

- ▲ **Palabras clave/** Arquitectura escolar, movimiento moderno, terremotos, patología constructiva.
- ▲ **Keywords/** School architecture, modern movement, earthquakes, constructive pathology.
- ▲ **Recepción/** 4 diciembre 2018
- ▲ **Aceptación/** 20 junio 2019

## Diseño sísmico y condiciones de conservación de las escuelas públicas en Valdivia antes del terremoto de 1960<sup>1</sup>

### Seismic design and preservation conditions of public schools in Valdivia before the 1960 earthquake<sup>1</sup>

**Claudia Torres-Gilles**

Arquitecta, Universidad de Valparaíso, Chile.  
Doctora en Tecnología de la Arquitectura, Edificación y Urbanismo, Universidad Politécnica de Cataluña, España.  
Académica, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Chile.  
claudiatorres@uchilefau.cl

**RESUMEN/** Uno de los valores patrimoniales de la ciudad de Valdivia es su arquitectura moderna, muchas de cuyas obras fueron construidas en madera o bien edificadas con posterioridad al devastador terremoto y maremoto de 1960 (9.5 Mw). No obstante, las edificaciones escolares diseñadas por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos entre el año 1941 y 1959, no solo resistieron el gran terremoto sino que representan la política de planificación estatal y modernidad institucional de la primera mitad del siglo XX y, además, se mantienen en pie y funcionando en su rol educacional hasta la actualidad. Mediante la caracterización formal, estructural y constructiva, junto al análisis de daños y procesos de deterioro que han tenido estos casos, es posible determinar las condiciones de durabilidad de estas obras modernas en un contexto geográfico altamente demandante, vislumbrando la necesidad de intervenciones de conservación y rehabilitación que permitan resguardar sus atributos arquitectónicos. **ABSTRACT/** One of the main heritage assets in the city of Valdivia is its modern architecture; many of such works were built in wood or either raised after the devastating earthquake and tsunami of 1960 (9.5 Mw). However, school buildings designed by the Building Society of Educational Centers between 1941 and 1959, not only withstood the mighty quake but also stand as evidence of state planning policies and institutional modernity during the first half of the 20<sup>th</sup> century. Furthermore, they are still in place and meet their educational purposes until today. Using a formal, structural, and constructive characterization, in addition to an assessment of damages and applicable dilapidation processes, the durability conditions of these modern works can be determined in a highly demanding geographical context, further envisioning the need for conservation and restoration interventions to safeguard their architectural features.

### LA MODERNIDAD DE LA ARQUITECTURA ESCOLAR EN VALDIVIA.

Durante el siglo XX, las obras públicas de arquitectura escolar surgen en nuestro país como parte de una política de modernización de la institucionalidad

y para marcar la presencia del Estado en todo el dominio territorial, entendiéndose que “el edificio moderno tiene que funcionar como una manifestación del mundo nuevo y abierto, al tiempo que debería conservar las propiedades generales de la espacialidad comunitaria” (Norberg-Schulz 2009:128). Estas obras son principalmente gestionadas, diseñadas y ejecutadas desde 1937 hasta 1987 por la Sociedad Constructora de Establecimientos Educativos (SCEE 1987), quien fuera la entidad creada por el presidente Pedro Aguirre Cerda en el

año 1937 (a través de la Ley N° 5.989) para dar respuesta a la alta demanda de educación escolar.

En el caso de Valdivia, existen diversas edificaciones escolares que son obra de la SCEE. Sin embargo, aquellas construidas antes terremoto de 1960, además de ser las de mayor antigüedad del grupo, demuestran la búsqueda de los arquitectos por responder simultáneamente a un diseño moderno, funcional, adaptado a las condiciones climáticas de la ciudad y, a la vez, resistente sísmicamente.

<sup>1</sup> El presente artículo se inscribe en la investigación FONDECYT de Iniciación 2016, N° 11160322 “Evaluación de procesos patológicos en la arquitectura escolar moderna en Chile: Comportamiento de sistemas constructivos tradicionales y experimentales diseñados por la SCEE, 1937-1985”.

<sup>1</sup> This article is part of Initial FONDECYT 2016 Project, No. 11160322 “Evaluation of pathological processes in modern school architecture in Chile: Behavior of traditional and experimental construction systems designed by the SCEE, 1937-1985”.

CASO 1 GRUPO ESCOLAR	CASO 2 ESCUELA SUPERIOR DE HOMBRES N°1	CASO 3 CONJUNTO ESCOLAR ESCUELA NORMAL
AÑO		
1941	1959	1959
ARQUITECTOS		
J. Aracena y G. Monckeberg	J. Aracena	J. Aracena (J. Hidalgo y C. Barros)
NOMBRES ACTUALES ESTABLECIMIENTOS ESCOLARES		
Escuela Leonardo Da Vinci, Instituto Superior de Administración y Turismo	Escuela Chile	Ex Escuela Polivalente Los Avellanos y Escuela Especial Walter Schmidt
UBICACIÓN		
Calles Phillipi, Domeyko y Goycolea	Calles Ramón Picarte y García Reyes	Calle José Muñoz Hermosilla
CONTEXTO		
Residencial	Central y Comercial	Periferia Residencial
		

Tabla 1. Antecedentes de establecimientos escolares construidos por la SCEE antes de 1960 (fuente: Elaboración propia).

En base a documentación bibliográfica, planimetría y especificaciones técnicas de los Archivos Municipales, y levantamiento de los mismos edificios, podemos identificar 3 casos relevantes: Grupo Escolar, Escuela Superior de hombres N°1, Conjunto Escolar Escuela normal (Tabla 1). Los tres casos corresponden a diferentes tipologías arquitectónicas. Mientras el primero es un Grupo Escolar emplazado

en un barrio residencial de conformación volumétrica unitaria, con un patio central semi compartido, la Escuela Superior corresponde a una obra de diseño singular de cuatro niveles, conformando un volumen de esquina con un terreno reducido en pleno centro urbano. El tercer caso corresponde a dos escuelas que, de manera aislada junto a otros volúmenes de uso común, constituyen un Conjunto Escolar emplazado en unos terrenos amplios en la zona alta de la ciudad, alejados del centro y el borde del río.

