



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil

“VALPARAÍSO: SU PATRIMONIO HISTÓRICO Y LOS SISMOS”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

THOMAS WILFRIED STURM MOREIRA

PROFESOR GUÍA:
MAXIMILIANO ARTURO ASTROZA INOSTROZA
GUSTAVO RODOLFO SARAGONI HUERTA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SERGIO EDUARDO BARRIENTOS PARRA
ANA MARÍA OJEDA FERNANDEZ

SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2008

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: THOMAS STURM MOREIRA
FECHA: 21/04/2008
PROF. GUÍA: MAXIMILIANO ASTROZA
RODOLFO SARAGONI

“VALPARAÍSO: SU PATRIMONIO HISTÓRICO Y LOS SISMOS”

Ante la necesidad de proteger el patrimonio arquitectónico y cultural de la humanidad, la UNESCO ha declarado Patrimonio de la Humanidad los centros históricos de varias ciudades del mundo, entre las cuales se encuentra la ciudad de Valparaíso. Teniendo en cuenta el peligro sísmico de esta ciudad es necesario estudiar el inventario de edificios históricos para identificar los edificios con mayor vulnerabilidad teniendo en cuenta las condiciones locales de sitio.

Con este propósito en este Trabajo de Título se estudian dos edificios históricos de albañilería no reforzada que sobrevivieron a los terremotos de 1906 ($M_s=8.2$) y de 1985 ($M_s=7.8$) aprovechando que se obtuvo información relacionada con las condiciones locales de suelo y con las características de la configuración sísmo resistente de los edificios, lo que permite calcular diferentes índices de vulnerabilidad sísmica propuestos para este tipo de edificios. Los índices utilizados corresponden a métodos que califican como de Primer Nivel, como son los propuestos por Meli y Lourenço y Roque, y a métodos de Segundo Nivel, como son los propuestos por Gallegos y el grupo del GNDT.

De los antecedentes reunidos y de los resultados obtenidos se puede destacar:

- Los terremotos de 1906 y 1985 son los terremotos que han causado más daño en la ciudad de Valparaíso en los últimos 100 años.
- El daño que se ha producido a raíz de estos terremotos depende en gran medida de la calidad del suelo de fundación, siendo mayor en los edificios construidos sobre rellenos artificiales no controlados con las características de los encontrados en el “plan” del sector de El Almendral de la ciudad de Valparaíso. En cambio, estos daños han sido moderados para las condiciones locales de sitio del sector del Puerto y en los cerros de Valparaíso.
- Para edificios históricos con las características de los edificios estudiados, especialmente con terminaciones sencillas y de poco peso, basta con usar los índices de vulnerabilidad de los métodos de Primer Nivel, en particular la densidad de muros (Índice γ_1). Al aplicar estos índices resulta que la vulnerabilidad del Palacio Luis Cousiño es baja y la del Palacio Subercaseaux es alta si sólo se consideran las características de la configuración estructural.
- Al aplicar los índices de los métodos de Segundo Nivel, ambos edificios presentarían una condición de vulnerabilidad similar. Este diagnóstico indicaría que en estos métodos hay factores descalibrados en cuanto a su impacto en el comportamiento sísmico de los edificios históricos chilenos.
- La razón principal para que se conserven estos dos edificios históricos después de dos grandes terremotos con las características de los terremotos del tipo interplaca chilenos, además de su buena conexión entre muros, es el hecho de que uno tiene una alta densidad de muros en ambas direcciones de la planta y el otro este fundado sobre roca. Esta última condición ha permitido que el Palacio Subercaseaux haya sobrevivido a pesar de su baja densidad de muro en la dirección longitudinal ($\gamma_1=1.59\%$).

INDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1	
1.1	Objetivos generales	2
1.2	Objetivos específicos	2
1.3	Metodología	2
1.4	Organización de la memoria	3
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES	5	
2.1	La ciudad de Valparaíso	5
2.1.1	<i>El Barrio Puerto</i>	5
2.1.2	<i>El barrio de El Almendral</i>	12
2.2	Procedimientos para la revisión de la seguridad sísmica estructural	19
CAPITULO 3: PELIGRO SÍSMICO Y DAÑOS OBSERVADOS EN LA ZONA DE CONSERVACIÓN HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE VALPARAÍSO	21	
3.1	Los sismos costeros de la zona central de Chile	21
3.2	Efectos de los terremotos históricos en la ciudad de Valparaíso	23
3.2.1	<i>Terremoto del 16 de Agosto de 1906</i>	25
3.2.2	<i>Terremoto del 3 de Marzo de 1985</i>	31
3.3	Aceleraciones registradas	35
3.4	Comentarios y conclusiones	36
CAPÍTULO 4: CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN Y PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO DE LA CIUDAD DE VALPARAÍSO	39	
4.1	Caracterización de la geología de la ciudad de Valparaíso	39
4.2	Suelos de fundación de la ciudad de Valparaíso	41
4.3	Características del suelo de fundación del sector de El Almendral	45
4.4	Nivel de napa Freática	53
4.5	Profundidad del basamento en la ciudad de Valparaíso	54
4.6	Caracterización de los suelos de fundación en el área de Valparaíso mediante el método de Nakamura	55
4.7	Caracterización de las condiciones locales donde se ubican los edificios históricos	58
4.8	Caracterización de las condiciones locales en los edificios estudiados	60
4.8.1	<i>Palacio Luis Cousiño</i>	63
4.8.2	<i>Palacio Subercaseaux</i>	65

CAPÍTULO 5:	VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS	66
5.1	Características arquitectónicas y estructurales de los edificios históricos de la ciudad de Valparaíso	67
5.1.1	<i>Características Arquitectónicas</i>	68
5.1.2	<i>Características Estructurales</i>	71
5.2	Métodos simplificados para determinar la vulnerabilidad sísmica estructural de edificios históricos	75
5.2.1	<i>Índices de Vulnerabilidad de Primer Nivel</i>	77
5.2.2	<i>Índices de Vulnerabilidad de Segundo Nivel</i>	82
5.3	Vulnerabilidad ante acciones que actúan perpendicular al plano del muro	86
5.4	Ficha técnica para la recopilación de la información	87
CAPÍTULO 6:	ESTUDIO DE CASOS	92
6.1	Palacio Luis Cousiño	93
6.1.1	<i>Datos históricos</i>	93
6.1.2	<i>Información reunida en terreno</i>	96
6.1.3	<i>Dimensiones del edificio y de sus muros y peso de la estructura</i>	109
6.1.4	<i>Cálculo de los índices de vulnerabilidad del edificio del palacio Luis Cousiño</i>	113
6.1.4.1	<i>Índice de densidad de muros por unidad de piso, d_n</i>	113
6.1.4.2	<i>Índices de Lourenço y Roque, γ_i</i>	113
6.1.4.3	<i>Índice de Gallegos, I</i>	116
6.1.4.4	<i>Índice GNDT, I_v</i>	116
6.1.4.5	<i>Vulnerabilidad ante acciones perpendiculares al plano de los muros</i>	117
6.2	Palacio Subercaseaux	118
6.2.1	<i>Datos históricos</i>	118
6.2.2	<i>Información reunida en terreno</i>	120
6.2.3	<i>Dimensiones del edificio y de los muros y el peso de la estructura.</i>	134
6.2.4	<i>Cálculo de los índices de vulnerabilidad del edificio del Palacio Subercaseaux</i>	140
6.2.4.1	<i>Índice de densidad de muros por unidad de piso, d_n</i>	140
6.2.4.2	<i>Índices de Lourenco y Roque, γ_i</i>	141
6.2.4.3	<i>Índice de Gallegos, I</i>	143
6.2.4.4	<i>Índice GNDT, I_v</i>	144
6.2.4.5	<i>Vulnerabilidad ante acciones perpendiculares al plano de los muros.</i>	145
6.3	Comentarios y conclusiones	145
6.3.1	<i>Análisis de los índices de Primer Nivel</i>	145
6.3.2	<i>Análisis de los índices de Segundo Nivel</i>	147
6.3.3	<i>Comportamiento sísmico observado en ambos edificios</i>	158
CAPÍTULO 7:	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	151

ANEXO A:	Detalles del índice de Gallegos y del índice del GNDT	153
A.1	Índice de Gallegos (1986)	153
A.2	Índice GNDT	163
A.2.1	<i>Usando ficha de viviendas</i>	163
A.2.2	<i>Índice GNDT para casas grandes en albañilería</i>	174
ANEXO B:	FICHA TÉCNICA	178
ANEXO C:	FICHA TÉCNICA DE LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS	191
ANEXO D:	PESOS SÍSMICOS	218
ANEXO E:	RESUMEN DE LOS VALORES OCUPADOS PARA EL CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE SEGUNDO NIVEL	223
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA		229

