

# Análisis de vulnerabilidad sísmica en edificios escolares del plan La Serena

## Seismic vulnerability analysis in educational establishments from La Serena plan

**Montserrat Panay**  
Universidad de Chile  
monse.panay@gmail.com

**Claudia Torres**  
Universidad de Chile  
claudiatorres@uchilefau.cl

### Resumen

A partir de los daños generados por los sismos *intraplaca* que afectaron a la Región de Coquimbo en enero de 2019, surge la posibilidad de analizar las condiciones de vulnerabilidad de los establecimientos educacionales construidos bajo el Plan La Serena en el periodo de 1946-1952, puesto que el daño en estas construcciones podría ser altamente perjudicial para la población infantil y el funcionamiento de la ciudad. Estas construcciones tienen una antigüedad de aproximadamente 70 años y no cumplen con las actuales normativas chilenas de diseño sismorresistente. A partir de ello, se realiza un análisis de vulnerabilidad sísmica de dichas obras, adaptando el método italiano G.N.D.T a los parámetros que inciden en el comportamiento sismorresistente de los establecimientos educacionales, considerando su morfología y tipología arquitectónica, para de este modo, identificar posibles casos críticos que requieren ser observados en mayor detalle.

Palabras clave: Método GNDT; riesgo sísmico; morfología; diseño estructural.

### Abstract

From the damage generated by the intraplate earthquakes that affected Coquimbo Region in January 2019, arises the possibility of analyzing the vulnerability conditions of the educational establishments built under La Serena Plan during the 1946-1952 period. Since the damage to these constructions could be highly detrimental to children and the functioning of the city. These constructions are approximately 70 years old and do not comply with current Chilean earthquake-resistant design regulations. From this, an analysis of seismic vulnerability about these institutions is carried out. The Italian G.N.D.T method will be adapted to the parameters that affect the earthquake-resistant behavior of educational establishments, considering their morphology and architectural typology in order to identify possible critical cases that may need to be looked up in a further detail study.

Keywords: G.N.D.T Method; seismic risk; morphology; structural design.

Recibido: 23/05/2022  
Aceptado: 06/06/2022

### 1. Introducción

Considerando que nuestro país se ha visto frecuentemente enfrentado a movimientos sísmicos, las tecnologías, las regulaciones y los modelos de análisis y cálculo sísmico, se han ido especializando cada vez más, por lo que existen diversos métodos y herramientas que permiten prever posibles daños en las construcciones a partir de su diseño, materialidad y estructura, entre otros.

Dentro de estas herramientas se encuentran aquellos "estudios de vulnerabilidad", como por ejemplo, el método del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT, 1993) que busca predecir el comportamiento sísmico de una edificación y las lesiones que la afectan.

Estos estudios, considerados de carácter subjetivo, basan sus resultados en una metodología de inspección visual para generar un análisis previo del comportamiento sísmico, identificando edificaciones de riesgo que requieren modelamientos y cálculos de mayor complejidad.

Frente a estos eventos de carácter natural e impredecibles, la arquitectura como disciplina cumple un rol fundamental a la hora de analizar el desempeño de determinadas edificaciones, tomando en cuenta dentro de estos análisis, aspectos como la planificación urbana, diseño arquitectónico, condiciones constructivas de la estructura o su antigüedad.

En base a estas circunstancias, es que se pone especial enfoque a la Región de Coquimbo, la cual, el 19 de enero 2019, se vio enfrentada a un sismo de magnitud 6.7 (Mw) sacudiendo principalmente a las ciudades de La Serena y Coquimbo (CSN, 2019). Este terremoto fue clasificado como un sismo *intraplaca*, el cual es poco usual en Chile y suele ser altamente destructivo, impactando con mayor intensidad a las edificaciones, pese a la "baja" magnitud registrada en relación a los daños generados, en comparación a sismos interplaca (los más frecuentes) de igual magnitud, lo que explica su alto nivel de daño dentro de la zona histórica, en la cual "1.025 inmuebles requieren algún tipo de intervención, sumado a los daños existentes previo al terremoto del año 2015, siendo el casco histórico de la ciudad de la Serena el área más afectada", (Farías, 2019) según evidencia el catastro realizado por el gobierno.

La ciudad de La Serena es la capital administrativa de la Región de Coquimbo y se localiza en la bahía del mismo nombre, en la costa del Pacífico. Su ubicación es clasificada como "zona 3" según la NCh 433, la de mayor frecuencia y magnitud sísmica, por lo tanto, es zona de riesgo sísmico. En cuanto a su geomorfología y las características geotécnicas del suelo, se compone a partir de un sistema de terrazas y valles que presentan diversas propiedades y características de suelo (Ruiz, 2014).

Este centro histórico está protegido por Ley de Monumentos (Ley N°17.288) como Zona Típica (ZT) y por el Plan Regulador como Zona de Conservación Histórica (ZCH), componiéndose de edificaciones construidas en distintas épocas. No obstante, aquellas de mayor relevancia institucional, fueron edificadas en un mismo período (1946-1952), cuando se implementó el "Primer Ensayo Urbanístico Regional para las Provincias de Chile" en la Región de Coquimbo, bajo el gobierno del presidente Gabriel González Videla, siendo denominado "Plan Serena". Por otra parte, estos inmuebles fueron edificados bajo la Ley y Ordenanza General sobre Construcciones y Urbanización de 1936.

De acuerdo con esto, es relevante evaluar el Índice de Vulnerabilidad sísmica (Iv) de las edificaciones educacionales que alberga el centro histórico de La Serena, mediante la aplicación de un método cualitativo que permita analizar las características de diseño, según las variables que influyen en su desempeño sísmico, tanto a nivel de emplazamiento, su morfología arquitectónica y los sistemas estructurales y constructivos.

La Figura 1 permite constatar que, en los últimos 50 años, ha habido 4 terremotos de gran magnitud, que han afectado el área de análisis, alterando la frecuencia sísmica histórica de la zona. Esta recurrencia sísmica se presenta como un factor a considerar, pues el daño acumulado puede incidir en el



Figura 1. Terremotos que han afectado a la región. Fuente: CSN. Elaboración propia.