Como bien indica Norberg-Schulz, “la existencia de tipologías básicas confirma la naturaleza general de los edificios públicos” (2009: 128). En este sentido, las tres edificaciones responden coherentemente a la estética moderna de su época y al contexto urbano, presentando similar ordenamiento y distribución espacial del programa arquitectónico (pabellones alargados con aulas alineadas y amplios corredores interiores), bajo un sentido de diferenciación funcional y resguardando los principios de higienismo y habitabilidad de la época (Torres, Valdivia y Atria 2015).



Figura 1. Ubicación de Casos en la ciudad de Valdivia: 1 Grupo Escolar; 2 Escuela Superior; 3 Conjunto Escolar (fuente: Elaboración propia).



Imagen 1. Grupo Escolar. Instituto Superior de Administración y Turismo (fuente: La autora).



Imagen 2. Grupo Escolar, patio interior y pasillos de la Escuela Leonardo Da Vinci (fuente: La autora).

Es evidente que la primera obra (Grupo Escolar) presenta un diseño de transición, conservando aspectos tradicionales, como la simetría, las cubiertas inclinadas y una volumetría maciza donde predomina la masa por sobre las aberturas o liviandad de los volúmenes (imágenes 1 y 2, figura 2).

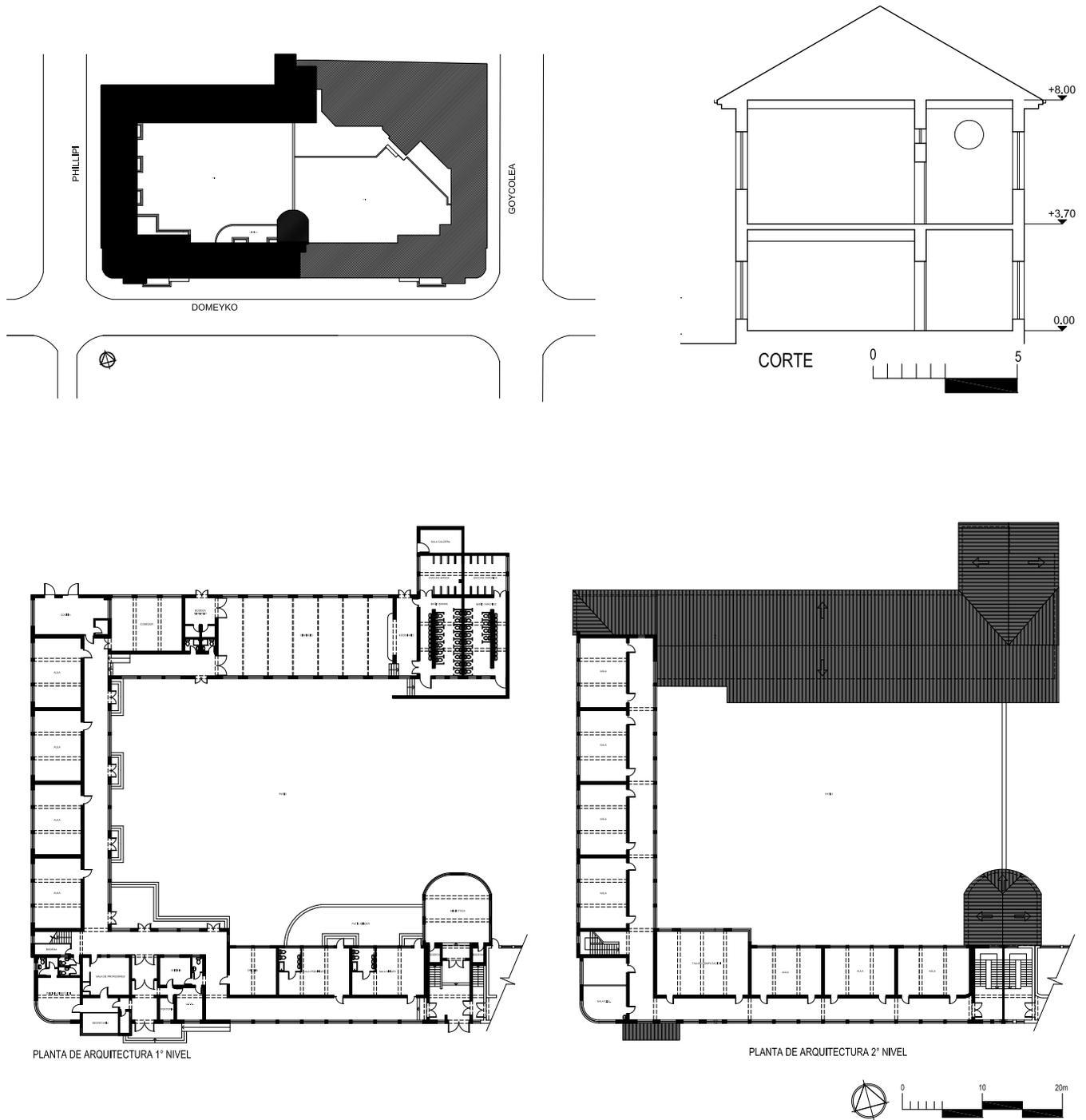
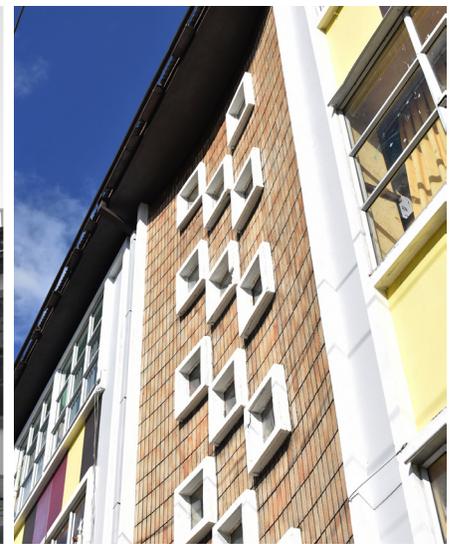


Figura 2. Planimetría de Escuela Leonardo Da Vinci (fuente: Elaboración de Tania Basterrica).



La Escuela Chile presenta aspectos similares al caso anterior, conformando una manzana continua de fachada alineada a la vereda. Se reitera el volumen curvo en la esquina, desfasando el acceso hacia la calle principal, con marquesina y escalera que jerarquizan el ingreso. No obstante, tiene un diseño de mayor altura, incluyendo un piso de semi-zócalo. En esta escuela, las fachadas se componen con diferentes ritmos de relieves y materialidades, remarcando la ligereza del volumen de aulas, donde predominan las franjas cuadrículadas de ventanales por sobre los muros macizos (imágenes 3 y 4, figura 3).