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Parroquia del Barrio Puerto (Graham, 1822)	6
Figura 2.2	Mapa de la expedición de Amedee Frezier de 1712	8
Figura 2.3	Mapa de John Miers de 1826	9
Figura 2.4	Aumento demográfico en el siglo XIX (Sáez, 2004)	10
Figura 2.5	Mapa de Valparaíso de 1887 de la Dirección de Obras Públicas	14
Figura 2.6	Ubicación de conventillos antes y después de 1906	15
Figura 2.7	Perfil topográfico E-W del plan del Almendral antes del terremoto de 1906 (Ossandon et al., 1980)	17
Figura 2.8	Fachadas derrumbadas de la calle Condell para el terremoto de 1906 (Rodríguez y Gajardo, 1906)	20
Figura 3.1	Fuentes sismogénicas de Chile	22
Figura 3.2	Isosistas del terremoto del 16 de agosto de 1906 (Astroza, 2007)	27
Figura 3.3	Mapa de los sectores dañados por el terremoto y por el incendio en Valparaíso (Rodríguez y Gajardo, 1906).	29
Figura 3.4	Intensidades en el sector de El Almendral de la ciudad de Valparaíso durante el terremoto del 16 de agosto de 1906 (Carvajal, 1989)	30
Figura 3.5	Isosistas en roca del sismo del 3 de marzo de 1985 (Astroza y Monge, 1989).	33
Figura 3.6	Intensidades en la ciudad de Valparaíso en el sismo del 3 de marzo de 1985 (Canales y Perretta, 1988).	35
Figura 3.7	Zona de conservación histórica de la ciudad de Valparaíso y ubicación de los edificios patrimoniales	38
Figura 4.1	Depósitos geológicos de la ciudad de Valparaíso (Grimme y Alvarez, 1964)	40
Figura 4.2	Avance de la línea de costa (Perreta y Canales, 1988)	43
Figura 4.3	Corte del relleno en el sector del Puerto, sección A-A (Perreta y Canales, 1988)	44
Figura 4.4	Corte del relleno en el sector de El Almendral, sección B-B (Perreta y Canales, 1988)	44
Figura 4.5	Ubicación de los lugares con estudios geofísicos y perfiles estratigráficos (Acevedo y Orozco, 1986)	46
Figura 4.6	Zonificación de los suelos del plan de Valparaíso (Acevedo et al., 1986)	49
Figura 4.7	Profundidad basamento rocoso de la ciudad de Valparaíso (Verdugo, 1995)	54
Figura 4.8	Lugares de medición de las microvibraciones en el plan de Valparaíso y las razones espectrales resultantes (Verdugo y Pastén, 2007)	56
Figura 4.9	Lugares de medición de las microvibraciones en el cerro Los Placeres de Valparaíso y las razones espectrales resultantes (Verdugo y Pastén, 2007)	57
Figura 4.10	Ubicación de los monumentos históricos en la zonificación de suelos	59
Figura 4.11	Ubicación de los edificios estudiados y de los lugares reportados por Ojeda	61
Figura 4.12	Estatigráfica de los pozos P2 y P3	62
Figura 4.13	Estatigráfica de los pozos P8 y P10	63

Figura 4.14	Ubicación edificio Tecnopacífico	64
Figura 5.1	Almendral 1906 y 1985	72
Figura 5.2	Refuerzos de acero en un muro de albañilería	73
Figura 5.3	Edificio de hormigón armado	74
Figura 5.4	Edificios reforzados con perfiles de acero	74
Figura 6.1	Ubicación de los edificios históricos seleccionados de la ciudad de Valparaíso	93
Figura 6.2	Foto del edificio original del Palacio Luis Cousiño.	94
Figura 6.3	Estado actual del edificio Luis Cousiño	96
Figura 6.4	Planta del primer piso	97
Figura 6.5	Muro de albañilería de piedra del subterráneo	98
Figura 6.6	Muros de albañilería sin refuerzo del primer, segundo y tercer piso	99
Figura 6.7	Restos de la mansarda de madera	99
Figura 6.8	Tabiques interiores adosados a los muros transversales del primer piso	100
Figura 6.9	Elevaciones de los ejes longitudinales del edificio Luis Cousiño.	101
Figura 6.10	Elevaciones de los ejes transversales del edificio Luis Cousiño.	102
Figura 6.11	Terminaciones de las fachadas del Palacio Luis Cousiño y del edificio el Mercurio	104
Figura 6.12	Aparejo de la albañilería a lo largo de los muros	104
Figura 6.13	Detalle de colocación de los ladrillos a lo ancho de los muros de los ejes A, B, C, D, E y F en los pisos 1° y 2° (muros de 90 cm de espesor).	105
Figura 6.14	Detalle de colocación de los ladrillos a lo ancho de los muros de los ejes A, B, C, D, E y F en el 3er. piso (muros de 39 cm de espesor).	105
Figura 6.15	Trabazón en el encuentro de muros	106
Figura 6.16	Detalle del apoyo del sistema de piso en los ejes interiores	106
Figura 6.17	Huecos en donde se apoyaban las vigas del piso y viga collar	107
Figura 6.18	Viga collar en una esquina	107
Figura 6.19	Detalle del apoyo de sistema de piso en los muros de las fachadas	108
Figura 6.20	Apoyo del sistema de piso en ejes interiores del 3° piso	108
Figura 6.21	Estucos que se conservan	109
Figura 6.22	Vista del segundo piso de la fachada de la calle Serrano (antes del incendio)	118
Figura 6.23	Vista del primer piso por la calle Serrano (antes del incendio)	119
Figura 6.24	Estado de la fachada de calle Serrano tras la explosión	119
Figura 6.25	Estado de la fachada de calle Serrano tras la explosión	120
Figura 6.26	Esquema de la planta del edificio del Palacio Subercaseaux	121
Figura 6.27	Fachadas a la calle Cochrane, al pasaje Almirante Luis Goñi y Pérez Gacitúa.	121
Figura 6.28	Fachada a la calle Serrano	123
Figura 6.29	Elevaciones a los pasajes	124
Figura 6.30	Elevación de los ejes interiores B y C	124
Figura 6.31	Muros de albañilería sin refuerzo del segundo y tercer piso de la fachada por calle Cochrane	125
Figura 6.32	Columnas y mansarda de fachada principal por calle Serrano	125
Figura 6.33	Fachada a la calle Cochrane	127
Figura 6.34	Detalle de paños que sellan las aberturas de 1° piso	127
Figura 6.35	Detalle de capitel de las columnas, antepechos y arcos del 2° piso por calle Serrano	128

Figura 6.36	Detalle de capitel de las columnas, antepechos y arcos del 2° piso calle Serrano	129
Figura 6.37	Ladrillo y aparejo de los muros de albañilería	129
Figura 6.38	Aparejo para lograr el espesor de los muros de albañilería de 85 cm	130
Figura 6.39	Aparejo para lograr el espesor de los muros de albañilería de 62 cm	130
Figura 6.40	Huecos en los muros de albañilería donde se apoyaba las vigas del sistema de piso.	131
Figura 6.41	Viga metálica de refuerzo en ventana	131
Figura 6.42	Refuerzos de abertura	132
Figura 6.43	Modificación abertura de la fachada a calle Serrano	132
Figura 6.44	Apoyos de la viga collar metálica	133
Figura 6.45	Vista de la viga metálica	133
Figura 6.46	Vista del sistema de apuntalamiento	134
Figura 6.47	Numeración de los machones	135
Figura 6.48	Daños en el entorno del Palacio Luis Cousiño durante el terremoto de Valparaíso de 1906 (Rodríguez y Gajardo, 1906).	148
Figura 6.49	Edificios alrededor de la Plaza Echaurren antes del terremoto de 1906	149
Figura 6.50	Edificio esquina de la Plaza Echaurren después del terremoto de 1906	150
Figura 6.51	Edificio Liberty	150
Figura D.1	Áreas consideradas para el cálculo del sistema de piso	219

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Edificios históricos y modernos	11
Tabla 3.1	Características de los terremotos históricos en la zona de Valparaíso.	25
Tabla 3.2	Edificios de albañilería simple encuestados por Perretta y Canales.	35
Tabla 3.3	Características de los acelerogramas registrados en Valparaíso en el terremoto de 1985 (Saragoni y Carvajal, 1989)	36
Tabla 4.1	Información entregada en los lugares cercanos a los edificios estudiados (Ojeda, 1978)	60
Tabla 5.1	Grupos tipológicos	71
Tabla 5.2	Índice de Planta	83
Tabla 5.3	Índice de la Elevación	83
Tabla 5.4	Índice de componentes del sistema estructural	83
Tabla 5.5	Índice de la configuración estructural	84
Tabla 5.6	Factores de adecuación	84
Tabla 5.7	Parámetros de índice GNDT	85
Tabla 5.8	Calificativo para la relación H/t	86
Tabla 5.9	Calificativo para la relación b/h	86
Tabla 5.10	Grado de daño definida por la EEI	91
Tabla 6.1	Dimensiones de los ladrillos y de las juntas de mortero, en cm	104
Tabla 6.2	Altura de los pisos del edificio	110
Tabla 6.3	Largo total de los ejes 1 y 2.	110
Tabla 6.4	Dimensiones de los muros (machones) del eje 1 por piso.	110
Tabla 6.5	Dimensiones de los muros del eje 2 por piso.	111
Tabla 6.6	Largo de los ejes A, B, C, D, E y F del primer piso.	111
Tabla 6.7	Distancia entre los muros transversales de la fachadas longitudinales, ejes 1 y 2	111
Tabla 6.8	Espesor, largo y área de la sección transversal de los muros por ejes en el primer piso.	112
Tabla 6.9	Esbeltz máxima de las fachadas	112
Tabla 6.10	Pesos sísmicos y peso total de la estructura	112
Tabla 6.11	Participación en el peso de cada parte del sistema estructural	112
Tabla 6.12	Índice d_n y d , en %	113
Tabla 6.13	Cálculo de C_s según norma NCh433 of 96 para la zona sísmica 3	114
Tabla 6.14	Índice γ_3 para el Palacio Luis Cousiño	115
Tabla 6.15	Valores de C_s para una condición crítica	115
Tabla 6.16	Efecto de la acción perpendicular al plano de los muros.	117
Tabla 6.17	Dimensiones de ladrillos y espesor de las juntas de mortero, en cm	129
Tabla 6.18	Altura de los pisos	134
Tabla 6.19	Largo total de los ejes resistentes 1 y 2 del primer piso	136
Tabla 6.20	Dimensiones de los elementos verticales del eje 1 en el primer y tercer piso	136
Tabla 6.21	Dimensiones de los elementos verticales del eje 2 por piso	137
Tabla 6.22	Dimensiones de los muros del eje A en el primer y tercer piso	137
Tabla 6.23	Dimensiones de los muros del eje D por piso.	138
Tabla 6.24	Dimensiones de los muros del eje interior B	138

