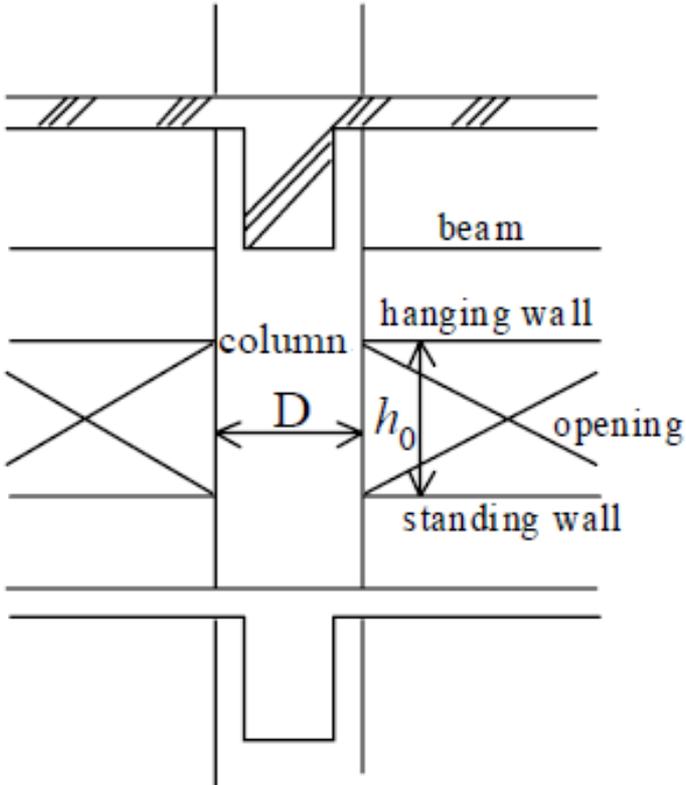
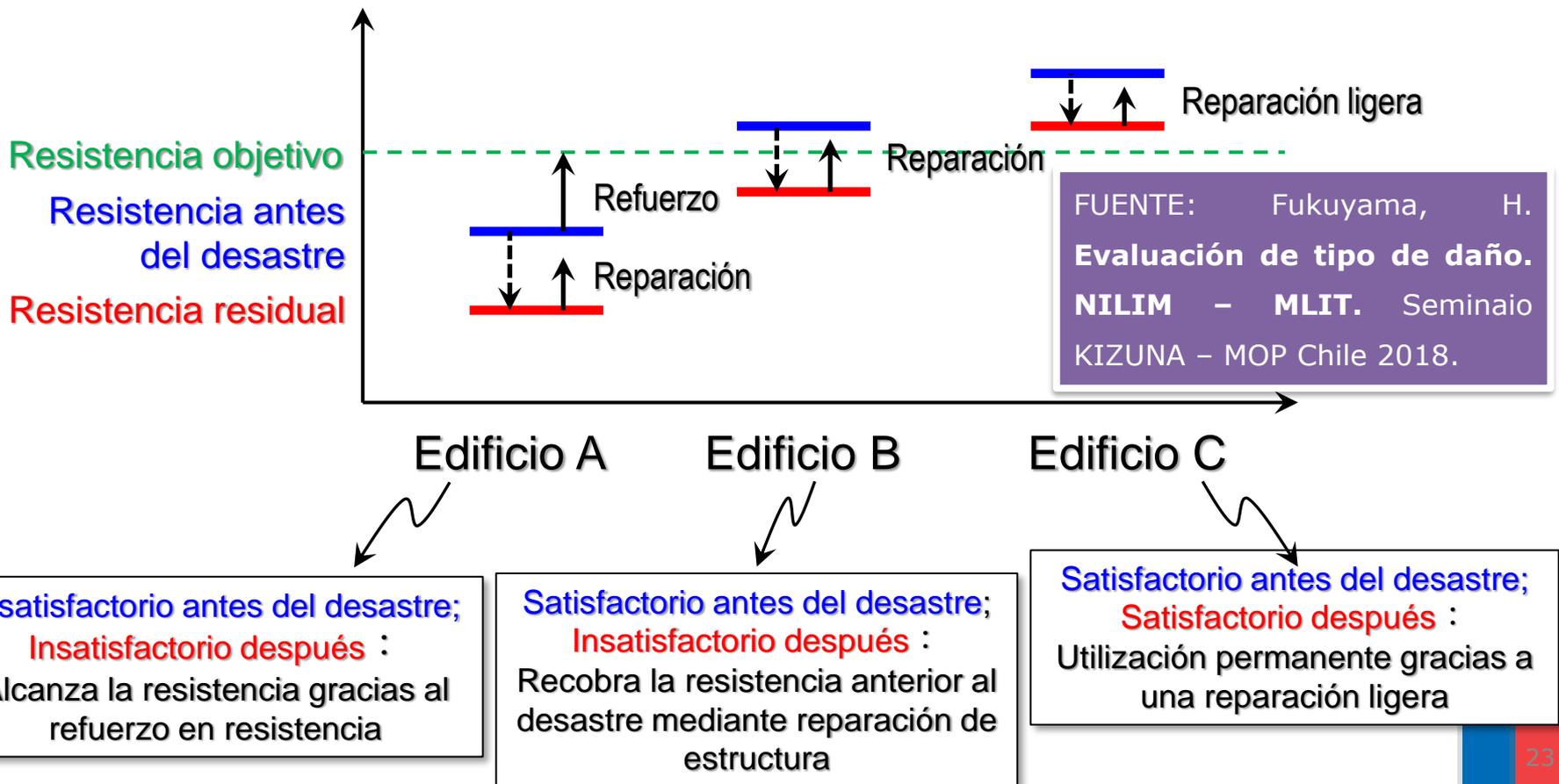


Figure 1 Clear height and depth of column

Decisión sobre la necesidad de recuperar la estructura superior.

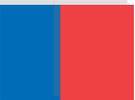
✓ Decisión sobre la necesidad de recuperación permanente

Basada en la investigación detallada (diagnóstico de resistencia)
Comprueba si la resistencia anterior y posterior al desastre satisface la resistencia objetivo





2. Diagnóstico de Causa de Daños



Causa(s) de los daños.

- 2.1 Intensidad y características de los sismos.
 - 2.2 Errores de análisis y diseño.
 - 2.3 Deficiencias de las normas de análisis y diseño.
 - 2.4 Defectos de construcción.
-
- Generalmente los daños se deben a una combinación de varios de los defectos nombrados.

Intensidad y características de los sismos.

-El mecanismo de generación de los sismos es conocido (Tectónica de placas).

La intensidad se mide en Escala de Mercalli, entre otras
→ percepción del sismo.

Las características relevantes de un sismo son:

- Duración
- aceleraciones máximas
- T_0
- Profundidad
- M_w .



Sábado 27 de febrero de 2010

3:34 am

EPICENTRO

Región del Bío Bío.

8.8° escala de magnitud.

3:25 minutos.

Intensidad y características de los sismos.



2010 Terremoto Chile
 27 February 2010 3:34 am
 $T_0 = 2s$
 $M_w = 8.8$
 Área de Ruptura Falla 100km x 500km
 Prof. 500 km
 Aceleraciones cerca de 1g
 Población Afectada > 8M*
 452 Muertes Confirmadas**
 * ACHISINA
 ** USAID, 3/25/10

DIMENSIONES DEL SISMO DEL 27F. BALANCE GENERAL DEL DAÑO MATERIAL

- Afectó desde la región de Valparaíso hasta la región de la Araucanía.
- Involucró a 50 ciudades, 900 pueblos y áreas rurales. En resumen al 20% territorio continental
- 13 millones de habitantes, 75% de la población nacional.
- Más de 200 mil viviendas destruidas o seriamente dañadas. Más de 4 mil escuelas afectadas, sin poder iniciar clases. Del orden de 40 hospitales dañados, 17 inutilizables.
- Infraestructura dañada en cerca de 2 mil puntos a lo largo del país.
- 30.000 millones de dólares, 18% PIB

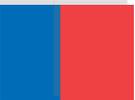
*FUENTE: MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA.
RESUMEN Avance y Proyecciones de la Reconstrucción. 04 de Julio de 2012
Pres. Ricardo Faúndez KIZUNA*



Daños típicos Estructuras Antiguas.



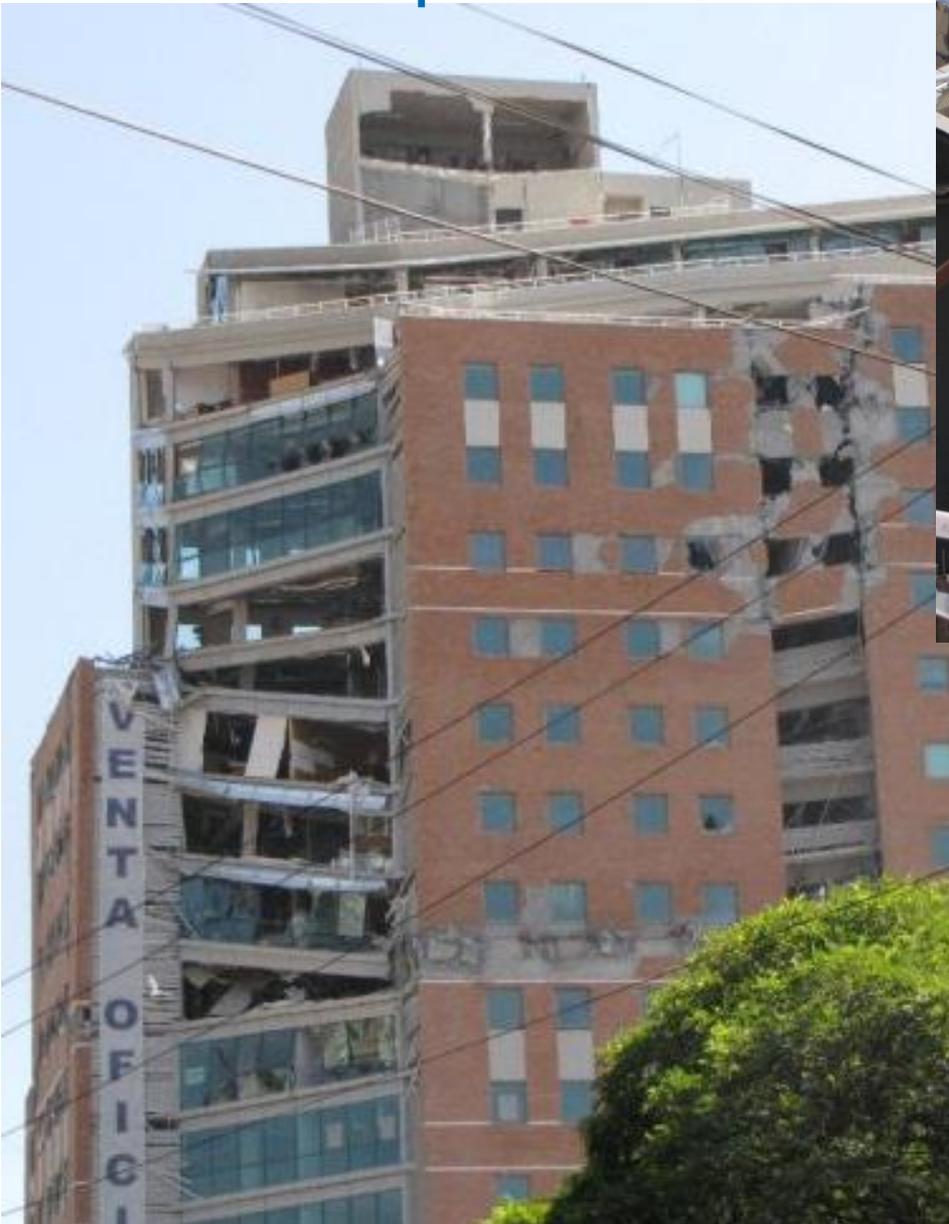
FUENTE Ricardo Faúndez Pres El sismo del 27 F KIZUNA



Daños típicos Puentes Antiguos y Nuevos.



Daños típicos Edificios Altos nuevos.



FUENTE - Fotos Ricardo Faúndez Pres El sismo del 27 F KIZUNA

Tsunami por Terremoto del 27F. Talcahuano.



Tsunami por Terremoto del 27F.

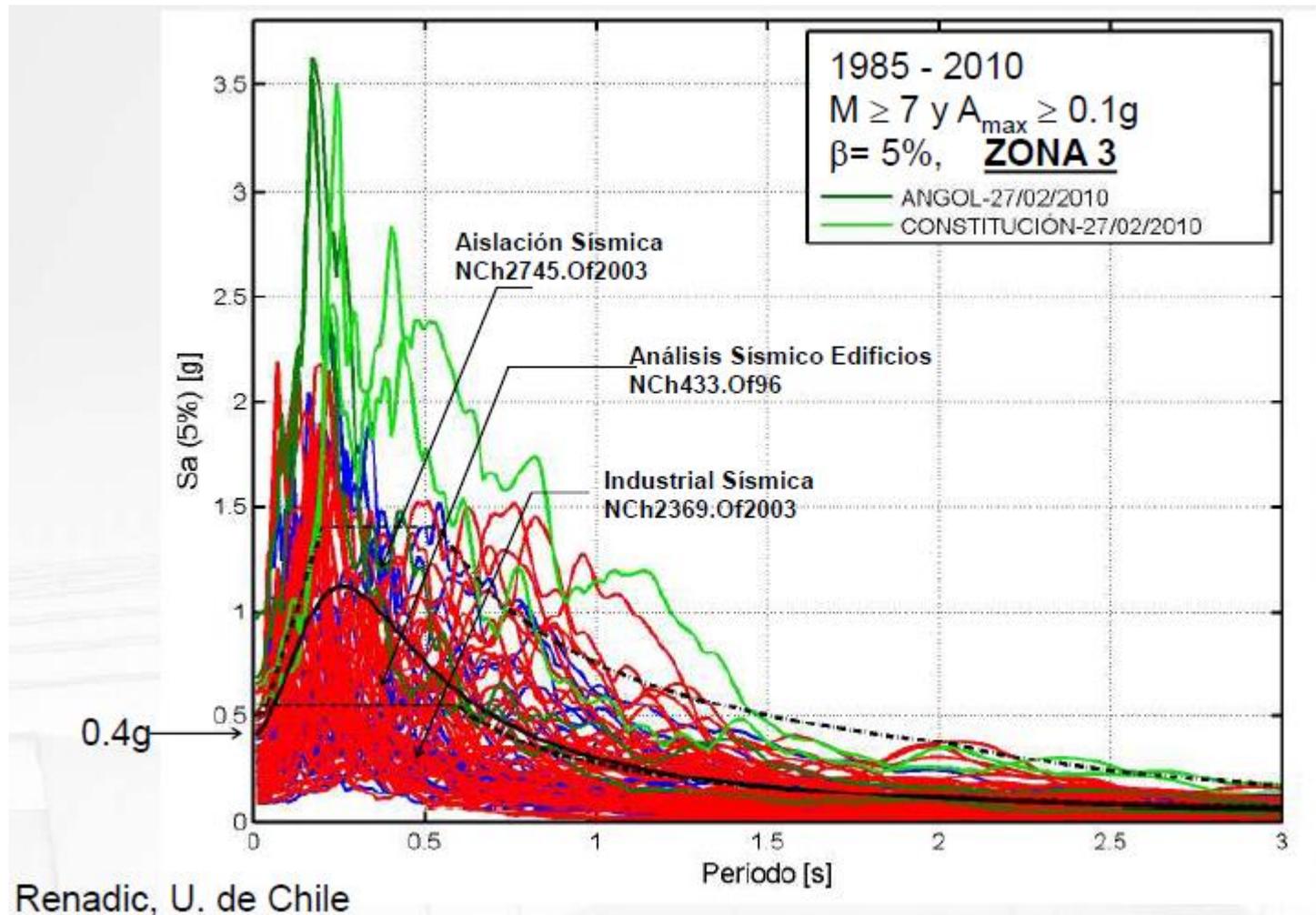


Foto obtenida de Google.

PROBLEMAS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN DEL TERREMOTO 27F

- El sismo demostró que hubo problemas en los tres niveles de la edificación en Chile
- Estructuras. Diseño y Análisis sismorresistente.
- Geotecnia. Clasificación sísmica de Suelos y espectros de diseño.
- Construcción. Resolución de uniones en Hormigón Armado, y aspectos constructivos.
- Además se detectaron problemas de Normas, errores normativos e incompletitud de normas.
- Geotecnia. Suelos especiales. Clasificación sísmica. Parámetros sísmicos.
- Estructuras. Análisis sísmico. Espectros de deformaciones.
- Estructuras Diseño H.A. Demanda de compresión.

ESPECTROS DE ACELERACIONES REGISTRADOS DEL TERREMOTO 27F. EJEMPLO.



- FUENTE: R. Verdugo. Seminario ICH Nov 2010.

2.2 Errores de análisis y diseño.

- Errores de análisis y diseño.
 - Columnas cortas
 - dinteles de acoplamiento
 - clasificación sísmica
 - pisos blandos.
- Errores numéricos (poco frecuente).
- Modelación inadecuada
 - singularidades
- Detallamiento defectuoso
 - Singularidades
 - Uniones
 - empalmes



2.2 Errores de análisis y diseño.

- Planos incompletos
 - traslapos de armaduras.
- Diseños difíciles (imposibles) de materializar bien,
 - congestión de armadura
 - empotramientos
 - anclajes mal resueltos

Edificio Torre O' Higgins. Concepción. Daño sísmico severo.



Fenómeno de Piso Blando



- Pisos 20 y 21



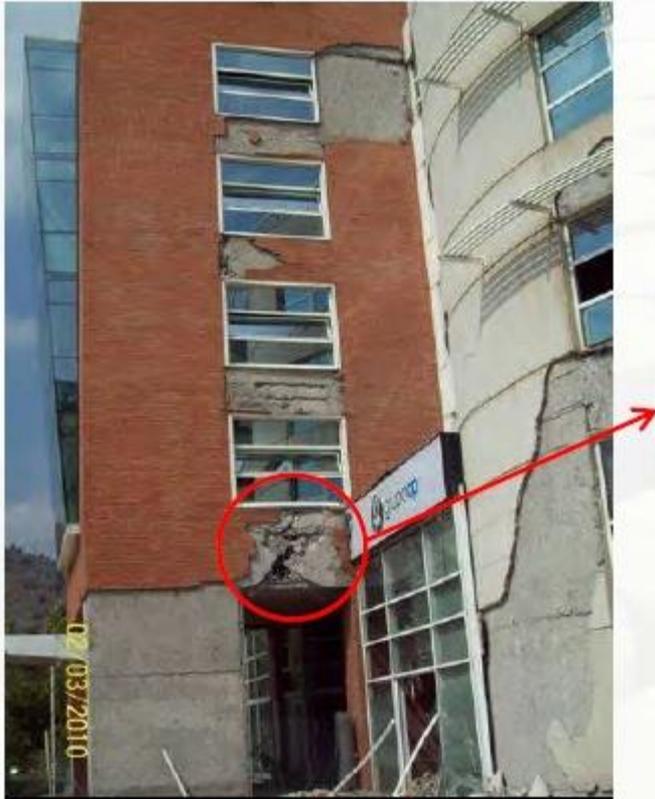
- Piso 21



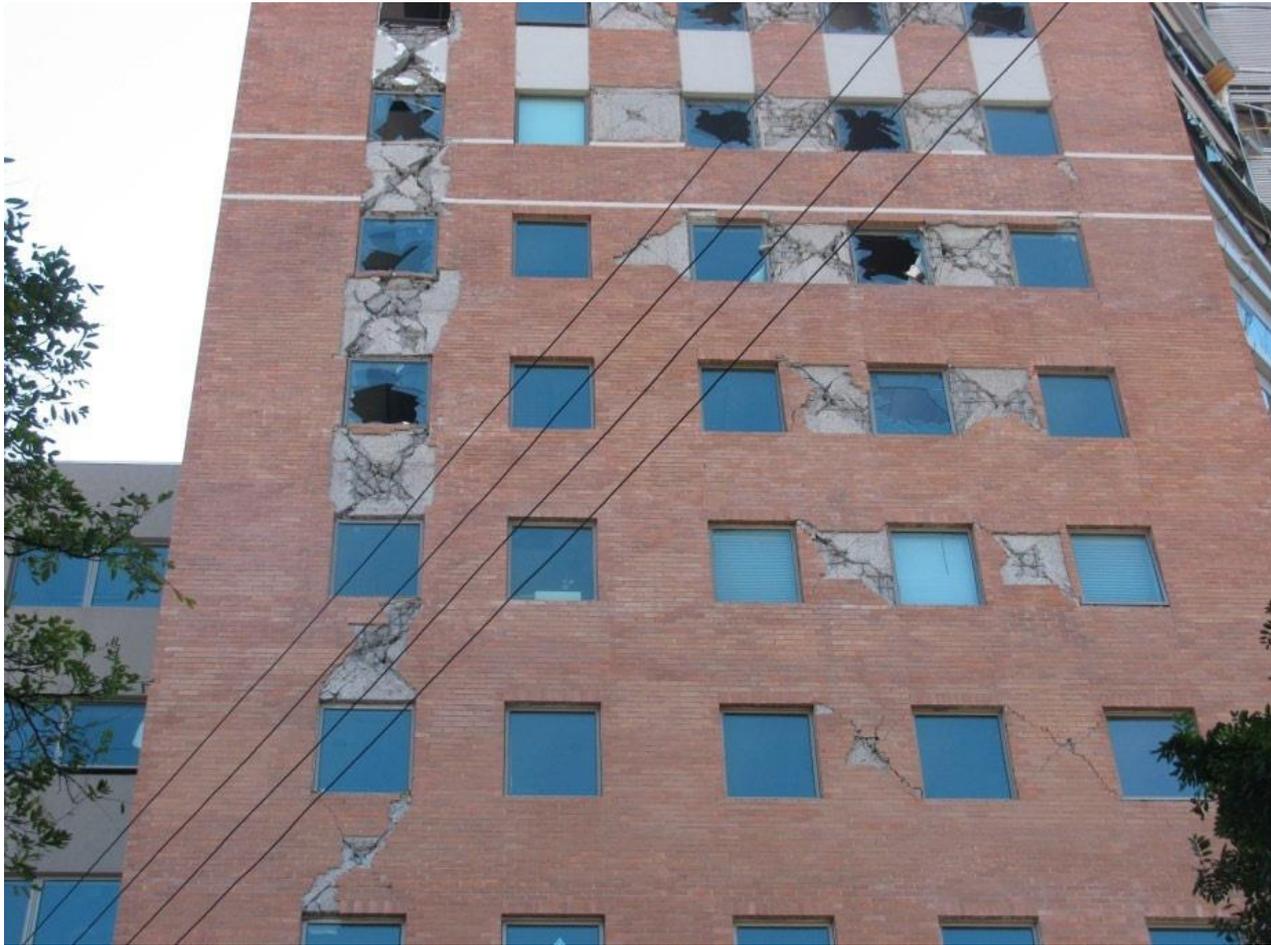
Edificio Don Tristán. Santiago.



Falla en dinteles Armadura de Corte Insuficiente



Falla de Edificio Concepción



Falla por Corte.

Efecto de columna corta. Una falla conocida que se repitió.



Falla por exceso de compresión



Problemas de Confinamiento



Fotos Carl Luders



Errores de Diseño

Falta de confinamiento y gran densidad de barras gruesas verticales.



Foto Carl
Luders

Problemas de Anclajes Deficientes



Problema de
Especificación
de Plano y/o
Detallamiento



Foto Carl
Luders



Problemas de Anclajes Deficientes

Problema de
Diseño.
Imposible
construir bien
lo diseñado

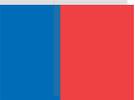


Nota: Foto Carl Luders. Seminario MOP

Muros especiales y espesor mínimo de muro.

- Muros con gran nivel de compresión
- Discontinuidad de Muros: Muros estructurales desaparecen en primer piso o en subterráneos
- Muros no confinados en bordes
- Espesores de muros muy delgados
- Formación de muros en T

Falla en cabezal de Muro por Compresión y Flexión



Pandeo de Barras por Flexo-Compresión

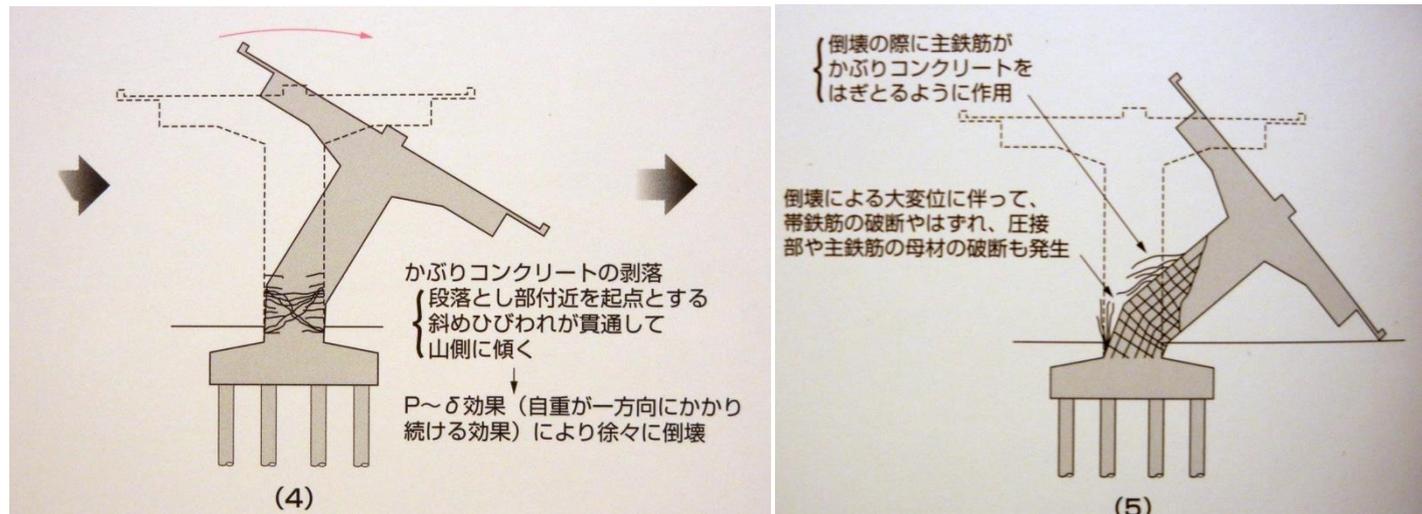
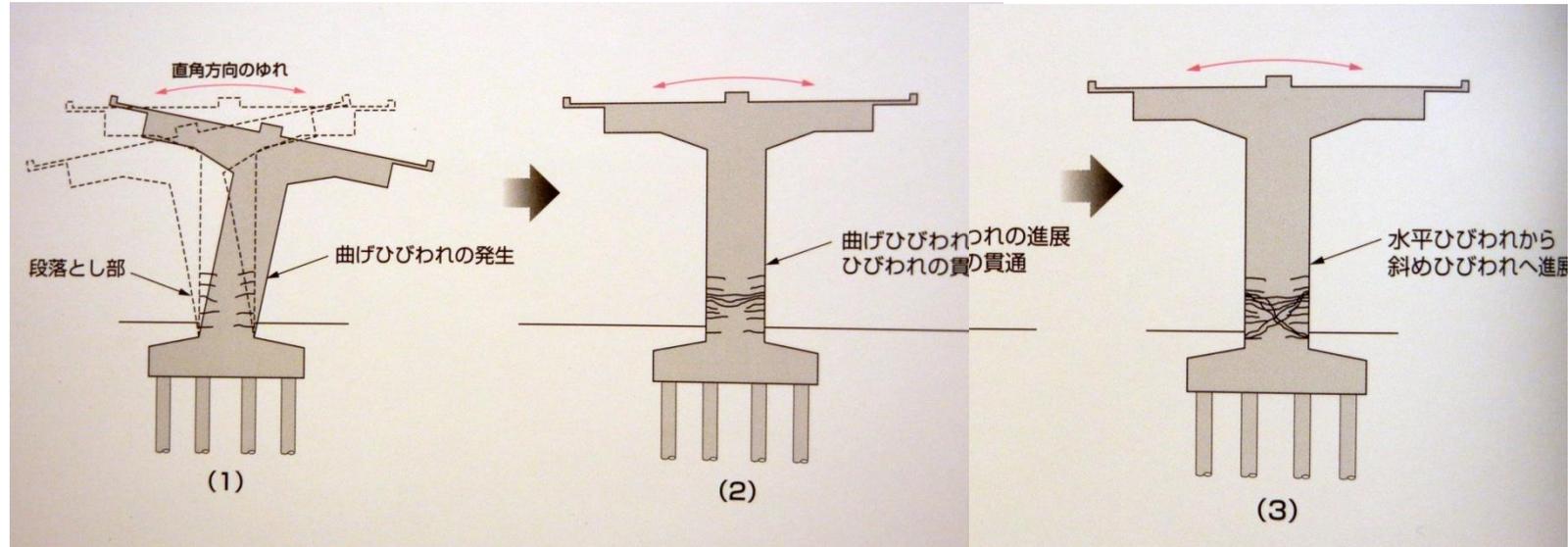


En este terremoto se observó que algunos muros de hormigón armado en edificios altos tomaron bastante compresión con el colapso del cabezal del muro, los que la norma llama muros especiales.