Imagen 3. Exteriores Escuela Chile, ex Escuela Superior de Hombres N°1 (Fuente: La autora).



Imagen 4. Interior Escuela Chile, ex Escuela Superior de Hombres N°1 (fuente: La autora).

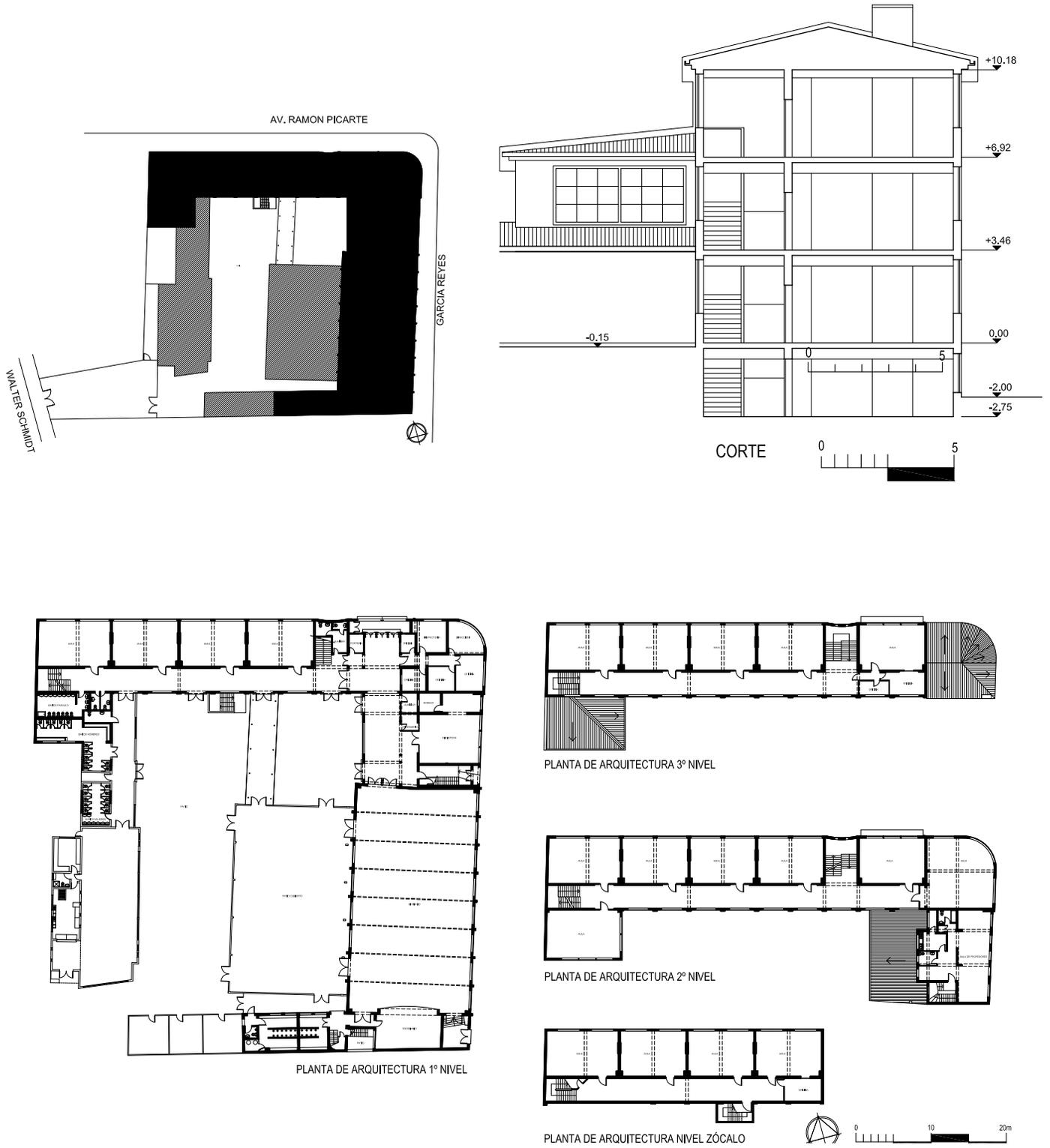


Figura 3. Planimetría de Escuela Chile (fuente: Elaboración de Tania Basterrica en base a planos originales).

El conjunto de las escuelas, Los Avellanos (en desuso al momento de la visita) (imagen 5) y Walter Schmidt (imagen 6), da cuenta de las posibilidades del diseño al disponer de un gran terreno semi-rural. El proyecto rompe con la fachada continua, dando paso a unos amplios antejardines, donde se separan las edificaciones dejando circulaciones exteriores. Los pabellones en "L" de ambas escuelas son de baja altura, predominando la fachada vidriada reticulada, con volúmenes de menor altura que conservan una composición de escala doméstica (figura 4).



Imagen 5. Conjunto Escolar Escuela Normal, ex Escuela Polivalente Los Avellanos (fuente: La autora).



Imagen 6. Conjunto Escolar Escuela Normal, Escuela Walter Schmidt (fuente: La autora).