Tabla 6.25	Dimensiones de los muros del eje interior C	138
Tabla 6.26	Distancia entre los muros transversales a los muros de la fachadas longitudinales, ejes 1 y 2	139
Tabla 6.27	Espesor, largo y área de la sección transversal de los muros de cada eje del primer piso	139
Tabla 6.28	Esbeltez máxima de las fachadas de la estructura	139
Tabla 6.29	Pendiente del terreno donde se ubica edificio	139
Tabla 6.30	Pesos sísmicos y peso total de la estructura	140
Tabla 6.31	Participación en el peso de cada parte del sistema estructural	140
Tabla 6.32	Índice d_n y d , en %	140
Tabla 6.33	Cálculo de C_s según norma NCh433 of 96 para la zona sísmica 3.	142
Tabla 6.34	Índice γ_3 para el Palacio Subercaseaux	142
Tabla 6.35	C_s para la condición crítica	143
Tabla 6.36	Efecto de la acción perpendicular al plano de los muros.	145
Tabla A.1	Valores índices según calificación	154
Tabla A.2	Valores de índices según calificación	161
Tabla A.3	Criterios para establecer la calidad de la información	164
Tabla A.4	Ficha GNDT para viviendas	172
Tabla A.5	Puntaje por clase y peso de las características consideradas del GNDT para viviendas	173
Tabla A.6	Valores límites del índice de vulnerabilidad para viviendas según GNDT	174
Tabla A.7	Puntaje por clase y peso de las características consideradas en el GNDT para casas grandes de albañilería	176
Tabla D.1	Peso específico de los materiales	218
Tabla D.2	Alturas de los palacios en m.	218
Tabla D.3	Peso muros Palacio Subercaseaux	218
Tabla D.4	Peso muros Palacio Luis Cousiño	219
Tabla D.5	Características de sistema de piso	220
Tabla D.6	Peso sistema de piso Palacio Subercaseaux	220
Tabla D.7	Peso sistema de piso Palacio Luis Cousiño	220
Tabla D.8	Peso sistema de piso	220
Tabla D.9	Peso del sistema de techo	221
Tabla D.10	Peso sísmicos	221
Tabla D.11	Peso total	222
Tabla E.1	Resumen de variables ocupadas en el cálculo del índice de Gallegos del Palacio Luis Cousiño	223
Tabla E.2	Resumen de variables ocupadas en el cálculo del índice de Gallegos del Palacio Luis Cousiño	223
Tabla E.3	Índice Gallegos Palacio Luis Cousiño	224
Tabla E.4	Índice Gallegos Palacio Subercaseaux	225
Tabla E.5	Índice GNDT para viviendas del Palacio Luis Cousiño	226
Tabla E.6	Índice GNDT para viviendas del Palacio Subercaseaux	227
Tabla E.7	Índice GNDT para viviendas de albañilería del Palacio Luis Cousiño	288
Tabla E.8	Índice GNDT para viviendas de albañilería del Palacio Subercaseaux	228

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Se reconoce que el patrimonio arquitectónico y cultural de la humanidad está en permanente riesgo ante las amenazas que representan los fenómenos naturales como sismos, inundaciones, deslizamientos de suelo y huracanes. Ante la necesidad de proteger este patrimonio para las futuras generaciones, la UNESCO ha declarado Patrimonio de la Humanidad los *centros históricos* de varias ciudades del mundo, entre las que se encuentra la ciudad de Valparaíso.

Teniendo en cuenta el riesgo sísmico de este patrimonio, es necesario estudiar el inventario de edificios que forman los centros históricos de las ciudades declaradas Patrimonio de la Humanidad ubicadas en zonas de alto peligro sísmico, como lo es Valparaíso y otras ciudades ubicadas en países sísmicos como México, Portugal, Italia entre otros. Con este propósito en este trabajo de Título se estudiará la vulnerabilidad sísmica de edificios centenarios de la ciudad de Valparaíso aprovechando que se cuenta con información relacionada con el peligro sísmico de la ciudad (caracterizado por las fuentes sísmicas, efectos locales e intensidades establecidas), la ubicación y las características arquitectónicas de los edificios.

En este trabajo se darán a conocer los índices de vulnerabilidad de primer nivel de Meli y de Lourenço y Roque y los de segundo nivel de Gallegos y GNDT para la determinación de la vulnerabilidad estructural de las estructuras ante la acción de sismos. Estos métodos califican de manera cuantitativa las distintas características estructurales de los edificios históricos y entregan como resultado un valor índice que permite ordenar su vulnerabilidad según los límites establecidos. En este trabajo se aplicarán estos métodos a dos edificios centenarios: el Palacio Luis Cousiño y el Palacio Subercaseaux. Estos dos edificios, junto al Edificio Liberty, tienen un gran valor patrimonial y por esta razón han sido adquiridos por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso para su conservación (El Mercurio, 2008).

Los resultados del estudio permitirán reconocer las características tanto sísmicas como arquitectónicas de los edificios centenarios de la ciudad de Valparaíso que han permitido que

sobrevivan ante terremotos destructores como los ocurridos en los años 1906 (M=8.2), 1965 (M=7.1), 1971 (M= 7.5) y 1985 (M= 7.8). Además con los resultados obtenidos, se podrá estimar el riesgo sísmico de edificios centenarios del mismo estilo arquitectónico, que abundan en el mundo y otras ciudades de Chile, que todavía no se han visto enfrentados a un terremoto destructor como los sismos destacados anteriormente.

1.1 OBJETIVOS GENERALES

- a. Generar una metodología para el estudio de la vulnerabilidad de edificios centenarios construidos en albañilería, también denominados palacios en la *Zona de Conservación Histórica* de Valparaíso.
- b. Poder comparar estos edificios con otros ubicados en lugares que también tienen actividad sísmica como México, Portugal o Italia.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a. Estudio preeliminar del comportamiento sísmico de edificios centenarios que forman parte del patrimonio arquitectónico del Centro Histórico de la ciudad de Valparaíso.
- b. Definir los métodos más adecuados para el estudio de la vulnerabilidad sísmica de estos edificios.
- c. Aplicar estos métodos a dos estructuras de la *Zona Típica* de Valparaíso y dar una estimación de su situación

1.3 METODOLOGIA

Con el propósito de lograr los objetivos específicos destacados en este Trabajo de Título, se aplica la metodología que se resume a continuación:

- a. Recopilación de la información que tiene relación con la historia y desarrollo de Valparaíso, el peligro sísmico de la zona central de Chile, la ingeniería estructural de

monumentos históricos y el análisis de vulnerabilidad de edificios históricos. para ello se revisaran libros de historia y numerosos papers.

- b. Recopilación de toda la información que se pueda obtener de los edificios palacio Luis Cousiño y el Palacio Subercaseaux. Visita a terreno de estas estructuras, llenando una ficha que ha sido confeccionada especialmente para este trabajo y que recopila toda la información relevante de estas estructuras.
- c. Definición de los métodos de análisis de vulnerabilidad que se aplicarán a los casos estudiados. Los métodos serán de primer y segundo nivel.
- d. Descripción cualitativa y cuantitativa de las características estructurales de ambas estructuras. Aplicación de los métodos de análisis de vulnerabilidad a ambas estructuras.
- e. Comparación de los resultados del análisis de vulnerabilidad de ambas estructuras.

1.4 ORGANIZACION DE LA MEMORIA

La memoria de título se organiza en los capítulos siguientes:

- **Capítulo 1: Introducción:** Se describe la motivación del tema, los objetivos planteados y la metodología propuesta para conseguirla.
- **Capítulo 2:Antecedentes Generales:** En este capítulo se presentan antecedentes que permiten conocer la evolución de la ciudad de Valparaíso desde su descubrimiento hasta los tiempos modernos, resaltando la importancia que mantiene hasta el día de hoy el sector urbano de la ciudad y de las características de los edificios que constituyen su patrimonio histórico.
- **Capítulo 3: Peligro sísmico y daños observados en la zona de conservación histórica de la ciudad de Valparaíso:** El objetivo de este capítulo es entregar información relacionada con los terremotos que controlan el diseño sísmico de los edificios

construidos en la ciudad de Valparaíso, destacando los efectos que han producido los terremotos históricos que han afectado la región tanto en su zona de daño como en la ciudad de Valparaíso propiamente tal.

- **Capítulo 4: Caracterización de los suelos de fundación y profundidad del basamento de la ciudad de Valparaíso:** En este capítulo se presenta la caracterización de los suelos de fundación de la ciudad de Valparaíso para lo cual se ha usado información publicada en los últimos 45 años. También se entrega información relacionada con la profundidad del basamento rocoso obtenida de un estudio gravimétrico realizado el año 1995 e información más específica de los suelos de fundación de los dos edificios estudiados.
- **Capítulo 5: Estudio de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos:** En este capítulo se definen los métodos que se pueden ocupar para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificios centenarios y las razones por las cuales éstos se usan. Con estos métodos se hace el análisis de vulnerabilidad de los dos edificios escogidos.
- **Capítulo 6: Estudio de Casos:** Con la información reunida en terreno, la bibliografía y con los métodos definidos en el capítulo 5 se analizan dos edificios centenarios de la ciudad de Valparaíso utilizando sus características arquitectónicas (número de pisos, espesores de muros, alturas de muros, densidades de muros, porcentaje de aberturas por fachada, entre otras) y estructurales (tipo de material, sistema de pisos, sistema de techumbre, encuentro de muros de fachadas y muros interiores, etc). Esta información se presenta en este capítulo y en los anexos C, D y E. Se aplican los métodos simplificados de primer Nivel de Meli y de Lourenço y Roque y los de segundo nivel de Gallegos y GNDT. Los edificios que se estudian corresponden al Palacio Luis Cousiño y el Palacio Subercaseaux.
- **Capítulo 7: Conclusiones y comentarios:** Se destacan los principales resultados obtenidos del estudio de la vulnerabilidad sísmica de los edificios centenarios seleccionados.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se presentan antecedentes que permiten conocer algo de lo relacionado con el desarrollo del sector urbano de la ciudad y de las características de los edificios que constituyen el patrimonio histórico de la ciudad.