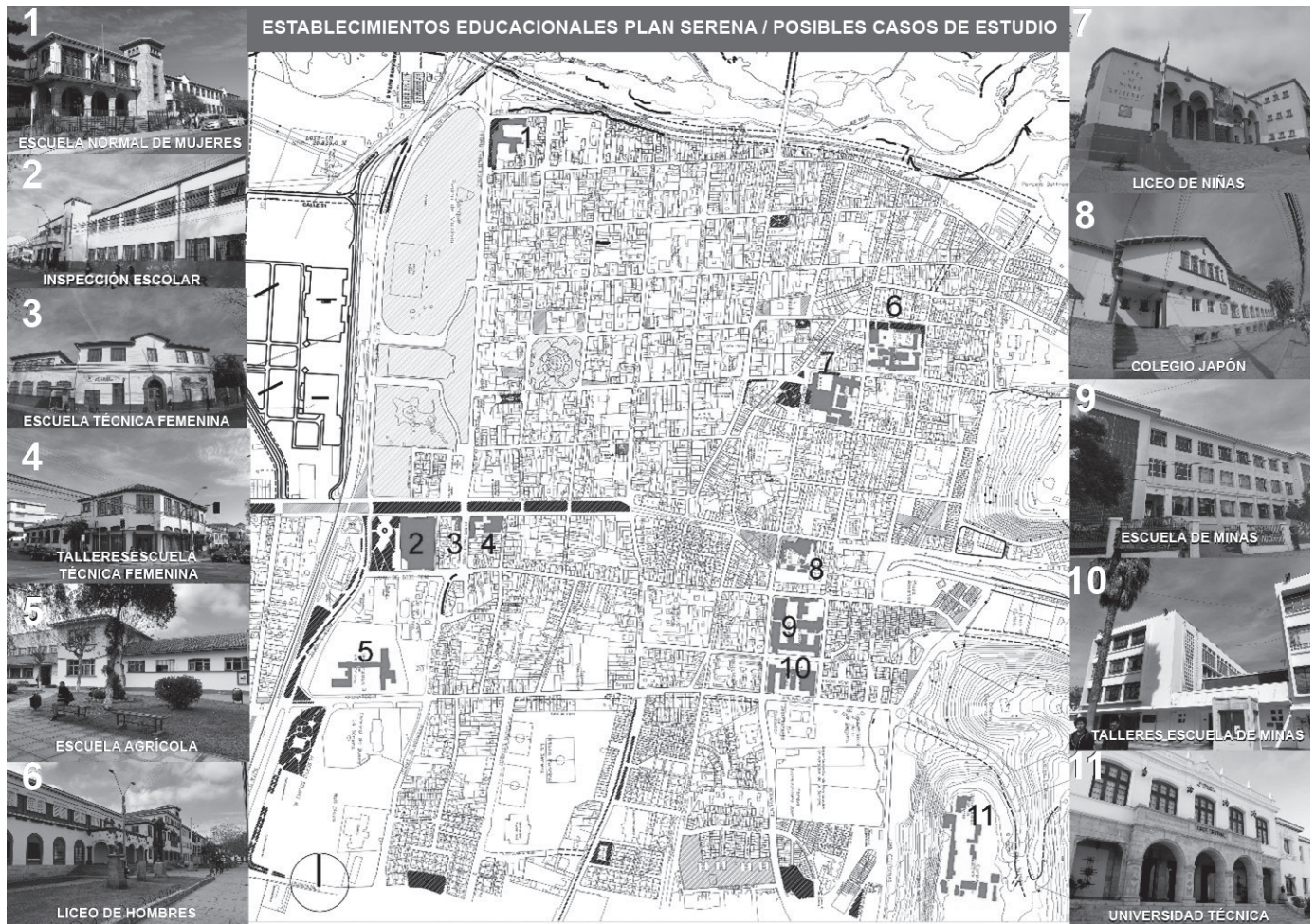


Figura 2. Establecimientos educacionales del Plan Serena. Fuente: Elaboración Propia en base a Saguéz 1956.

índice de vulnerabilidad que presenten actualmente estas construcciones.

## 2. Arquitectura educacional en la ciudad de La Serena

El *Plan Serena* se conformó como un ensayo planificado de descentralización del país, iniciándose con la transformación de la Región de Coquimbo y la ciudad de La Serena (Eliash Humberto, 1989). Para ello, entre los años 1946 y 1952, se elaboró un plan de escala regional y un plan de escala urbana que consideró desde el trazado de calles, hasta la construcción de diversos servicios y edificios cívicos, entre ellos edificaciones escolares (Saguéz, 1956).

La construcción de edificios educacionales dentro del *Plan Serena* buscó dotar a la ciudad de edificios que permitieran su desarrollo y funcionamiento, potenciando

la descentralización. En su programa se incluyeron centros escolares y también proyectos universitarios en el año 1952, tales como la Escuela de Minas, la Escuela Agrícola y la Universidad Técnica (Fierro, 2015) (Ulriksen, 1952).

Para La Serena en particular, se contempló la construcción de 11 establecimientos educacionales diseñados a partir del estilo neocolonial (promovido por el Plan). Como excepción la Escuela de Minas y sus Talleres (Figura 2) fueron diseñados bajo las lógicas conceptuales de la arquitectura moderna de la época.

El objetivo de emplear esta estética neocolonial, según lo establecido por el presidente Gabriel González Videla, era dotar a estos establecimientos de "personalidad, colorido y belleza" (González, 1953).

Estos proyectos educacionales de or-

den neocolonial pusieron en práctica el simbolismo en su diseño, como por ejemplo, se reprodujeron las torres existentes en las iglesias, destacándose los establecimientos como punto de referencia. Esta estética, se acompañó de la composición de fachadas con repeticiones modulares, basamentos continuos e incorporó elementos locales, entre ellos portadas, pilares, balcón limeño, cubiertas de tejas, etc., (Figura 3).

Estas edificaciones, ocupan grandes predios, presentándose en el entorno urbano como conjuntos de carácter monumental. De igual manera, esta condición de monumentalidad se logra con edificaciones de pabellones longitudinales de gran extensión (Saguéz, 1956).

Así, la morfología fue desarrollada a partir de una tipología que combina



Figura 3. Torres en tipologías educacionales, Liceo Gabriel González Videla. Fuente: Elaboración Propia.