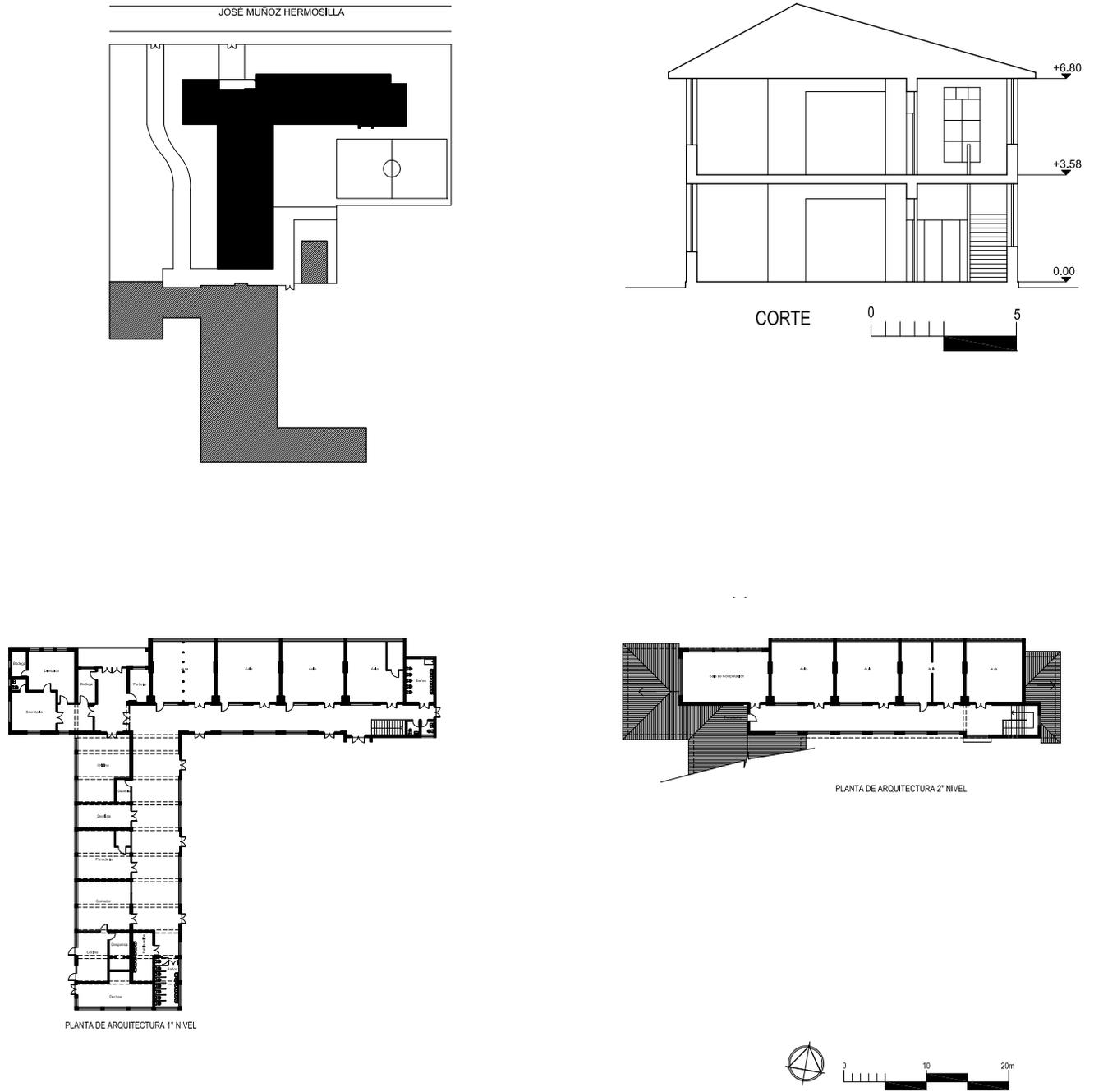


Figura 4. Planimetría de Escuela Walter Schmidt (fuente: Elaboración de Tania Basterrica).

## CARACTERIZACIÓN CONSTRUCTIVA DE LOS CASOS DE ESTUDIO.

En un contexto de edificaciones construidas tradicionalmente con madera, incluso en los nuevos proyectos de los años 40, como da cuenta Cerda-Brintrup (2015), estas escuelas se levantaron contrastando con su entorno no solo por su volumetría y estética sino también por su materialidad (imagen 7).

En este sentido, la Sociedad Constructora instaura un modelo que fue tipológico en lo constructivo y resultó homogéneo en todo el país, asegurando el cumplimiento de nuevos estándares y normativas.

A partir de las Especificaciones Técnicas (EETT) y la observación en terreno, podemos aseverar que las escuelas se diseñaron y materializaron, principalmente, con sistemas de muros estructurales de albañilería de ladrillo reforzada y hormigón armado (HA), incorporando, además, marcos rígidos de HA, diafragmas rígidos con losas de HA en los entresijos superiores y techumbres compuestas de vigas (HA) de amarre transversal entre muros, con 'enmaderaciones' en tijerales y cerchas de roble pellín.

Desde 1930<sup>2</sup>, y principalmente luego del gran terremoto de Chillán –cuya magnitud fue de 8.3 Ms (CSN, 2019), los proyectos para instituciones fiscales debían cumplir una serie de regulaciones, asegurando la calidad técnica no solo con un detallado proyecto de arquitectura y estructura, sino también con el cumplimiento de normativas<sup>3</sup> que velaban por un correcto diseño y cálculo estructural, la ejecución constructiva y calidad de los materiales, y por una adecuada inspección técnica en obra<sup>4</sup>. Por ello, las obras escolares constituyen una certeza de modernidad, que se corrobora con el tipo de materiales usados, con una cadena productiva que deja de ser artesanal y permite su empleo en diferentes zonas geográficas.

No obstante, hasta esa época, la implementación de modelos constructivos probados, impidió la experimentación con las materialidades, tipologías formales,

estructurales y constructivas locales, a diferencia de otras obras que proponen una modernidad reinterpretada y tamizada por la cultura local (Cerda-Brintrup 2015). Del mismo modo, se asume con dificultad un diseño específico acorde a las condiciones ambientales de la zona.

## CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL Y DISEÑO SÍSMICO.

A la buena calidad constructiva de los proyectos, se debe agregar las características morfológicas que permiten que estas edificaciones hayan resistido el terremoto y maremoto de Valdivia de 1960, cuya magnitud (9.5Mw)<sup>5</sup> ha sido la mayor del mundo hasta nuestros días.

Para este análisis, se consideran aquellas características de configuración estructural que inciden en el desempeño y resistencia sísmica, teniendo en cuenta los parámetros que indica Teresa Guevara (2009) respecto a la arquitectura moderna en zonas sísmicas. Esto se ratifica en el método FEMA P-154 (2015), que se basa en métodos cualitativos y empíricos, como el del índice de vulnerabilidad desarrollado por Benedetti y Petrini (1984), utilizado por el Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (GNDT) en Italia, y que ha sido aplicado y ajustado por autores como Mena (2002), Safina (2002), Gent, Astroza, y Giuliano (2005), Maldonado, Gómez y Chio (2008), Silva (2011), Alvaay (2013), Pizarro y Agüera (2016), entre otros, identificando los parámetros –de análisis formal, resistencia mecánica y estado de conservación– más importantes que controlan el daño sísmico en los edificios (Mena 2002), ya que “la afectación o daño depende de la acción sísmica y de la capacidad sismo resistente de la estructura” (Safina 2002: 45).

