

“Estudios de Diagnóstico Construcciones Existentes Sector Ultraestación, Calle Italia S/N°, Chillán”

Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio

Servicio Nacional del Patrimonio Cultural

ID: 622847-9-LE20

INFORME DE DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL - Revisión 3



Vista general de la nave norte – Imagen Equipo consultor estructural



ÍNDICE DE LA PRESENTACIÓN:

- A) Introducción.
- B) Caracterización de grandes sismos que han afectado al edificio.
- C) Clasificación del desempeño estructural histórico según norma Nch433.
- D) Características del suelo de fundación y determinación de la demanda sísmica.
- E) Pluviometría y corrosividad atmosférica.
- F) Materialidad del edificio.
- G) Tipologías estructurales principales del edificio.
- H) Transmisión de las solicitaciones estáticas y sísmicas en cada edificio.
- I) Mantenimiento del edificio.
- J) Tipologías de daños y diagnóstico.
- K) Requerimientos de apuntalamiento.
- L) Propuestas preliminares para estrategias de rehabilitación estructural.
- M) Modelación estructural.

A) Introducción:

El presente informe forma parte del estudio denominado **“Estudios de Diagnóstico Construcciones Existentes Sector Ultraestación, Calle Italia S/N°, Chillán”** licitado por el Servicio Nacional del Patrimonio Cultural y adjudicado a Rosenmann López Arquitectos. Tiene por propósito realizar un diagnóstico de la estructura bajo estudio y emitir criterios de intervención estructural.

Para ello se considera realizar una visita a terreno por parte del equipo consultor estructural identificando las lesiones que adquieren relevancia para determinar el comportamiento estructural del edificio y estableciendo su nivel de severidad, bajo la denominación que define la norma Nch433 que se entrega en anexo 5, identificando fortalezas y debilidades del esqueleto resistente, riesgos a los cuales está sometida la estructura, las necesidades de apuntalamiento y las recomendaciones de intervención estructural requeridas por Bases. Las coordenadas del inmueble son: -36,60146; -72,11266.

Los antecedentes con que se cuenta para realizar este diagnóstico de especialidad son los siguientes:

- Visita a terreno realizada por el suscrito el día 15 de enero de 2021.
- Términos de Referencia de la licitación cuyo ID es 622847-9-LE20.
- Diversos antecedentes aportados por el consultor principal.

El inmueble bajo estudio consta de cuatro naves de similares dimensiones y estructuración.



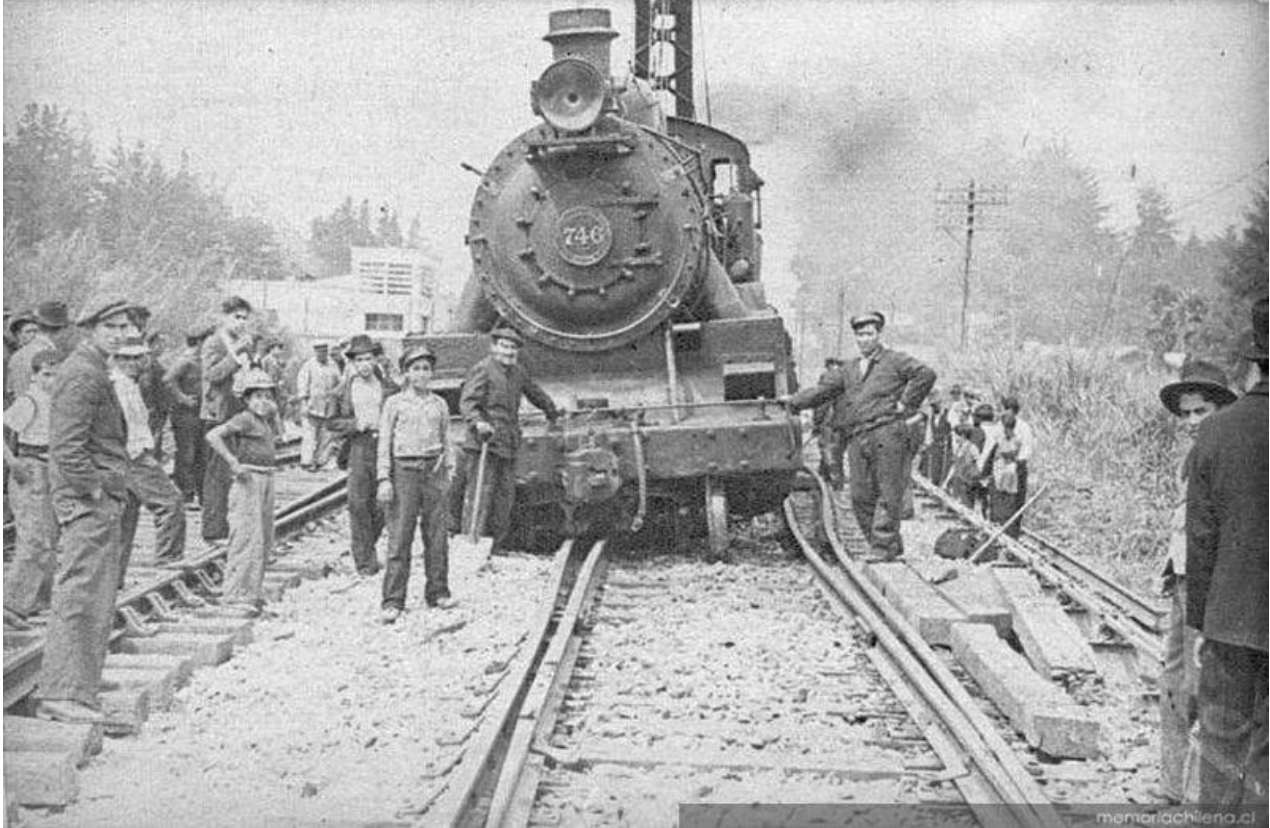
Imagen de GoogleMaps que exhibe las 4 naves bajo estudio. El eje longitudinal es NS.