Casos de Puentes en Japón. Falla por confinamiento de estribos.



Casos de Puentes en Japón. Falla por confinamiento de estribos.





3. IMPORTANCIA DE LA FALLA



Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.

El **grado de daño sísmico** de un elemento estructural depende de su patrón de lesión estructural. En general, este patrón se manifiesta cuando el hormigón se parte o quiebra en algún punto del elemento con características que indican su tipo de falla.

La falla puede ser:

- i. **Dúctil**
- ii. **Frágil.**

Por otro lado, cuando el hormigón se quiebra, dependiendo del ancho de quiebre se tienen dos clasificaciones gruesas:

- a) **Grietas.** Separación mayor o igual a 3 mm.
- b) **Fisuras.** Separación menor a 3 mm. Estas a su vez pueden ser estructurales o no estructurales.

Equipos y Herramientas de Terreno. Medidor de Fisuras



Es útil contar con una herramienta de medición que permita poder verificar el espesor de fisura (o grieta)

Criterios para Clasificación de Daños.

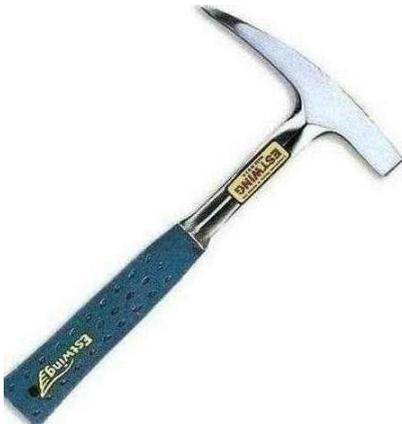
La clasificación de daños se basa en conocer o estimar el ancho de fisura, y con ello estimar el nivel de daño de los elementos verticales para poder juzgar el daño estructural. Se presenta una tabla a modo de referencia para trabajo de terreno, basado en los criterios definidos en Japón, NILIM, MLIT, BRI.

Nivel de daño de columnas y muros de carga	Descripción del daño basado en el ancho de grieta o fisura
I	Las grietas son invisibles desde una distancia remota (ancho $\leq 0,2$ mm)
II	Grietas visibles a simple vista del ojo (ancho entre 0,2 y 1 mm)
III	Grietas relativamente grandes, con una pequeña cantidad de hormigón caída o exfoliado (ancho entre 1 a 2 mm)
IV	Hay muchas grietas grandes (ancho ≥ 2 mm) con desprendimiento del recubrimiento de hormigón y armadura de acero expuesta en un área amplia
V	Las barras de refuerzo de acero están pandeadas, y el núcleo de hormigón se desintegra y separa el refuerzo de acero. La columna (o muro de carga) se ve aparentemente deformada en las direcciones horizontal y vertical, con hundimientos o inclinación. En algunos casos las barras de acero están quebradas.

Equipo de Terreno para Trabajos de Inspección Rápida Post-Desastres



Plomada o Hilo de Plomo

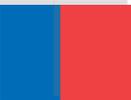


Martillo de Geólogo



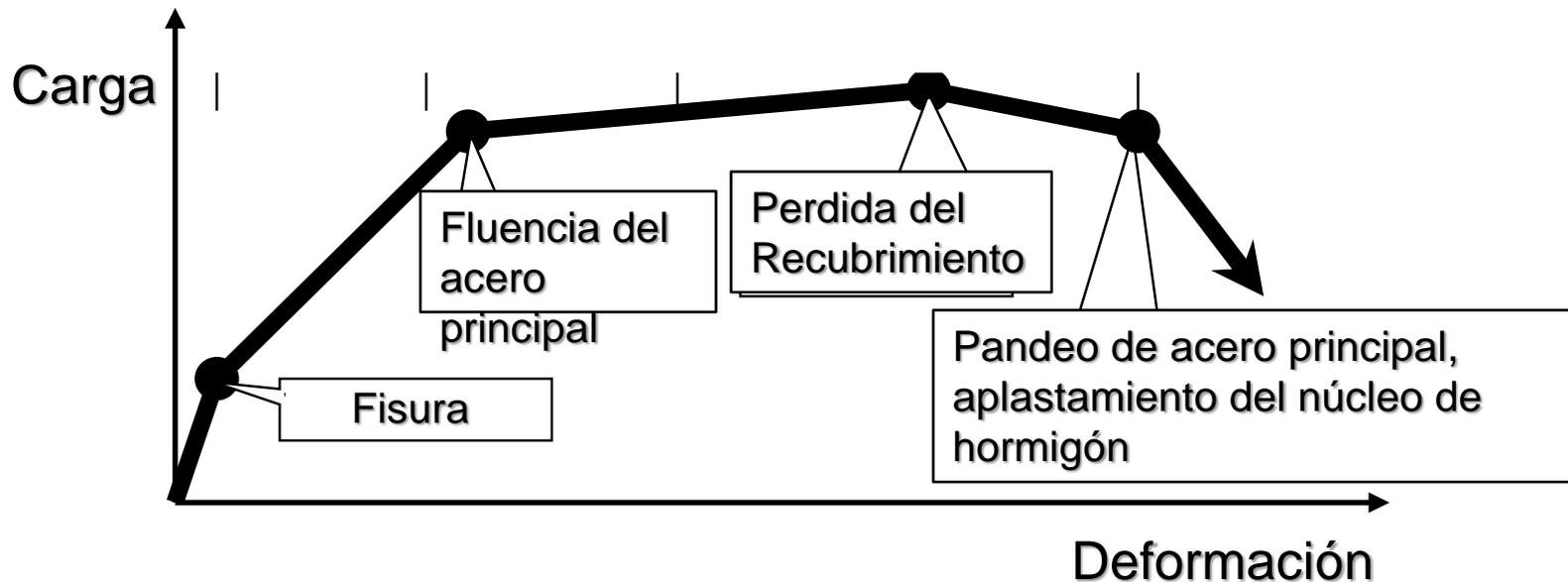
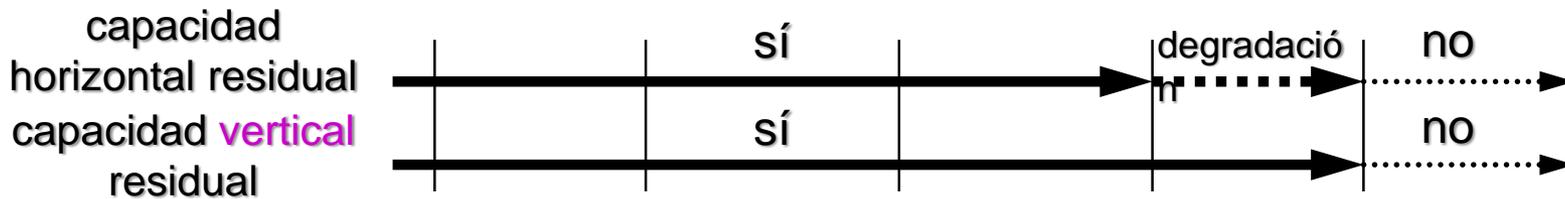
Lente de Seguridad con protección lateral

Incluir además casco, guantes delgados y zapatos de seguridad



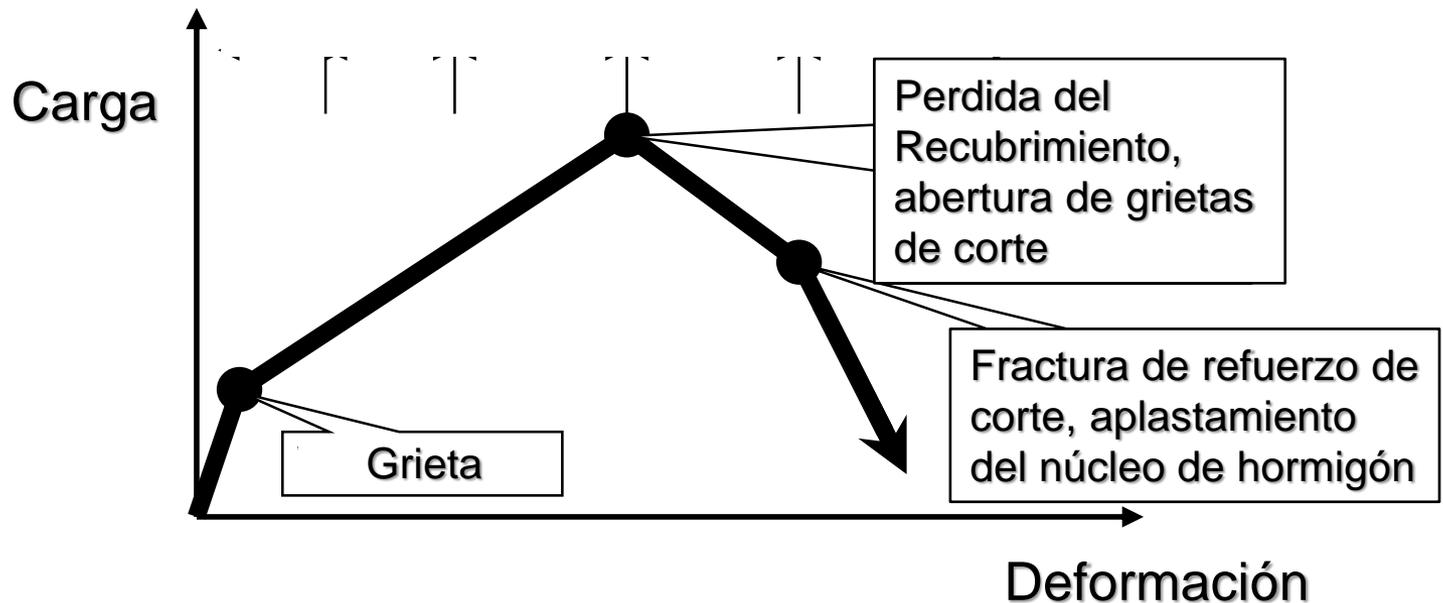
Inspección del grado de daño en cada elemento

- ✓ Falla dúctil. (Elemento con gran capacidad de deformación inelástica : flexión dominante)



Inspección del grado de daño en cada elemento

- ✓ Falla frágil. (Elemento con pequeña capacidad de deformación inelástica : corte dominante)



Formación de Rótula Plástica en Muro



Nota: Foto
Fernando Yáñez
Semin ICH

Inspección del grado de daño en cada elemento. Falla Frágil.



Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.



El grado de daño sísmico de un elemento estructural de un edificio puede clasificarse:

- Muy Leve
- Leve
- Moderado
- Severo



Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.



- **Daño Muy Leve:** Fisuras menores, sin deformaciones, sistemas operando sin problemas.
- **Daño Leve,** incluye daños menores, fisuras apreciables pero muy leves, y pequeñas grietas que no incurren en deformaciones residuales ni tampoco generan degradación de la estructura. Se aprecia que el trabajo del elemento fue eminentemente en rango elástico. No hay fisuras de corte que se extiendan en toda la diagonal del muro.



Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.

- **Las fisuras** son normales en hormigón y **no necesariamente** representan daño estructural.
- En el diseño de elementos de H.A. se desprecia la resistencia a la tracción del hormigón, porque es precaria e incierta.
- Mientras el hormigón no esté fisurado la deformación del refuerzo es igual a la deformación del hormigón:
 - **$\epsilon_c = \epsilon_s$**
 - **$f_c/E_c = f_s/E_s$**
 - **$f_s = (E_s/E_c)f_c = n f_c = n f_R \approx 10 * 35 = 350 \text{kg/cm}^2$**

Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.

- Por lo tanto, la armadura de acero toma muy poca carga mientras no se fisure el hormigón.
- Fisuras de ancho notorio podrían indicar que el refuerzo superó la tensión de fluencia.
- Si el ancho de las fisuras es $\geq 0,3$ mm es conveniente inyectar las fisuras con resina epóxica que entregue monolitismo. Debe tener una resistencia superior al del hormigón circundante. Su objetivo es prevenir la corrosión de las armaduras.
- Inyectar a presión desde abajo hacia arriba para evitar bolsas de aire atrapado.
- Las losas se pueden inyectar por gravedad.

Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.



Fisuras que no necesariamente representan daño estructural:

- Fisuras menores de flexión en vigas, columnas y losas.
- Fisuras menores de corte en vigas, columnas y muros que no atraviesan la cabeza de compresión.
- Fisuras menores de corte en nudos.
- Fisuras en puntos singulares de muros.



Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.



- **Daño Moderado** se aprecia que el recubrimiento de concreto está notoriamente fisurado, las fisuras tienen un ancho de 2 mm aprox, como para que quepa una moneda. Aparecen fisuras diagonales de corte que cruzan el espesor del muro y van de extremo a extremo.



Daño sísmico estructural moderado.

✓ Fisuras de corte menores



El **recubrimiento de** concreto está notoriamente agrietado, las grietas tienen un ancho de 2mm aprox.



Fisura diagonal de 2mm de ancho aproximadamente en el muro, pero **casi no tiene** desprendimiento de concreto.

Evaluación del daño sísmico y decisiones sobre la recuperación estructural.



Daño Severo. Incluye,

- Desprendimiento del recubrimiento de concreto.
- Armadura expuesta a la vista.
- Hormigón molido
- Barras de acero pandeadas
- Barras de acero cortadas
- Estribos desarmados.
- Grietas en hormigón.
- Desaplomes mayores a los admisibles.



Daño sísmico severo.

- ✓ Barras de acero a la vista y hormigón de recubrimiento exfoliado



Se ve bastante caída de concreto, se ven las barras pero no se ven cortadas ni deformadas.



Se ve que el recubrimiento de concreto ha caído bastante, y que tienen varias grietas diagonales de más de 2mm, se ven las barras pero no se ven cortadas ni deformadas.

Daño sísmico severo.

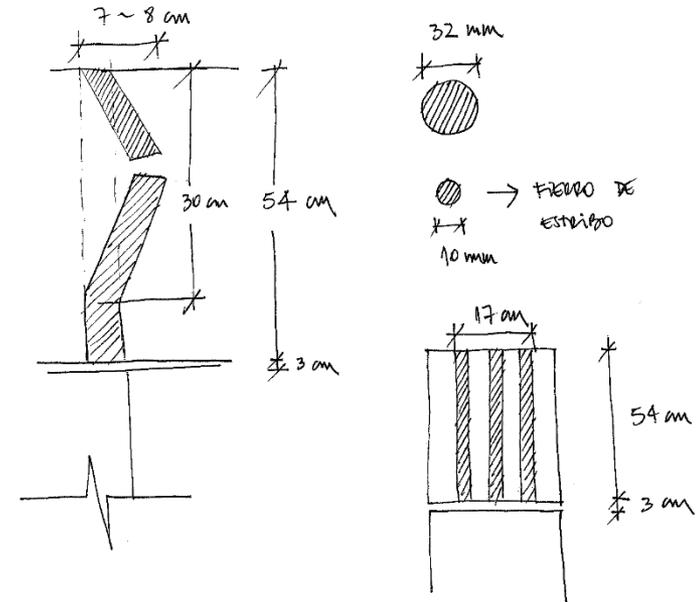
✓ Barras de acero a la vista y hormigón molido



Se ven colapsos de las barras centrales, y que ha colapsado el concreto interno. Se ve a simple vista deformación de las barras en sentido horizontal y en sentido vertical.

Se observa una gran grieta diagonal en el muro, se desintegra y cae el concreto, y se ve para el otro lado del muro.

Daño sísmico severo.



Consideraciones de terreno para la selección del método de refuerzo sismo-resistente

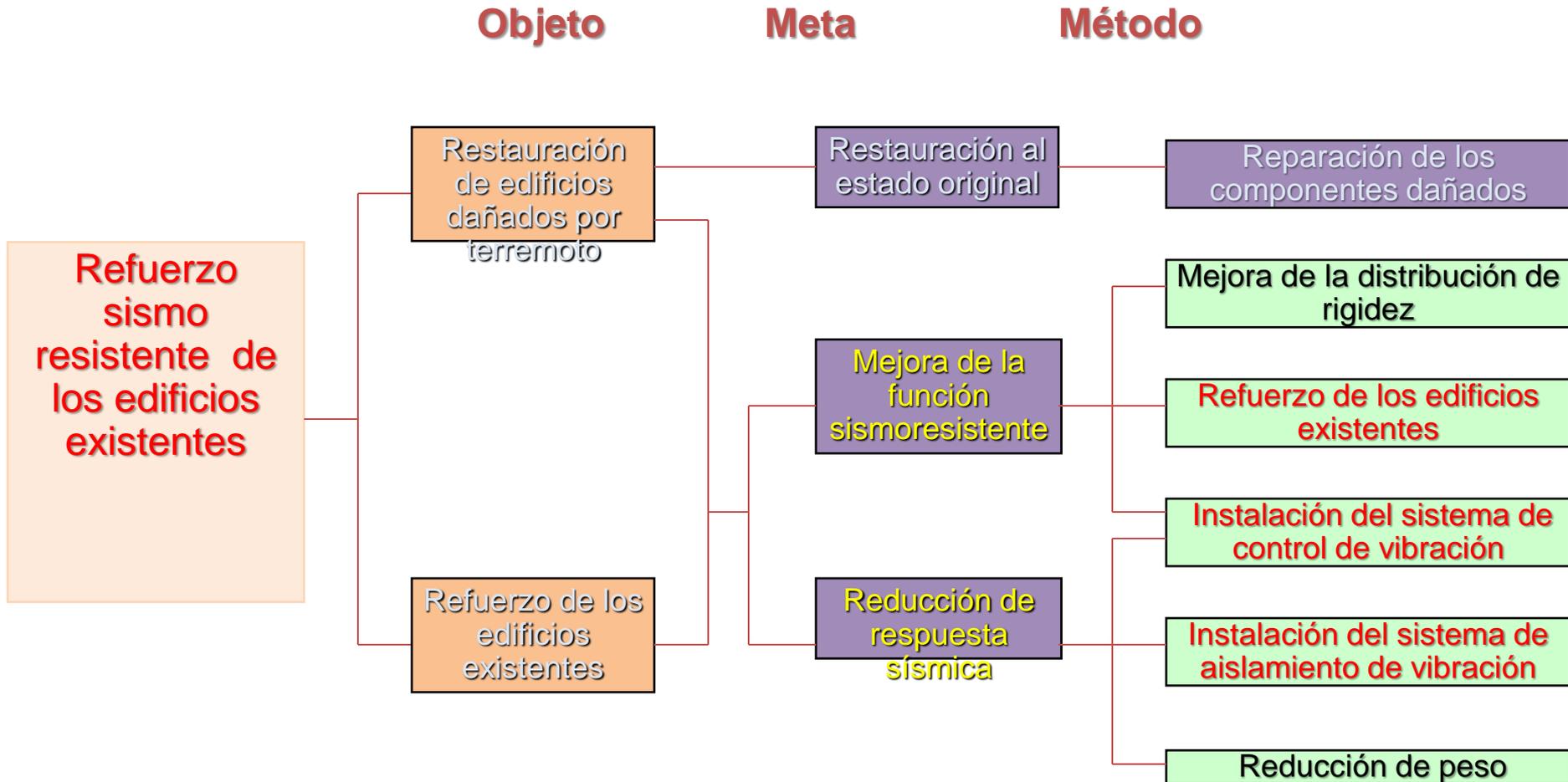
- Exigencia de la obra de recuperación estructural
- No interrumpir la **función del edificio**
- No **trasladar a los residentes durante las obras**
(Refuerzo debe hacerse con los inquilinos residentes, sólo se puede reordenar recintos temporalmente)
- No cambiar el diseño ni la fachada del edificio
- El **plazo de la obra debe ser corto**

Consideraciones de terreno para la selección del método de refuerzo sismo-resistente. Cont.

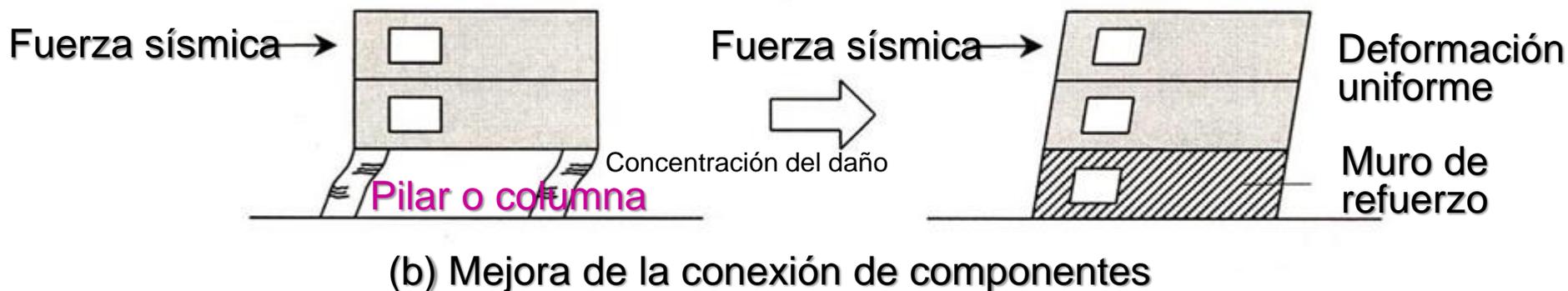
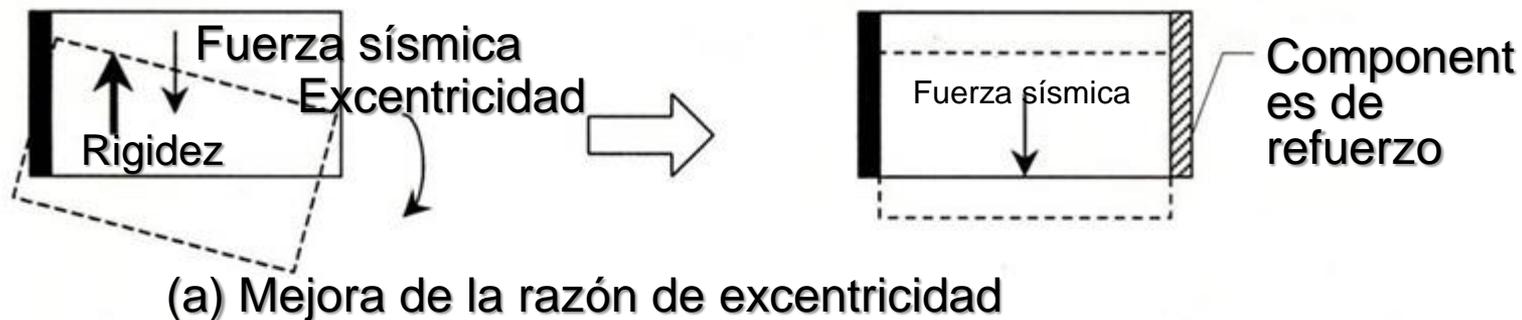
- Impacto de la obra de restauración
- **Impacto sobre la función del edificio** (Iluminación, línea de flujo, usabilidad)
- **Obstáculos asociados con la obra** (Ruidos, vibraciones, polvo, olor químico)
- **Impacto sobre la estructura del cimiento** (Aumento del peso del edificio)
- **Costo y periodo de la obra**