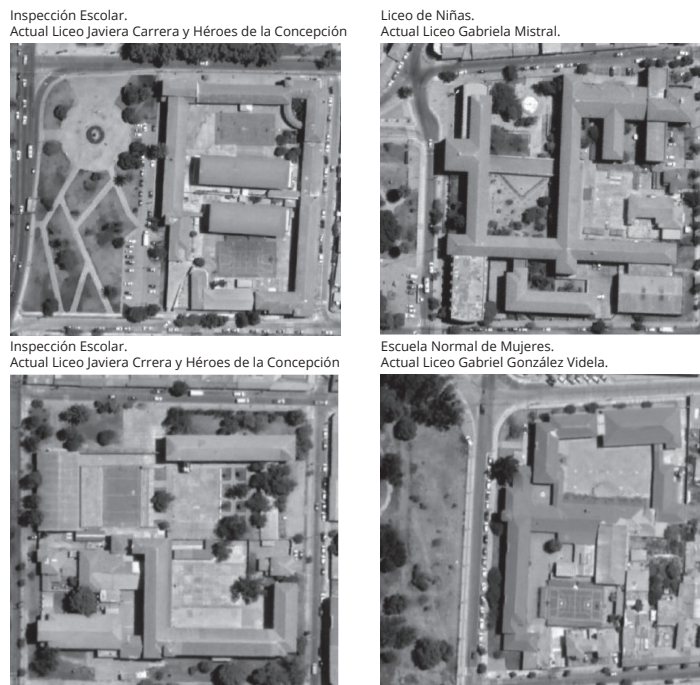


Figura 4. Tipologías de los establecimientos educacionales de La Serena. Fuente: Google Earth.

el “palacio educacional” y el “claustro” (Pérez, 2017). La lógica del “palacio” se observa en los pabellones longitudinales y la ornamentación del estilo neocolonial propuesto. La tipología de “claustro” se constata en la distribución volumétrica, que se centra en el patio, prevaleciendo sistemas panópticos de geometrías en L,U,H que permiten tener un control sobre los estudiantes, como se observa en la Figura 4 (Junemann, 1999)

Si bien su estética se basa en el estilo neocolonial, constructivamente podrían ser catalogadas como construcciones modernas ya que fueron edificadas principalmente con sistemas de muros y pórticos de hormigón armado y albañilería confinada, como se observa en la Figura 5 según lo estipulado por la OGUC de 1936.

Para el estudio de casos se seleccionaron 5 establecimientos educacionales. Dado que fueron construidos en la misma época, presentan pocas diferencias constructivas, por ello la muestra se selecciona en función de las características del suelo de emplazamiento (Terrazas), la diversidad de tipologías de ordenamiento volumétrico (L, T H U,

Nombre de Escuela en P.S	Colegio Japón	Escuela de Minas	Liceo de Niñas	Escuela Agrícola	Universidad Técnica
Fotografía					
Ubicación	Benavente 800	Anfión Muñoz 835	Benavente 500	Amunátegui S/N	Raúl Bitrán 1305
Año de Construcción	1954	1952	1946	1952	1950-1952
Arquitecto	D.G.O.P	SCEE	SCEE	José Aracena (SCEE)	D.G.O.P
Terraza Geográfica	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Inferior	Superior
Morfología	L	E	H,I	L,T,I	L,T,I
Nº de Pisos	2	3	3	2	2
Sistema Constructivo (Según OGUC de 1936)	B	B	A	B	B
Declaratoria	ZT,ICH	ZT,ICH	ZT,MH	_____	_____

Figura 5. Cuadro de casos seleccionados en el análisis. Fuente: Elaboración Propia.

I, E) y la accesibilidad a documentación técnica de los proyectos originales y la observación *in-situ*.

### 3. Adaptación metodo GNDT y variables del diseño sísmico

Para esta investigación se desarrolló una adaptación del método italiano GNDT (1993) considerando que ha sido ajustado y aplicado en otros estudios similares por Gent, Astroza, y Giuliano (2005), Maldonado, Gómez y Chio (2008), Silva (2011), Alvaay (2013), Pizarro y Agüera (2016), entre otros. Se selecciona este método debido a que incorpora variables como el estado de conservación de inmuebles y las propiedades de elementos no estructurales. De igual forma, es un método que puede ser adaptado y calibrado según la realidad a evaluar.

El método se adaptó a las características tipológicas de las edificaciones escolares diseñadas bajo el Plan (Figura 6) y se aplicó en 5 conjuntos escolares mediante una pauta de evaluación especialmente

diseñada para los casos. Posteriormente, se determinó el Índice de vulnerabilidad (*Iv*)<sup>1</sup> de cada uno y finalmente, en un análisis comparativo, se identificaron aspectos de diseño que podrían ser vulnerables y presentar daños en un siguiente terremoto.

Basándose en el método GNDT, se consideraron 10 variables que inciden en la vulnerabilidad y que son aplicables a los casos seleccionados en La Serena:

**1. Contexto:** Variable incorporada al método debido a que el entorno podría incidir directamente en el índice de vulnerabilidad. Se consideran 3 parámetros relacionados con: vías de evacuación; existencia de zonas seguras; riesgo ante derrumbe.

**2. Emplazamiento:** Referida a la calidad del suelo en el que se emplaza el caso, considerando el comportamiento geotécnico de las diversas terrazas; el tipo de fundaciones de los edificios y la condición de desempeño actual. De

acuerdo con las descripciones de Ruiz (2014), las zonas en que se localizan los casos corresponden a:

**a) Terraza inferior:** faja al oriente de la costa, extendiéndose en una planicie conocida como *Las Vegas*. Posee un mal comportamiento geotécnico, debido a su baja capacidad soportante y a la presencia de napas subterráneas muy próximas a la superficie. Debido a esto, los suelos se encuentran saturados, presentando baja permeabilidad y mal drenaje.

**b) Terraza Intermedia:** Compuesto por gravas arenosas y arcillosas, las que se encuentran compactadas y cementadas en algunos sectores. El nivel freático se encuentra a niveles que no afectan el comportamiento del suelo de fundación, lo que conforma una zona que posee muy buenas propiedades geotécnicas.