### a) Separación estructural con 'juntas sísmicas'.

A pesar de que las edificaciones analizadas fueron diseñadas arquitectónicamente con pabellones continuos en “L” o “C”, ellos se estructuran como cuerpos independientes separados por juntas sísmicas de entre 2,5 y 4 cm.

### b) La regularidad formal de los volúmenes.

Una edificación irregular como volumen tanto en planta como en altura es más vulnerable que una regular. Podemos decir que las escuelas son esencialmente volúmenes de paralelepípedos regulares, con plantas de igual distribución en cada nivel, sin diferencias significativas de altura y, cuando las hay, los cuerpos se separan estructuralmente. Sin salientes excesivos, ni retranqueos parciales. La geometría de pabellón alargado es un aspecto negativo (L<sub>2</sub>5a), ya que según como se distribuyen los elementos estructurales, la configuración “puede incidir en una distribución irregular de la rigidez, la resistencia y masa reactiva” (Guevara 2009: 144), generándose posibles fallas por torsiones.

**c) Distribución de muros ortogonales.** Si bien la geometría alargada no es la mejor, al menos los ejes estructurales son ortogonales entre ellos, lo que permite niveles de simetría en la distribución de los ejes. Por otra parte, con muros perpendiculares entre sí, se generan sistemas de ‘cajones’ evitando flexiones indeseadas frente a los empujes perpendiculares a los planos de muros.

**d) Continuidad y homogeneidad vertical de ejes estructurales.** Aspecto relevante en el diseño de arquitectura moderna, que planteaba la liberación de los primeros pisos mediante el uso de ‘pilotis’, las ventanas alargadas, fachadas no estructurales, dobles alturas o el diseño de plantas flexibles. En este caso, los edificios se diseñan con ejes estructurales continuos verticalmente y los muros son de espesores constantes en cada nivel. Las fachadas son estructurales y no quedan liberadas como meros cerramientos. En este sentido, se adopta un sistema de resistencia por rigidez, “tendencia propuesta por los japoneses desde principios de siglo XX” (Guevara 2009: 72) y no por ‘ductilidad’, como era recomendado por EE.UU.

### e) Rigidez y continuidad de los entresijos.

Las estructuras horizontales conformadas por losas de HA como diafragmas rígidos, tienen un mejor comportamiento frente a los sismos que aquellas flexibles o sistemas de envigados unidireccionales. El

<sup>2</sup> Ley N° 4563 de 1930, “Ordenanza General de Construcciones y Urbanismo” y “Normas para el cálculo y construcción de las obras de concreto armado en la edificación fiscal” de la Dirección General de Obras Públicas.

<sup>3</sup> Según EETT de 1941, se encontraban vigentes las siguientes Normas: Ordenanzas Generales de Construcción, Normas de la Dirección de Obras Públicas, Norma Chilena de Concreto Armado de la Dirección General de Obras Públicas. En EETT de 1959 se debía cumplir, además, Normas Generales y Oficiales de Ejecución y Cálculo de Hormigón Armado y Normas Oficiales de Ensayo de Materiales.

<sup>4</sup> En 1959 se usaba una Norma Técnica para Inspectores de Obra, redactada por el Departamento de Construcción de la SCEE.

<sup>5</sup> “Medida que tiene relación con la cantidad de energía liberada en forma de ondas” (CSN, 2018) en la zona de ruptura de las placas, es decir en el hipocentro del terremoto.

DESCRIPCIÓN	CASO 1 GRUPO ESCOLAR	CASO 2 ESCUELA SUPERIOR	CASO 3 CONJUNTO ESCOLAR
Año	1941	1959	1959
Nº de pisos original	2	3 + zócalo	2
Fundaciones	Fundaciones corridas en HA. Cimiento con profundidad media de 2.0 m bajo nivel terreno, sobrecimiento de 50 cm de altura. Poyos de fundación de 30x30 cm en HA, como soporte de envigados de piso.	Zapatas, muros de contención y fundaciones corridas en HA. Cimiento profundidad media de 3.5 m bajo nivel terreno. Sobrecimientos de 70 cm sobre nivel del terreno.	Fundaciones corridas y zapatas en HA bajo muros. Sobrecimientos con altura mínima de 30 cm. Poyos de fundación de 30x30 cm como soporte de envigados de piso.
Sistemas constructivo (S.C.) muros y machones	HA y albañilerías de ladrillo reforzada con pilares y cadenas de HA, estucados por ambas caras.	HA y albañilerías de ladrillo reforzada con pilares y cadenas de HA, estucados por ambas caras. Ladrillos huecos en tabiques.	Albañilerías de ladrillo reforzadas con pilares y cadenas de HA, estucados por ambas caras.
S.C. Marcos rígidos (pilares y vigas)	Hormigón Armado.		
S.C. entrepisos	Piso ventilado con envigados de roble pellín de 2"x6" a 40 cm sobre vigas de 3"x8", en primer nivel. Diafragma rígido de losas de HA en nivel superior.	Losas de HA en todos los pisos.	Piso ventilado con envigados de roble pellín de 2"x6" a 45 cm sobre vigas de 3"x8", en primer nivel. Losas de HA en nivel superior.
S.C. techumbre	Vigas de HA, cerchas y vigas con "enmaderación" de roble pellín 2"x6" y 2"x8", aislante mezcla de "aserrín de madera con yeso negro de 1 1/2" de espesor". Cubierta de "Pizarreño standard acanalado".	Cerchas de madera, envigado de cielos de roble. Aislación de "barro paja". Cubierta de planchas de fierro galvanizado acanalado.	Tijerales y envigado de roble pellín, "enmaderaciones" de 2"x6" y 2"x8" a 45cm. Se proponía la posibilidad del uso de planchas de "Pizarreño", "concreto", tejuelas de madera (alerce, roble o raulí), "fierro galvanizado acanalado", de "corte liso emballetado" y tejas de cemento o greda. Como aislante, "aserrín de madera mezclado con yeso negro o barro empajado".
Materiales pavimentos	Baldosas en accesos, corredores, zonas húmedas y consultas médicas. "Endurmientado" de 2"x3" de roble pellín sobre losas, como apoyo del entablado de piso machiembreado de raulí en salas de clases y oficinas.	Baldosas en accesos, corredores, zonas húmedas, y con pendiente en corredores abiertos. "Endurmientado" de 2"x2" de roble, sobre losas, como apoyo del entablado de mañío en salas de clases y oficinas.	
Materiales cielos	Listoneado de madera con malla de gallinero y aplicación de una pasta de "cemento-pelo", revocada con "yeso negro afinado a yeso blanco".	Entablados de mañío.	Madera machiembreada y estucos bajo losa.
Material carpinterías	Puertas, mampara y algunas ventanas de raulí. Ventanas exteriores de fierro. Vidrios simples, solo en mampara será doble.	Todas las carpinterías de raulí. Ventanas con vidrio doble.	Madera de raulí.
Sistema de calefacción	No se indica  *Actualmente hay calefacción a leña	"Muros radiantes con alimentación por corredores". Caldera, también para agua caliente en duchas.	Puede ser sistema de calefacción central o estufa a leña.