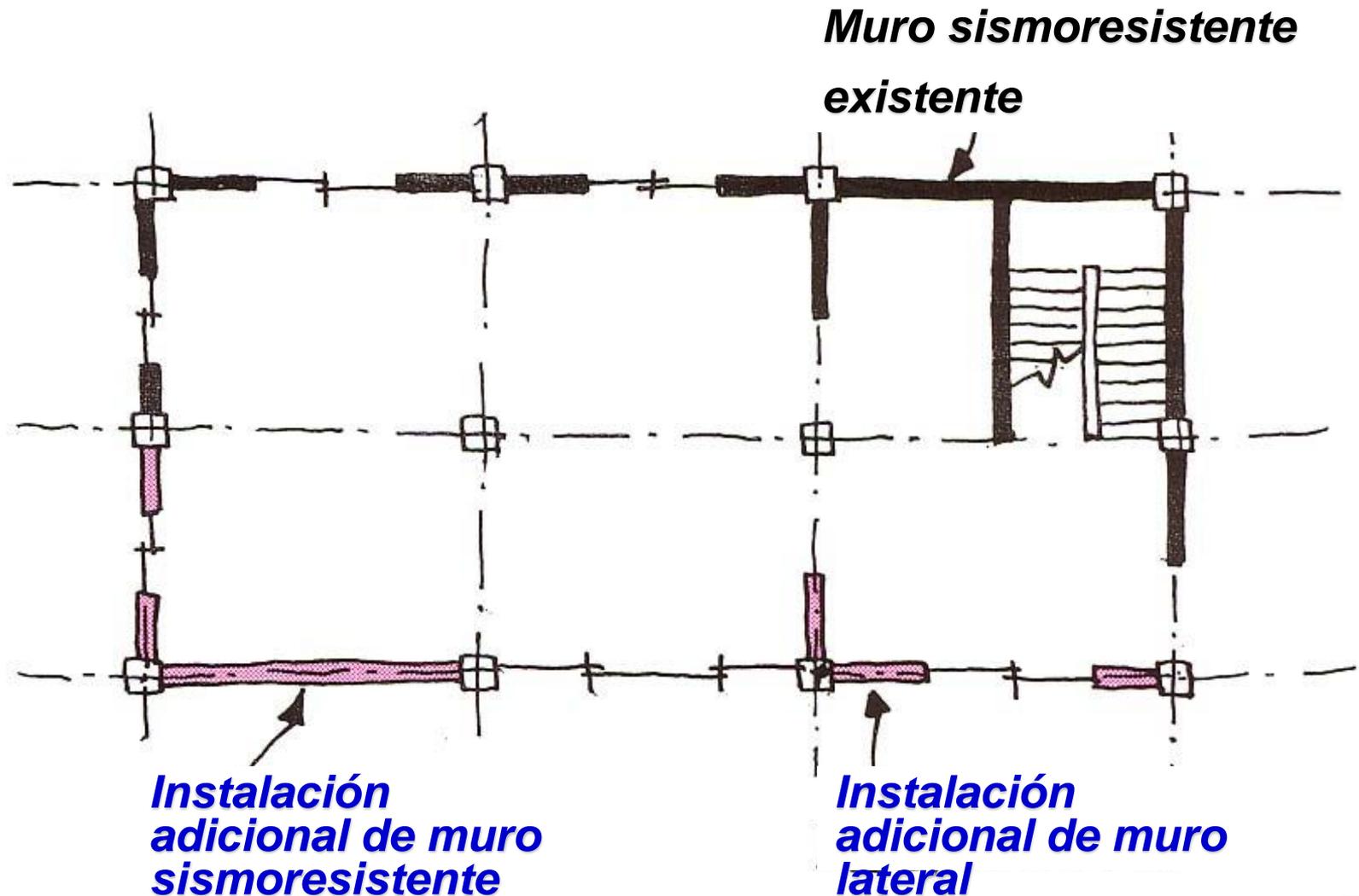
Estrategias para selección del método de reforzamiento sismoresistente



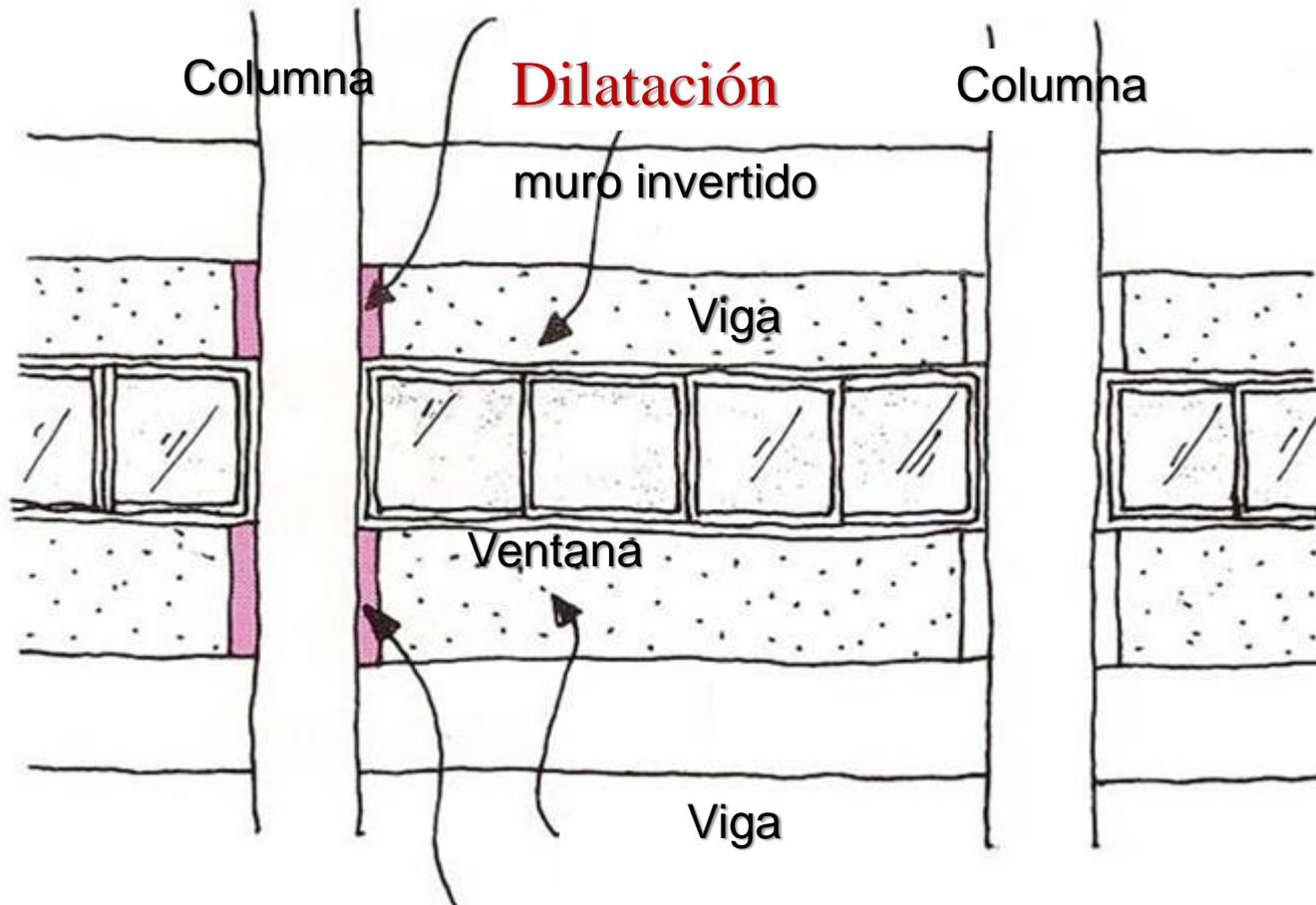
Mejoramiento del comportamiento dinámico de la estructura



Mejoramiento de la irregularidad en planta



Mejoramiento del modo de falla



Dilatación

Muro **antepecho**

(Anulación del efecto de la columna corta)

Daño en Estructuras Educativas Monte Patria Illapel Liceo San Rafael



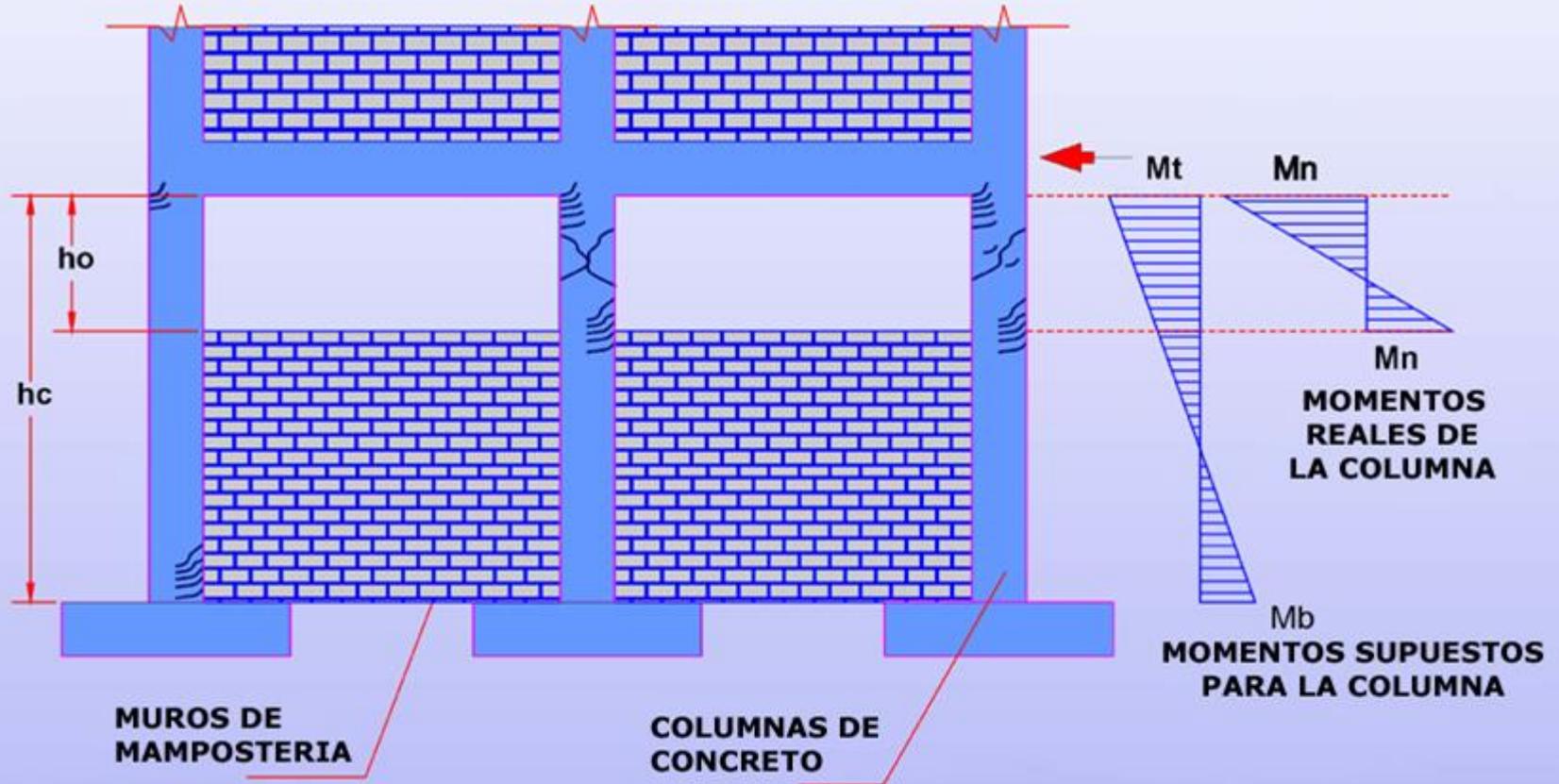
Daño en Estructuras Educativas

Monte Patria Illapel Liceo San Rafael



Daño en Estructuras Educativas

Monte Patria Illapel Liceo San Rafael

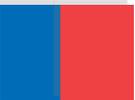


- Interacción de muros de albañilería con marco de concreto generando fallas por columnas corta





4. Alzaprimado y acciones de emergencia.



4. ALZAPRIMADO DE EMERGENCIA.

Estabilización Estructural de emergencia.

Antes de intervenir una estructura que esté muy dañada debe estabilizarse estructuralmente para poder luego repararla.

Debe muchas veces establecerse un proyecto de estabilización estructural que sostenga el edificio antes de repararlo.

Las técnicas clásicas son:

- Apuntalamiento.
- Alzaprimado
- Diseño de zonas de seguridad interior
- Diseño de sistemas de andamios de acceso que permitan sostener y estabilizar.
- Diseño de demoliciones parciales y controladas.

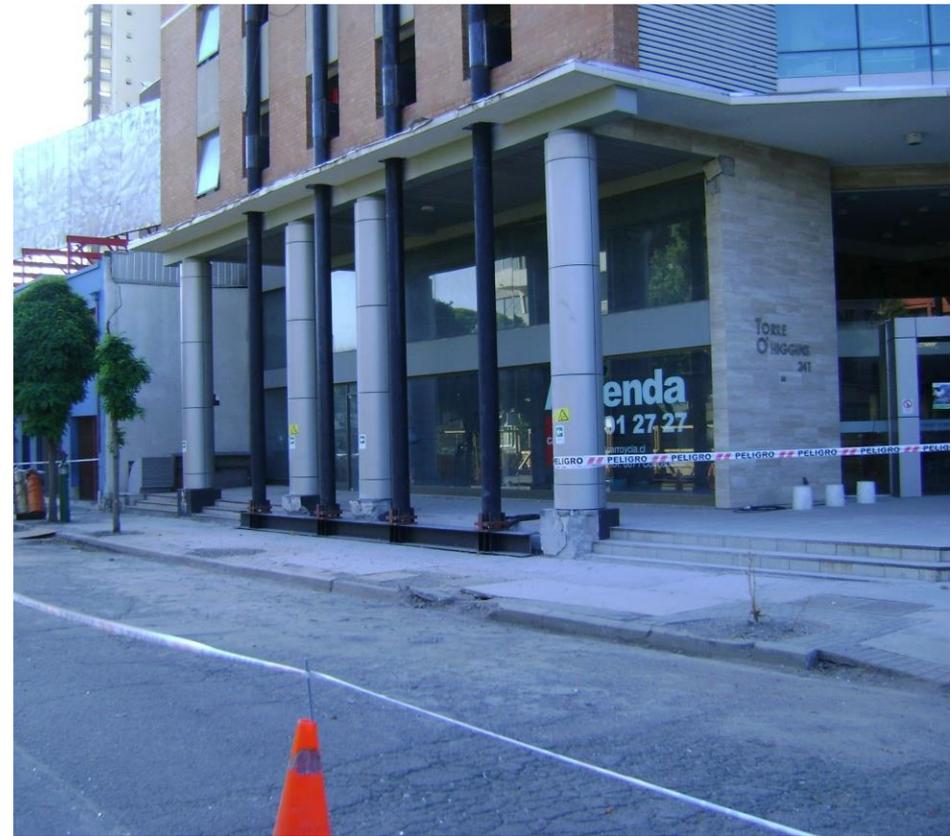
4. ALZAPRIMADO DE EMERGENCIA.

Para el alzaprimado de emergencia de edificios en altura es conveniente utilizar tubos Yoder, con capacidad $\approx 100\text{ton}$, que tienen un sistema especial de pernos Parker que permite darles una precarga controlada.



4. ALZAPRIMADO DE EMERGENCIA.

Alzaprimado de emergencia exterior



4. ALZAPRIMADO DE EMERGENCIA.

Detalles de placa base y viga de repartición de carga
Bajo la viga falta colocar grout de nivelación



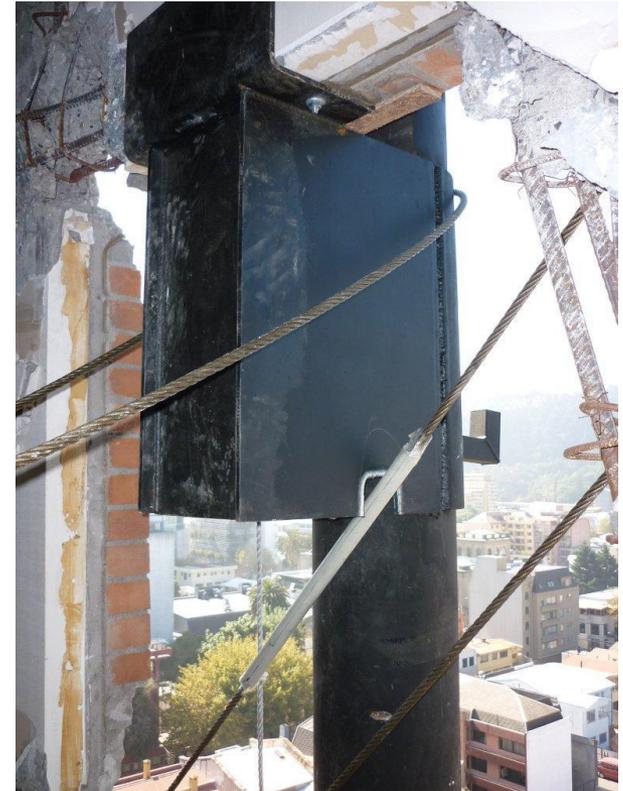
4. ALZAPRIMADO DE EMERGENCIA.

- Detalles de los anclajes en vanos de ventana.



4. ALZAPRIMADO DE EMERGENCIA.

- Arriostramiento postensado transversal y amarras de alzaprimas.

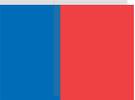


4. ALZAPRIMADO DE EMERGENCIA.





5. Alternativas de recuperación de estructural.



5. Alternativas de Recuperación Estructural

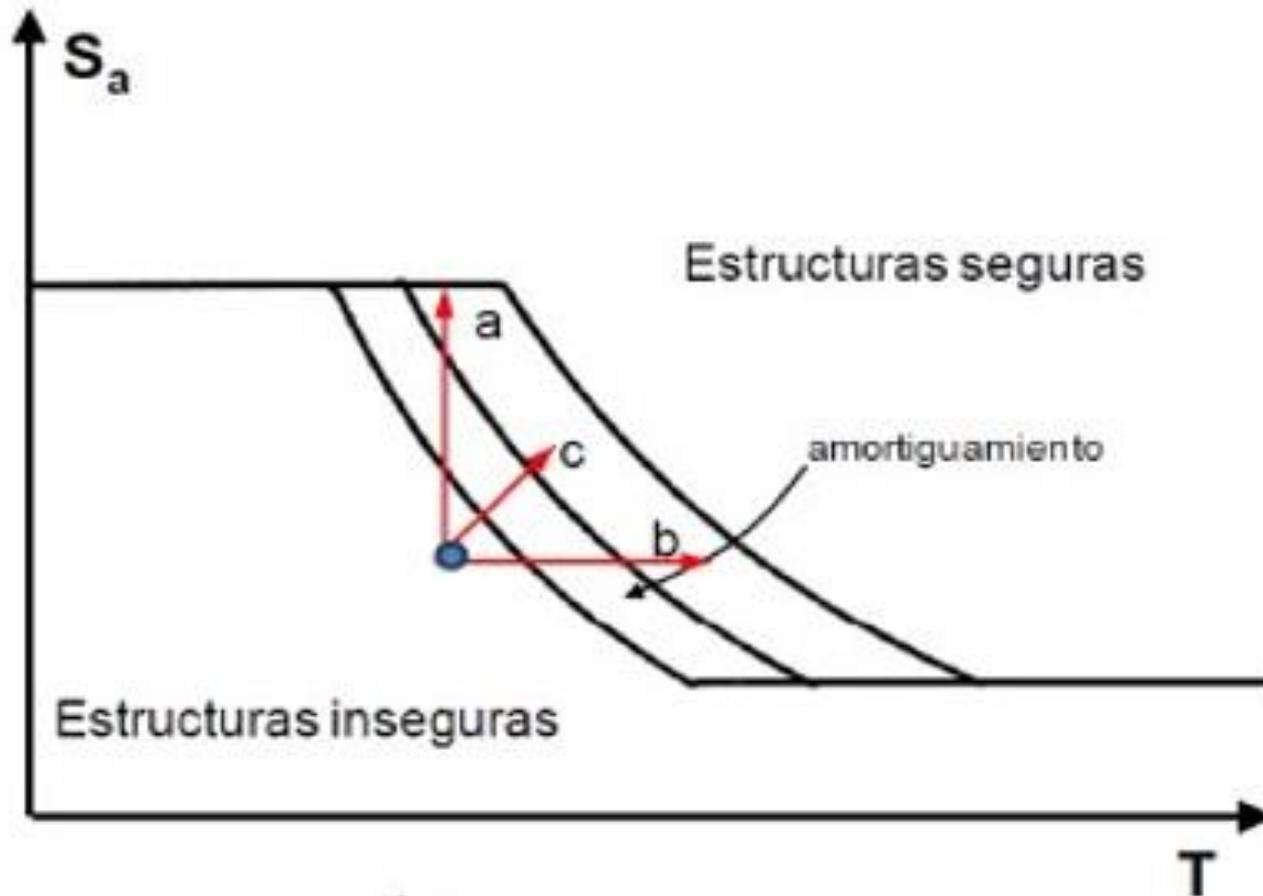
Las estructuras deben evaluarse con las normas actuales y verificar si tienen falta de capacidad y respuesta sísmica.

Las estructuras inseguras se pueden reforzar de cuatro maneras esencialmente distintas:

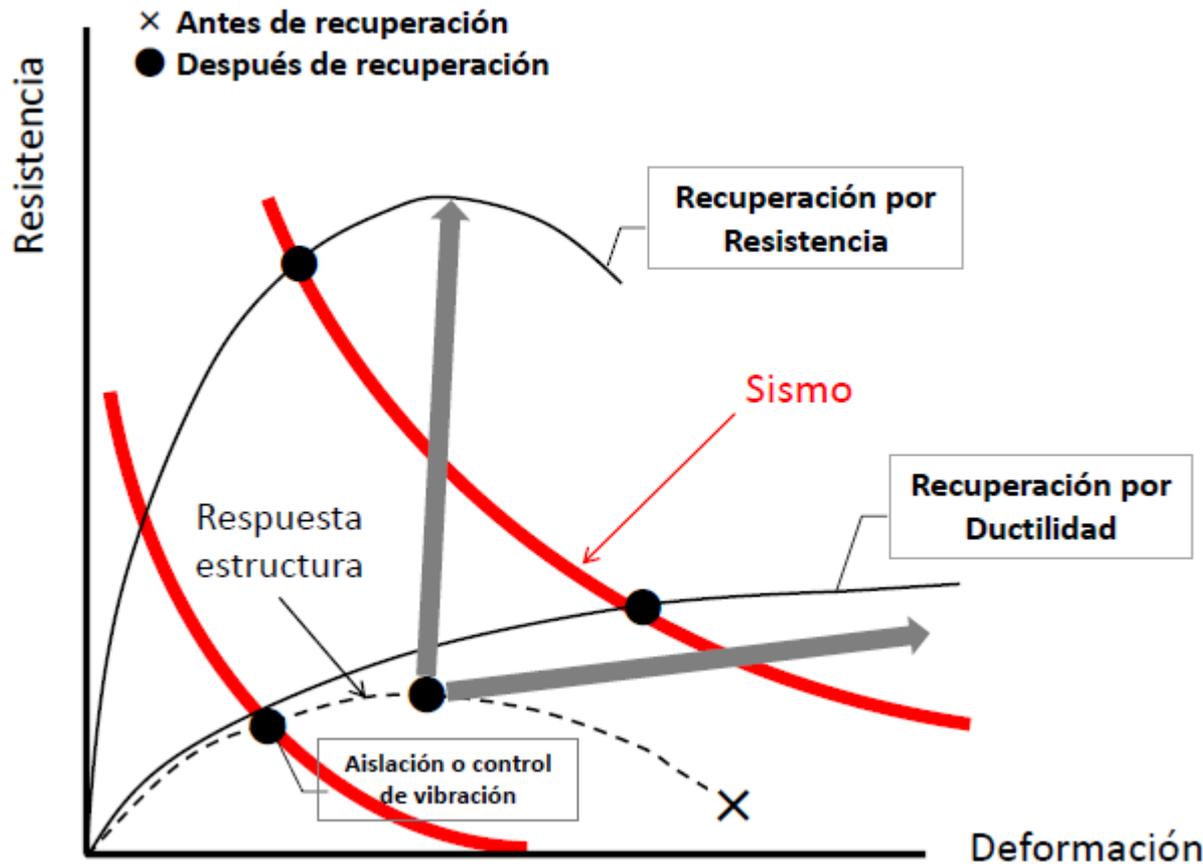
- a) Incrementando su resistencia.
- b) Incrementando su flexibilidad
- c) Incrementando su amortiguamiento
- d) Cualquier combinación de los casos anteriores.

5. Alternativas de Recuperación Estructural

Resistencia –Rigidez (flexibilidad) -Amortiguamiento.



Daño sísmico y Recuperación Estructural.

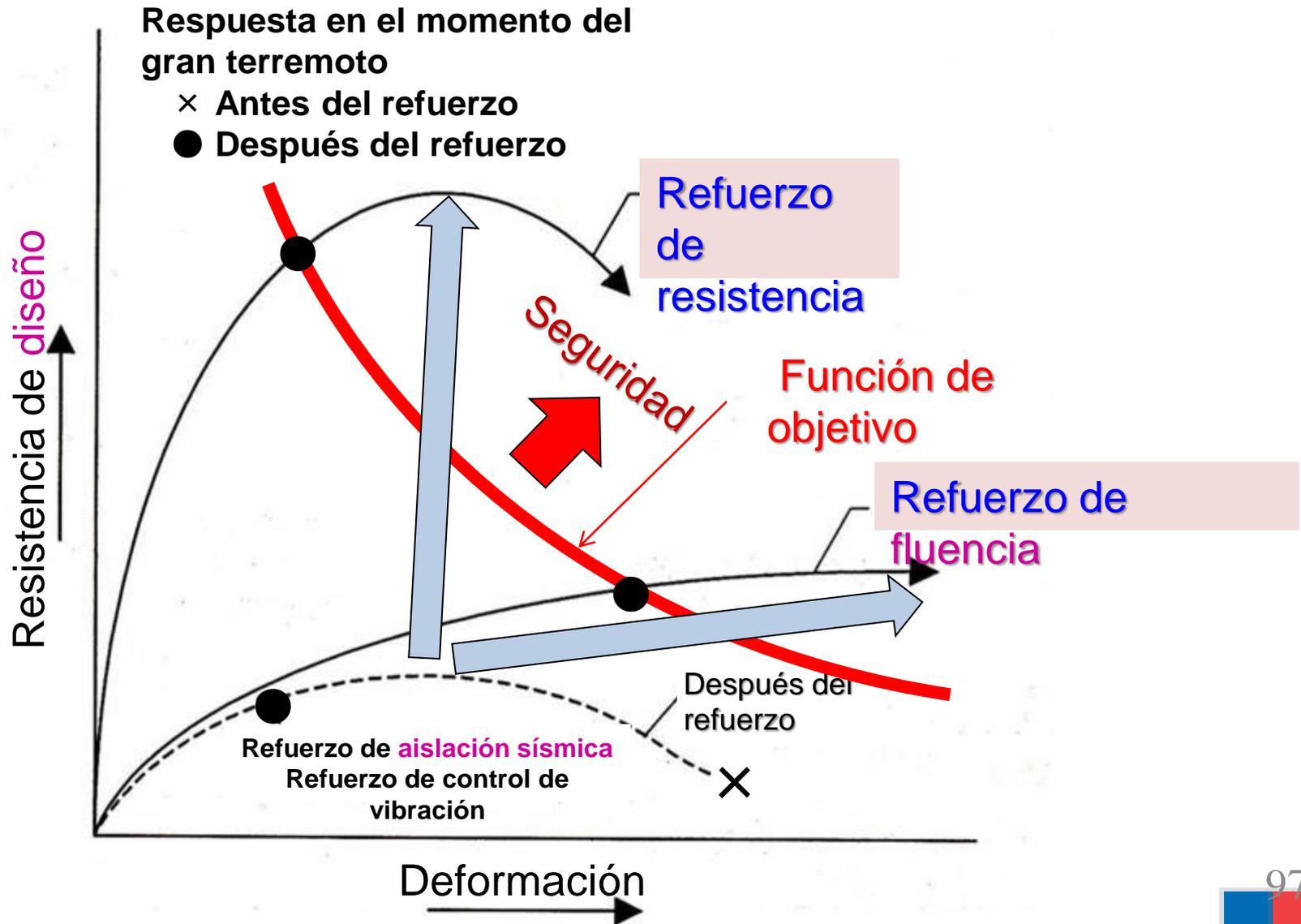


Así el criterio para decidir entre reparación y refuerzo es el que sigue:

5. Alternativas de Recuperación Estructural

- **-Resistencia**(ver sección 6).
- **-Rigidez (flexibilidad)**. Incorporación de aislación sísmica (Apoyos elastoméricos, péndulos de fricción, deslizadores, etc.)
- **-Amortiguamiento**. Incorporar elementos de disipación (Visco-elásticos, histeréticos, elastoméricos, masas sintonizadas, etc.)