**c) Terraza Superior:** de transición hacia relieves montañosos en sectores altos de la ciudad. Se compone de gravas y arenas compactadas permitiendo que el

Ámbito	N°	Variable	Indicador (Ki)				Factor Total (Wi)	Factor (Wi)	Parámetro
			A	B	C	D			
Urbano	1	Contexto	0	1	2	3	0,5	0,17	Vías de evacuación
								0,17	Distancia entorno próximo
								0,17	Zonas seguras de evacuación
	2	Emplazamiento	0	1	2	3	1,0	0,75	Calidad del suelo
Edificación	3	Conformación volumétrica	0	1	2	3	2,0	0,20	Morfología
								0,40	Regularidad en elevación
								1,0	Juntas sísmicas
								0,40	Número de pisos de la edificación
	4	Organización del sistema estructural vertical	0	1	2	3	4,0	1,5	Distancia entre ejes estructurales
								0,75	Cantidad de ejes estructurales
								0,75	Rigidez de ejes estructurales
								1,0	Continuidad de ejes estructurales
								0,90	Tipo de sistema estructural
	5	Calidad del sistema estructural vertical	0	1	2	3	2,0	0,20	Espesores de muros
								0,90	Homogeneidad de sistemas
								0,42	Tipo de sistema estructural
	6	Estructura de entresijos	0	1	2	3	1,25	0,42	Geometría
								0,42	Discontinuidades
								0,40	Tipo de sistema estructural
	7	Techumbre	0	1	2	3	1,0	0,40	Peso de la techumbre
								0,20	Materialidad/Riesgo caída de elementos
0,50								Reparaciones	
8	Estado de conservación	0	1	2	3	1,5	1,0	Deterioro	
							0,50	Tabiques	
Edificación No Estructural	9	Elementos no estructurales	0	1	2	3	1,0	0,50	Ornamentos
	10	Diseño antisísmico	-1	0	1	2	0,75	0,75	Uso de normativa antisísmica

Figura 6. Metodología G.N.D.T. Adaptada y calibrada. Fuente Elaboración Propia.

%	Extensión de vulnerabilidad	Acción a adoptar
0%	No es vulnerable en ninguno de sus parámetros.	No se requiere acción.
0-25%	Presenta parámetros vulnerables de grado menor que no requieren reparaciones ni refuerzos estructurales.	No se requiere acción.
26-50%	Presenta parámetros vulnerables de grado medio, que requieren reparaciones pero que no se presentan como un elemento de riesgo inminente para el conjunto, ya que no requieren intervenciones de carácter mayor.	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/refuerzos menores para asegurar su conservación.
51-75%	Presenta parámetros vulnerables de alto nivel, que requieren reparaciones y refuerzos de carácter mayor, pues se presentan como un elemento de alto riesgo en caso de que ocurran nuevos eventos sísmicos.	Se debe alzaprimar y evacuar el edificio para realizar acciones de restauración y refuerzos. Es necesario ejecutar una restauración estructural y un refuerzo sísmico, anterior al tratamiento arquitectónico.
76-99%	Edificación es vulnerable casi en la totalidad de parámetros evaluados. Presenta elementos de riesgo tanto a nivel estructural como no estructural de carácter severo. El edificio toma una condición peligrosa y debe cesar con actividades educativas.	Se debe alzaprimar y evacuar el edificio. Este debe ser demolido o exige extensos trabajos de restauración y refuerzo antes de ser ocupado nuevamente debido al alto índice de vulnerabilidad de sus parámetros.
100%	Edificación es vulnerable en todos sus parámetros y no puede continuar sus actividades debido al alto riesgo de colapso de su estructura ante la acción sísmica.	Despejar sitio y reconstruir.

Figura 7. Tabla porcentaje de vulnerabilidad y acciones a realizar según resultados obtenidos. Fuente: Elaboración Propia.

suelo tenga un buen comportamiento, a excepción de aquellos sectores próximos a laderas que podrían verse expuestos a posibles derrumbes.

**3. Conformación volumétrica:** Relacionado a aquellos parámetros del diseño formal de la obra: disposición de volúmenes, geometría, regularidad y continuidad de sus niveles, disposición de juntas de dilatación, cambios de altura del conjunto, cambios de sistema estructural y/o geometría.

**4. Organización del sistema estructural vertical:**

- a) Distancia entre ejes estructurales, valorando la repartición homogénea de elementos.
- b) Redundancia o cantidad de ejes estructurales, considerando que, a mayores espacios subdivididos, la vulnerabilidad será menor en comparación con espacios de grandes proporciones.
- c) Rigidez de ejes estructurales, analizándose aspectos de la materialidad, espesor y aberturas.
- d) Continuidad de ejes estructurales.

**5. Calidad del sistema estructural vertical:**

- a) Tipo de sistema estructural: composición de sistemas uniformes, ya sea muros, marcos rígidos o pórticos, a diferencia de si esta se compone de sistemas mixtos.
- b) Espesores de muros, según cumplimiento de la normativa de albañilerías confinada (Chile, 2018)
- c) Homogeneidad de sistema verticales: en relación a materialidad presente.

**6. Estructura de entrepiso:**

- a) Tipo de sistema estructural de entrepiso, diafragmas rígidos serán menos vulnerables que aquellos que se componen de envigados de madera.
- b) Geometría, cuadriláteros regulares que tengan proporciones de hasta 2:1 serán menos vulnerables,
- c) Las discontinuidades que presenta el entrepiso (aberturas de cajas escaleras, dobles alturas, etc).

**7. Techumbre:**

- a) Tipo de sistema estructural, aque-

llas techumbres que se compongan de losas y cerchas, serán los casos de menor vulnerabilidad, versus aquellas de tijerales o par y nudillo.

b) Peso de la techumbre.

c) Materialidad y riesgo de caídas.

**8. Estado de conservación:** Reparaciones y condiciones de conservación, a mayor deterioro, mayor será la vulnerabilidad de la edificación.

**9. Elementos no estructurales:** En relación a presencia de tabiquería y existencia de ornamentos, su estado y morfología.