B) Caracterización de grandes sismos que han afectado al edificio.

Este edificio, que según los antecedentes recopilados, data de 1940 ha estado sometido a diversos sismos de gran magnitud a lo largo de su vida de servicio, como también a solicitaciones de origen no sísmico, tales como ráfagas de viento y cargas derivadas de la propia operación del inmueble.

- Sismo del 24 de enero de 1939:

Si bien este evento es anterior a la fecha de construcción del edificio bajo estudio, igualmente estimamos necesario citarlo dada su importancia en caracterizar la sismicidad de la región y la relevancia que adquiere en la historia sísmica del país. En efecto, a las 23.32 se produjo un sismo de magnitud 8,3 con coordenadas epicentrales -36,2 y -72,2 con profundidad focal entre 80 y 100 km, del tipo intraplaca.



Fuente: Memoria Chilena.



Fuente: Memoria Chilena



- **Sismo del 21 de mayo de 1960:**



El 22 de mayo de 1960 a las 3:11:16 PM ocurrió un sismo de magnitud $M_w=9,5$ cuyo epicentro se localizó en las coordenadas 38S, 73,5W y una profundidad focal entre 130 a 180km. Este evento fue precedido del sismo de Concepción del 21 de mayo a las 6:02:52 AM, con epicentro en 37,5S, 73,5W y magnitud 7,5. El mismo día 22 de mayo, a las 3:10:48 se registró otro sismo de magnitud 7,5, con coordenadas 42S y 74,5W. En el intertanto se registraron numerosos sismos de magnitudes importantes. 15 a 30 minutos después del sismo principal comenzó el tsunami que alcanzó también las costas de Japón y Hawái. **Constituye el mayor sismo instrumentalmente registrado en el mundo, estimándose una longitud de ruptura de 1000 km.**



- Sismo del 27 de febrero de 2010:

Las coordenadas del epicentro de este sismo son 35,8 S y 72,7 W, con una profundidad focal de 35km, lo que da cuenta de la proximidad de este lugar al epicentro.

La magnitud de este sismo es $M=8,8$ y su duración fue de 120 segundos, con una fase de alta destrucción que duró aproximadamente 60 segundos.

Además de la corta distancia al foco, la enorme magnitud y la alta duración del evento, explican la severidad del este sismo en la ciudad de Concepción. Es preciso enfatizar que la fase de máxima destrucción de los mayores sismos históricos bordea los 20 segundos, que es notablemente inferior a lo que en tal atributo registra el 27F.

Cabe destacar la enorme magnitud alcanzada por las aceleraciones del suelo en la ciudad de Concepción durante este evento sísmico, que se expone en la tabla siguiente.

C) Clasificación del desempeño estructural histórico según norma Nch433.

De acuerdo a lo expuesto, el edificio bajo estudio ha estado sometido a dos sismos de altísima severidad, lo que se suma al hecho que el lugar de emplazamiento presenta una actividad sísmica histórica particularmente destructiva, documentada desde el terremoto de 1570, todo lo cual plantea indefectiblemente que las sollicitaciones sísmicas son fundamentales en el análisis del comportamiento estructural de este inmueble.