Daño sísmico y Recuperación Estructural.





6. Algunos métodos de recuperación de resistencia



6. Métodos de Recuperación de resistencia

- 1) Rehormigonado de zonas dañadas.
- 2) Encamisado de muros y columnas.
- 3) Reemplazo de barras cortadas.
- 4) Refuerzo con fibra de carbono (láminas, telas).

5) AISLACIÓN SÍSMICA

<https://www.youtube.com/watch?v=hqnrqKK4M1M>

6.1 Rehormigonado de zonas dañadas.

- Eliminar todo el hormigón dañado, suelto y molido.
- Las superficies del hormigón endurecida que entrarán en contacto con hormigón fresco deben ser rugosas con los áridos gruesos expuestos limpios, sin polvo ni suciedad.
- Las superficies del hormigón endurecida deben humedecerse con agua limpia y quedar en condición saturada superficialmente seca (SSS).
- La conveniencia del uso de puentes de adherencia y aditivos expansivos es discutible.

6.2 Anclaje de barras de refuerzo.

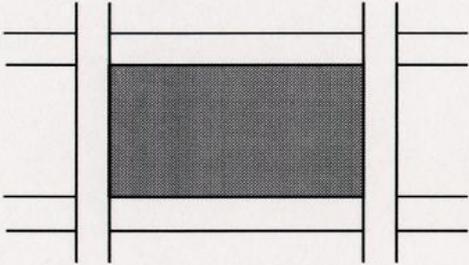
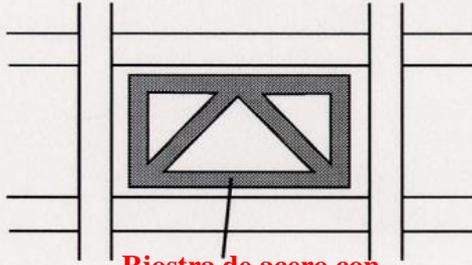
- Las barras de acero de refuerzo se pueden anclar en forma efectiva al hormigón mediante anclajes químicos.
- El anclaje debe probarse a tracción y no desprenderse del sustrato.
- Para obtener buenos resultados se deberá tener presente:
 - Perforación en el hormigón entre 4 y 6 mm $>$ diámetro de la barra.
 - Profundidad de la perforación = 15 diámetros de la barra.
 - La limpieza de la perforación debe ser muy buena (escobillar y aspirar).
 - Limpieza de la barra a metal blanco.
 - Embetunar perforación y barra.
 - Usar resina epóxica Hilti RE-500 ó Sikadur 31 ó equivalente.
- Efectuar ensayos de control previos a la instalación en obra y de control periódico, en caso de instalación masiva.

6.3 Encamisado de columnas y muros.

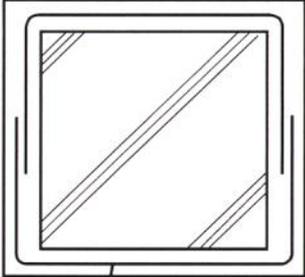
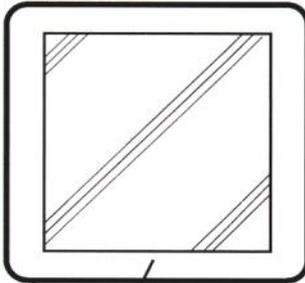
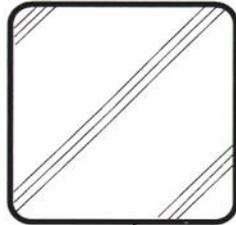
El objetivo de esta técnica es incrementar la resistencia axial, de flexión y de corte de columnas y muros.

- El encamisado se puede hacer con hormigón vaciado en sitio o bien con hormigón proyectado (shotcrete).
- Es importante considerar que generalmente el enchapado no queda con la carga axial del diseño original.
- El anclaje del enchapado al muro es fundamental.
- El uso de puentes de adherencia epóxicos, aditivos fluidificantes y aditivos expansivos es discutible.

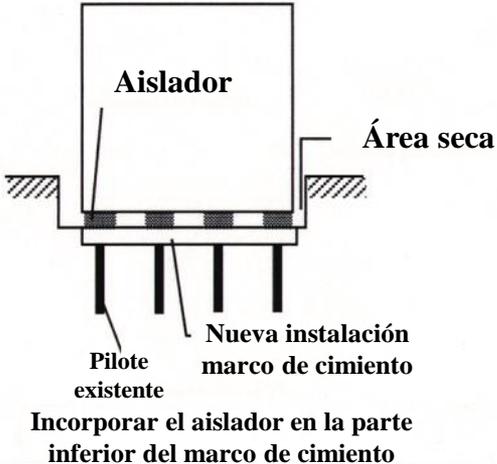
Refuerzo de la resistencia de la armazón existente

	<i>Expansión del muro</i>	<i>Marco de acero reforzado</i>	<i>Mega estructura</i>
Resumen del método	 <p>Expansión de la muro dentro de la armazón existente</p>	 <p>Riostra de acero con marco</p> <p>Incorporación de riostra de acero dentro de la armazón existente</p>	 <p>Mega estructura</p> <p>Edificio</p> <p>Pilote instalado</p> <p>Instalación de estructuras rígidas (riostra, armazón, etc.) fuera del edificio</p>
Edificios adecuados	<p>Edificios con muchos muros no estructurales</p> <p>Edificios con suficiente margen en la estructura del cemento</p>	<p>Aplicable a diversos edificios</p>	<p>Edificios cuyo interior no puede reforzarse</p> <p>Edificios con suficiente margen de terreno</p>
Puntos a observarse	<p>Aumento del peso de edificio</p> <p>Impacto sobre la función del edificio (iluminación, línea de flujo)</p>	<p>Es posible la instalación en caso de abertura pequeña,</p>	<p>Se requiere un gran espacio en el exterior del edificio</p>
Trabajabilidad	<p>Buena</p>	<p>Un poco complicada</p>	<p>La obra es de gran escala</p>
Función estructural	<p>Buena</p>	<p>Buena, se puede esperar también tenacidad</p>	<p>Buena</p>
Costo	<p>Bajo costo</p>	<p>Costo mediano</p>	<p>Alto costo</p>

Método de refuerzo de capacidad de una columna

	Revestimiento de RC	Revestimiento de plancha de acero	Revestimiento de fibra continua
Resumen del método	 <p>Nervio de refuerzo lateral</p> <p>Reforzar la columna existente con concreto y barras de refuerzo</p>	 <p>Plancha de acero</p> <p>Relleno de mortero</p> <p>Enrollar La columna existente con plancha de acero y relleno de mortero</p>	 <p>Lámina de fibra continua</p> <p>Enrollar La columna existente con lámina de fibra</p>
Edificios adecuados	Edificios con pocas muros	Edificios con pocas muros	Edificios con pocas muros
Puntos a observarse	<p>Se necesita encofrado. Se requiere tiempo de curado</p> <p>Ampliación del perfil del columna</p> <p>Aumento del peso de la columna</p>	<p>Trabajo de soldadura en el sitio</p> <p>Transporte y tratamiento de la plancha de acero</p>	<p>Incendio, golpe</p> <p>Reacondicionamiento de esquinas de la columna</p>
Periodo de construcción	Largo	Corto	Corto
Función estructural	Buena	Buena	Buena
Costo	Bajo costo	Alto costo en comparación con el revestimiento de RC	Alto costo en comparación con el revestimiento de RC

Método de refuerzo sismoresistente del control de respuesta

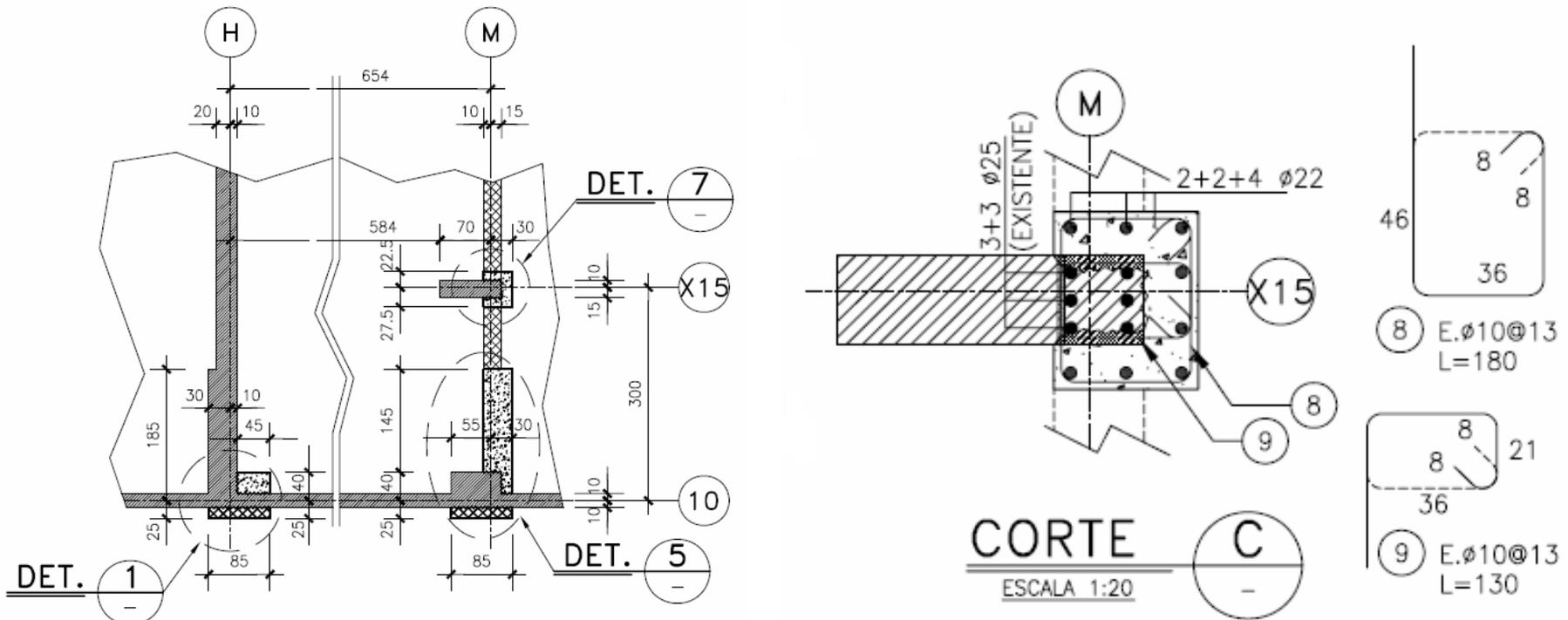
	<i>Refuerzo de aislamiento sísmico</i>	<i>Refuerzo de control sísmico</i>
<i>Resumen del método</i>	 <p>Incorporar el aislador en la parte inferior del marco de cemento</p>	 <p>Incorporar el amortiguador en el interior del marco</p>
<i>Edificios adecuados</i>	Edificios de alta resistencia Edificios con alta exigencia en el diseño y función	Edificios de baja resistencia Edificios con alta exigencia en el diseño y función
<i>Puntos que deben observarse</i>	Capacidad de responder a la deformación sísmica en la circunferencia externa Se requiere espacio	Se requiere riostra para la instalación del amortiguador, etc.
<i>Trabajabilidad</i>	Se hace grande la obra	Se hace grande la obra por la instalación del marco
<i>Función estructural</i>	Muy buena	Excelente
<i>Costo</i>	Alto costo por construcción de gran escala	Costo un tanto alto por la instalación del marco para el amortiguador

Casos de Puentes en Japón. Falla por confinamiento de estribos



6.3 Encamisado de columnas.

Se usa para incrementar la resistencia axial, de flexión y de corte de columnas.



6.3 Encamisado de columnas y borde de muros.

Se usa para incrementar la resistencia axial, de flexión y de corte de columnas.



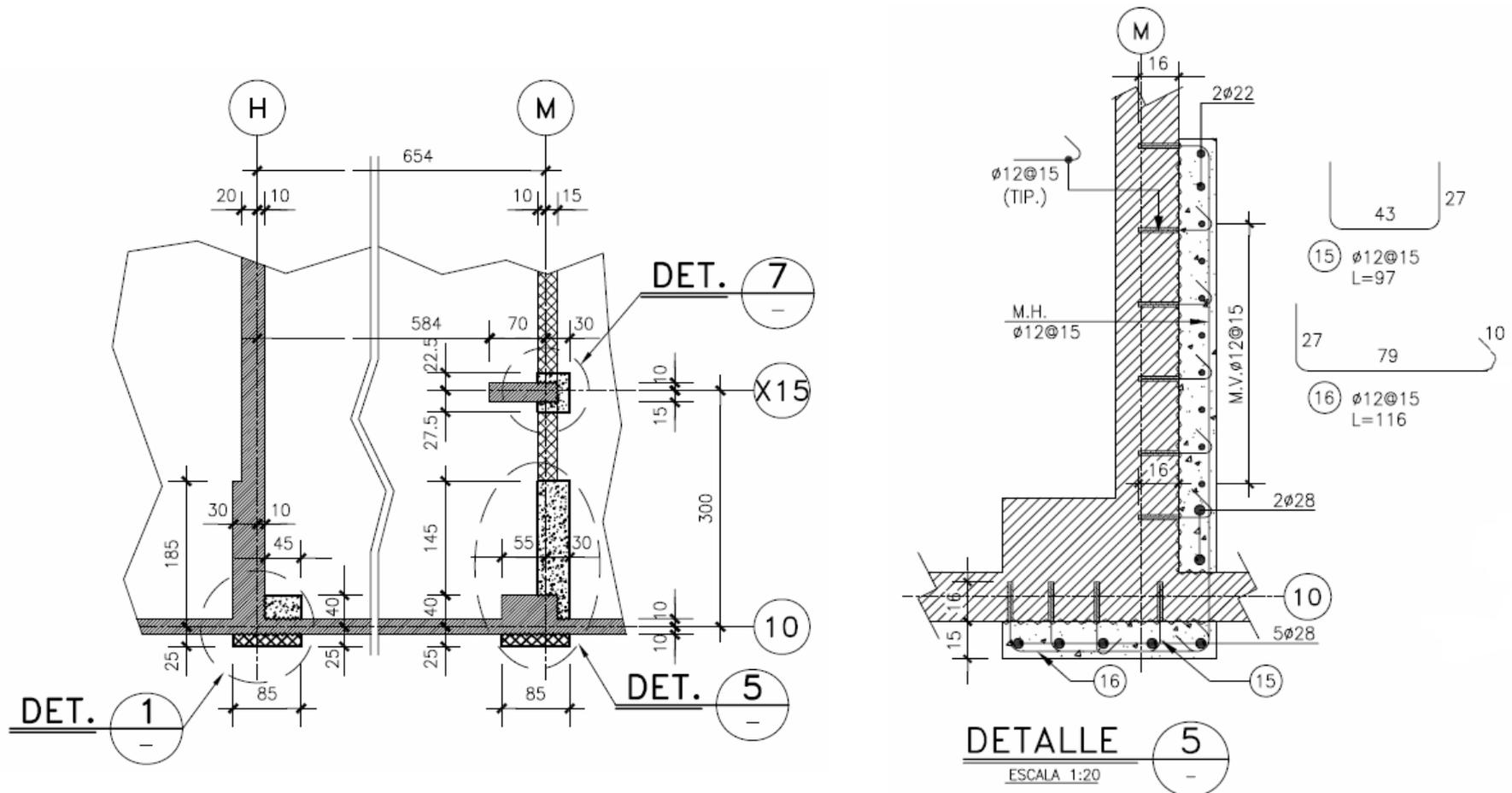
Foto Arturo Castillo



Foto Arturo Castillo

6.3 Encamisado de muros.

Se usa para incrementar la resistencia axial, de flexión, de flexión fuera del plano (vaciamiento) y de corte muros.



6.3 Encamisado de muros.

Se usa para incrementar la resistencia axial, de flexión y de corte en muros.



Foto Arturo Castillo

6.3 Encamisado de muros con shotcrete.



Foto Felipe Cantillano

6.4 Refuerzo con láminas y telas de fibra de carbono.

- El refuerzo con fibra de carbono para Concreto Reforzado se basa ACI-440.2R-02 “Diseño y construcción de refuerzos con FRP
- El uso es muy conveniente para tomar esfuerzos de tracción, se usa para incrementar la resistencia a flexión y corte en vigas, columnas, muros y losas; confinamiento de columnas de sección circular.
- Sus propiedades más atractivas son:
 - Alta resistencia a la tracción (sobre 30.000 kg/cm²). (comportamiento elástico frágil).
 - Colocación fácil, rápida y limpia.
 - Solamente para cargas vivas.
 - Muy vulnerable a los incendios.

6.4 Refuerzo con láminas y telas de fibra de carbono.

- **Alcances:**
- El empleo de sistemas FRP o Fiber Reinforced Polymers, se refiere principalmente al empleo de perfiles y mantas de fibra de carbono para el refuerzo estructural, para lo cual se recomienda referirse a la Guía de diseño del ACI 440 2R “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete structures”.
- **Materiales:**
- **Perfiles de fibra de carbono (pletinas), tela de fibra de carbono, adhesivo epóxico.** Se trata básicamente de bandas o tejidos de fibras de carbono de elevada resistencia a la tracción y al corte.

6.4 Refuerzo con láminas y telas de fibra de carbono.

- **Procedimientos:**
- **Tratamiento de la superficie de hormigón:** eliminación de recubrimientos, eliminación de lechada superficial, desbaste de nivelación.
- **Aplicación del adhesivo epóxico en ambas caras:** hormigón y pletina o tela de fibra de carbono.
- Instalación del refuerzo.

6.4 Refuerzo con láminas y telas de fibra de carbono.



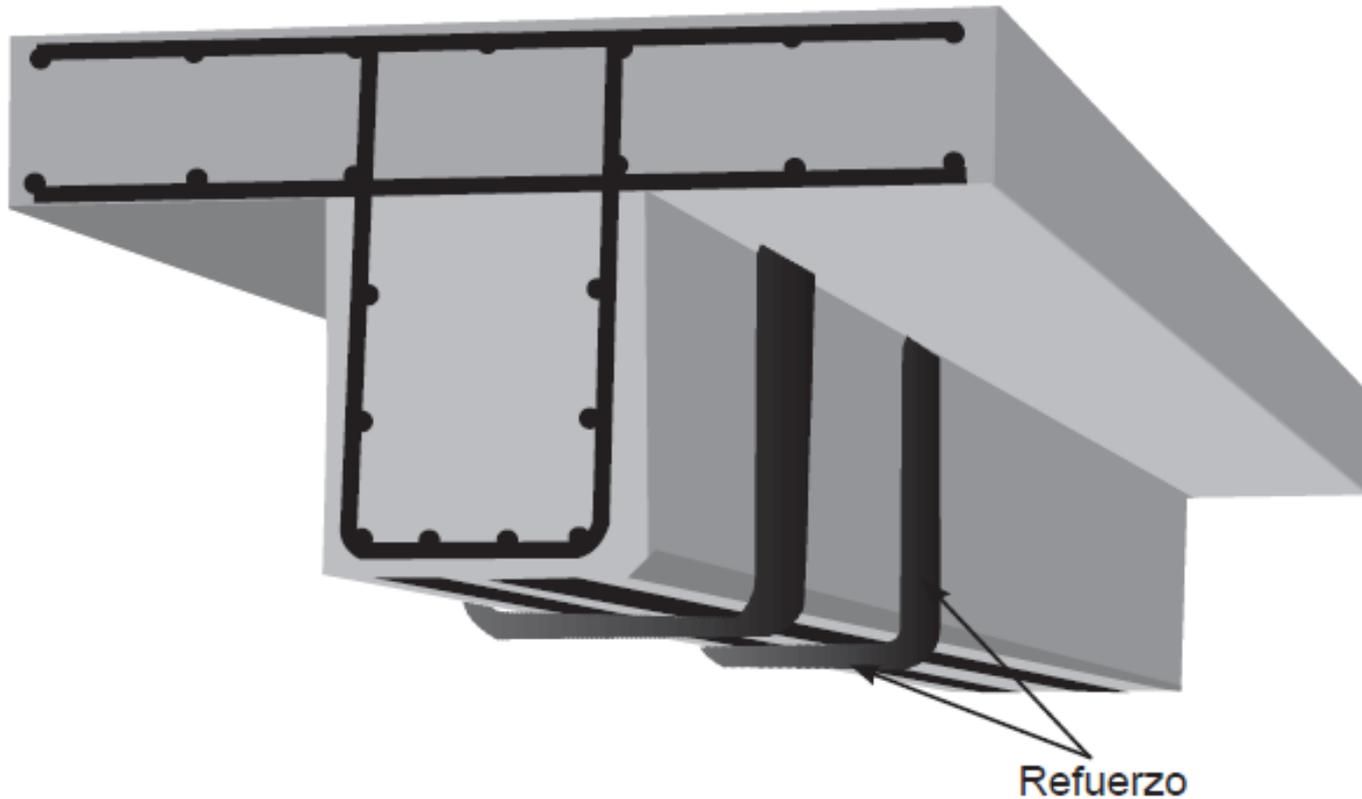
Sistema de alta tecnología utilizado como refuerzo exterior, alternativo al acero, por su gran resistencia a la tracción.

En general se emplean en forma de pletinas o tejidos de fibra de carbono.

- **Pletinas de Fibra de Carbono:** Pletina de polímero reforzado con fibra de carbono de alta resistencia. Generalmente se presenta en espesor de 1,2 mm por 50 mm de ancho. Su resistencia a la tracción es $> 28.000 \text{ kg/cm}^2$. Se adhiere al hormigón con un adhesivo epoxi.
- **Tejido de fibra de carbono de alta resistencia unidas con una resina epoxi:** Se presenta en espesor del orden de 0,2 mm y un ancho de 30 o 60cm. Como adhesivo al hormigón se emplea un sistema epoxi de impregnación

Estos sistemas son muy sofisticados y tanto el diseño del refuerzo como su aplicación y supervisión requieren de profesionales y personal calificados.

6.4 Refuerzo con láminas y telas de fibra de carbono.

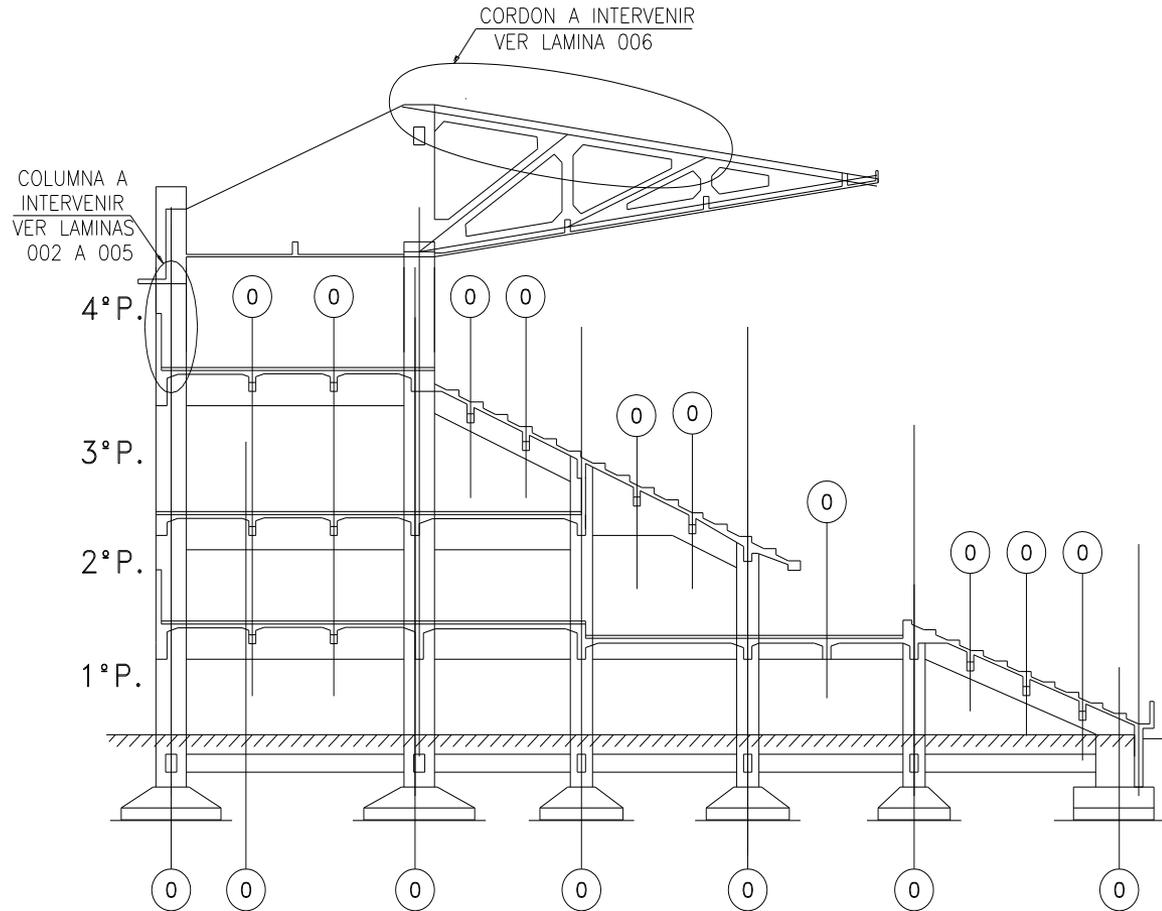


6.4 Refuerzo con láminas y telas de fibra de carbono.



- www.strongtie.com Seminario Retrofit. PUC

Marquesina Estadio Nacional de Santiago



ELEVACION MARCO TIPO 1
(PARA LOS EJES 109 AL 116)
ESCALA 1:250



Marquesina Estadio Nacional de Santiago



6.4 Refuerzo con láminas y telas de fibra de carbono.



- A la derecha refuerzo de losas, a la izquierda refuerzo de columnas.