Tabla 2. Características constructivas de los Establecimientos Educativos según EETT originales (fuente: Elaboración propia).

diafragma rígido permite un desplazamiento homogéneo en diferentes direcciones y puede transmitirlo a los muros de forma simultánea y proporcional a las rigideces de los elementos verticales, conteniendo y limitando los desplazamientos de cada estructura vertical. Los flexibles tienen períodos de vibración mayores y, a su vez, son más deformables, aun cuando en ellos los efectos de las torsiones son más reducidos (Tena, Chinchilla y Juárez 2013). Solo la Escuela Superior tiene todos los diafragmas rígidos, en coherencia con su mayor número de pisos.

Un diafragma se considera vulnerable cuando tiene un vano superior al 50% del área del nivel, si las losas no se encuentran apoyadas en la mayoría de sus caras laterales y cuando la relación geométrica en planta de ancho/largo es superior a 2,0, situación frecuente en pasillos.

**f) Regularidad de cargas.** Dado que en este caso los cuerpos estructurales se separan, en general presentan una regularidad y homogeneidad de cargas en su uso escolar, las aulas son todas iguales y los corredores también. Por otra parte, las techumbres cuentan con cerchas de madera sobre los diafragmas rígidos y no son espacios habitables.

**g) Rigideces y regularidad constructiva.** Este aspecto es donde las escuelas presentan mayor vulnerabilidad, ya que se ha observado, mediante la planimetría y con cámara termográfica, que en un mismo edificio hay diferentes sistemas estructurales y constructivos, influyendo en la irregularidad de rigidez del nivel. En los pabellones de aulas hay variaciones importantes entre los tres ejes longitudinales que los conforman, los de ambas fachadas son marcos de HA con antepechos de albañilería de ladrillo y, por otra parte, el muro que separa las salas de los corredores siempre es macizo y rígido, aun cuando son diseñados con tramos de diferentes sistemas constructivos (HA y albañilería reforzada).

Además de la morfología estructural de

las escuelas, la característica del tipo de suelo en que se emplazan es una de las variables relevantes en el análisis del desempeño sísmico.

De acuerdo a la información levantada por el Servicio Nacional de Geología y Minería, en su *Mapa 6: Características Geotécnicas Básicas y Respuesta Sísmica* (SERNAGEOMIN 2004) de la Provincia de Valdivia, y según el emplazamiento de las Escuelas, se constata que:

- El Grupo Escolar se encuentra emplazado en una zona de mala aptitud para la construcción, indicándose que las sobrecargas pueden causar subsidencias y licuefacciones. La intensidad durante el sismo de 1960 habría sido de entre 8,5 y 9,0. Según EE.TT., este edificio tiene fundaciones de 2,0 m bajo el nivel del suelo.

- La Escuela Superior se encuentra emplazada en zona con buena aptitud para la construcción, siendo apto para edificios de hasta aproximadamente cuatro pisos, lo que corresponde con las características del caso. La intensidad en el terremoto de 1960 habría sido de 7,5 a 8,0 en ese sector. En este caso las fundaciones son de 3,5 m de profundidad, lo que se explica por el nivel de semi-subterráneo.

- El Conjunto Escolar se encuentra emplazado en zona de regular aptitud para la construcción. En este caso, durante el terremoto de 1960, la intensidad habría sido de entre 8,0 a 8,5.

De esta caracterización general (tabla 3), vemos que el Grupo Escolar, además de ser el más antiguo, con condiciones de diseño estructural más vulnerable (por falta de juntas sísmicas y diversidad de sistemas constructivos tanto verticales como horizontales), es el que se emplaza en un suelo de más baja calidad para la edificación. Afortunadamente, es una obra de solo dos niveles y con una ampliación sectorizada de un tercer nivel. Mediante imágenes históricas del terremoto de 1960 (imagen 7) se puede constatar, incluso, que su emplazamiento se encuentra en zona de inundación.

A pesar del análisis anterior y la falta de informes técnicos de las condiciones de las escuelas después del terremoto de 1960, la documentación gráfica (imagen 8) da cuenta de la adecuada resistencia sísmica de los edificios analizados. Así, por ejemplo, en el diario El Mercurio se informaba que, "...hubo edificios que sufrieron daños menores, entre ellos se destacan: ...el Grupo Escolar de Valdivia, ubicado en calle Domeyko esquina de Phillipi..." (El Mercurio, La Unión, en Lazo 2008).

Por otra parte, la evidencia empírica de la permanencia en funcionamiento de las tres edificaciones escolares, da cuenta de su capacidad de resistencia sísmica, a pesar de las posibles vulnerabilidades antes indicadas y de los procesos patológicos que presentan en la actualidad.



**Imagen 7.** Grupo Escolar de Valdivia en zona inundada como efecto del maremoto y terremoto de 1960 (fuente: Olave 1961).



**Imagen 8.** Interior del Conjunto Escolar / Escuela Normal, usado provisoriamente como hospital luego del terremoto de 1960 (fuente: Revista Zig Zag 1960).