No obstante lo anterior, cabe mencionar que la Norma Nch.433.Of.96 vigente el 27F establecía en su artículo 5.1.1. que para considerar sismorresistente un edificio, se debían cumplir las siguientes condiciones:

- a) Resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada.
- b) Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.
- c) Aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

En concordancia con lo expuesto se debe señalar que si bien el edificio bajo estudio presenta daño estructural relevante, de acuerdo a la citada norma, basándonos en el criterio de **desempeño**, presentaba para dicho evento una capacidad sismorresistente significativa, cuestión que será discutida en profundidad en el presente informe.

D) Características del suelo de fundación y determinación de la demanda sísmica. Según el informe geotécnico, el suelo presenta las siguientes características relevantes para el comportamiento estructural:

- Clasificación sísmica del suelo: Tipo E, lo que significa que se trata de un suelo de mala calidad para fundar que tiene asociada una alta demanda sísmica.
- Capacidad de soporte: 1 kg/cm² estática y 1,5 kg/cm² sísmica.

E) Pluviometría y corrosividad atmosférica:

Existen otros factores propios de la geografía donde se encuentra ubicado el edificio bajo estudio que afectan su comportamiento estructural. A continuación se entrega una caracterización de ellos.

Pluviosidad de la ciudad de Chillán: Este lugar registra un promedio de 872 mm de agua caída anual, que sólo a modo de referencia, supera en más de 2 veces a la de Santiago (360 mm), lo que da cuenta de la intensidad que históricamente ha presentado la precipitación produciendo una sobre hidratación en los elementos estructurales del edificio, lo que se ve agravado desde que perdió la techumbre.

Corrosividad del aire: De acuerdo a diversos estudios de corrosividad del aire realizados en el país, la ciudad de Chillán presenta un nivel medio de corrosividad. Esto es coherente con lo constatado en las armaduras a la vista.

F) Materialidad del edificio: Los materiales constitutivos del esqueleto resistente en cada nave son los siguientes:

- Muros longitudinales: Albañilería de soga con pilares de hormigón armado en encuentro con muros transversales pero sin pilares en puntas de muro. Cadenas y dinteles de hormigón armado.



- Marcos transversales: Pilares y vigas de hormigón armado.
- Muros transversales: Albañilería simple con cadenas – vigas de hormigón armado. Frontones de albañilería simple con cadenas inclinadas de hormigón armado.
- Vigas secundarias de techo: Hormigón armado.

Notas:

- a) Todas las armaduras son de acero redondo liso para hormigón, propio de la época.
- b) Si bien aún se cuenta con el informe geotécnico, por lo observado en la visita, las fundaciones son corridas y armadas.
- c) Dado que solo existen pilares en encuentro de muros, se debe considerar que predominantemente se trata de muros de albañilería sin confinamiento vertical.

G) Tipologías estructurales principales del edificio:

En relación a sus paramentos verticales este edificio presenta en la dirección longitudinal MUROS de CORTE SÍSMICOS (también conocidos como muros de cizalle, portantes o portadores), sin embargo en la dirección transversal de cada nave la tipología estructural es híbrida pues contiene seis MARCOS RÍGIDOS interiores y dos tapas que presentan MUROS de CORTE.

Estas tapas ubicadas en los extremos de cada nave son parcialmente llenas (con albañilería) y presentan vanos estructurados con vigas de hormigón armado, por lo que podrían clasificarse como categoría MURO – MARCO, sin embargo en cada uno de ellos es el muro el que toma prácticamente la totalidad del corte sísmico, por lo que es más justo definir su tipología como MURO de CORTE SÍSMICO.

Cada nave está separada de la contigua mediante juntas de dilatación de 50 mm de espesor que no presentan mayores lesiones, pero que igualmente deben ser intervenidas.

En el cielo actual no existe cubierta y la presencia de vigas secundarias de hormigón armado no constituye diafragma rígido.

H) Transmisión de las solicitaciones estáticas y sísmicas en cada edificio:

- **Solicitaciones estáticas:** La carga del techo (cuando lo había) se traspassa a las vigas de los marcos transversales las que las trasladan a los pilares y éstos al suelo a través de sus fundaciones. La carga estática que llega a los muros longitudinales es despreciable.
- **Solicitaciones sísmicas:**
- En la dirección longitudinal existen suficientes muros para tomar el corte sísmico longitudinal.