Solución de Confinamiento con FRP. Estadio Nacional 2010



Refuerzo encamisado en láminas de fibra continua de la columna



FUENTE: Fukuyama, H. Evaluación de tipo de daño. NILIM – MLIT. Seminario KIZUNA – MOP Chile 2018.

Descripción general de la construcción

1) Tratamiento de la capa superficial – 1



Tratamiento de la superficie por la máquina lijadora provista de espirador de polvo

Achaflanado de esquina

Descripción general de la construcción

1) Tratamiento de la capa superficial – 2



Impregnación



Ajuste de irregularidades con masilla

Descripción general de la construcción

2) Corte de la hoja de fibra



Corte de la **lámina** de fibra de carbono

Corte de la **lámina** de fibra de aramida



Descripción general de la construcción

3) Pegamento de la hoja de resina continua – 1



Impregnación de la resina
adhesiva



Pegado de la **lámina**
(**lámina** de fibra de carbono)

Descripción general de la construcción

3) Pegamento de la lámina de fibra continua – 2



Pegado de la **lámina**
(cinta de fibra de aramida)



Impregnación de la resina adhesiva

Descripción general de la construcción

3) Pegamento de la lámina de resina continua – 3



Impregnación y desespumación de la resina



Después de pegar la hoja de fibra continua, pulverizar arena de sílice a la superficie de acabado

Descripción general de la construcción

4) Acabado



Colocación de base de
acero liviano



Pegado de tablero

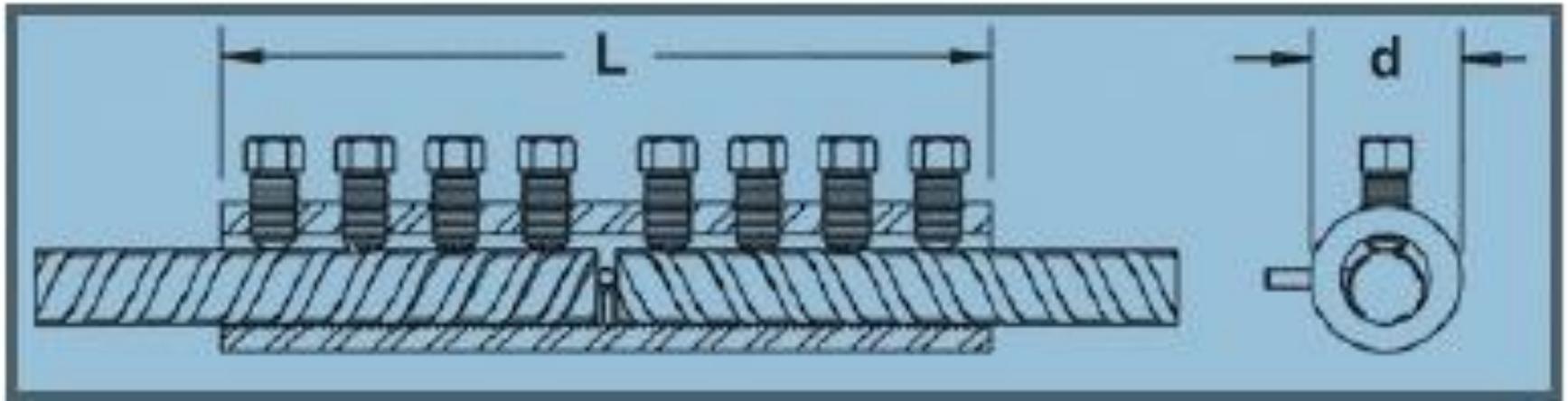


Pintura

Acabado con pegamento de base de acero liviano

6.5 Reparación de barras de acero cortadas.

Acopladores LENTON® LOCK – Serie S1



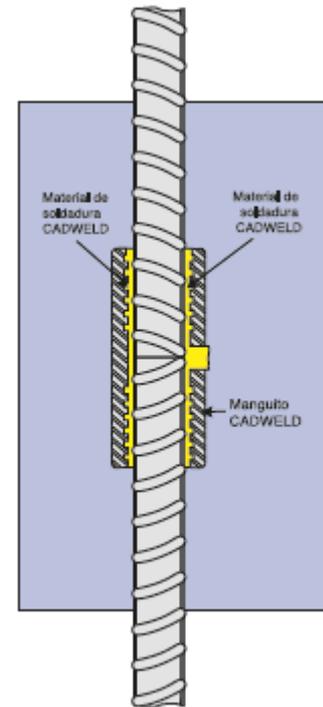
- Manguitos Lenton Lock de acoplamiento de uniones en acero.

6.5 Reparación de barras de acero cortadas.



- Tecnología Lock. No requiere preparación de barra.
- El costo de la técnica debe evaluarse en el proyecto.

6.5 Reparación de barras de acero cortadas.



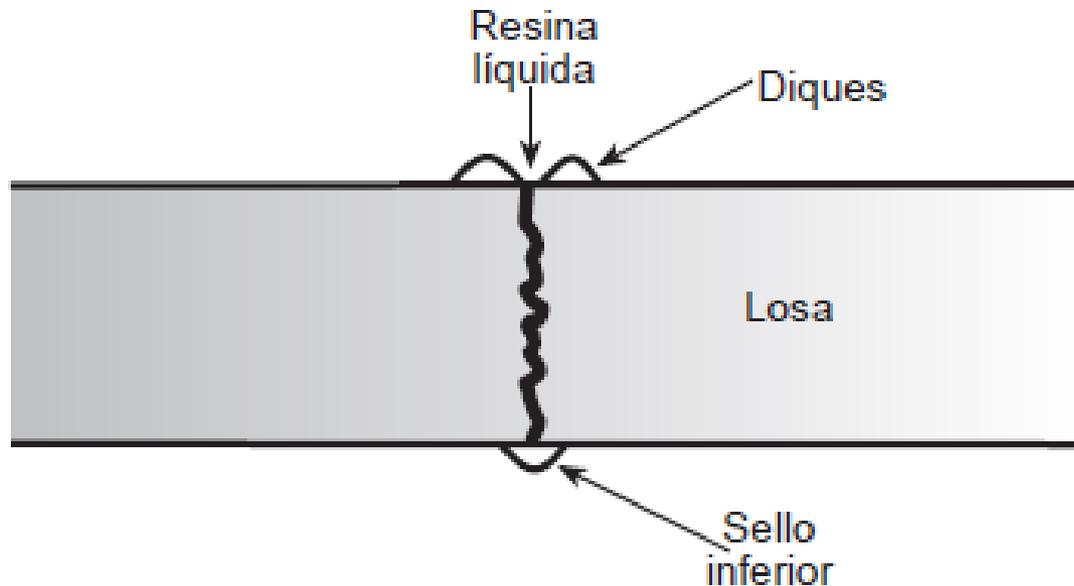
Fotos Jorge
Carvallo. Pres
Carl Luders
KIZUNA.

- Manguitos Cadweld de ERICO. Son sistemas de empalmes mecánicos de armaduras de acero para evitar traslapos. El costo de la técnica debe evaluarse en el proyecto.
- <https://www.erico.com/catalog/literature/RSB-WWSP.pdf>

6.6 Inyección de losas con resina epóxica.

- **a) Inyección Gravitacional:**
- **Alcance:**
- Elementos horizontales (losas) con grietas de aberturas superiores a 1 mm.
- **Procedimiento:**
- Limpieza con aire comprimido, sello en la cara inferior con masilla epóxica, ejecución
- de diques laterales con yeso o masilla en la cara superior; vaciar un sistema epóxico
- de viscosidad inferior a 200 cps para que fluya por gravedad al interior de la grieta.

6.6 Inyección de losas con resina epóxica.



- La inyección de fisuras y grietas con resinas epóxicas tiene por objeto recuperar el monolitismo de las estructuras, gracias a las propiedades de adherencia y resistencia de estos materiales; las inyecciones son aplicables a grietas sin movimiento.

6.6 Inyección de losas con resina epóxica.



- Tecnología Lock. No requiere preparación de barra.
- El costo de la técnica debe evaluarse en el proyecto.

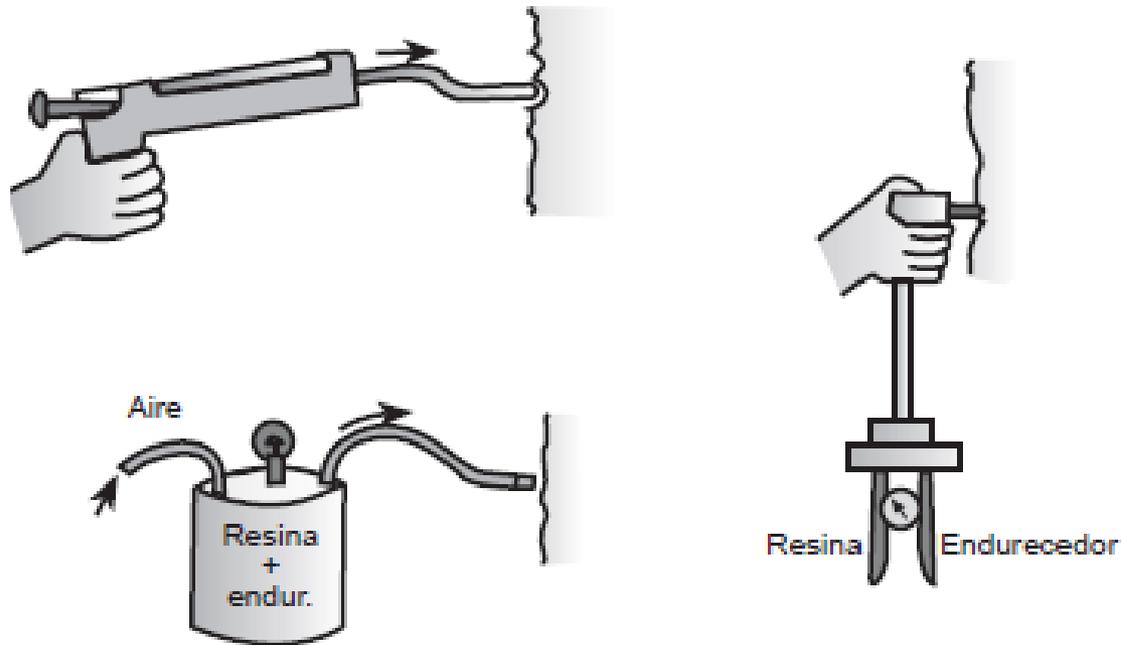
6.6 Inyección a presión con resina epóxica

- **b) Inyección a presión:**
- **Alcance:**
- Inyección de grietas y fisuras en cualquier posición. Para la inyección de grietas finas
- (<1 mm) y particularmente en el caso de fisuras (20,5 mm) se deben emplear
- exclusivamente sistemas epóxicos de viscosidades inferiores a 200 cps.
- **Procedimiento:**
- Limpieza, sellado superficial de la grieta con masilla epóxica, colocación de boquillas,
- inyección partiendo de las boquillas inferiores y avance hacia arriba a medida que
- la inyección progresa.

6.6 Inyección de losas con resina epóxica.

- **a) Equipo Manual:**
 - Se utilizan sistemas epoxi de muy baja viscosidad y aplicación con pistolas de calafateo.
- **b) Equipo Neumático:**
 - Se emplean equipos neumáticos con presión de aire comprimido de 2 a 7kg/cm².
- **c) Equipo de Mezcla en Punta:**
 - Dosificación de los componentes a la salida del equipo, aplicación de altas presiones
 - (hasta 14 kg/cm²). Se emplean resinas con viscosidades bajas.

6.6 Inyección de losas con resina epóxica.



- La inyección de fisuras y grietas con resinas epóxicas tiene por objeto recuperar el monolitismo de las estructuras, gracias a las propiedades de adherencia y resistencia de estos materiales; las inyecciones son aplicables a grietas sin movimiento.

7. Izaje de Edificios terremoteados.

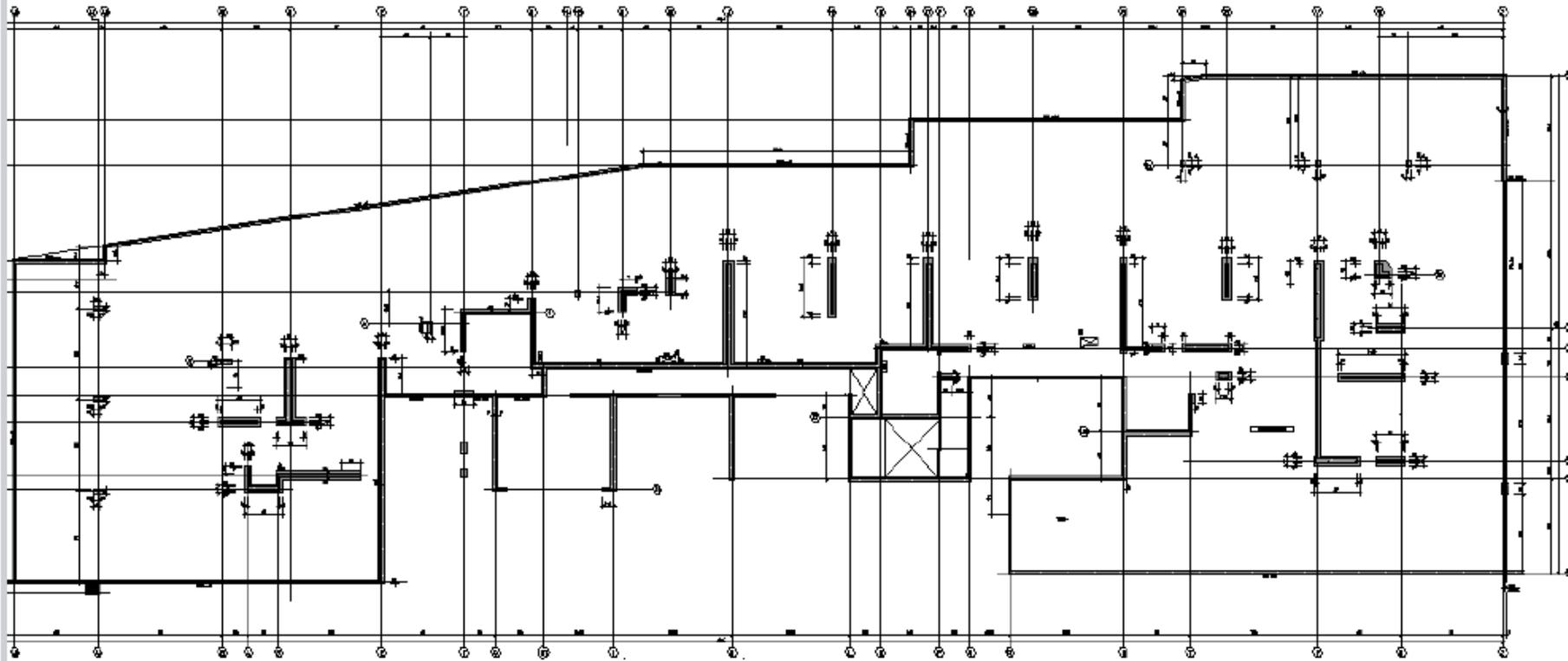
- La siguiente experiencia fue realizada por DICTUC y SIRVE de la PUC para recuperar un edificio nuevo que sufrió lesiones serias por el terremoto del 27F en Chile.
- El izado de edificios bajos de marcos es relativamente simple (son muy flexibles). Permite recuperar la carga axial sobre los elementos reparados.
- El izado de edificios altos de marcos es más complicado. No es fácil aplicar las cargas de izado. Es necesario alzaprimar varios pisos bajo y sobre la zona de falla.
- El izado de edificios de muros es aún más complejo debido a su gran rigidez.

7. Izaje de Edificios terremoteados.

- **7.1 Un caso particular (Luders)**
- -Edificio de 19 pisos + 4 subt.
- -Daños importantes en muchos muros del primer subterráneo.
- -Inclinación con flecha $> 20\text{cm}$ en el extremo superior.

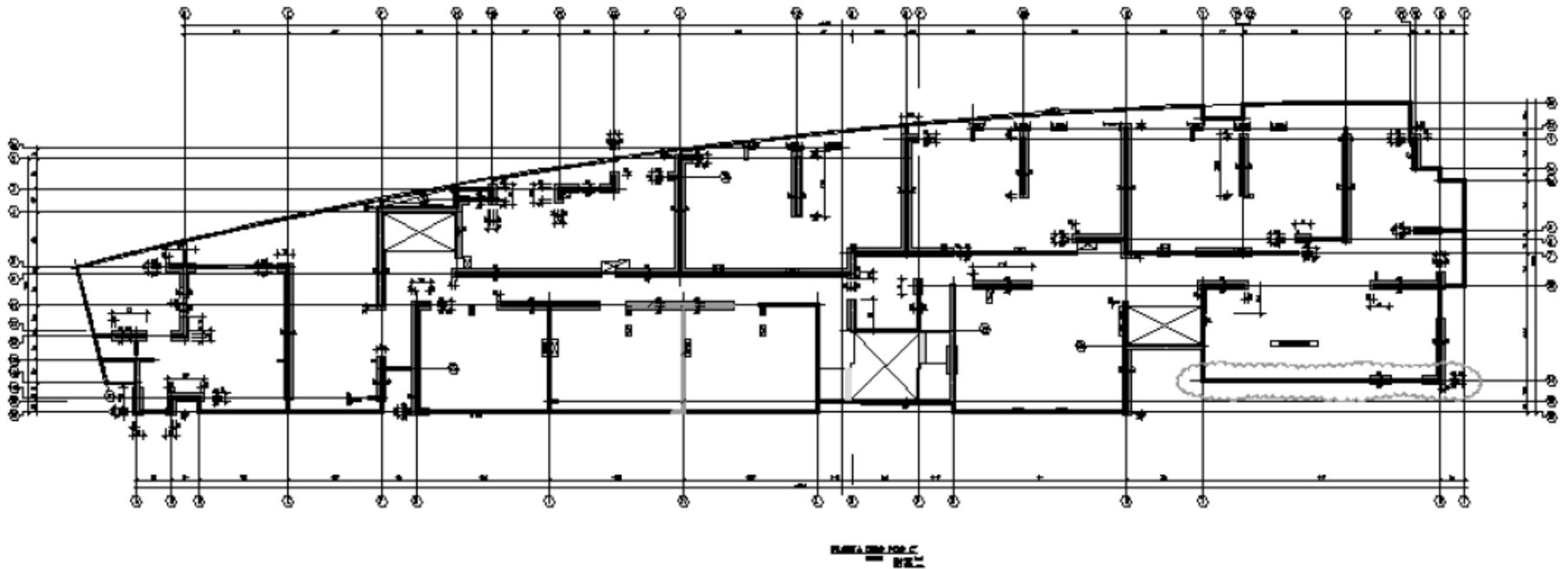


7. Izaje de Edificios terremoteados.



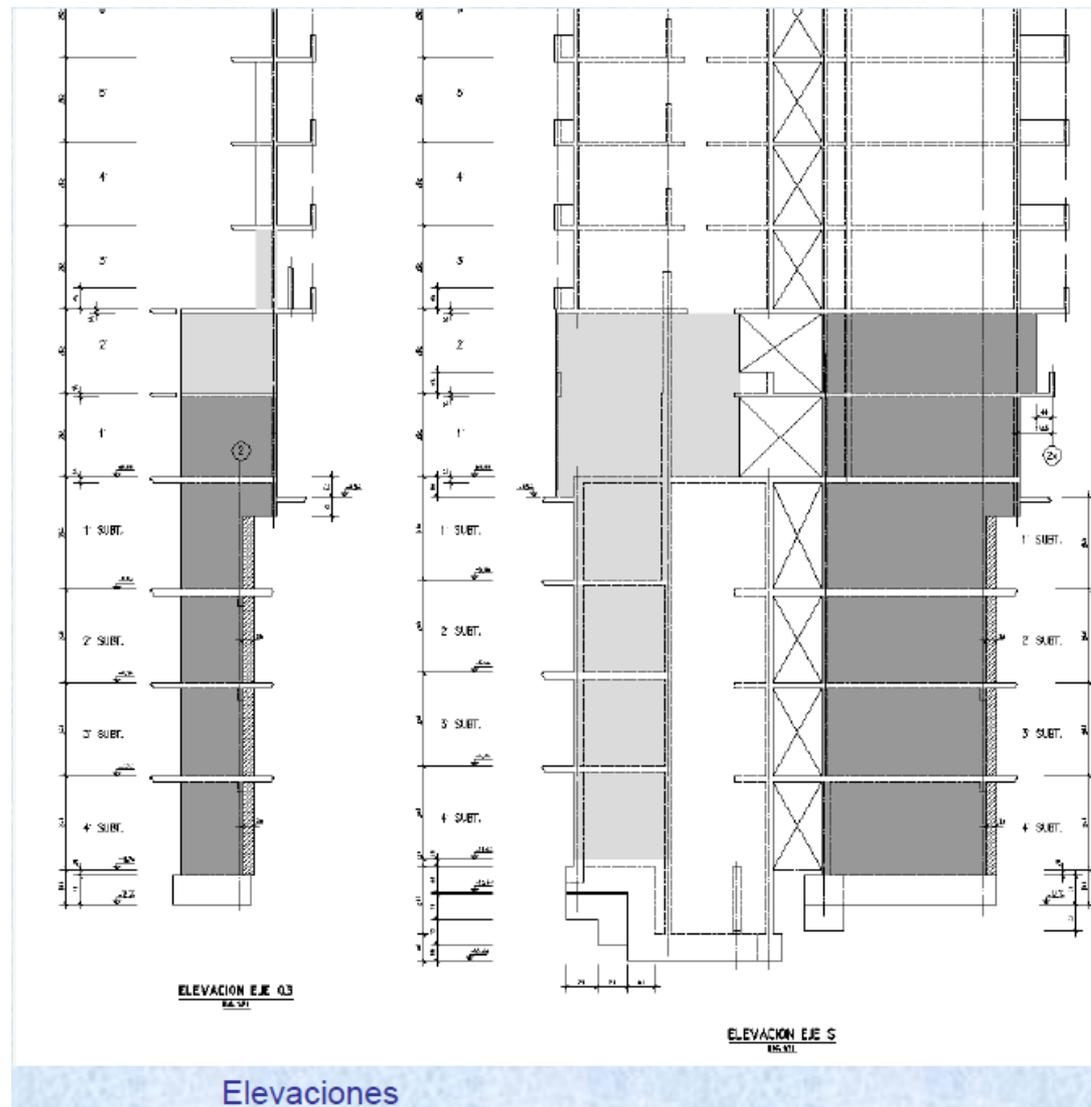
Planta del Primer Subterráneo

7. Izaje de Edificios terremoteados.



Planta del Primer Piso

7. Izaje de Edificios terremoteados.



7. Izaje de Edificios terremoteados.



Falla muro del Primer Subterráneo



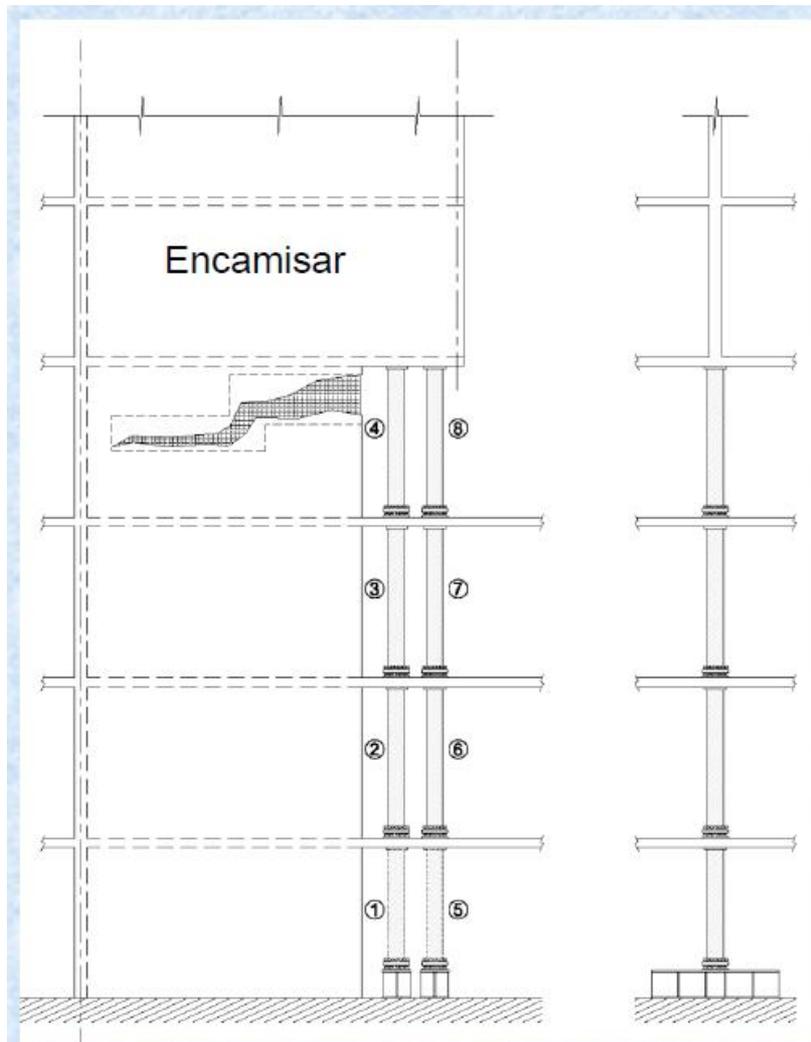
Falla muro del Segundo Piso

7. Izaje de Edificios terremoteados.



Alzaprimado de Emergencia

7. Izaje de Edificios terremoteados.



7.1 Izado de muros bandera

- Si hay varios subterráneos las columnas deben pasar libremente a través de las losas.