PARÁMETRO	CASO 1 GRUPO ESCOLAR	CASO 2 ESCUELA SUPERIOR	CASO 3 CONJUNTO ESCOLAR
a) Separación estructural con 'juntas sísmicas'	Presenta menos juntas sísmicas, solo en medio de la manzana (calle Domeyko), separando ambas escuelas, quedan dos cuerpos en "C".	Juntas sísmicas en zonas de cruce de los pabellones, volúmenes rectilíneos, estructuralmente independientes.	
b) La regularidad formal de los volúmenes	Volúmenes regulares. Pabellones alargados vulnerables.		
c) Distribución de muros ortogonales	Muros bien distribuidos, tipo cajón. En gimnasios, largos muros longitudinales con vanos, sin soportes perpendiculares que actúen como contrafuertes. Son vulnerables.		
d) Continuidad y homogeneidad vertical de ejes estructurales	Cumplen sin problemas.		
e) Rigidez y continuidad de los diafragmas	Estructuras horizontales con aberturas mínimas. Losas con apoyos en cada canto.  Estructuras horizontales diferentes en cada nivel, puede generar flexiones diferenciada en elementos verticales superiores. Corredores con proporción geométrica de losas superior a los 2.0.	Diafragmas rígidos en cada nivel. Estructuras horizontales con aberturas mínimas. Losas con apoyos en cada canto.  Corredores con proporción geométrica de losas superior a los 2.0.	Estructuras horizontales con aberturas mínimas. Losas con apoyos en cada canto. Geometría de losas con largos predominantes cercanos a los 2.0.  Estructuras horizontales diferentes en cada nivel, puede generar flexiones diferenciada en elementos verticales superiores.
f) Regularidad de cargas	Cumplen sin problemas.		
g) Rigideces y regularidad constructiva	Irregularidades constructivas de los ejes estructurales, disminuyendo rigidez en altura y en un mismo nivel, con diversos sistemas constructivos según ejes.		
FALENCIAS DISEÑO ESTRUCTURAL	MEDIO	BAJO	MEDIO BAJO
CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	MALO	BUENO	REGULAR

**Tabla 3.** Cuadro síntesis de características del diseño estructural y características geotécnicas suelos (fuente: Elaboración propia).



Imagen 9. Lesiones en Grupo Escolar (fuente: La autora).

## DAÑOS ESTRUCTURALES Y PROCESOS DE DETERIORO DE LAS ESCUELAS.

Según da cuenta Safina (2002), existen diversas escalas que permiten medir los estados de daños sísmicos en un inmueble. En este análisis utilizaremos la escala descriptiva de cinco grados de daños (sin daño, ligero, moderado, severo y colapso), propuestos por Park y Ang (1986, en Safina 2002). Los daños estructurales y las condiciones de deterioro que presentan actualmente las tres escuelas se sintetizan para aproximar la durabilidad de estas obras de arquitectura moderna.

- En el **Grupo Escolar**, el gimnasio es el más crítico estructuralmente. A pesar de haber sido reparado en 1963, se visualiza un cuadro general de grietas verticales bajo las ventanas, esto relacionado a las fallas por flexión debido a la falta de un diafragma rígido en la cubierta y de elementos que contrarresten los empujes horizontales. En la fachada poniente se aprecia, pese a reparaciones previas, un cuadro de fisuras y grietas verticales desde vanos de ventanas (imagen 9), debidas principalmente a

la falta de confinamiento en vanos y discontinuidades constructivas de los muros, también, algunas fisuras diagonales debidas a esfuerzos de corte en el plano. Además, hay grietas, manchas, desprendimientos de pintura y hongos en muros entre el gimnasio, baños y comedor, por infiltración de aguas lluvias y filtración permanente de instalación sanitarias.

- La **Escuela Superior** se encuentra recientemente pintada por el exterior, no así en su interior, donde se observan (al igual que el caso anterior) grietas verticales bajo ventanas, en muros del gimnasio, fisuras diagonales en caja de escalera de tercer nivel por torsiones, fisuras transversales por flexiones en losas de cielo y vigas de corredores en segundo y tercer nivel, con infiltraciones de humedad y moho en este último. En caja de escalera poniente se observa un cuadro crítico de manchas, moho, desprendimiento de pinturas y eflorescencia por humedad, además de fisuras en los muros (imagen 10). En fachada hay desprendimiento de recubrimiento en cornisas, alféizar y enmarcaciones de ventanas, con armaduras expuestas.

Actualmente, la Escuela Chile cuenta con un nuevo proyecto, en el cual se demolerá el gimnasio y la vivienda, para construir en su lugar un cuerpo con una geometría que no guarda relación con el resto del volumen original.

- **Conjunto Escolar.** En su interior existen grietas diagonales en caja de escalera, posiblemente por la poca rigidez y resistencia de los muros frente a las torsiones y esfuerzos de corte en el plano. Hay fisuras transversales en losas y pavimentos de corredores, debidas a posibles flexiones originadas en movimientos diferenciales del suelo y la geometría alargada de los campos de losa. Se aprecia una fisura horizontal a nivel de vanos de ventanas (probable junta de proceso constructivo). Asimismo, se detecta deterioro exterior, con manchas, hongos, musgo y desprendimientos de morteros de recubrimiento en zonas de fachadas, producto de la humedad por capilaridad y de filtraciones en zonas de bajantes de aguas lluvias (imagen 11). En las salas de clases son comunes las manchas de moho por condensación en los cielos.



Imagen 10. Lesiones en Escuela Superior, Escuela Chile (fuente: La autora).

Imagen 11. Lesiones en Conjunto Escolar, Escuela Walter Schmidt (fuente: La autora).

	CASO 1 GRUPO ESCOLAR	CASO 2 ESCUELA SUPERIOR	CASO 3 CONJUNTO ESCOLAR
Falencias Diseño Estructural	MEDIO	BAJO	MEDIO BAJO
Características geotécnicas	MALO	BUENO	REGULAR
Daños Estructurales	LIGEROS	MODERADOS	MODERADOS
Deterioro Construc.	LIGERO	MODERADOS	SEVEROS

Tabla 4. Cuadro síntesis general (fuente: Elaboración propia).

A pesar de las condiciones de suelo y las posibles vulnerabilidades, las edificaciones no presentan desplomes, asentamientos, ni desniveles evidentes. Actualmente, los gimnasios son los que presentan mayores daños sísmicos en correspondencia a sus falencias de diseño estructural. Las fisuras verticales en muros de fachadas son un denominador común, debido a las discontinuidades constructivas. Las fisuras transversales en losas y vigas presentan

un potencial peligro por desprendimiento vertical de morteros, y los muros testeros presentan grietas de corte, porque, siendo zonas de escalera, no tienen continuidad de los diafragmas y tienen mayores desplazamientos por torsiones en volúmenes longitudinales. En síntesis (tabla 4), la Escuela Superior es la que podría tener una mayor durabilidad si se refuerzan las zonas críticas y mejoran problemas de humedad y condensación.