2.1 LA CIUDAD DE VALPARAÍSO

No se sabe con certeza quién fue el español que descubrió la bahía que hoy aloja a Valparaíso, se cree que habría sido don Juan de Saavedra, hidalgo a las ordenes de Diego de Almagro (Le Dantec, 2003) quien habría descendido por primera vez a la playa de Valparaíso en el año 1536. Sin embargo, este lugar ya era habitado desde la era precolombina, por los indios changos que vivían de la pesca y que fueron desapareciendo poco a poco ante la invasión de los conquistadores (Rodríguez y Gajardo, 1906)

En esos tiempos Valparaíso era una playa con muchas quebradas y cerros que la circundaban. Este anfiteatro natural quedaba dividido en dos sectores por lo que hoy en día es el cerro Concepción, formando por el lado este una estrecha planicie, hoy conocida como El Almendral, y por el oeste el Barrio Puerto. Estos dos sectores sólo estaban unidos por un estrecho paso por la playa en donde el cerro Concepción entraba abruptamente al mar.

2.1.1 El Barrio Puerto

Este pobre caserío, el cual se ubicaba en lo que hoy en día se conoce como Barrio Puerto, fue asediado durante 140 años por corsarios y piratas famosos como Francis Drake, Richard Hawkins o Van Hoost, construyéndose el año 1682 el fuerte de la Concepción para repeler y defenderse de estos asaltos, declarándose Valparaíso playa militar.

Otro vestigio que daba cuenta que Valparaíso empezaba a tener importancia, fue la construcción de la primera capilla en el Barrio Puerto, en el lugar que hoy en día ocupa la Iglesia la Matriz, desarrollándose en torno a ella un pueblo de casas simples hechas en adobe, ver figura 2.1.



Figura 2.1 – Parroquia del Barrio Puerto (Mary Graham, 1822)

Esto se mantendría así durante dos siglos. La actividad principal en esa época eran la agricultura, la pesca, el comercio y la defensa. Durante este tiempo El Almendral fue explotado como lugar de agricultura. La pesca se desarrollaba en la llamada *Caleta*, situada donde ahora se levanta la estación Barón y *La Lobería* que se encontraba en el lugar que hoy ocupa la plaza Victoria (Sáez, 2004).

Como se ha destacado, en esa época Valparaíso estaba dividido en dos sectores claramente diferenciados entre sí, el sector Puerto y el sector Almendral. En el sector Puerto se encontraba lo más representativo de la ciudad, como eran las actividades administrativas, portuarias, comerciales y religiosas. La población de Valparaíso se ubicaba en las quebradas adyacentes a dos plazas y el muelle era una pequeña plataforma localizada frente al edificio de la Aduana, lugar donde hoy se ubica la Intendencia.

De acuerdo con el detalle del mapa de 1712 de Amedee Frezier, ver la figura 2.2, se aprecia claramente que el Barrio Puerto era la zona más poblada de en esa época. El cerro Castillo (actual cerro Concepción), albergaba al Castillo San José, fundado en 1692, y el cual está identificado con la letra *A* en el mapa. Esta edificación junto con la parroquia del puerto, identificada con la letra *B*, eran los únicos edificios que destacaban en la zona. El Almendral, a la izquierda del cerro Castillo, era prácticamente una zona rural y los rectángulos del mapa corresponden a las bodegas que existían en este sector (Sáez, 2004). También es importante resaltar de este mapa, lo angosto que era el sector de El Almendral hasta ese entonces.

Después que Schouten y Le Maire descubrieron el Cabo de Hornos en 1616 se permitió el comercio con Francia, lo cual era ventajoso tanto para ese país como también para el mercado local (Sáez, 2004). Además, a fines del siglo XII y comienzos del siglo XIII, Chile se transformó en el silo de trigo del Virreinato del Perú, cuyos campos fueron azotados por una esterilidad absoluta. Estos hechos hicieron que Valparaíso se consolidara como uno de los puertos de mayor importancia en la región del Pacífico. Años después, la pujante economía de la costa oeste de Estados Unidos hizo que este puerto adquiriese aún más importancia.

En esa época se construyeron las primeras edificaciones grandes para almacenar el trigo (Le Dantec, 2003).

Sólo a fines del siglo XVIII comenzó Valparaíso a delinear medianamente sus calles, siguiéndose el curso de los arroyos que bajaban de las quebradas para el trazado de las calles transversales del sector de El Almendral. Además, en este sector existía la “*calle ancha*” o de la *Victoria*, donde se efectuaban animadas carreras de caballo. En el Barrio Puerto había sólo una calle: la Planchada (actual calle Serrano), donde se había establecido el comercio. En estos años recién comenzaba a crearse la *calle de la Aduana* (actual calle Prat). Los cerros de Valparaíso en su mayoría todavía no estaban habitados, salvo los cerros del Barrio Puerto, el cerro Castillo (actual Cerro Cordillera), el cerro Alegre y el cerro del Cabo o del Chivato (actual cerro Concepción).

Posteriormente, el crecimiento de la economía nacional, la ubicación estratégica en el flujo de embarcaciones y la inmigración de europeos, lograron que Valparaíso se desarrollara como ciudad. A partir de 1820 surgen edificios de mayor valor arquitectónico y en ese momento Valparaíso se consolida como una ciudad de gran relevancia tanto para Chile como para el comercio internacional. En la figura 2.3 se puede apreciar el crecimiento del sector de El Almendral y como se van delineando sus cuadras.

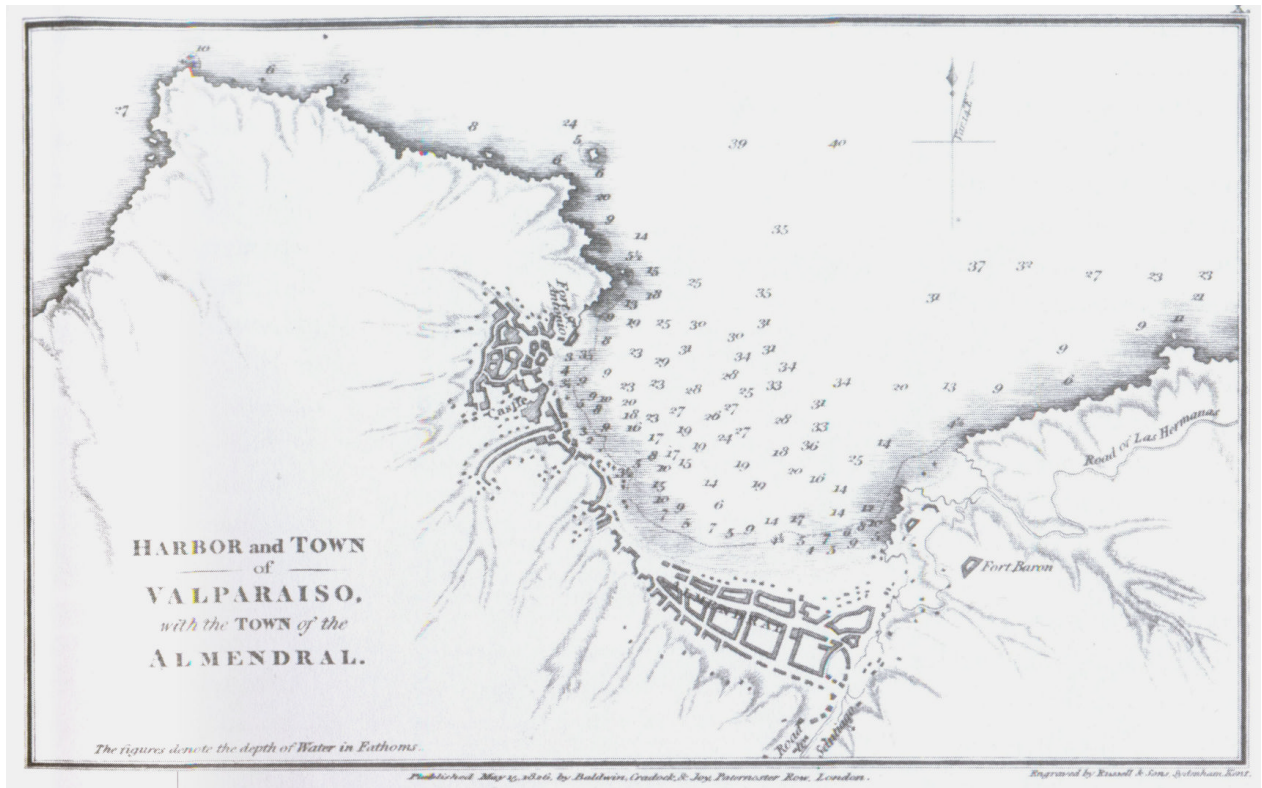


Figura 2.3 – Mapa de John Miers de 1826

Sin embargo, el mayor crecimiento del siglo XIX, tanto en población como en importancia, lo vivió Valparaíso a partir de 1860. En esa época surgieron edificios altos que albergaban las oficinas estatales y privadas, se construyeron enormes palacios, hospitales y se habitaron los cerros aledaños. El crecimiento de la población es vertiginoso, como se aprecia en la figura 2.4.