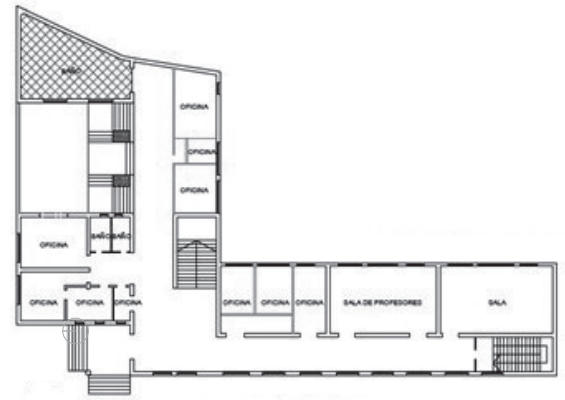
**10. Diseño antisísmico:** Considera las transformaciones normativas, como lo es la O.G.U.C de 1936 y sus modificaciones posteriores, la aparición de la norma NCh433 en 1972 y por último, la actual normativa que rige en nuestro país. A mayor antigüedad del caso evaluado, mayor será su vulnerabilidad, debido a la carencia de normativa sísmica en su diseño.

A continuación, se presentan las características y resultados de evaluación, específicos de cada caso analizado.

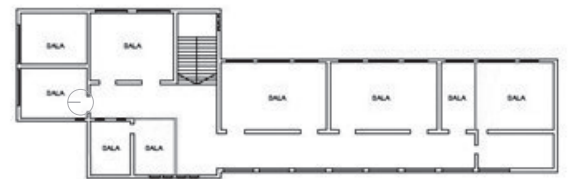
Presentación Caso Colegio Japón



Vista interior Colegio Japón.



Planta primer nivel



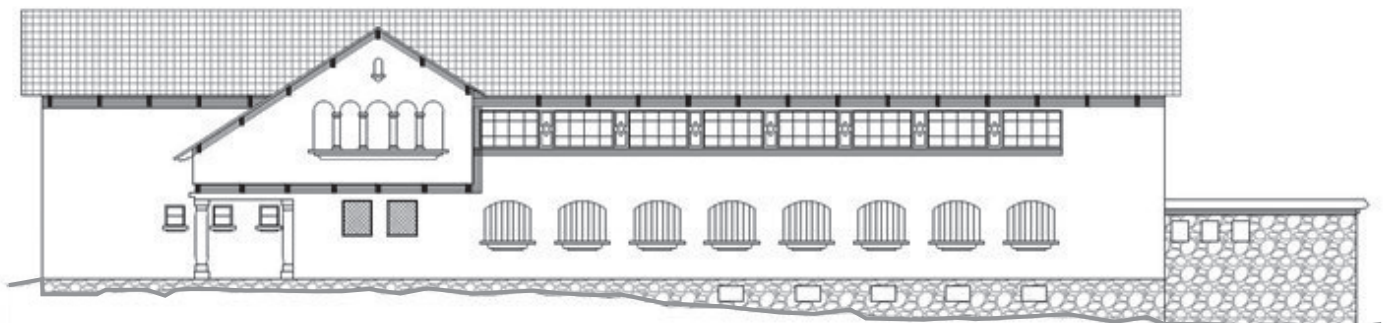
Planta segundo nivel



Planta Zócalo

Nº	VARIABLE	PUNTAJE OBTENIDO
A.1	Contexto	0.68
A.2	Emplazamiento	0
B.1	Conformación Volumétrica	4.4
B.2	Organización del sistema estructural vertical	4.0
B.3	Calidad del sistema estructural vertical	3.6
B.4	Estructura de entrepisos	1.26
B.5	Techumbre	0.4
B.6	Estado de conservación	3.5
C.1	Elementos estructurales	1.5
C.2	Diseño antisísmico	0.75
Puntaje Total		20.09
Valor Índice		45.65%

Tabla de variables caso Colegio Japón.



Elevación poniente

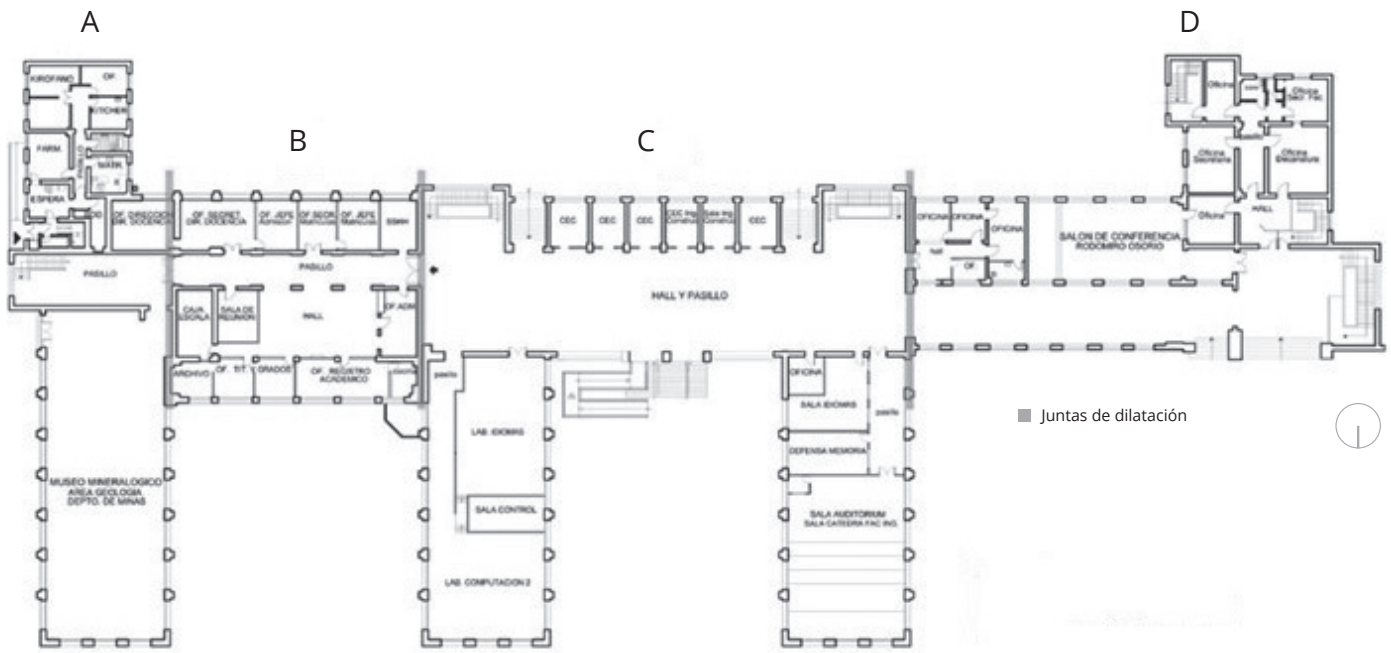
Presentación Caso Escuela de Minas Bloque B



Vista fachada norte.