Por otro lado, el Conjunto Escolar es el que se encuentra en estado más crítico en cuanto a las condiciones de deterioro, y requiere reparaciones y refuerzos integrales para su conservación. El Grupo Escolar, siendo el más antiguo y vulnerable estructuralmente, ha mejorado sus condiciones de conservación por la renovación reciente. No obstante, debiera ser reforzado estructuralmente.

## CONCLUSIONES.

Las edificaciones escolares analizadas dan cuenta, por un lado, del sentido de una modernidad institucionalizada y llevada a las regiones, donde la propuesta arquitectónica va evolucionando hacia una composición formal y estética más racionalista, de menos masa y mayor juego volumétrico. Por otra parte, la modernidad se entiende en la forma técnica de responder a una construcción normada, eficiente y con controles de calidad. Por último, la garantía de resistencia sísmica de los proyectos se logra con propuestas de regularidad y rigidez (perfeccionada en los últimos proyectos), que no asumen en ese momento los riesgos de un diseño estructural flexible, dúctil, variable o de grandes alturas, aun cuando el hormigón armado podría haberles dado esa posibilidad. La calidad constructiva y las decisiones de

diseño estructural acertadas, considerando las limitaciones en la capacidad mecánica de los suelos de fundación, han permitido que los edificios resistieran un mega-terremoto, con mínimas fallas estructurales. En general, las condiciones de irregularidad formal entre ejes estructurales y constructivos en un mismo eje, así como el incumplimiento de los niveles de confinamiento de las albañilerías, tal como se indica en la actual norma NCh 2123 Of.97, son variables que podrían incidir negativamente en el comportamiento y resistencia de estas escuelas frente a un nuevo evento sísmico de gran magnitud. Actualmente, las fallas estructurales están a nivel de fisuras, pero si las escuelas se vieran sometidas a terremotos con mayor frecuencia, las fallas serían más severas. Por último, se aprecia que las condiciones de humedad debido a la pluviometría de

la zona, la retención de agua del suelo y las condensaciones por los sistemas de calefacción en conjunto con la falta de ventilación, tienen mayor incidencia en los problemas de conservación de estos establecimientos escolares, situación frecuente en las obras de arquitectura moderna en HA. Por ello, es necesario plantear soluciones constructivas que mejoren la impermeabilización de las envolventes y generar protocolos adecuados de ventilación de las aulas y corredores. Por otra parte, se cree necesario implementar refuerzos estructurales en las albañilerías –con material polimérico fibro-reforzado (FRP) como posibilidad–, asegurando un adecuado comportamiento, sin fallas severas frente a futuros eventos sísmicos, para, de ese modo, salvaguardar la vida de los escolares y el patrimonio arquitectónico moderno en Valdivia. ▲■●

## REFERENCIAS

- Alvayay, D., 2013. *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del casco urbano de la ciudad de Valdivia, empleando índice de vulnerabilidad*. Tesis de Título, Universidad Austral, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Valdivia, Chile.
- Benedetti D. y Petrini, V., 1984. "Sulla vulnerabilità sísmica di edifici in muratura: Proposte di un método di valutazione." *L'Industria delle Costruzioni*, 149: 66-78.
- Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile. 2019. Grandes terremotos en Chile. En: <http://www.csn.uchile.cl/sismologia/grandes-terremotos-en-chile/>
- Cerda-Bintrup, G., 2016. "Población obrera Isla Teja de Valdivia, 1939. La acción modernizadora de la Caja del Seguro Obrero Obligatorio." *Revista AUS*, 20: 42-47.
- FEMA, 2015. *P-154, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Hand book*. Washington, D. C.: FEMA.
- Gent, K., Astroza, M. y Giuliano, G., 2005. *Calibración del índice de vulnerabilidad del GNDT a las edificaciones chilenas: Estructuras de albañilería confinada*. Concepción, Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica.
- GNDT., 1993. *Rischio sísmico di edifici pubblici*. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.
- Guevara, T., 2009. *Arquitectura moderna en zonas sísmicas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Lazo Hinrichs, R., 2008. *Estudio de los daños de los terremotos del 21 y 22 de mayo de 1960*. Tesis de Título, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile.
- Maldonado, E., Gómez, I. y Chio, G., 2008. "Estimación del daño sísmico en edificaciones de mampostería a partir de la aplicación de funciones de vulnerabilidad simuladas." *Revista Ingeniería Universidad de Medellín* (7), No 13:39-56. En: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/194>
- Mena, U., 2002. *Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas*. Tesis Doctoral, Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Norberg-Schulz, C., 2009. *Los Principios de la arquitectura Moderna*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Olave, H., 1961. *Horas de tragedia o el cataclismo de Valdivia*. Santiago de Chile: Prensa Latinoamericana.
- Pizarro, N. y Agüera, N., 2016. "Vulnerabilidad sísmica de edificios educacionales en la zona de elevado riesgo sísmico de la provincia de Mendoza, Argentina. Una propuesta metodológica." *Euro-American Congress REHABEND 2016*, Burgos, España, 1000-1007.
- Revista Zig Zag, 1960. *Ediciones del 22 de mayo al 31 de octubre*. Santiago, Chile.
- Safina, S., 2002. *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Tesis Doctoral, Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Silva, N., 2011. *Vulnerabilidad sísmica estructural en viviendas sociales y evaluación preliminar de riesgo sísmico en la región metropolitana*. Tesis de Magister, Universidad de Chile, FCFM, Chile.
- SCEE., 1987. *50 años de labor. 1937-1987*. Santiago de Chile: Sociedad Constructora de Establecimientos Escolares.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), 2004. *Geología para el ordenamiento territorial: Área de Valdivia, Región de los Lagos. Mapa 6: Características geotécnicas básicas y respuesta sísmica*.
- Tena, A., Chinchilla, K. y Juárez, G., 2013. "Flexibilidad o rigidez de diafragma de los sistemas de piso más comúnmente utilizados en edificios urbanos." *XIC Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Veracruz, México, V 33: 1-27.
- Torres, C., Valdivia, S. y Atria, M., 2015. *Arquitectura Escolar pública como patrimonio moderno en Chile. 1937-1960*. Valparaíso: Torres, Maino, Catalán.