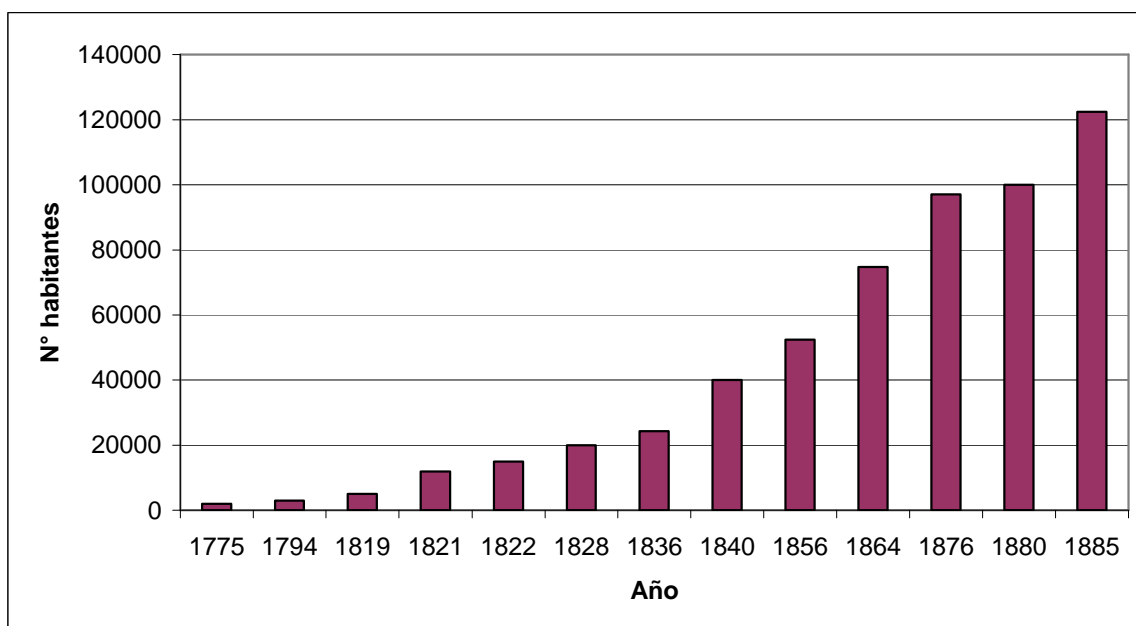


Figura 2.4 - Aumento demográfico en el siglo XIX (Sáez, 2004)

Una de las obras más trascendente en esta nueva era fue la construcción del puerto moderno de Valparaíso, que tras la licitación de 1911 se empezó a construir en 1912. La construcción de éste demoró 14 años en lugar de los 7 años como se había planificado en un principio, este retraso se debió a la Primera Guerra Mundial. Las obras fueron entregadas en 1926, y ese mismo año se empezaron las obras de un molo de 700 m de largo que concluyeron en 1931 y que hasta el día de hoy abriga la costa de Valparaíso.

En la tabla 2.1 se entrega una lista con una serie de edificios históricos y modernos de valor arquitectónico que muestran en cierta forma la evolución que ha seguido la ciudad de Valparaíso en los últimos 150 años.

El crecimiento de Valparaíso fue frenándose lentamente tras su brusco crecimiento con el surgimiento y desarrollo de los pueblos cercanos: Viña del Mar, Quilpué, Peña Blanca, Villa Alemana, Limache, etc, los que han llegado a convertirse en centros urbanos de importancia. Así, según el Censo 2002, la comuna de Valparaíso tiene 275.982 habitantes (Sáez, 2004).

Tabla 2.1 – Edificios históricos y modernos (Guía de Arquitectura Valparaíso, 2006)

Edificio	Ubicación	Año	Autor
Librería Ivens	Plaza Aníbal Pinto con Melgarejo	1851	
Edificio Café Riquet	Plaza Aníbal Pinto	1861	John Brown Diffin
Colegio Alemán	Cerro Concepción	1870	
Palacio Luis Cousiño	Calle del Cabo	1881-1883	Esteban Orlando Harrington
Palacio Ross	Calle Salvador Donoso	1888-1890	Juan Eduardo Fehrman
Palacio Lyon - Museo Historia Natural	Calle Condell	1888	Carlos Von Moltke
Palacio Subercaseaux	Calle Serrano	1895	Fermín Vivaceta
Ex Hotel Royal	Calle Esmeralda	1897	Esteban Orlando Harrington
Galería Condell	Calle Condell	1910	
El Mercurio	Calle Condell	1899-1901 1906-1915	Carlos Barroilhet
Palacio Polanco	Las Heras con Brasil	1906-1911	
Terremoto del 16 de Agosto de 1906			
Bolsa de Valores	Urriola con Prat	1911	Huber y Laclolet,
Biblioteca Severin	Calle Blanco Encalada	1912	Barison y Schiavon
Mercado Cardonal	Uruguay esquina Yungay	1912	Eduardo Feurisen
Club Naval	Calle Condell N° 1586	1912-1917	Grosser y Harrington
Reloj Turri (Edificio Edwards)	Plazoleta Turri	1923-1924	Augusto Geiger
Universidad Católica de Valparaíso	Av. Brasil con Av. Argentina	1925	Ernesto Urquieta
Teatro Municipal ex Teatro Velarde	Uruguay esquina Pedro Montt	1931	Epartaco Strapa
Scuola Italiana	Av. Pedro Montt	1941; 1953	David Cuneo y Jorge López
Capredena	Avda Brasil	1944	Ítalo Sasso Scampini
Teatro Mauri	Cerro Bellavista	1951	Alfredo Vargas Stoller
Banco de Chile	Calle Prat	1952	Jorge Lopez y David Cuneo
La Sebastiana	Cerro Florida	1961	Collado, Neruda y Martner
Terremoto del 3 de Marzo de 1985			
Congreso Nacional	Av. Pedro Montt	1990	Cárdenas, Covasevich y Farru
Hotel Brighton	Paseo Atkinson	1996	Raul Hayvard
Servicio Nacional de Pesca	Calle Victoria	2000	Enrique Lopez y Cedric Purcell
Edificio Duoc	Brasil con Rodríguez	2002	Juan Sabbagh y Asoc.

2.1.2 El barrio de El Almendral

Ossandon et al. (1980) hicieron un estudio del barrio de El Almendral cuyo objetivo es entregar una visión de los orígenes del Almendral y su estrecha relación con el barrio del Puerto, identificar los problemas que presentaba el sitio del Almendral antes de 1906 y señalar las transformaciones ocurridas en el plano del Almendral después del terremoto de 1906.

Según estos autores, este barrio antes del año 1906 se caracterizaba, entre otras cosas, por un mal trazado de sus calles, estrechas y sinuosas, con una desnivelación que se hacía notar en los períodos de lluvia y un hacinamiento en los sectores inmediatos a los cerros.

- ***Sus orígenes***

A comienzos del siglo XVII, este sector era propiedad de la Capitanía General del Reino de Chile, la cual en 1612 entrega estos terrenos a particulares, comenzando su parcelación de un sitio que hasta esa fecha no era más que una playa desierta desprovista de las chozas de los aborígenes que se encontraban en el sector a la llegada de los descubridores.

Durante este período, el Almendral estaba limitado con el sector Puerto por el cerro Concepción, en donde se encontraba la denominada Cueva del Chivato. El lugar corresponde a donde hoy en día se ubica el edificio del diario El Mercurio. Esta situación obligaba a la comunidad a comunicarse entre ambos sectores subiendo las colinas.

Hacia 1733, el Almendral era un terreno largo y espacioso donde se efectuaban carreras de caballo, lugar que con el tiempo pasaría a ser la calle de la Victoria, constituyéndose en el lugar más importante del Almendral.

- ***El Almendral a fines de la Colonia y comienzos de la República.***

En esta época, El Almendral se caracterizaba por ser una llanura arenosa pero fértil, cuyas casas y quintas se distribuían en forma desordenada. En él se desarrollaban actividades agrícolas

pero a pesar de ello se encuentran en él construcciones tales como la iglesia de la Merced, ubicada frente a la actual plaza O'Higgins, algunos conventos y el Hospital.

Producto de los daños ocasionados por el terremoto de 1822, se produjo el trazado de calles más regulares y espaciosas en aquellos lugares que debían ser reconstruidos. En las décadas posteriores se produjo un crecimiento demográfico de Valparaíso enorme, como el destacado en la figura 2.4, lo que repercutió significativamente en el barrio del Almendral. En la figura 2.5 se muestra un mapa de 1887 y corresponde a lo que era Valparaíso cuando ocurrió el terremoto de 1906.

Ossandón et al. (1980) hacen una descripción de lo que era la parte plana del sector del Almendral en las últimas décadas del siglo XIX. De esta descripción se puede destacar que las construcciones ubicadas en este sector eran de uso habitacional y comercial. En particular, en la calle de la Victoria desde la plaza de la Victoria hasta la bifurcación con la calle de Maipú, frente a la calle General Cruz (sector vecino al actual Parque Italia); vivían varias de las familias más ricas de la ciudad quienes habitan enormes mansiones construidas de cal y ladrillo.

El año 1833 el acaudalado inglés Joshua Waddiington compró el cerro Concepción, que separaba a El Almendral del Barrio Puerto. La playa era en esta parte muy estrecha y cuando el mar estaba agitado, las olas llegaban hasta el cerro interrumpiendo el paso. A esto se le sumaba el hecho que en esta parte existía una cueva denominada la cueva del Chivato en torno a la cual la leyenda popular alimentaba a la imaginación de los pobladores y facilitaba el trabajo de los ladrones que se refugiaban a menudo en ella. En 1899 estos cuentos quedaron en el pasado, cuando se dinamitó dicha parte del cerro para construir el edificio del diario El Mercurio y se habilitó oficialmente la calle del Cabo (hoy calle Condell) (Sáez, 2003).



Figura 2.5 – Mapa de Valparaíso de 1887 de la Dirección de Obras Públicas

La actividad comercial se desarrollaba de preferencia entre el estero Jaime, hoy avenida Francia, hacia la avenida de Las Delicias, hoy avenida Argentina; siendo la extensión de este sector mayor que el sector residencial destacado. En este sector, especialmente en sus calles transversales habitaba población de nivel económico medio-bajo con una mayor subdivisión de la tierra lo que provoca junto con la existencia de un gran número de conventillos un gran hacinamiento de la población. Según Urbina, en 1905 se catastraron 1619 conventillos, habitados por 54.794 personas en 18.314 piezas, lo que representaba un tercio de la población total (ver figura 2.6).