- En la dirección transversal los marcos rígidos están altamente solicitados pues deben evitar la pérdida de estabilidad de los muros longitudinales, sin embargo estos pórticos carecen de la capacidad para cumplir cabalmente con esta función, lo que se expresa con sendas fallas en la base de los pilares y en los hombros y, consecuentemente, ante la falta de apoyo transversal, los muros longitudinales exhiben grietas horizontales basales.

En esta misma dirección también existen los muros extremos de cada nave que han trabajado al corte estando al límite de su capacidad, lo que se ha expresado con sendas grietas diagonales simples o dobles.

Teniendo en cuenta esto, sumando a la ocurrencia de dos sismos de los mayores entre los registrados mundialmente, es necesario destacar que el edificio ha tenido un desempeño sísmico que ha evitado el colapso, sin embargo se debe enfatizar que desde 2010 el inmueble ha sido afectado por la extracción de las armaduras verticales interiores basales de los pilares, razón por la cual el estado estructural actual del inmueble presenta un notable menoscabo respecto al que tenía para el 27F.

- I) **Mantenimiento del edificio.** Todos los edificios bajo estudio exhiben bajo mantenimiento lo que afecta el estado de las armaduras.
- J) **Tipologías de daños estructurales.** Los daños catastrados y expuestos en los anexos números 1 al 4 son los siguientes:
 - **Marcos transversales:** Daño por esfuerzos sísmicos contenidos en el plano propio consistente en agrietamiento de sección basal y hombro, con pérdida de estuco, desprendimiento de recubrimiento y caída parcial de la masa de hormigón, con amplia exposición de armaduras de flexión y corte.
 - **Muros transversales:** Falla por corte sísmico y vaciamiento de frontones.
 - **Muros longitudinales:** Falla por flexión lateral expresada en fractura basal horizontal.

Es importante consignar que los daños estructurales, si bien son severos, son recuperables.

Se plantea lo anterior por las siguientes razones:

- **Existen sectores particularmente focalizados que exhiben vaciamiento de origen sísmico.**
- **La mayor parte de los elementos estructurales (muros, vigas, cadenas, tímpanos) conserva la verticalidad.**
- **Los daños existentes presentan sistematicidad y su génesis es inequívoca.**
- **En la mayoría de los marcos, las armaduras están a la vista, por lo que respecto a su identificación actuamos sobre bases ciertas, no siendo necesario depositar confianza en prospecciones especiales para ello.**



- Existen técnicas aplicables a la reparación y refuerzo de los sistemas constructivos presentes en este edificio, cuya efectividad ha sido verificada a través del tiempo, con realizaciones en obra y respaldo científico y académico.
- Si bien el edificio presenta déficit de mantenimiento, no está en estado de abandono ni ruina.

K) Requerimientos de apuntalamiento.

Como es de amplio conocimiento, en restauración de edificios históricos existe un instrumento denominado proyecto de apuntalamiento provisorio que tiene por propósito materializar una primera intervención para impedir la progresión del daño, cualquiera sea éste. En este caso debemos recomendar lo siguiente:

- Efectuar una limpieza profesional de todas las naves, extrayendo las especies vegetales y todo elemento o residuo que afecte la ventilación natural de muros y pilares.
- Instalar puntales en diagonal en algunos de los marcos interiores para evitar la deformación excesiva de los muros longitudinales ante eventos sísmicos. Tales puntales deben diseñarse para soportar cargas axiales de compresión y tracción.

L) Propuestas preliminares para estrategias de rehabilitación estructural. Para rehabilitar los edificios se propone lo siguiente:

i) Marcos transversales:

- Retirar la totalidad de los estucos.
- Reponer las armaduras verticales extraídas, a razón de 3 barras de diámetro 22 mm de 3m de longitud, encastradas en las fundaciones y traslapadas con las armaduras sanas.
- Efectuar una acuciosa limpieza con arenado de todas las armaduras expuestas y aplicar protección contra la corrosión. Reforzar los estribos con estribos de diámetro 10 mm cada 100mm. Luego, hormigonar con mortero de reparación estructural de alta resistencia u hormigón de gravilla grado G30.
- Inyectar todas las grietas.
- Reforzar los marcos recurriendo a alguna de las siguientes técnicas:
 - Incorporar fibras de carbono en zonas más solicitadas.
 - Agregar placas de carbono en las zonas críticas.
 - Agregar tirantes metálicos horizontales a una altura que sobrepase levemente el hombro, con el propósito de lograr rigidizar los marcos.
 - Incorporar placas metálicas en las secciones críticas de los marcos.