N°	VARIABLE	PUNTAJE OBTENIDO
A.1	Contexto	0.51
A.2	Emplazamiento	0
B.1	Conformación Volumétrica	0.4
B.2	Organización del sistema estructural vertical	7.5
B.3	Calidad del sistema estructural vertical	5.4
B.4	Estructura de entresijos	1.26
B.5	Techumbre	0.4
B.6	Estado de conservación	2.5
C.1	Elementos estructurales	0.5
C.2	Diseño antisísmico	0.75
Puntaje Total		19.22
Valor Índice		43.68%

Tabla de variables caso Escuela de Minas Bloque B.



Planta Primer Nivel



Elevación poniente



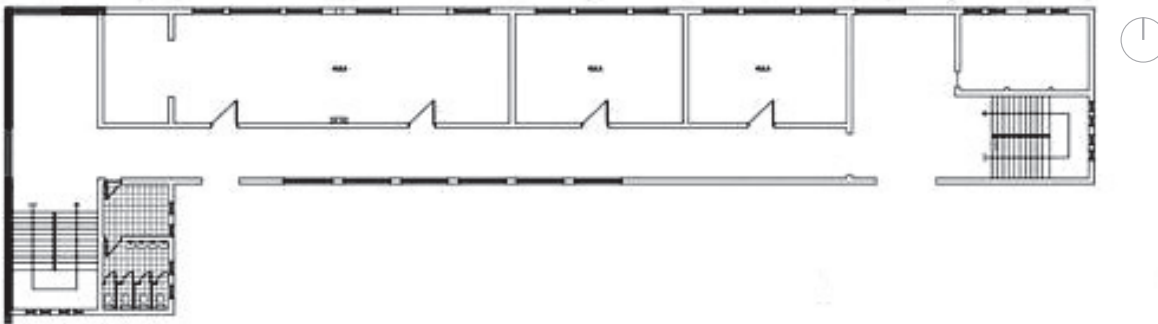
Presentación Caso Liceo de Niñas Bloque F



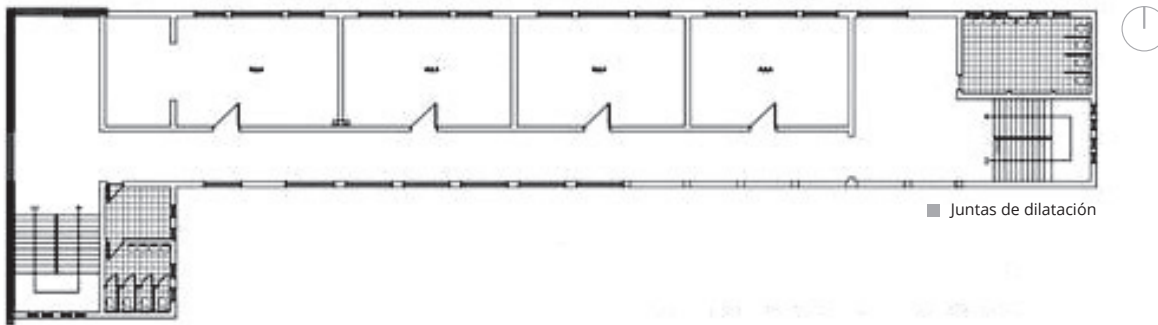
Vista fachada norte.

Nº	VARIABLE	PUNTAJE OBTENIDO
A.1	Contexto	0.34
A.2	Emplazamiento	0
B.1	Conformación Volumétrica	2.6
B.2	Organización del sistema estructural vertical	6
B.3	Calidad del sistema estructural vertical	3.6
B.4	Estructura de entresijos	1.26
B.5	Techumbre	0.4
B.6	Estado de conservación	1.5
C.1	Elementos estructurales	1
C.2	Diseño antisísmico	0.75
Puntaje Total		17.45
Valor Índice		39.65%

Tabla de variables caso Liceo de Niñas Bloque F.



Planta Primer Nivel



Planta Segundo Nivel



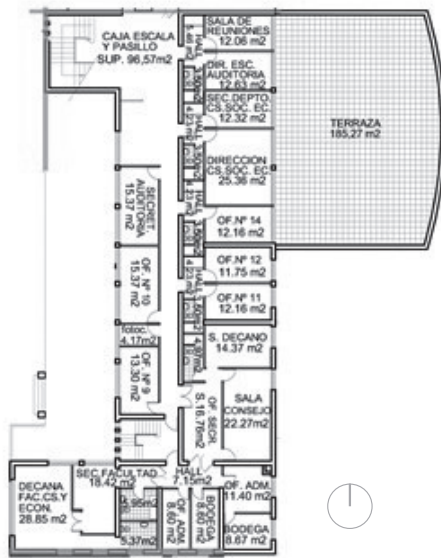
Elevación norte

Presentación Caso Escuela Agrícola Bloque G



Planta Primer Nivel

■ Juntas de dilatación



Planta Segundo Nivel

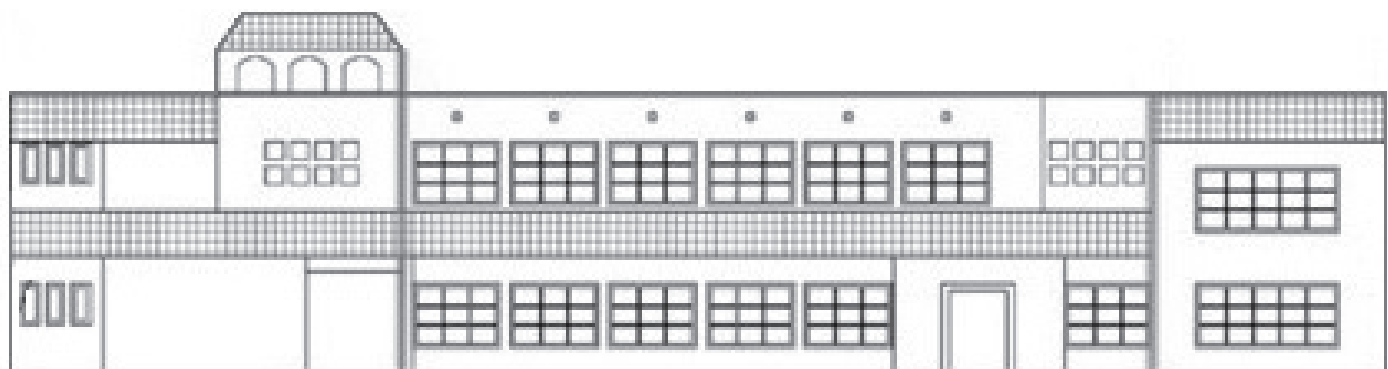
■ Juntas de dilatación



Vista acceso principal.