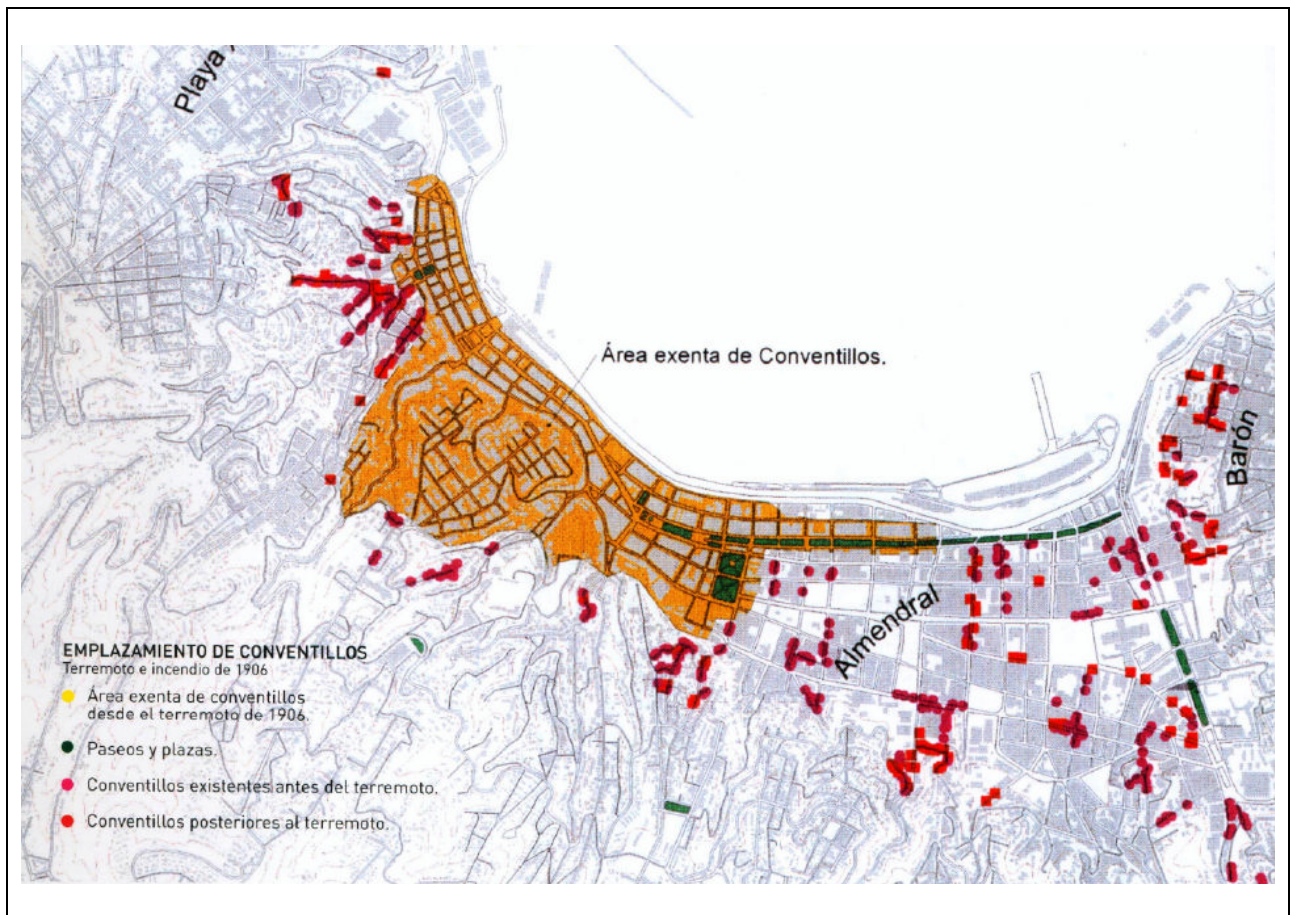


Figura 2.6 – Ubicación de conventillos antes y después de 1906 (Urbina, 2002)

El sector sur del Almendral, desde la plaza Victoria a la plaza del Orden (hoy plazoleta Aníbal Pinto), era un sector angosto de tres calles longitudinales que lo conectan con el sector del Puerto.

- ***La destrucción de El Almendral en 16 de agosto de 1906***

Las causas de la destrucción del Almendral por el terremoto de 1906 hay que encontrarlas en varios factores, entre los que destacan: el terremoto mismo, su magnitud y la ubicación del epicentro; la calidad de las construcciones que se edificaban en la época, los incendios que aparecieron por la inflamación de las lámparas y cocinas encendidas, los que causaron más destrucción que el terremoto mismo; las condiciones locales del suelo de fundación y el uso de dinamita para terminar con las ruinas dejadas por el terremoto.

De los sectores dañados se destacan las 16 manzanas comprendidas entre las calles Tivolá, Av. Brasil, Jaime y Victoria, 12 de ellas fueron completamente destruidas por el fuego, incendiándose edificios tan valiosos como el Mercado Cardonal (Rodríguez y Gajardo, 1906). Otra sección del Almendral que correspondía a 18 manzanas ubicadas entre las calles de Victoria, Avda Brasil, Jaime y Edwards, 8 de ellas se destruyeron por el incendio y las 10 restantes quedaron convertidas en ruinas.

El sector comprendido desde la plaza de la Victoria hasta la plaza del Orden no sufrió grandes daños, ya que los incendios no se propagaron hacia ese sector en la misma proporción que en el Almendral mismo. Más detalles de los daños tanto de El Almendral como del Barrio Puerto se pueden encontrar en varios trabajos sobre el tema, parte de ellos se citan en las referencias de esta memoria de título.

- ***Reconstrucción del Almendral***

La reconstrucción del Almendral significó la aparición de nuevas calles y avenidas; ensanche y rectificación de las antiguas. Desde este punto de vista, el primer cambio importante que se produce en el plano del Almendral es la aparición de la Av. Colón y de la avenida Pedro Montt, la cual divide al barrio del Almendral en dos sectores, además la avenida Brasil toma su fisonomía definitiva.

Se suman a lo anterior el abovedamiento de los esteros de las Delicias y Jaime, transformándose así en lo que hoy son la avenida Argentina y Francia respectivamente. Al mismo

tiempo desaparecieron una serie de calles ubicadas en su mayoría desde el pie de los cerros hasta aproximadamente la calle Independencia.

Adicionalmente se hizo traslado de las cañerías de agua potable y desagües, de gas, las líneas de tranvías y alumbrado eléctrico, se repararon o reconstruyeron los establecimientos de educación y beneficencia, los templos parroquiales y los edificios públicos.

Otro aspecto que es destacable de esta reconstrucción es el relleno y la nivelación del plan de Valparaíso, teniendo en cuenta que esta parte de la ciudad era dispereja y desnivelada, existiendo sectores bajo el nivel del mar como era aquel que se extendía desde la calle de Jaime hasta la calle Edwards, lo que provocaba grandes inundaciones durante las lluvias invernales. Esta situación se muestra en la figura 2.7.

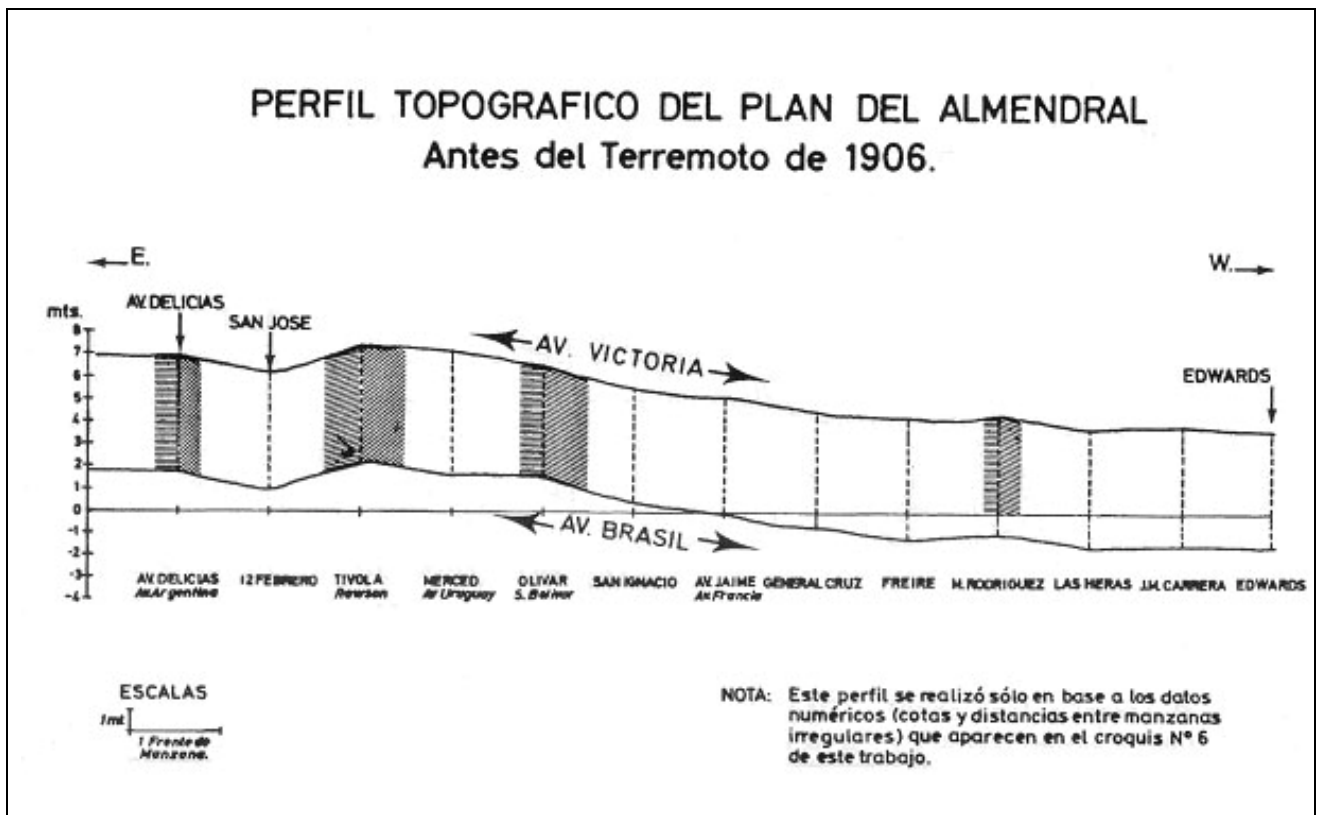


Figura 2.7 – Perfil topográfico E-W del plan del Almendral antes del terremoto de 1906 (Ossandon et al., 1980)

Esta nivelación sólo fue posible dado que se dieron las condiciones para hacerla debido a la gran destrucción del sector y en ella se utilizaron los materiales y escombros de los edificios

destruidos. La utilización de los escombros tuvo una significación económica ya que permitió ahorrar el dinero que se hubiese tenido que utilizar en el traslado de material de relleno desde los cerros circundantes.