- Efectuar un recrecido en hormigón armado de pilares y vigas. Esta alternativa se detalla en planos.
 - Intercalar marcos rígidos metálicos que asuman la totalidad de las solicitaciones transversales en cada nave. Estos marcos irían conectados a los muros longitudinales de las naves y estarían materializados con pilares y vigas de sección IPE500, con fundaciones de dimensión 800 mm de ancho, 2000 mm de largo y 800 mm de alto, conectando con vigas de fundación de sección 300x600.
 - Combinación de las anteriores.
- ii) Muros transversales: Reparar las grietas diagonales mediante inyección de resinas e inserción de barras metálicas horizontales en el tendel de la zona dañada y refuerzo de piel completa por el lado accesible mediante recrecido con hormigón armado de 100 mm de espesor anclado al muro.
- iii) Muros longitudinales: Inyección en grietas y refuerzo de piel completa por ambas caras mediante estuco armado de 35 mm de espesor cada uno. Como alternativa también se puede plantear la incorporación de fibras de carbono.
- iv) Juntas de dilatación: Extracción de los residuos de moldajes perdidos y limpieza con aire comprimido. Reposición de sellos elásticos.
- v) Vigas secundarias de techo: Limpieza y protección de armaduras a la vista. Recubrimientos con mortero de reparación estructural. Incorporación de refuerzos metálicos. Como alternativa se puede considerar también el dejar las vigas tal como están, incorporando vigas nuevas paralelas. 3 por cada agua, en sección IPE 240.
- vi) Incorporación de diafragma de techo con diagonalización ubicada justo bajo las vigas secundarias de techo, con el propósito de tributar corte sísmico transversal a los muros transversales reforzados.

Cabe enfatizar que estas propuestas tienen carácter preliminar y que una formulación definitiva requiere elaborar un proyecto de especialidad, en el cual se analicen diferentes estrategias de reparación y consolidación, compatibles con los criterios de restauración propios de la condición patrimonial del inmueble.



El estudio de evaluación estructural definitivo deberá efectuar los siguientes ensayos:

- a) Ensayo de compresión del hormigón, extrayendo un testigo por nave tomado desde una columna que no presente fisuración.
- b) Determinación de dureza superficial de hormigón endurecido mediante (medición de índice esclerométrico mediante Martillo Schimdt) en 10 puntos en cada nave.
- c) Ensayo a tracción de una barra vertical de acero de refuerzo en cada nave, extraída de la base de una columna que exponga sus armaduras a la vista, en la zona afectada por robos de éstas.

Lo anterior cobra especial relevancia por cuanto el acero de refuerzo para hormigón presente en todos los elementos de hormigón armado existentes en la edificación bajo estudio es liso lo que limita su adherencia. No obstante ello esta condición no anula su capacidad estructural.

En concordancia con lo expuesto, el proyecto definitivo deberá cumplir cabalmente las normas vigentes, tanto en cuanto a materiales utilizados como en términos de las solicitudes aplicadas.

En todo caso, se recomienda descartar la inserción de pilares de hormigón armado en muros de albañilería, por las siguientes razones:

- a) Las técnicas de mayor eficacia para reforzar muros de albañilería son la aplicación de estucos armados y fibras de carbono.
- b) Nuestra propuesta privilegia el uso de estuco del tipo cementicio armado con malla electrosoldada versus la aplicación de fibras de carbono, por razones de costo y mejor conocimiento por parte de las constructoras chilenas.
- c) Los mecanismos de falla que han generado las lesiones individualizadas en las albañilerías bajo estudio tienen escasa relación con la falta de pilares, ergo no existen razones técnicas que los justifiquen. Por el contrario, la eventual inserción de pilares de hormigón armado dentro de muros de albañilería produce la discontinuidad del sistema constructivo, lo que requiere compensarse realizando una sobre demolición que permita el endentado, intervención que lesiona innecesariamente al muro.
- d) El confinamiento que alude la observación queda absolutamente resuelto con el recrecido cementicio mencionado en b, el cual considera barras pasadas que conectan las mallas del plomo exterior al interior del muro.

M) Modelación estructural. En anexo n°6 se aporta la modelación estructural tridimensional completa de una nave representativa, la cual arroja resultados que confirman rigurosamente que los marcos transversales fallan por esfuerzos excesivos contenidos en su plano propio derivados fundamentalmente de la función que cumplen estabilizando los muros longitudinales.

Gerardo Favre

Ingeniero Civil