Foto: Arturo Castillo

7. Izaje de Edificios terremoteados.



Fundaciones del alzamiento de gateo

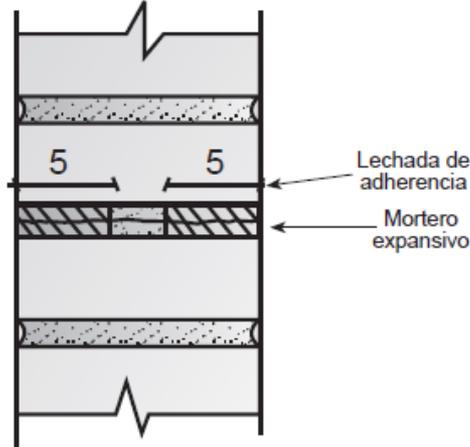
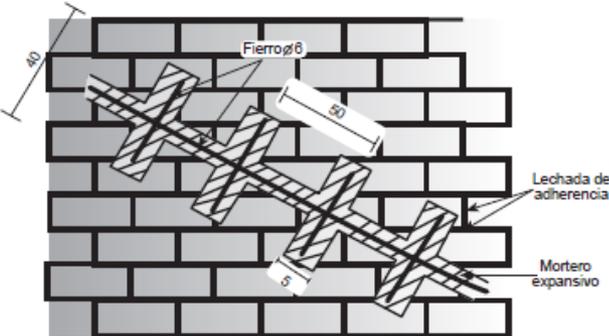
7. Izaje de Edificios terremoteados.



Refuerzo de muros

7. Albañilerías.

2.2 Albañilerías

Descripción del procedimiento	Esquema
<p>2.2.1 Albañilería de Ladrillo</p> <p>a) Reparación Grieta</p> <p>Alcance: Reconstituir monolitismo.</p> <p>Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Picado a lo largo de la grieta y/o cantería, sólo por un lado.▪ Aplicación de lechada de adherencia en base a emulsión acrílica.▪ Relleno con mortero expansivo.▪ Curado húmedo cuidadoso.▪ Repetir la operación por el lado opuesto.	 <p>Lechada de adherencia</p> <p>Mortero expansivo</p>
<p>b) Reparación por Grapado</p> <p>Alcance: Reconstituir monolitismo y refuerzo parcial.</p> <p>Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Picado en V a un lado, a lo largo de la grieta (Dimensiones aprox. 5 x 5 cm ó 7 x 7 cm).▪ Picar transversalmente a la grieta ranuras de 40 x 5 cm, cada 50 cm.▪ Colocar armadura longitudinal y transversal, según indicación del proyectista.▪ Aplicar lechada de adherencia.▪ Rellenar con mortero 1:3 con expansor.▪ Repetir por el otro lado, traslapando el grapado.	 <p>Fierro #6</p> <p>Lechada de adherencia</p> <p>Mortero expansivo</p>

7. Albañilerías.

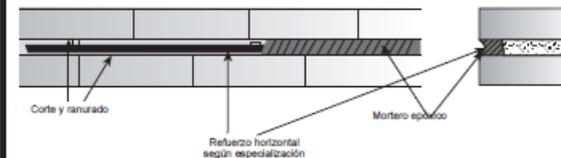
c) Refuerzo con Armadura Horizontal

Alcance:

Refuerzo general; colocación de cuantía requerida.

Procedimiento:

- Rebajar canterías con disco de corte, profundidad 4 cm mínimo.
- Remoción del mortero de pega entre los cortes.
- Aplicar mortero epóxico al fondo de la ranura.
- Colocar armadura horizontal; eventualmente complementar con anclajes perpendiculares $L = 8$ cm en el plano horizontal.
- Cubrir armadura con mortero epóxico.
- Terminar con mortero de cemento 1:3 para mantener igual apariencia con el resto.



d) Anclajes

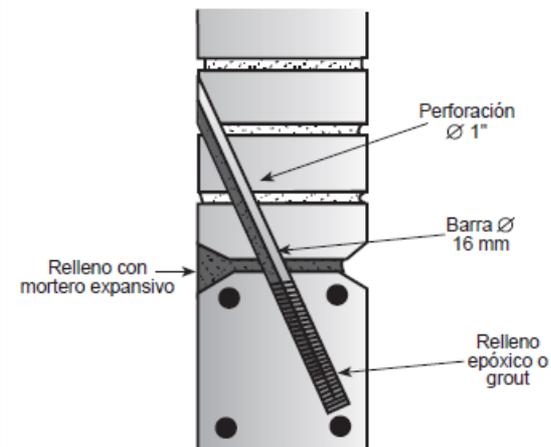
Alcance:

Mejoramiento del anclaje de albañilerías al hormigón armado.

Albañilerías "sueltas", agrietadas o mal adheridas en la unión con el hormigón armado.

Procedimiento:

- Practicar perforaciones inclinadas abarcando la albañilería y cadena o pilar de hormigón armado (diámetro de la perforación: 1").
- Rellenar con sistema epoxi para anclajes o grout de cemento con aditivo expansor.
- Insertar barra $\varnothing 16$ mm, o según indicación calculista.
- Repetir según distancias especificadas por proyectistas.
- Picar grieta en forma de V con profundidad de 5 cm por cada lado y rellenar con mortero expansivo.
- Curado húmedo por 7 días.



7. Albañilerías.



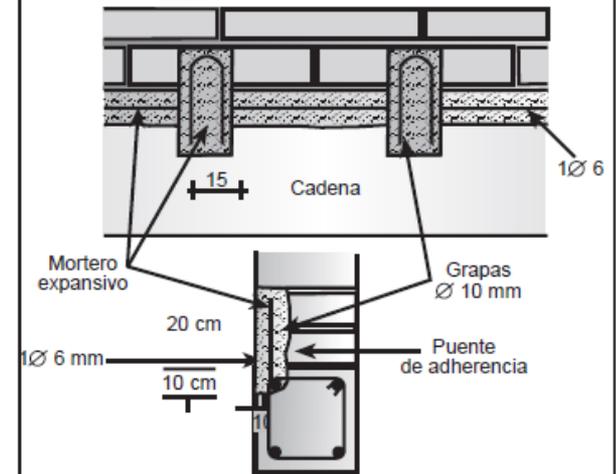
e) Grapado

Alcance:

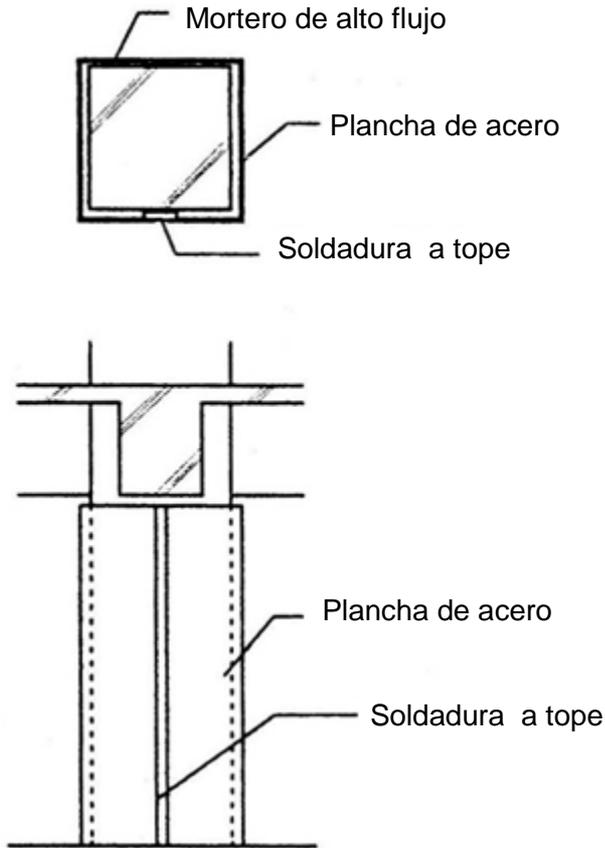
Similar 2.51

Procedimiento:

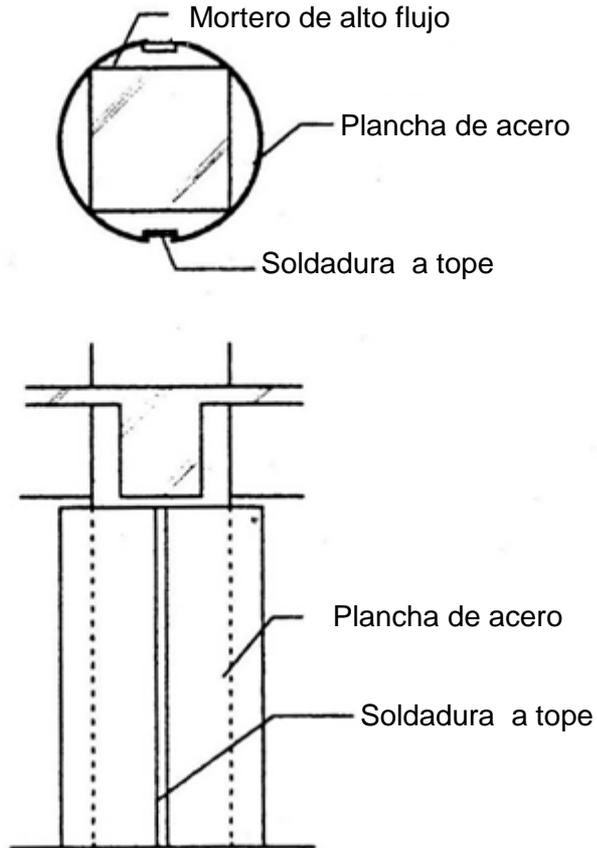
- Picar unión de la albañilería con el hormigón (aprox. 10 x 10 cm).
- Picar espacio para la ubicación de grapas (30 x 15 x 10 cm).
- Colocar barraje mm a lo largo de las grietas y grapas 10 mm y L = 50 cm en cada llave.
- Aplicar puente de adherencia epóxico.
- Rellenar con mortero expansivo o Gunita.
- Curado húmedo por 7 días.



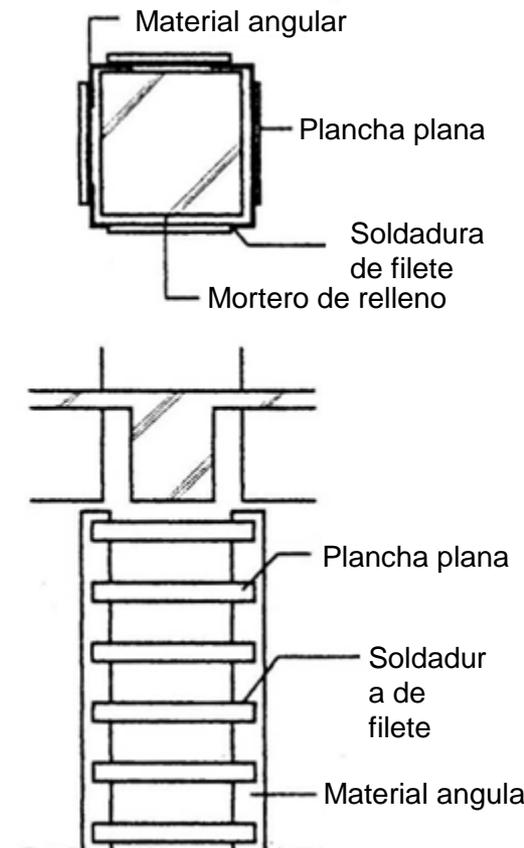
Refuerzo por encamisado en plancha de acero



(a) Método de revestimiento de plancha angular



(b) Método de revestimiento de plancha redonda



(c) Método de revestimiento de plancha de listón

CASO DE AISLACIÓN SÍSMICA Y RETAURACIÓN PATRIMONIAL EN JAPÓN.

- **Chapel Building, Rikyo University, Tokyo, Japan**



Esquema del Edificio

Nombre : Edificio Chapel, Rikyo Univ.

Año de Construcción: Enero de 1920

Location: Toshima-ku, Tokyo, Japón

AreaTotal: 505.33 m²

Pisos: Un piso (Parcialmente tres pisos)

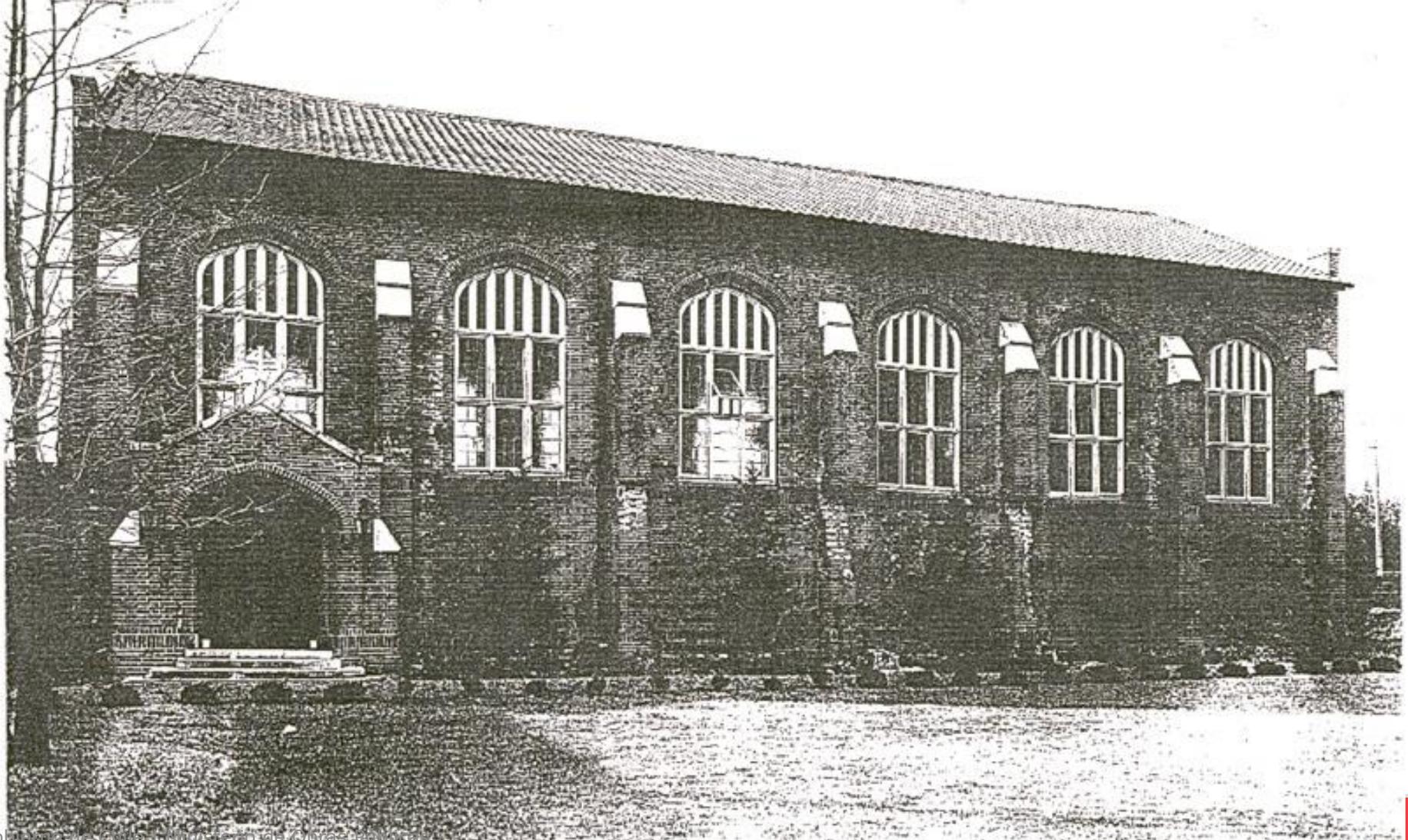
Altura: NOG + 12.3 m

Estructura: Albañilería & HA, Techo: Madera

Tipo Estructural : Estructura de Muros

Fundación: Sin pilotes en la base

Daños debido al Gran Terremoto de Kanto, 1923





Aposos de Acero agregados a Techumbre

Conexión de Esquinas entre Muros de Albañilería y Muros de HA

Reforzamiento de Contrafuertes

EXP. J



Soportes de Caucho Natural Laminado

Amortiguadores de Barras de Plomo

Capa de Suelo Marga

Partes Reforzadas del Edificio





Intervención, Estabilización y Rehabilitación de la Basílica del Salvador



Historia de la Basílica del Salvador



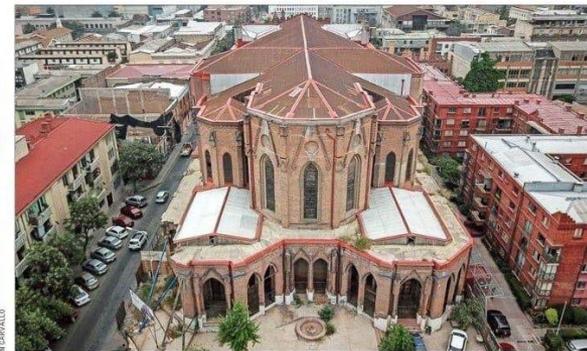
Intervención Estructural y Patrimonial de la Basílica del Salvador

EL MERCURIO
LUNES 25 DE OCTUBRE DE 2021

NACIONAL

C 9

Zona centro. La Basílica del Salvador se ubica en la esquina de Huérfanos con Almirante Barroso, en la comuna de Santiago.



HISTORIA.— El templo inició su construcción en 1874, la que se terminó en 1892. En 1938 fue elevado al rango de basílica y en 1977 fue declarado Monumento Histórico.

El templo, que data del siglo XIX, ha sido dañado por terremotos:

Con inversión de más de \$19 mil millones, Basílica del Salvador iniciará obras de recuperación en 2022

JUDITH HERRERA C.

Con una historia que se inició hace más de 140 años, la Basílica del Salvador, ubicada en el centro de Santiago, es uno de los edificios patrimoniales más importantes de la capital. Sin embargo, también se encuentra entre los más derruidos, principalmente a causa de los terremotos de 1985 y 2010.

Tras décadas en mal estado, la situación del templo católico podría cambiar: desde el 12 de octubre, el proyecto de recuperación cuenta con la rentabilidad social otorgada por el Ministerio de Desarrollo Social, por lo cual ahora debe ser analizado y aprobado por el Consejo Regional, con miras a comenzar las obras el próximo año.

De acuerdo con la ficha de rentabilidad social que obtuvo la calificación positiva, la ini-

El proyecto busca reforzar la estructura del edificio junto con instalar sistemas de detección de incendios y aisladores sísmicos.

ciativa tiene un costo de \$19.626 millones, con aportes de distintos actores. La Fundación Basílica del Salvador pondrá \$4.950 millones, el Ministerio de Obras Públicas (MOP), \$4.500 millones; y finalmente un fondo nacional de desarrollo regional de \$10.176 millones.

Además, el documento indica que la iniciativa beneficiará a más de 96 mil personas.

Antecedentes

Las obras de la basílica se iniciaron en 1874, con diseño del arquitecto alemán Teodoro Burchard. Y aunque debido a la Guerra del Pacífico la cons-

trucción se retrasó, tras la finalización del conflicto armado los soldados chilenos, victoriosos sobre Perú y Bolivia, acudieron hasta la iglesia a rendir sus armas y la puerta del templo se edificó con la fundición de cañones.

En 1892 fue finalmente terminada la construcción, que cuenta con 98 metros de largo y 37 metros de ancho, con una altura interior de 30 metros y capacidad para 5 mil personas, comparable con la Catedral de Santiago.

La iglesia fue elevada al rango de basílica en 1938 por el Papa

Pío XI y en 1977 se declaró Monumento Histórico.

Los terremotos la hicieron símbolo de la destrucción que dejaron: en 1985 sufrió la caída de dos pilares, entre otros efectos. Y el 27-F, quedó completamente dañada por el derrumbe de muros, columnas y buena parte del cielo y de los corredores exteriores.

Entre 2016 y 2018 hubo obras de estabilización estructural, con una inversión de \$2.030 millones según el Gore, para asegurar que no se viniera abajo.

El proyecto actual, que co-



REFORMAZAMIENTO.— Entre 2016 y 2018 se llevaron a cabo obras de estabilización estructural en el edificio para evitar su derrumbe, tras los daños sufridos por los terremotos.

menzaría en 2022, con una extensión de 42 meses, tiene como objetivo, junto con la estabilización, la recuperación de muros, instalación de sistemas de detección de incendios, además del retiro de vitrales, puertas y marcos. El director nacional de Arquitectura del MOP, Raúl Irarrázabal, dice que se busca "la incorporación de aisladores sísmicos por debajo del edificio, lo que sería la primera vez que se instale este tipo de tecnología en un inmueble patrimonial".

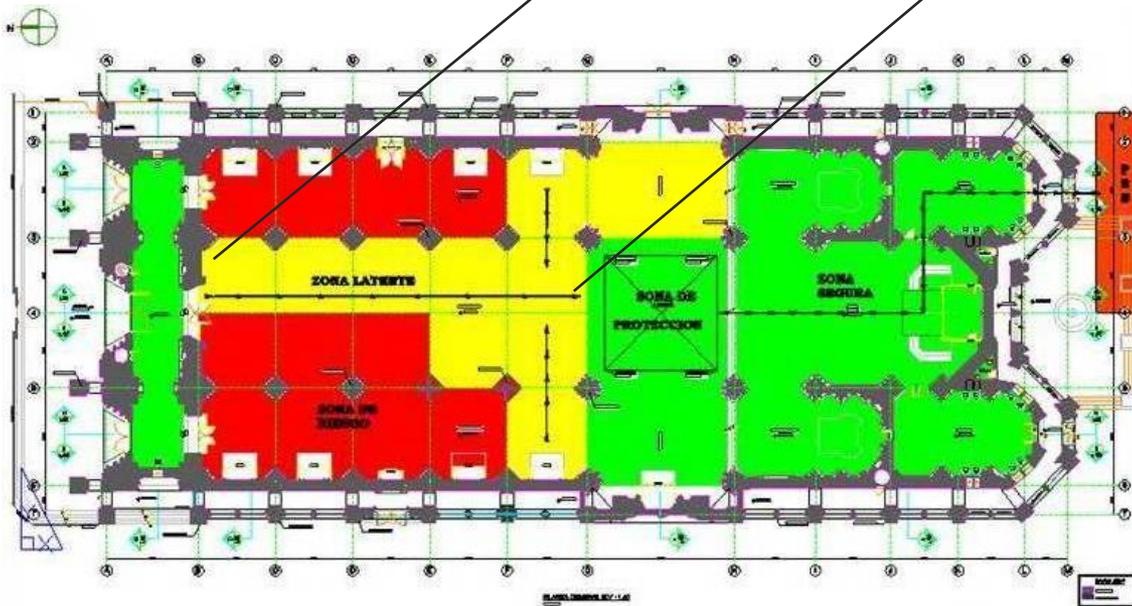
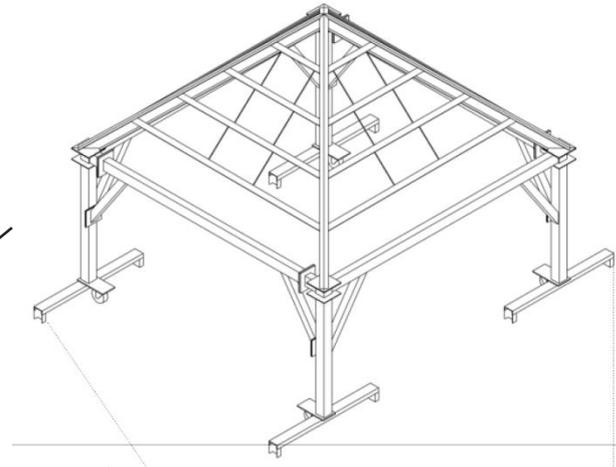
Bernardita Soto, gerente general de la Fundación Basílica del Salvador, afirma: "Con este proyecto queremos poder abrir el templo al público, que pueda

ser utilizado y visitado. Los vecinos nos han apoyado mucho y están muy ilusionados. Es un monumento que lleva años cerrado, desde 2004 (cuando se determinó que no era segura para visitas), y es importante recuperarlo".

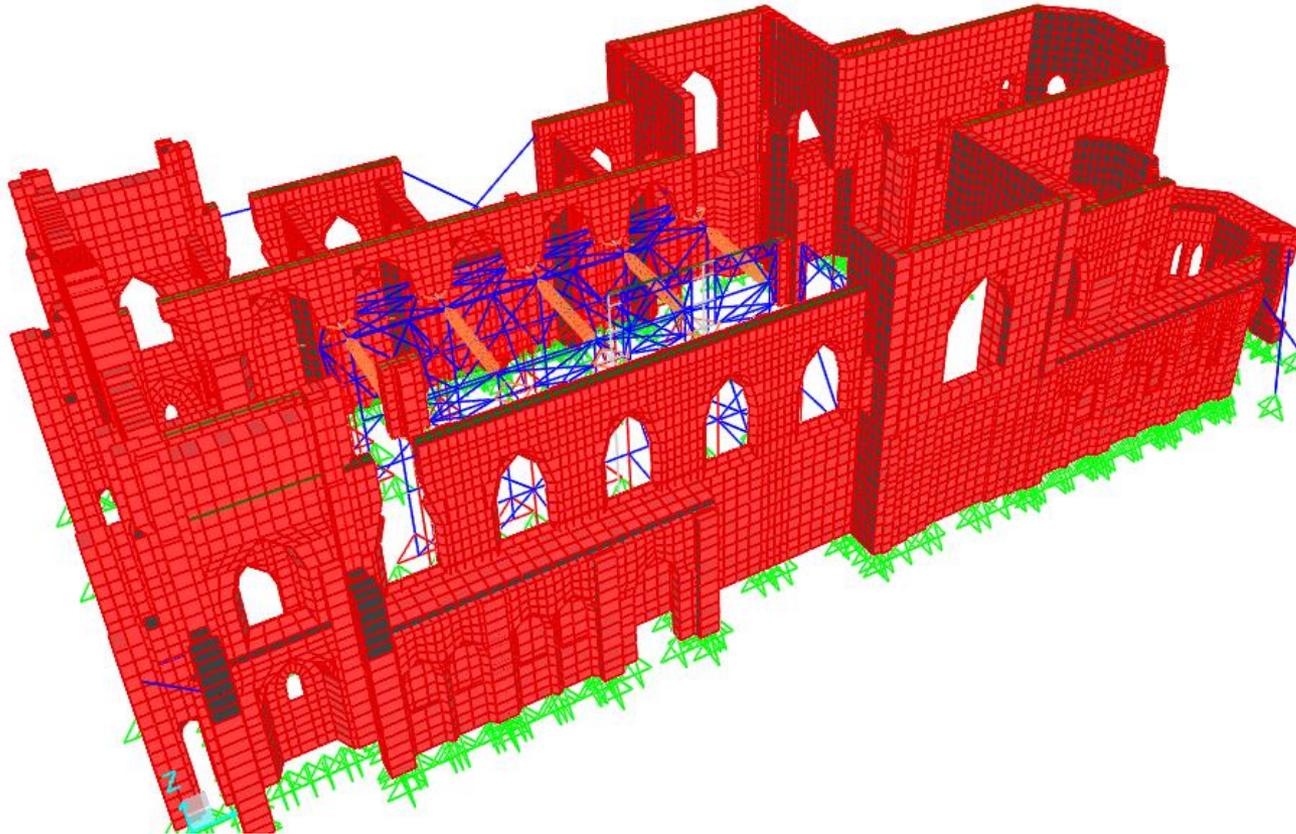
Para Dino Bozzi, profesor de la U. Católica y arquitecto de la iniciativa, "la idea es dotar a las estructuras de una capacidad de resistencia a los terremotos que hoy no tiene, y recuperar también la configuración espacial del edificio, pero dejando huellas de lo que ha vivido".