Todos los trabajos concernientes con esta remodelación del Almendral se llevaron a efecto en forma lenta y paulatina, siendo la parte correspondiente a la nivelación la que más años demoró. Producto de esta nivelación, en la actualidad el Almendral se encuentra en la horizontalidad con una moderada inclinación este-oeste.

La ejecución de los trabajos de la nivelación del Almendral comenzaron a mediados de 1907, por el sector de la Plaza Victoria; en marzo de 1908 el relleno del *plan* del Almendral estaba terminado en un buen porcentaje y se habían usado del orden de 70 mil m³ de escombros útiles para el relleno de las calles. El material inútil se botó al mar, lo que representaba en junio de 1909 que se habían botado al mar más de 200.000 carretadas con lo cual también se construía el relleno del sector litoral del Almendral (costanera) (Ossandon et al., 1980). Los trabajos de nivelación concluyeron en 1911, iniciándose los trabajos de pavimentación y construcción de aceras.

La reconstrucción del barrio del Almendral después del terremoto de 1906, dió lugar al surgimiento de numerosos establecimientos, entre ellos se destacan (Ossandón et al., 1980): la Universidad Católica de Valparaíso, el colegio De la Salle (1910), la Scuola Italiana (1940), el colegio San Pedro Nolasco (1924), la biblioteca pública Santiago Severín, el Club Naval (1918), la Prefectura de Investigaciones (1912), el teatro Velarde (1931) y el teatro Metro (1930).

La remodelación del barrio del Almendral produjo una mayor valorización de él con respecto al barrio Puerto, situación que no tenía antes del terremoto de 1906, debido principalmente a que era un sector en que predominaban bodegas, huertos y rancheríos con un trazado de calles errático y desniveles del terreno que producían grandes inundaciones y problemas sanitarios.

2.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA REVISIÓN DE LA SEGURIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL

En las últimas décadas ha habido internacionalmente grandes avances en la aplicación de métodos cuantitativos de la ingeniería estructural para revisar la seguridad estructural de los monumentos y edificios históricos.

En lo esencial se debe reconocer que estos procedimientos se basan en los principios y criterios de la ingeniería estructural moderna, los cuales son válidos para cualquier tipo de construcción independiente de cual sea el material, la forma y el método de construcción, y de este modo los métodos empleados para los edificios modernos pueden ser aplicados a los edificios históricos (Meli, 1998). Para ello sólo se requiere hacer las adaptaciones necesarias basándose en un claro conocimiento del comportamiento de materiales y de las formas estructurales que son diferentes a los actuales, y en un profundo respeto por la cultura y las técnicas de las épocas en que se construyeron.

De esta forma al abordar el tema de la seguridad estructural del patrimonio histórico, los temas principales que surgen son los relativos a: las propiedades de los materiales, el comportamiento de las formas estructurales típicas, los procedimientos de análisis con diferente nivel de refinamiento y los procedimientos de refuerzo estructural.

Para estimar la seguridad de la estructura de este tipo de edificios, se puede considerar como suficiente, comprender cualitativamente la forma en que la estructura responde a los movimientos del terreno y la naturaleza de las fuerzas que se generan y la trayectoria que siguen. Cuantificar estos aspectos ayuda a dicha comprensión y a la toma de decisiones, siempre que se tenga conciencia de las limitaciones de los métodos utilizados. En una etapa de diagnóstico es útil usar técnicas simples que reconozcan las características del sistema estructural de los edificios históricos que son determinantes en su comportamiento, entre ellas se pueden destacar los métodos detallados en el Capítulo 5 cuando se trata de cuantificar la vulnerabilidad de los edificios de albañilería ante terremotos. Entre éstas, a modo de ejemplo se puede indicar la inestabilidad de los muros de fachada por no contar con una unión adecuada con los sistemas de piso o techos (ver figura 2.8).



**Figura 2.8 – Fachadas derrumbadas de la calle Condell para el terremoto de 1906
(Rodríguez y Gajardo, 1906)**

CAPÍTULO 3

PELIGRO SÍSMICO Y DAÑOS OBSERVADOS EN LA ZONA DE CONSERVACIÓN HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE VALPARAÍSO

El objetivo de este capítulo es entregar información relacionada con los terremotos que controlan el diseño sísmico de los edificios construidos en la ciudad de Valparaíso, destacando los efectos que han producidos los terremotos históricos que han afectado la región tanto en su zona de daño como en la ciudad de Valparaíso propiamente tal.

Para hacer la caracterización del peligro sísmico de la zona de conservación histórica de la ciudad de Valparaíso debe tenerse en cuenta que la demanda sísmica de esta zona está controlada por los sismos costeros que ocurren en la zona central de Chile, sismos del tipo thrust, cuyo hipocentro se ubica en el contacto entre la placa que subducta, placa de Nazca bajo la placa continental, o placa Sudamericana.

La información entregada es fundamental al momento de revisar la seguridad estructural de los edificios históricos de Valparaíso, ya que representa a las acciones o demandas que han afectado y que afectarán a las estructuras de estos edificios. Desde este punto de vista es importante analizar los efectos de los terremotos de 1906 y 1985 ya que ellos afectaron a los edificios estudiados en esta memoria y los cuales tienen las características de los edificios históricos de esta ciudad.

3.1 LOS SISMOS COSTEROS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE

La zona central de Chile se ha caracterizado por ser la zona en donde se han concentrado algunos de los mayores terremotos de su historia sísmica. Estos sismos, con epicentro marino frente a la costa de Valparaíso, han ocurrido en los años 1647 (M=8.5), 1730 (M=8.75), 1822 (M=8.5), 1906 (M=8.2) y 1985 (M=7.8), perteneciendo todos ellos a la categoría de sismos destructores y son los que mayores daños han provocado en la ciudad de Valparaíso, sobre todo en el sector de El Almendral.

Estos sismos tienen características comunes y por lo tanto pueden ser clasificados dentro de un mismo grupo en virtud de la fuente sismogénica que los genera, grupo que se identifica como “sismos interplaca” o sismos del Tipo B como se indica en la figura 3.1.

Las principales características de estos sismos son:

- Todos tienen epicentro costa afuera.
- Su mecanismo de falla se debe a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.
- Los maremotos que los acompañan son relativamente pequeños con la sola excepción del sismo de 1730.
- Los movimientos verticales permanentes a lo largo de la costa son sistemáticamente de signo positivo (solevantamiento).

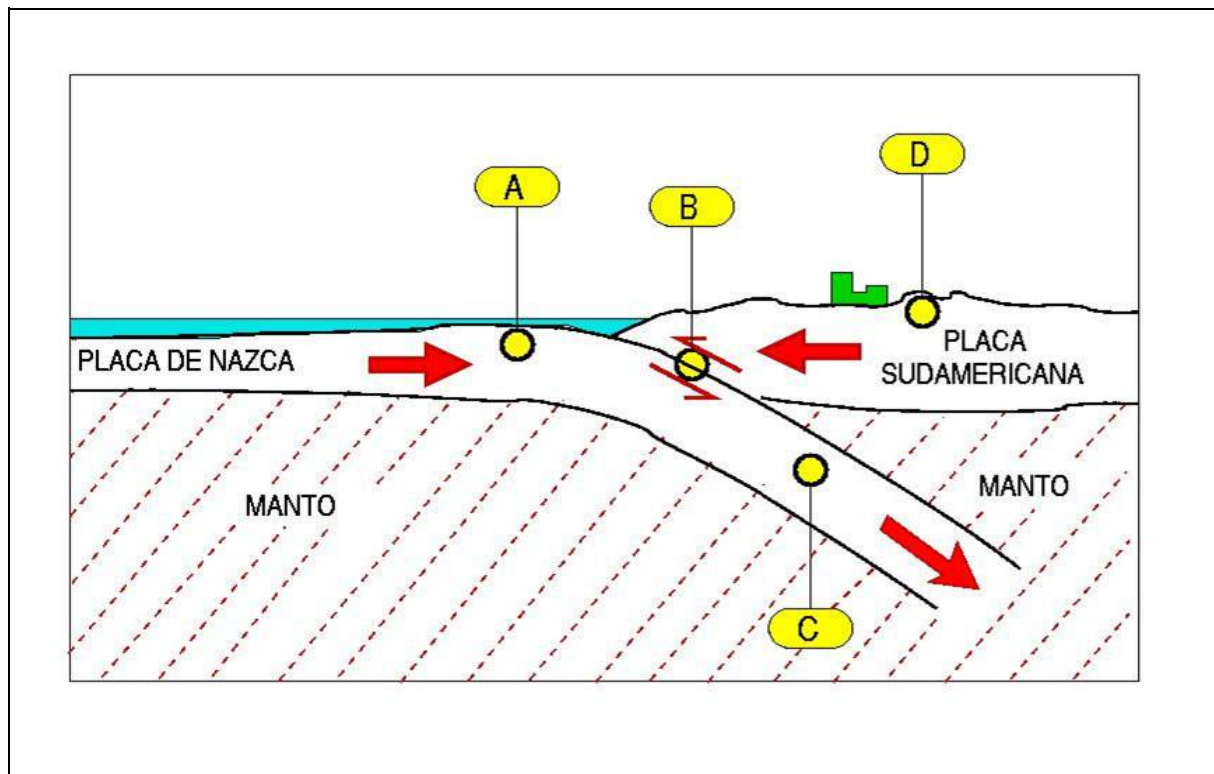


Figura 3.1 – Fuentes sismogénicas de Chile

Estos sismos se originan en las asperezas que se ubican entre los paralelos 33° y los 33.5° de latitud Sur (Barrientos y Kausel, 1990), en las cuales se acumulan tensiones debido al