Nº	VARIABLE	PUNTAJE OBTENIDO
A.1	Contexto	0.34
A.2	Emplazamiento	2.75
B.1	Conformación Volumétrica	0
B.2	Organización del sistema estructural vertical	6
B.3	Calidad del sistema estructural vertical	2.7
B.4	Estructura de entresijos	0.84
B.5	Techumbre	1.2
B.6	Estado de conservación	4
C.1	Elementos estructurales	1
C.2	Diseño antisísmico	0.75
Puntaje Total		10.58
Valor Índice		44.50%

Tabla de variables caso Escuela Agrícola Bloque B.



Elevación poniente

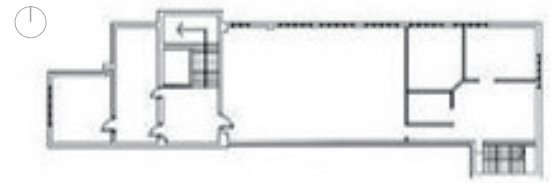
Presentación Caso Universidad Técnica



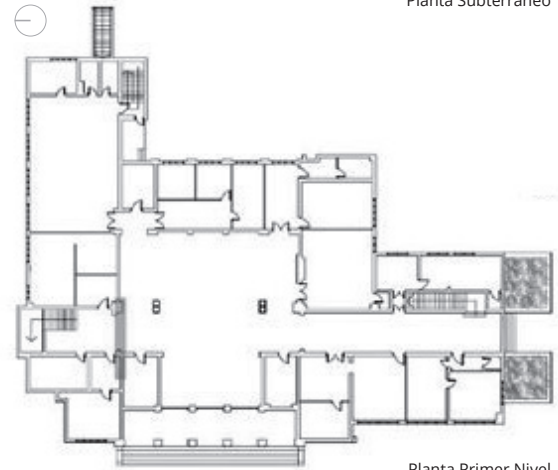
Vista fachada norte.

Nº	VARIABLE	PUNTAJE OBTENIDO
A.1	Contexto	0.34
A.2	Emplazamiento	0.75
B.1	Conformación Volumétrica	2.8
B.2	Organización del sistema estructural vertical	6.25
B.3	Calidad del sistema estructural vertical	4.5
B.4	Estructura de entresijos	0.84
B.5	Techumbre	0.4
B.6	Estado de conservación	0
C.1	Elementos estructurales	1.5
C.2	Diseño antisísmico	0.75
Puntaje Total		18.13
Valor Índice		41.20%

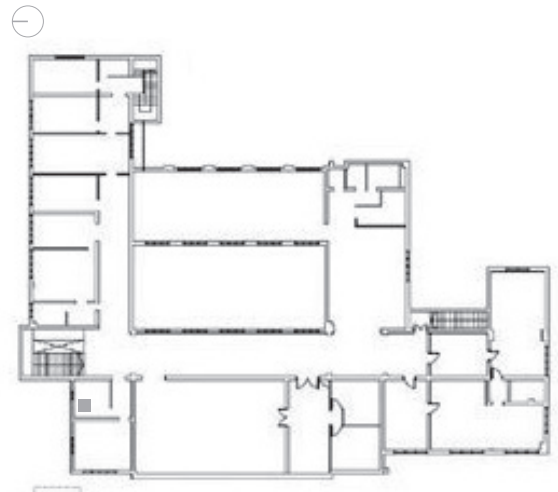
Tabla de variables caso Universidad Técnica.



Planta Subterráneo



Planta Primer Nivel



■ Juntas de dilatación

Planta Segundo Nivel



Elevación poniente

Caso	Ámbito Urbano	Ámbito Estructural	Ámbito Secundario	Índice (%)	Clase Daños	Acción a adoptar
Colegio Japón	0,68	17,16	2,25	45,65	3	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/ refuerzos menores para asegurar su conservación.
Bloque A Escuela de Minas	0,68	12,36	1,25	32,47	3	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/ refuerzos menores para asegurar su conservación.
Bloque B Escuela de Minas	0,51	17,46	1,25	43,68	3	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/ refuerzos menores para asegurar su conservación.
Bloque E Escuela Agrícola	3,09	14,74	1,75	44,5	3	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/ refuerzos menores para asegurar su conservación.
Bloque G Escuela Agrícola	2,59	15,72	1,25	44,45	3	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/ refuerzos menores para asegurar su conservación.
Liceo de Niñas	0,34	15,36	1,175	39,65	3	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/ refuerzos menores para asegurar su conservación.
Universidad Técnica	1,09	14,79	2,25	41,2	3	No se requiere evacuar el edificio. Son necesarias reparaciones/ refuerzos menores para asegurar su conservación.

Figura 13. Cuadro Índices de vulnerabilidad obtenidos por caso. Fuente: Elaboración Propia.

#### 4. Resultados generales

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación aplicada a los 5 casos de estudio se representan en la Figura 13.

Mediante el análisis comparativo de los resultados se pueden determinar que los edificios escolares presentan un índice de vulnerabilidad medio. No obstante, hay aspectos generales y/o específicos que podrían incidir en fallas o daños ante un nuevo sismo de mayor intensidad.