En tanto, la restauración artística, dada la complejidad, se estima que debería abordarse en una segunda etapa.

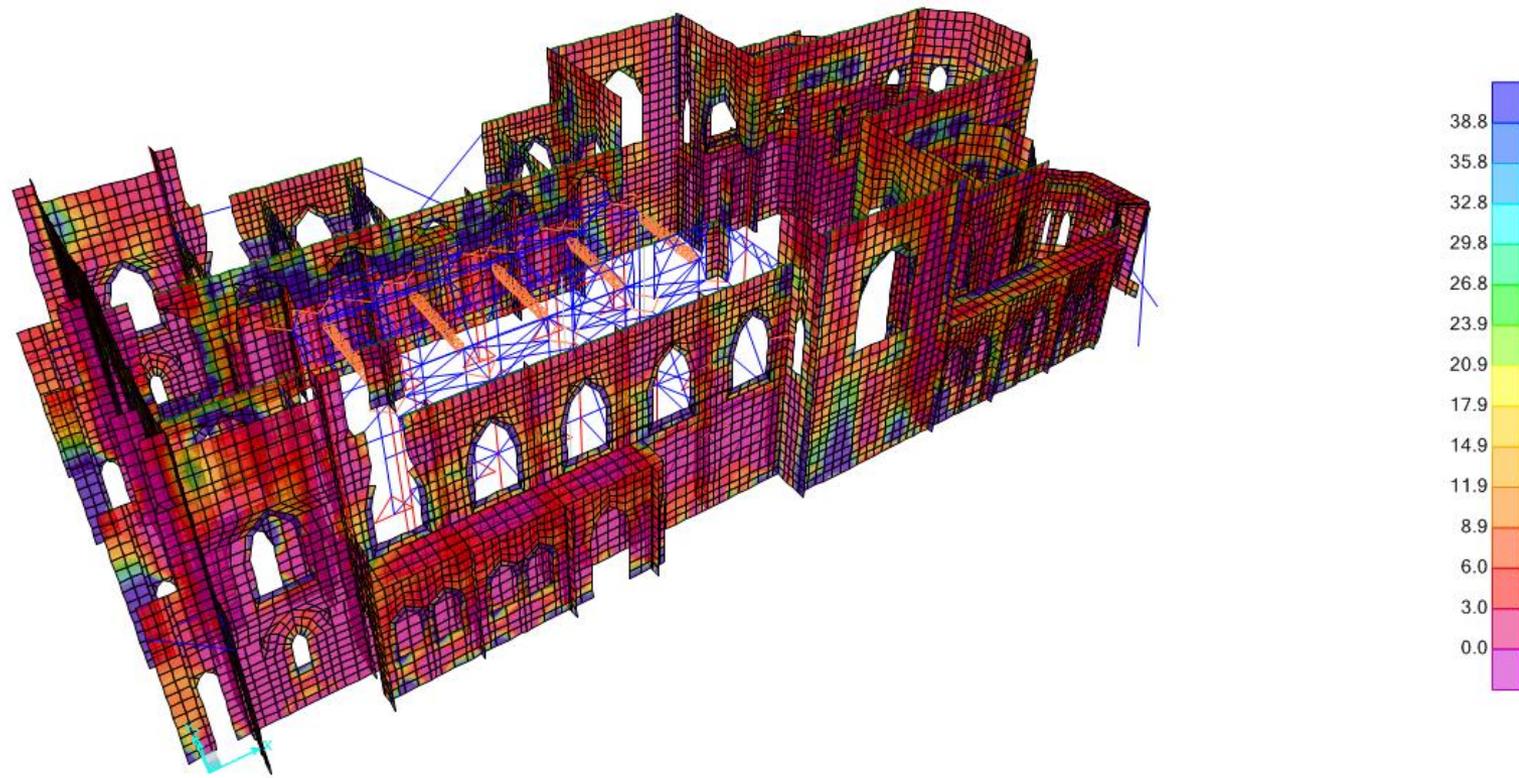
Módulo de seguridad móvil para las zonas latentes al momento del retiro de escombros y otras faenas



Descripción Proyecto Estabilización (modelo de elementos finitos)



Descripción Proyecto Estabilización (tensiones debido efectos gravitacionales y sísmicos)

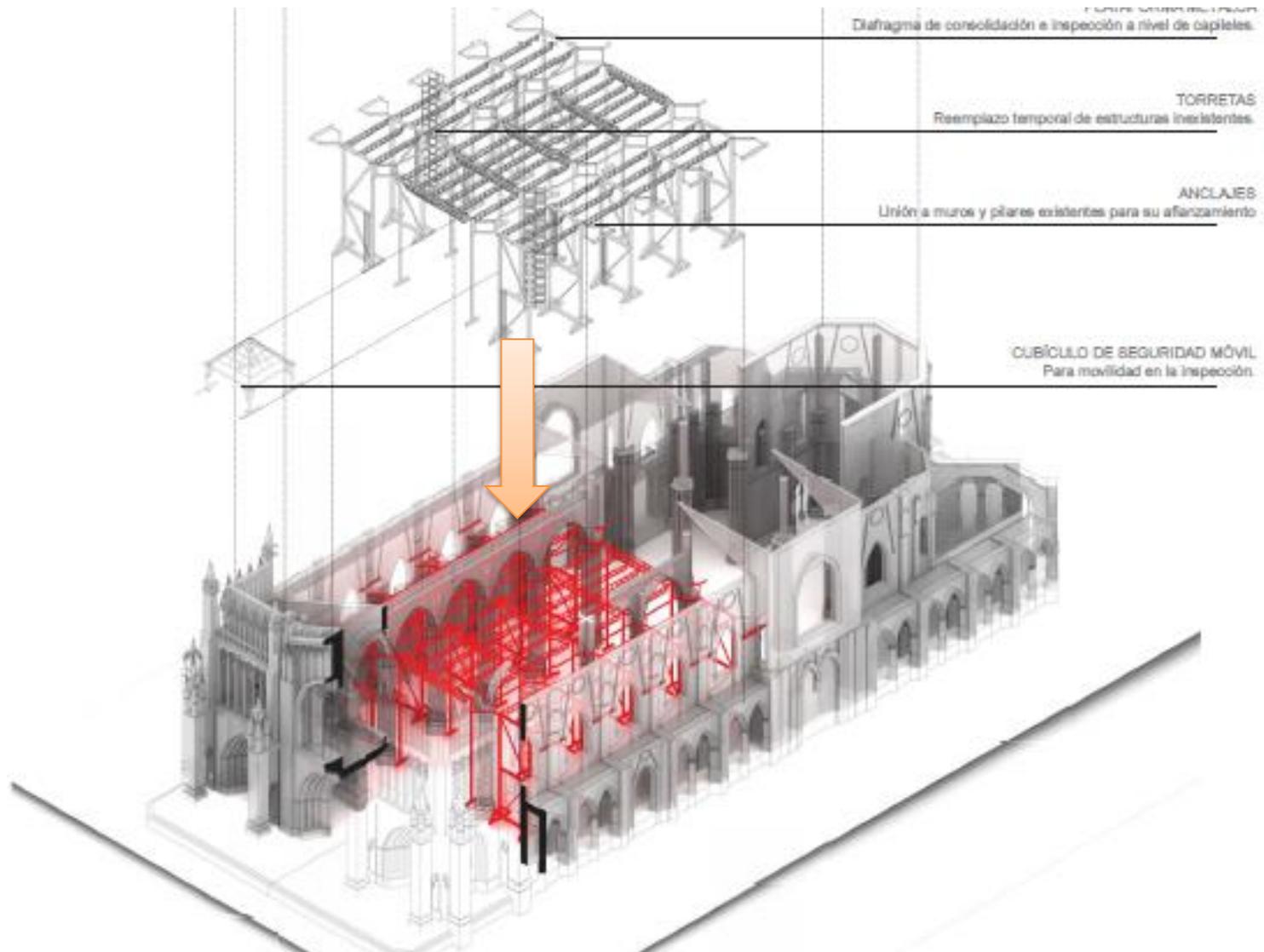


Imágenes del levantamiento Láser

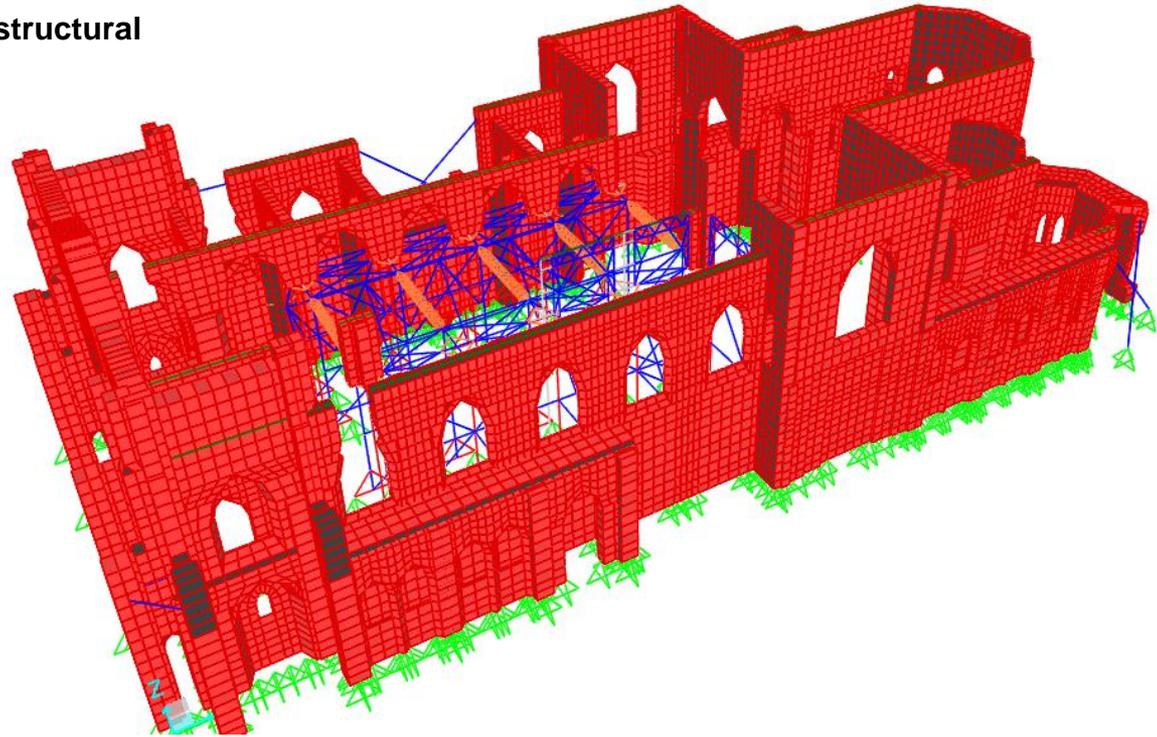




Descripción Proyecto Estabilización



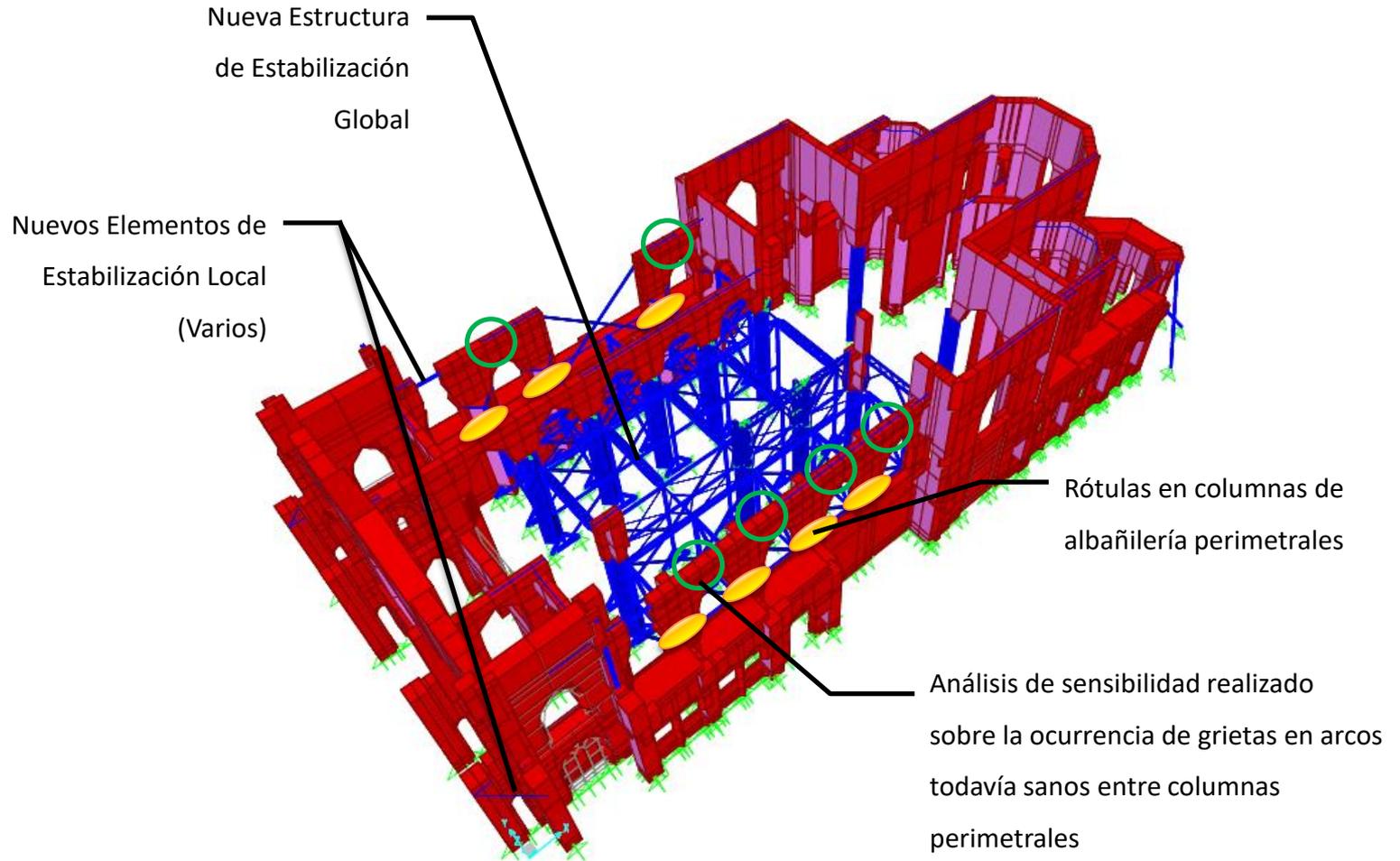
Descripción del Modelo Estructural

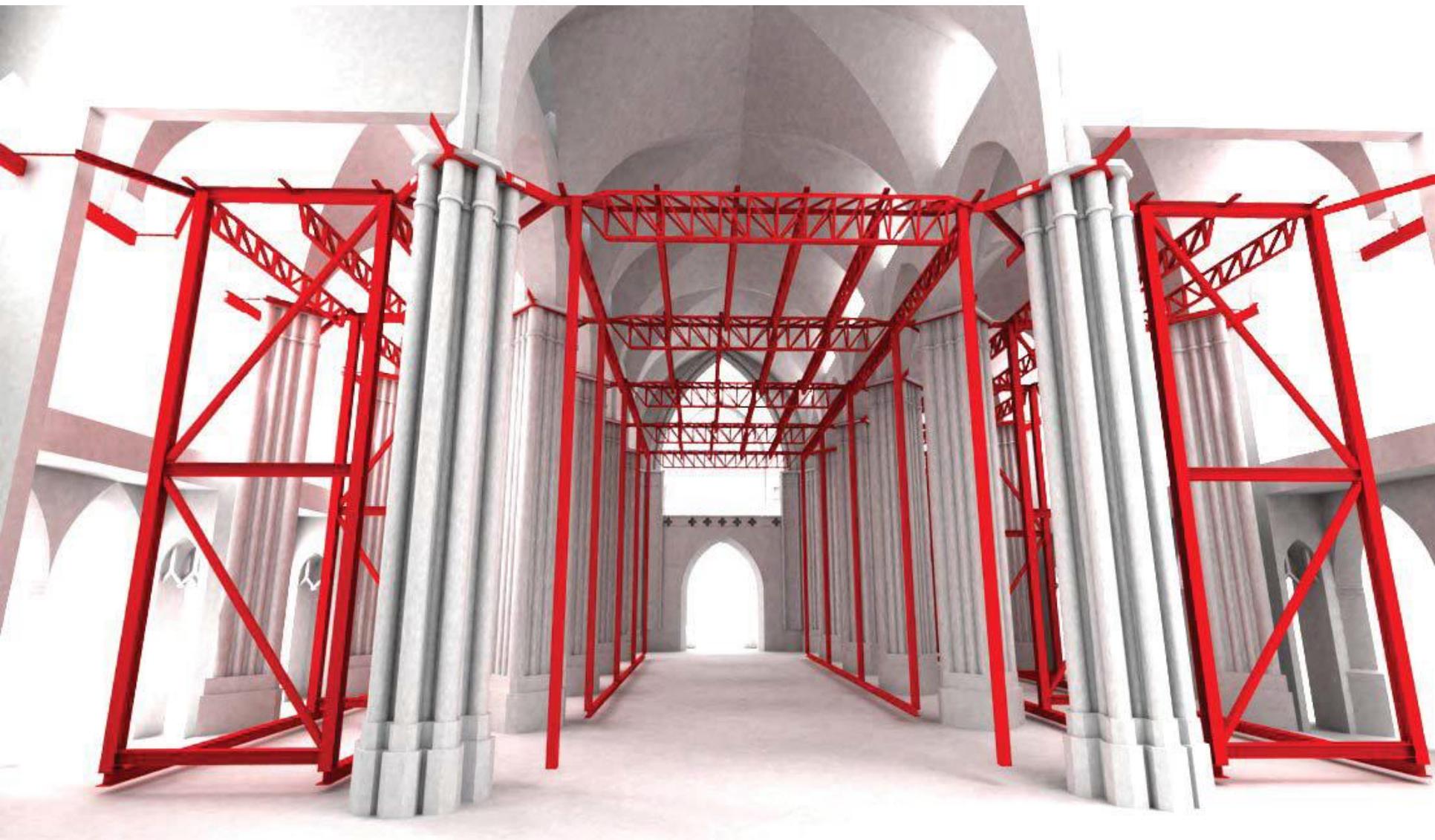


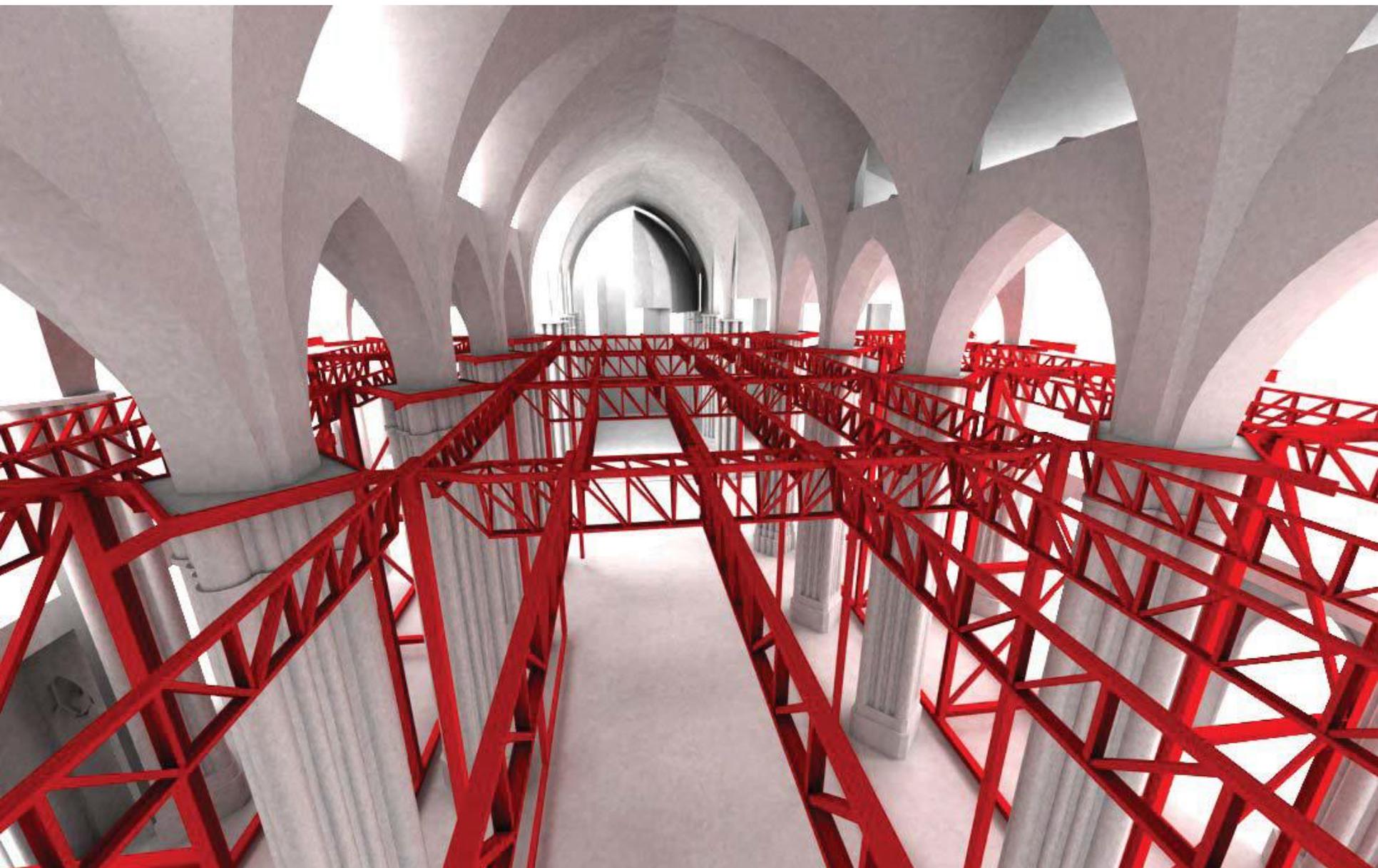
❖ Elementos modelo SAP2000:

- Muros y arcos modelados con elementos tipo Shell
- Columnas de albañilería modelados con elementos tipo Frame
- Perfiles metálicos modelados con elementos tipo Frame