Dado que los edificios escolares responden a una tipología formal y constructiva similar como respuesta a una misma planificación y época, se observa que no hay diferencia en los índices finales de vulnerabilidad (Iv) de cada caso. Sin embargo, en el desglose de resultados obtenidos por parámetros, se demuestra que estos se diferencian en aspectos particulares y no reiterativos como se detalla a continuación:

Iniciando por su entorno y emplazamiento, al comparar los índices del ámbito urbano, el Liceo de Niñas es menos vulnerable, debido a que se ubica en la terraza intermedia (mejores condiciones geotécnicas), cuenta con óptimas vías de evacuación, y presenta zonas seguras tanto al interior como al exterior del conjunto. Por el contrario, el Bloque E de

la Escuela Agrícola es más vulnerable ya que se emplaza en el terreno con peores condiciones geotécnicas (terrazza inferior) y evidencia asentamientos diferenciales.

Siguiendo al ámbito estructural, el bloque A de la Escuela de Minas presenta mejores condiciones en su estructura ya que tanto su volumetría como la proporción de los diafragmas centrales del bloque tienen una disposición mayormente continua de elementos en sus tres niveles, las juntas sísmicas se encuentran dispuestas correctamente en los cambios de la edificación y su altura es regular en todo el bloque. Paradójicamente, el bloque B de la Escuela de Minas presenta las peores condiciones estructurales. Esta diferencia radica en el retranqueo que presenta el bloque hacia el sector norte en uno de sus ejes y a la diferencia de materialidad y espesores de elementos estructurales.

En lo particular, al analizar los sistemas constructivos, es donde se observan las principales diferencias, puesto que se evidencian casos con estructuras horizontales de diafragmas rígidos, otros con envigados flexibles, o diafragmas de geometrías críticas, principalmente en las áreas de circulación. De igual forma, algunos casos presentan estructura primaria en albañilería confinada de

“ladrillos de cemento”, otras con muros de hormigón armado y otras combinan ambas materialidades constructivas.

A partir de esto, un aspecto que se repite y que incide en aumentar la vulnerabilidad, es la combinación de sistemas estructurales (muros y pórticos). Se observa que, el diseño con sistemas estructurales con diferentes rangos de flexibilidad tiende a generar daños en las zonas de vínculos o uniones, principalmente en elementos secundarios o no estructurales. Si bien el daño en estos elementos no provocará el colapso de la edificación, se debe considerar que la falla en estos elementos podría causar daños a terceros (Guevara, 2009).

#### 5. Conclusiones y comentarios finales

Las edificaciones educacionales construidas en La Serena, entre los años 1946-1952, cuentan con un diseño arquitectónico, estructural y constructivo, apto para responder de manera eficiente ante la acción sísmica, a pesar de no cumplir con las actuales normativas sismorresistente, debido a que las regulaciones de la época lograron establecer parámetros para asegurar un correcto comportamiento antisísmico como se pudo desprender de la evaluación realizada.

Si bien existen casos que presentan índices de vulnerabilidad no despreciables, en ningún caso superan el 50%, lo que da a entender que, si bien requieren reparaciones y refuerzos menores, estos se condicen con la vida útil de cada establecimiento y los sismos que han enfrentado.

Su óptimo desempeño se debe a diversos factores, entre ellos, que se conforman a partir de un volumen de baja altura y de "gran masa" logrando mayor resistencia por rigidez, respondiendo de manera eficiente ante la acción sísmica. Esto probablemente se deba también a que la sobrecarga de uso en la normativa de la época era mayor a la actual, y por ello se encuentran altamente sobredimensionados estructuralmente.

Por otra parte, en relación a la metodología empleada, es relevante destacar la flexibilidad del método GNDT para la incorporación de nuevos ámbitos de análisis sin alterar la herramienta, puesto que únicamente se debe recalibrar y modificar el divisor empleado para obtener el índice de vulnerabilidad. Sin embargo, existen ambigüedades respecto al indicador (Ki), dada la falta de consenso respecto a la asignación de importancia de cada indicador, lo que finalmente puede generar una variación de resultados en investigaciones similares.

Finalmente, esta investigación busca establecer y aportar, mediante un análisis cualitativo, una base para futuros estudios cuantitativos de mayor especialización en aquellas edificaciones que presenten altos índices de vulnerabilidad, para así evitar posibles daños a futuro en un nuevo evento sísmico.

## Referencias Bibliográficas

**CHILE.** (2018). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. MINVU.  
**CSN.** (2019). Centro Sismológico Nacional. Obtenido de <http://www.sismologia.cl/links/glosario.html#def9>  
**Eliash H. ; Moreno. M.** (1989). Arquitectura y Modernidad en Chile 1925-1965. Santiago: Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile.  
**Farías, C.** (22 de Enero de 2019). Columna de Sismología: El potente terremoto de Coquimbo, su cronología y por qué se sintió tan fuerte Diario La Tercera.

**Fierro, M. T.** (2015). Primer ensayo urbanístico regional, modernidad en La Serena, 1946-1952.  
**La Serena.** Revista de Urbanismo, (32), 32-53.  
**GNDT,** 1993. Rischio sísmico di edifici pubblici. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.  
**González, V. G.** (1975). Memorias, Vigésima Novena Parte, Plan Serena. Editorial Gabriela Mistral. Santiago de Chile. 1975.  
**Guevara, T.** (2009). Arquitectura Moderna en Zonas Sísmicas. Barcelona: Gustavo Gili.  
**Junemann, A.** (1999). Investigación Arquitectural del Inicio del Modernismo. Oficina Gustavo Monckeberg y José Aracena, Arquitectos y la Arquitectura Educacional 1920-1950 (Chile). Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.  
**Pérez, F.** (2017). Arquitectura en el Chile del Siglo XX, Volumen 2. Editorial ARQ. Santiago de Chile.  
**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.  
**Ruiz, S.** (2014). Análisis de microvibraciones del suelo de la ciudad de La Serena. La Serena: Universidad de La Serena.  
**Saguéz, O.** (1956). Urbanismo y Plan Serena, Un ensayo sobre la transformación urbanística planificada de una región.  
**Ulriksen, G.** (1952) Bases para la Planeación Regional del Norte Chico. Provincias de Atacama & Coquimbo (Valles Transversales). Revista Urbanismo Universidad de Chile N° 18. 2008. <http://revistaurbanismo.uchile.cl>

## Nota:

<sup>1</sup>Un mayor valor del Índice de Vulnerabilidad (Iv) significa mayor probabilidad de daños, por ello, si el Índice es bajo, el desempeño sísmico debería ser mejor.