Consideraciones especiales de análisis



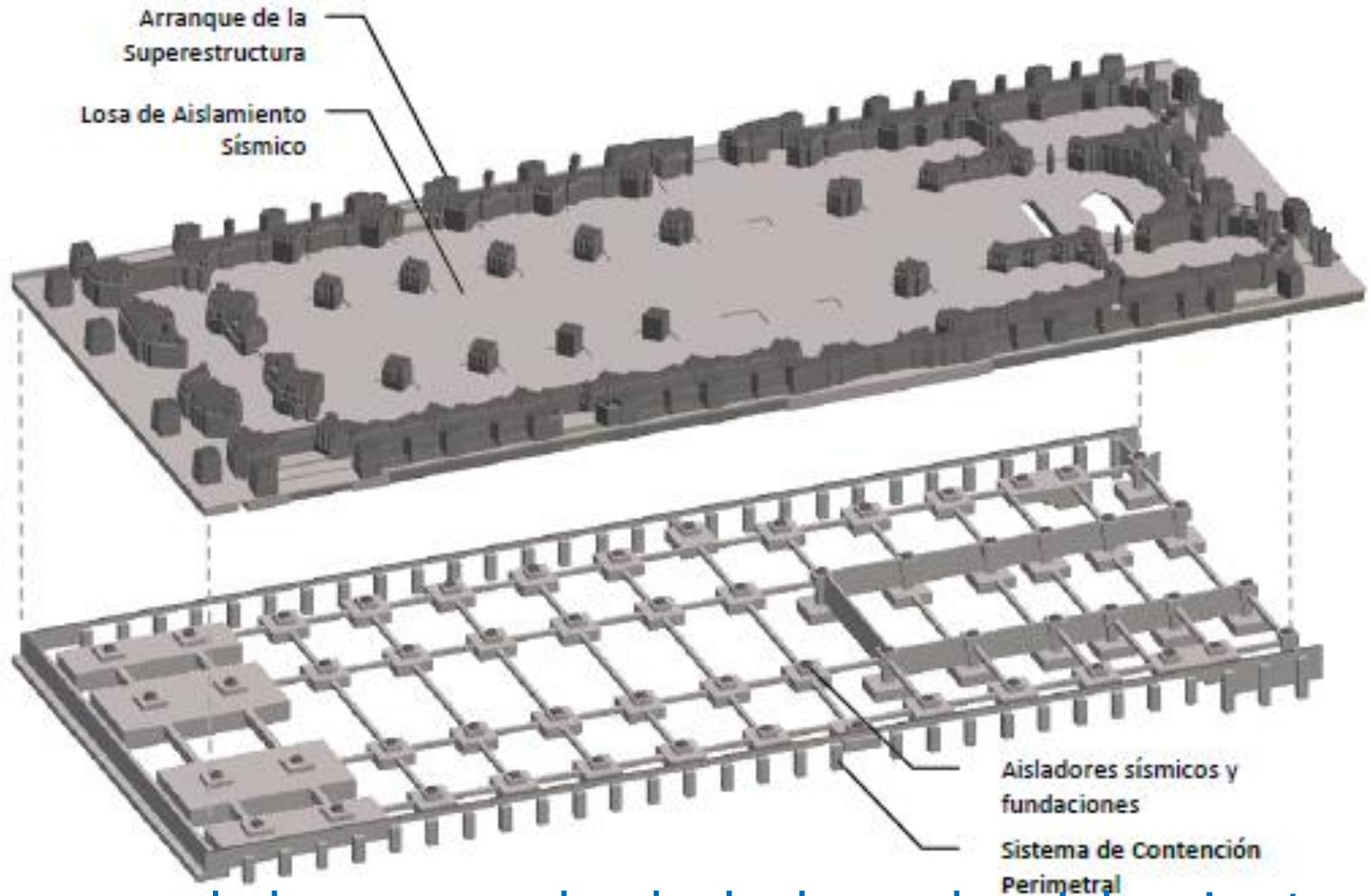




ESTABILIZACION ESTRUCTURAL



SISTEMA DE CONTENCIÓN Y FUNDACIONES



Vista general desagregada de la losa de aislamiento y de aisladores sísmicos

Modelo Estructural 3D SAP 2000

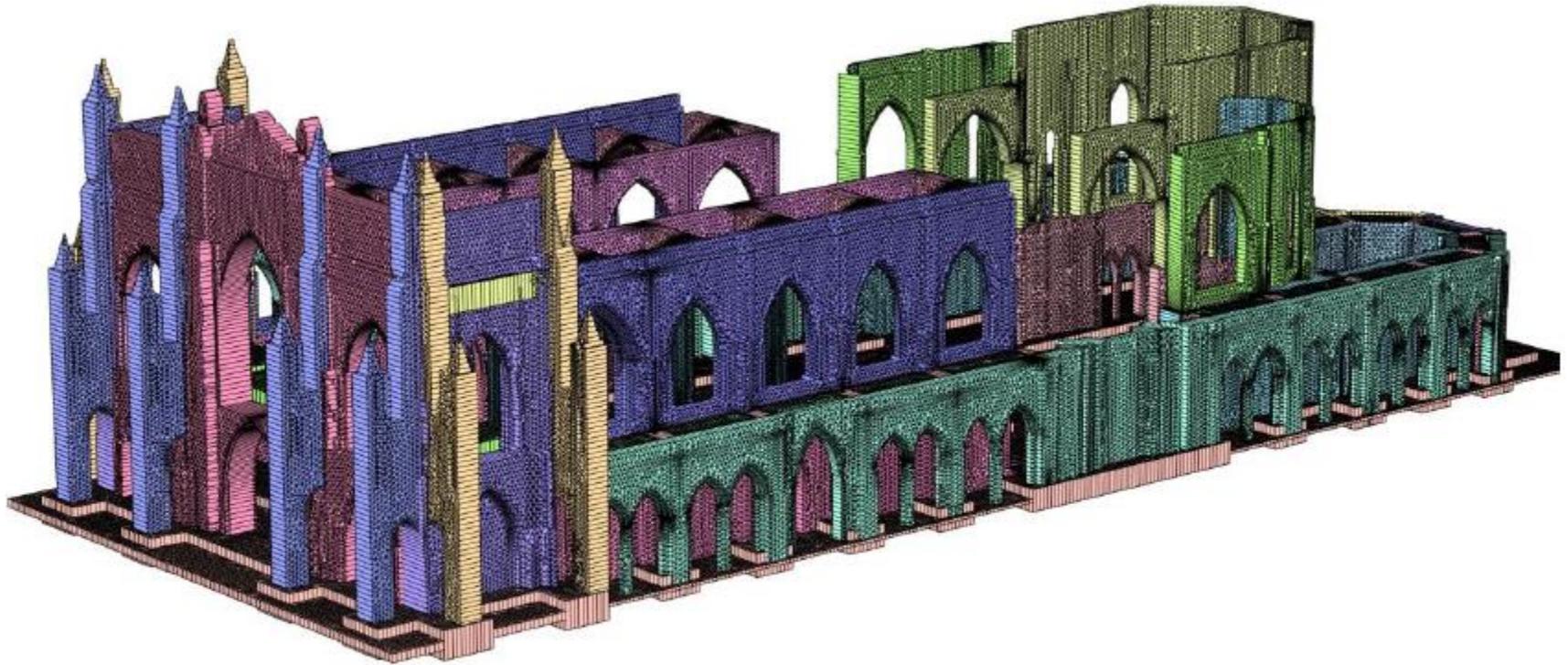
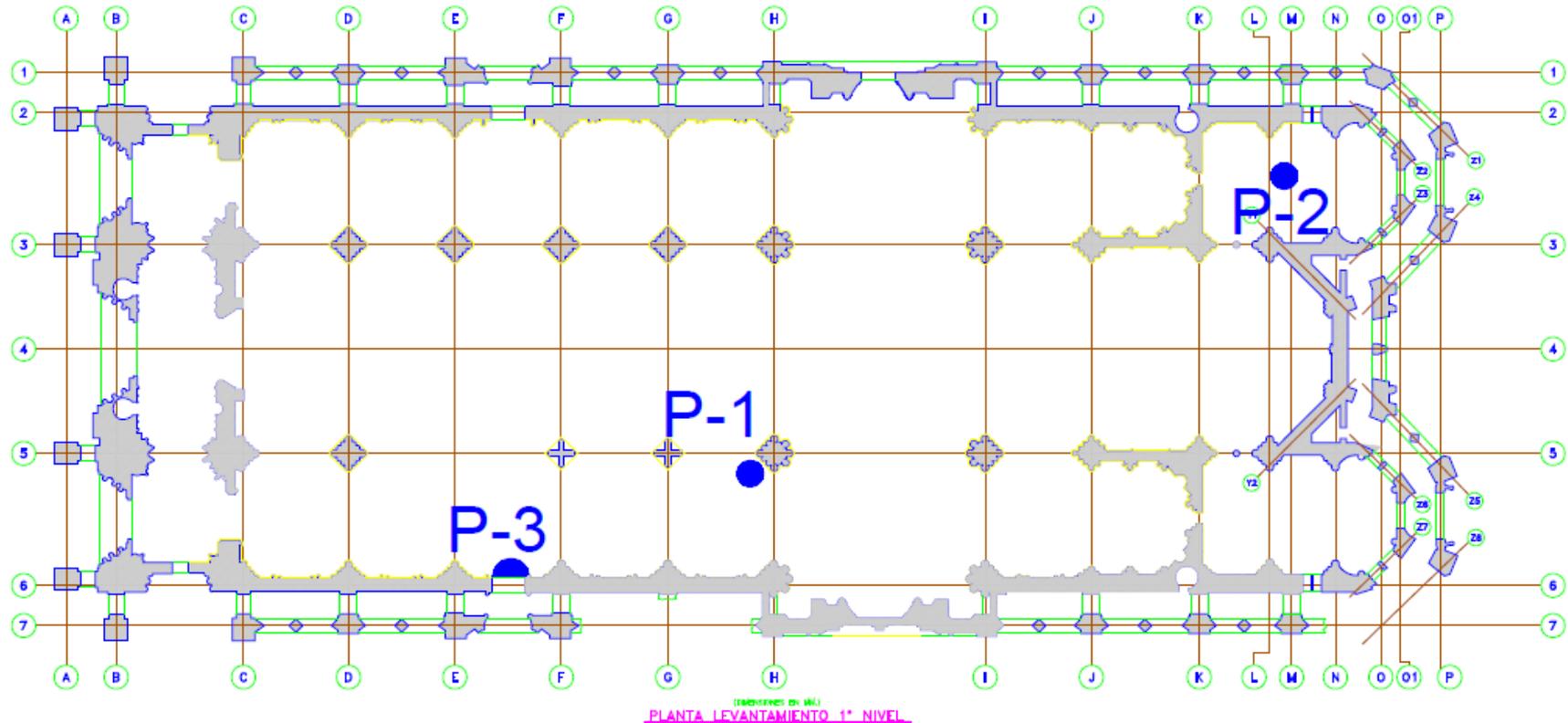


Figura 4: Modelo estructural tridimensional del proyecto en software SAP2000.

Geotecnia. Ubicación de los pozos de prospección en planta del edificio.

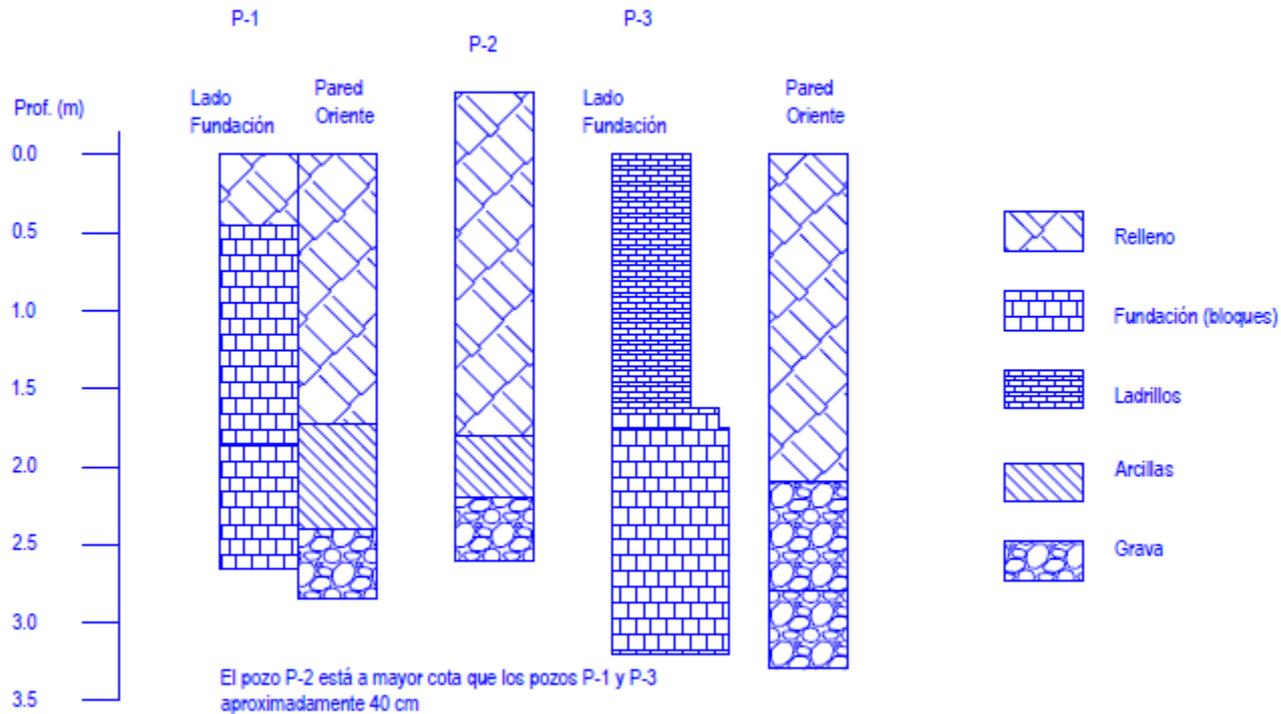
Informe DICTUC S.A.



Estratigrafía de los pozos. Informe DICTUC S.A.



Basílica del Salvador y de Nuestra Señora del Carmen



Calicatas o pozos. Informe DICTUC S.A.



Ubicación P-3 (al fondo de la fotografía)



Interior Pozo P-3 (3.3m)



Estratigrafía de los pozos. Informe DICTUC S.A.



Pozo P-3. Adyacente a muro poniente. Entre columnas 2ª y 3ª, a 1.8m de 3ª columna

Lado Fundación (lado poniente)

Profundidad, m	Descripción visual
0.0 – 1.62	Pared de ladrillos (dimensiones aproximadas 5x20cm), mortero 2cm, sobre ancho 40cm con respecto a fachada de muro
1.62 – 1.75	Ensanche de fundación, 18cm con respecto a pared de ladrillos
1.75 – 3.2	Fundación de bloques de cantera. 25 cm de sobre ancho con respecto a pared de ladrillos.

Pared poniente

Profundidad, m	Descripción visual
0.0 – 0.1	Radier
0.1 – 2.1	Relleno compuesto por escombros y arcilla
2.1 – 2.4	Grava areno arcillosa color pardo. Partículas tamaño máximo 6 a 8" de cantos redondeados. Húmeda. Compacidad densa. Estructura estratificada.
2.4 – 3.3	Grava arenosa color pardo. Partículas tamaño máximo 6 a 8" de cantos redondeados. Húmeda. Compacidad densa. Estructura estratificada.

En ninguno de los pozos se observó agua durante la exploración.



Ubicación de los arreglos de geófonos empleados. Geofísica Vs30.



La información estratigráfica inferida de la inversión realizada para el arreglo L1 se resume en la Tabla 3.10-1.

Tabla 3.10-1. Resumen de información estratigráfica inferida mediante el ensayo f-k activo para el arreglo L1.

Tramo [m]		V_s Inferido [m/s]
0	1.5	320
1.5	5.2	490
5.2	9.1	536
9.1	22.6	641
22.6	30	1153

Con lo que se obtiene el valor promedio V_{s30} igual a:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \approx 638 \text{ m/s}$$

Para la inversión realizada para el arreglo L2, la información estratigráfica inferida se resume en la Tabla 3.10-2

Tabla 3.10-2. Resumen de información estratigráfica inferida mediante el ensayo f-k activo para el arreglo L2.

Tramo [m]		V_s Inferido [m/s]
0	1.3	152
1.3	2.6	361
2.6	4.9	622
4.9	14.2	648
14.2	24.4	687
24.4	30	1188

Con lo que se obtiene el valor promedio V_{s30} igual a:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \approx 603 \text{ m/s}$$

En la figura 3.10-2 se muestra la Tabla incluida en el DS61, artículo 6º

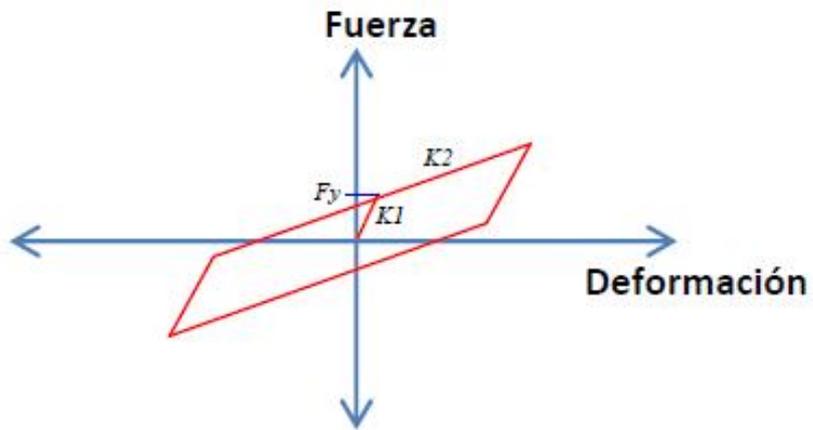
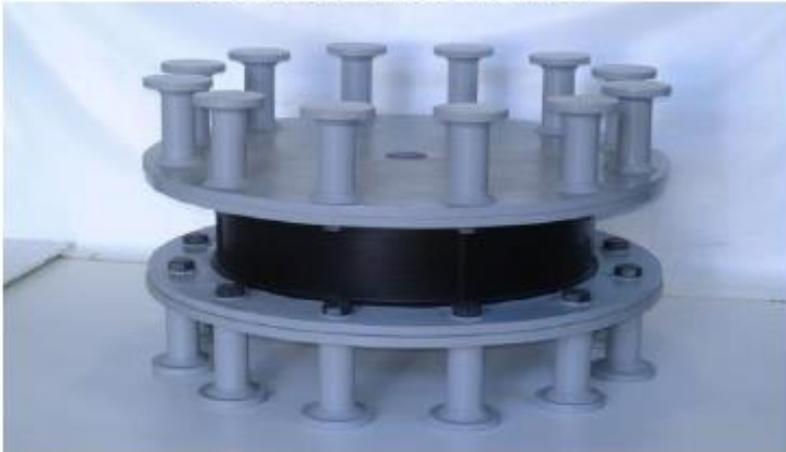
TABLA. CLASIFICACIÓN SÍSMICA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

	Suelo Tipo	V_{s30} (m/s)	RQD	q_u (MPa)	(N_1) (golpes/pie)	S_u (MPa)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($c_{cu} \leq 2\%$)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500		$\geq 0,40$ ($c_{cu} \leq 2\%$)	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350		$\geq 0,30$ ($c_{cu} \leq 2\%$)	≥ 40	
D	Suelo medianamente denso, o firme	≥ 180			≥ 30	$\geq 0,05$
E	Suelo de compactación, o consistencia mediana	< 180			≥ 20	$< 0,05$
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

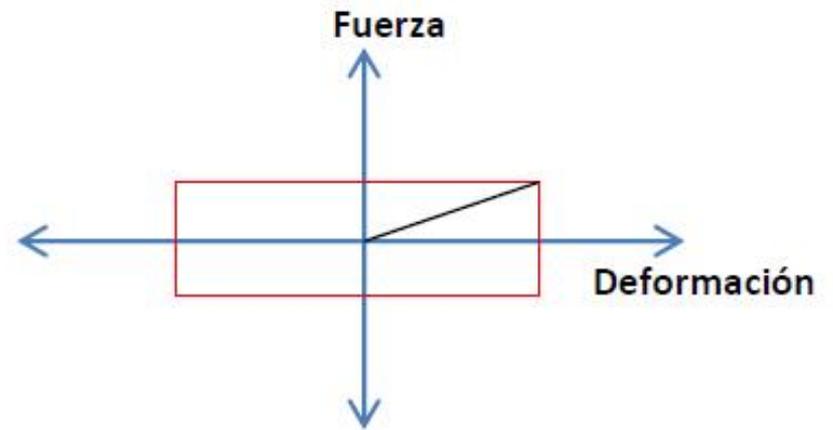
Figura 3.10-2 Clasificación sísmica del terreno de fundación

Así, el valor de la velocidad de ondas de corte en los primeros 30m es $V_{s30} = 603 \text{ m/s}$. Con ese valor y según la tabla mostrada en la figura 3.10-2, el suelo clasifica como tipo B.

Aislador Elastomérico

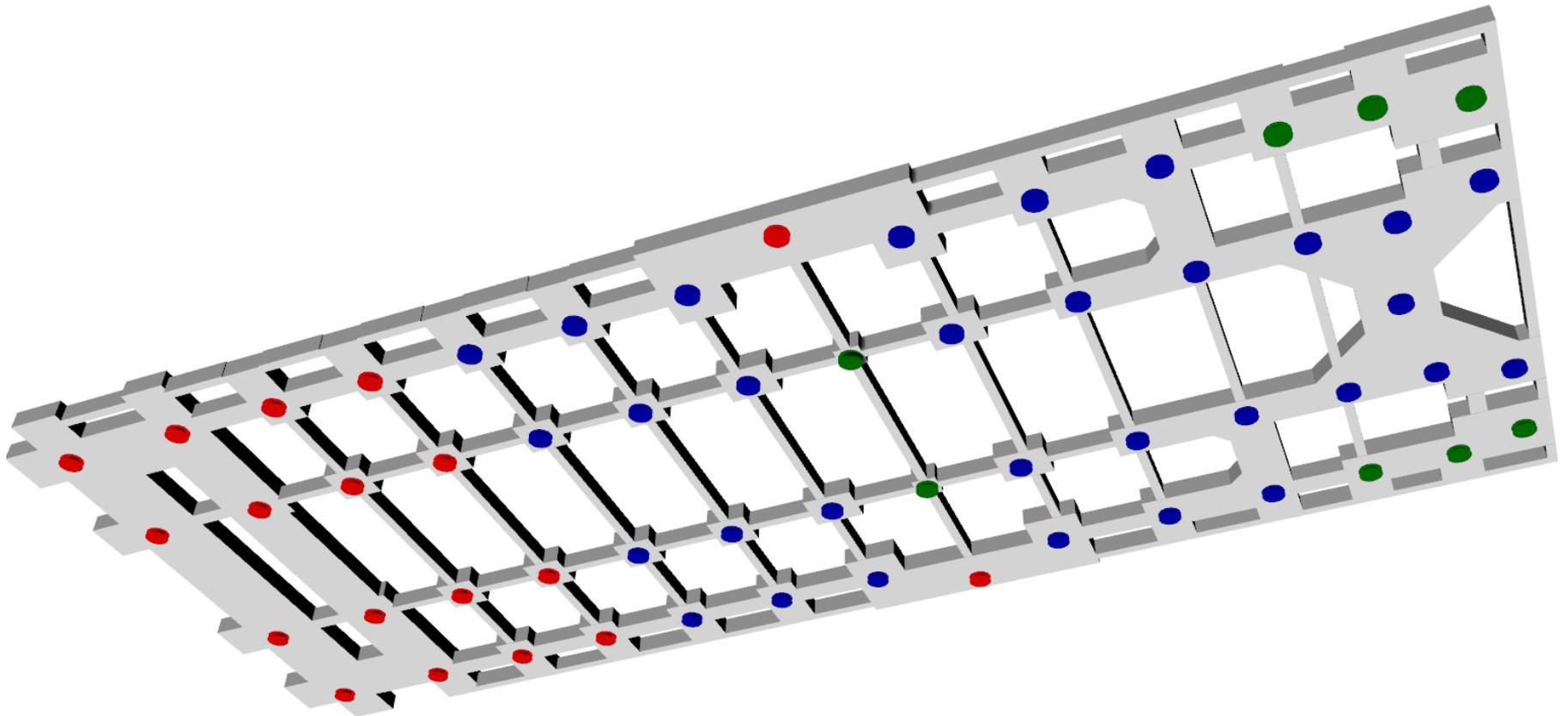


Deslizador Friccional



Diseño del sistema de Aislamiento Sísmico

- El diseño de los aisladores sísmicos se realizará según la distribución de dispositivos que se muestra en la Figura siguiente, que contempla un total de 49 aisladores elastoméricos (31 tipo 1 y 18 tipo 2) más 8 deslizadores friccionales



Conclusiones

El terremoto del 27-02-10 mostró que:

- Los edificios de H.A. se comportaron bien.
- Entre los **errores conocidos** figuran principalmente:
 - Fallas de dinteles de acoplamiento.
 - Falla de columnas cortas.
 - Control de obra deficiente.

Conclusiones

- Los sismos de mediana y gran magnitud imponen deformaciones muy importantes a las estructuras. Estas deben ser capaces de tolerar las deformaciones que impuestas por el sismo sin colapsar y en lo posible evitando la pérdida de funcionalidad.
- El amortiguamiento (capacidad de disipación de energía de la estructura) puede reducir dicha exigencia fuertemente.
- En todos los sismos de gran magnitud que se presentaron últimamente en el mundo se han vuelto a presentar **errores conocidos** y otras **novedades**.

Conclusiones

- Entre las **novedades** figuran:
 - Características particulares del terremoto.
 - Efectos especiales del suelo de fundación.
 - Imposibilidad de confinar muros delgados.
 - Diseño defectuoso de singularidades.
- **Otros aspectos relevantes**
 - La aislación sísmica y disipación de energía funcionó muy bien.

Conclusiones

- **Recuperación de edificios dañados:**
 - Debe ser diseñada por un profesional especialista.
 - Debe ser ejecutada por una empresa especializada.
 - Debe ser supervisada e inspeccionada por un profesional idóneo con experiencia.
 - Los equipos de ejecutores deben estar calificados en los productos y marcas de uso en terreno.

Conclusiones

- La forma de reducir la demanda por deformación es usar aislación sísmica en la base.
- La forma de llevar a cabo control de vibraciones es mediante disipadores de energía y en general la experiencia japonesa ha mostrado buenos resultados con amortiguadores viscosos tanto riostras como muros.

Conclusiones

- Fisuras de espesor $\geq 0,3\text{mm}$ se deben inyectar con resina epóxica para evitar la corrosión de la armadura.
- La insuficiencia de refuerzos de flexión y de corte en muros y columnas se puede solucionar fácilmente con refuerzos de fibra de carbono.
- El encamisado de columnas y muros son soluciones de refuerzo relativamente simples y efectivas, pero requiere verificar esfuerzos.
- Muros delgados fuertemente cargados que muestren signos de pérdida de recubrimiento deben ser reforzados.
- Es perfectamente posible izar edificios altos de muros que sufrieron asentamientos importantes debido a la falla en compresión de algunos muros resistentes. Una vez realizado se procede con las reparaciones definidas por el proyectista estructural.

BIBLIOGRAFIA

- Lüders, Carl. **REPARACIÓN Y REFUERZO DE DAÑOS SÍSMICOS EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO**. Seminario MOP KIZUNA 2019.
- NCh 433 Of 96 Modificación 2009. **Diseño Sísmico de Edificios**. Instituto Nacional de Normalización.
- Fukuyama, H. **Evaluación de tipo de daño**. NILIM – MLIT. Seminario KIZUNA – MOP Chile 2018.
- Seki, M. **Manual of Postearthquake Quick Inspection of Damaged Buildings (Reinforced Concrete Buildings)**. Japan Building Disaster Prevention Association. Febrero de 2001.
- Kaminosono, Takashi, Kumazawa, Fumitoshi, Nakano Yoshiaki. **Manual de Inspección Rápida para Edificaciones de Hormigón Armado Dañadas por Terremotos. Nota Técnica, N° 40**. Instituto Nacional de Gestión de Terreno e Infraestructura. Ministerio de Terreno, Infraestructura y Transporte, Japón. Marzo 2002. En español.
- J. Montegu. **Manual de Técnicas de Reparación y Refuerzo**. 2010, ICH Chile.
- PATRICIO GARCÍA A. **Metodología de evaluación, caracterización del daño y elección de la solución**. Seminario Retrofit PUC. 2018,

BIBLIOGRAFIA (CONTINUACIÓN)

- Hernán Santamaría, **EXPLORANDO OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO RETROFIT**. SEMINARIO PUC CHILE 2018
- FEMA, 2006, **Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings**, FEMA 547. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- ATC, 1996, **The Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings**, ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, CA.
- ASCE, 2003, **Standard for the Seismic Evaluation of Buildings**, ASCE 31-03, American Society of Structural Engineers, Reston, VA.
- **Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001**. Translated by : Building Research Institute. Published by : The Japan Building Disaster Prevention Association.
- **Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001**. Translated by : Building Research Institute. Published by : The Japan Building Disaster Prevention Association.
- **Technical Manual for Seismic Evaluation and Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001**. Translated by : Building Research Institute. Published by : The Japan Building Disaster Prevention Association

WEBGRAFIA

- www.strongtie.com Seminario Retrofit. PUC, 2018.
- Catálogo ERICO. <https://www.erico.com/catalog/literature/RSB-WWSP.pdf>
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. www.ich.cl



GRACIAS



Ministerio de
Obras Públicas

Eduardo Hurtado Gajardo
Ingeniero Civil
Jefe de Departamento de Ingeniería y
Construcción
Dirección de Arquitectura MOP