movimiento de convergencia entre las placas, del orden de 9 cm/año, y una vez que esta tensión supera un valor límite, se produce un corrimiento entre las dos placas el que se propaga hasta encontrar una heterogeneidad o un cambio en la geometría de la subducción o bien una zona en que ha habido una relajación de tensiones debido a la ocurrencia de sismos previos en la zona. La longitud en que se propaga este corrimiento determina el largo de la zona de ruptura, el que ha tenido para este tipo de terremotos longitudes que varían entre 170 km y 450 km y lo cual determina la magnitud de cada evento (M_w).

Los terremotos que se han producido en esta zona son de gran magnitud y han alcanzado los $8 \frac{3}{4}$ grados en la escala de Richter. El período de retorno de estos sismos ha sido de extraordinaria regularidad, estimándose éste en 82 años \pm 5 años. Este y otros antecedentes permiten indicar que los sismos con epicentros frente Valparaíso seguirán ocurriendo con la regularidad destacada, como también ocurrirán sismos de menor magnitud y a la vez más frecuente en la zona ubicada al norte del paralelo 33° Sur en la zona de la Ligua.

3.2 EFECTOS DE LOS TERREMOTOS HISTORICOS EN LA CIUDAD DE VALPARAISO

Habiendo transcurrido sólo 34 años desde la fundación de Santiago por Pedro de Valdivia, la ciudad de Santiago fue sacudida por un violento sismo. Según Lomnitz (1971) por la descripción y extensión de los daños, se puede estimar una intensidad en Santiago entre VII- VIII grados en la escala de Mercalli Modificada y una magnitud entre 7 y $7\frac{1}{2}$ en la escala de Richter.

Setenta y dos años después, se produjo otro sismo de gran magnitud –13 de mayo de 1647- cuya área de daños se extendió entre el río Choapa y el río Maule, del cual poco se conoce más allá de la destrucción de Santiago. A la fecha, Valparaíso sólo era un sitio de atraque de barcos y depósito de mercancías, existiendo una pequeña capilla construida en el año 1548, una reducida población indígena y una iglesia parroquial. Según Lomnitz (1971), la magnitud de este terremoto sería $8 \frac{1}{2}$ grados en la escala de Richter y según Comte et al. (1986) su largo de ruptura sería de 365 km.

En la madrugada del 8 de julio de 1730 ocurrió otro terremoto en la zona de Valparaíso, cuya magnitud es probablemente la mayor registrada en esta región según la opinión de la

mayoría de los sismólogos chilenos. Lomnitz (1971) le asigna una magnitud de $8 \frac{3}{4}$ grados en la escala de Richter. Para esa fecha Valparaíso se había transformado en un pueblo que no sólo se construía en torno al puerto, sino que se había extendido hacia la zona del Almendral. En relación con los efectos de este terremoto es interesante destacar que el castillo San José que servía de casa del Gobernador y que se ubicaba en el sector de las quebradas de San Francisco y San Agustín, sufrió serios daños aún cuando estaba construido sobre roca, lo que podría constituir un testimonio de una mayor severidad de este evento si se compara con los daños que se han observado en este tipo de suelo en terremotos posteriores. En relación con el maremoto que se produjo, éste es el más grande originado a consecuencia de terremotos frente a Valparaíso, destruyendo la ciudad de Concepción ubicada en esa fecha en lo que es hoy la localidad de Penco y barrió con las instalaciones existentes en El Almendral, llegando las olas al pié del altar mayor de la iglesia de La Merced. Para este terremoto se estima una longitud de ruptura entre 350-450 km (Kelleher, 1972).

En noviembre de 1822 Valparaíso es nuevamente sacudido por un terremoto, acompañado de un maremoto moderado con alturas de ola no mayor que unos 4 metros (Barrientos y Kausel, 1990). El informe de los daños (Graham, 1824), destaca la ocurrencia de importantes daños en la ciudad de Valparaíso y de serios destrozos en localidades de La Ligua, Limache, Quillota, Casablanca, Concón, Viña del Mar y Santiago. Lomnitz (1971) estima una magnitud en $8 \frac{1}{2}$ y según Barrientos y Kausel la intensidad en Santiago fue entre VII y VIII grados en la escala de Mercalli Modificada; por otra parte Comte et al. (1986) estiman una longitud de ruptura entre 200 y 250 km.

Los últimos terremotos de esta serie con epicentro costa afuera frente a Valparaíso se produjeron en 1906 y 1985, de ellos hay una extensa documentación que describen los efectos de ambos terremotos. De estas descripciones se puede establecer que estos dos terremotos son los que más daño han provocado en Valparaíso debido a que esta ciudad se comenzó a poblar a gran escala recién en la segunda mitad del siglo XIX una vez que Chile se independizó, quintuplicando su población a fines del siglo XIX.

En la tabla 3.1 se resumen las características de los sismos históricos destacados anteriormente.

Tabla 3.1 – Características de los terremotos históricos en la zona de Valparaíso.

Año	Magnitud Richter	Longitud de Ruptura [km]	Intensidad de los Maremotos (DGF)	Solevantamientos en Valparaíso [cm]
1647	8.5	365	baja	-
1730	8.75	350 - 450	grande	-
1822	8.5	200 - 250	media (4m)	90
1906	8.2	365	baja (1m)	80
1985	7.8	170	baja (1.15m)	30

Teniendo en cuenta que algunos de los edificios históricos existentes en Valparaíso han resistido ambos eventos, a continuación se resumen algunas de las características de los terremotos de 1906 y de 1985, ya que corresponden a los terremotos que han puesto a prueba la vulnerabilidad sísmica de estos edificios históricos. Los edificios que han soportado ambos eventos se pueden identificar por su fecha de construcción en la tabla 2.1 del Capítulo 2.

3.2.1 Terremoto del 16 de Agosto de 1906

El terremoto de Valparaíso del 16 de agosto de 1906 es el evento del tipo interplaca de mayor magnitud que ha ocurrido frente a la costa de Santiago en los últimos 150 años. El terremoto se ha destacado por sus daños, los que se encuentran detallados en los informes preparados por Montessus de Ballore (1915), Steffen (1907), Rodríguez y Gajardo (1906) y Zegers (1906).

El terremoto comenzó a las 19:58:44, precedido por un ruido subterráneo que se hizo escuchar a las 19:55. Antes de terminar el ruido comenzó el movimiento de tierra, suave al principio pero que fue creciendo durante 45 segundos; declinó algunos instantes para luego llegar a adquirir una gran violencia que se mantuvo por otros noventa segundos, seguido de esto declinó por unos 30 segundos y luego volvió a violentarse, pero con menor intensidad durante 60 segundos para finalmente declinar hasta detenerse a las 20:03:34. Más tarde, a las 20:07:30, sin ruido precursor, comenzó el segundo terremoto, leve al comienzo, pero rápidamente adquirió una gran violencia, mayor incluso que el terremoto anterior. Este segundo sismo duró dos minutos en total.

Lamentablemente el terremoto no fue registrado instrumentalmente dentro de la zona de daño debido a la falla del instrumento del Observatorio Nacional de Santiago, el que quedó inutilizado al saltar la pluma debido a la violencia del movimiento (Steffen, 1907).

En un estudio reciente, Okal (2005) concluye que no es posible relocalizar este evento con la información instrumental disponible, recomendando usar como ubicación del epicentro la propuesta por Gutenberg & Richter (1954), 33° S y 72° W, y una profundidad focal de 40 km. En relación con la magnitud del terremoto, Gutenberg & Richter asignan una magnitud $M=8.4$; la cual fue modificada a 8.2 por Comte et al (1986).

En relación con el largo de la ruptura, Okal (2005) estima que éste fue de 200 km. considerando que la zona de máxima intensidad se extiende entre los paralelos 32.3° S y 34.1° S (Steffen, 1907). Otras estimaciones de esta longitud varían entre 254 km. (Kelleher, 1972) y 365 km. (Comte et al., 1986); para esta última estimación Comte et al. han calibrado la amplitud de ondas superficiales del registro de Upsala con amplitudes en la misma estación producida por sismos chilenos de magnitud conocida y además han considerado que la zona de daño severo se extendió entre Illapel (31,7° S) y Curepto (35° S).

En relación con las variaciones observadas en el nivel del terreno, después del terremoto se pudo comprobar un levantamiento de la costa entre los paralelos 31,5° S y 35° S (Steffen, 1907). Este levantamiento fue de 40 cm. a la altura de Llico y 80 cm. en Zapallar, observándose la última evidencia de este fenómeno hacia el norte en Los Vilos (Steffen, 1907). Con estos antecedentes, Barrientos y Kausel (1990) estiman que el largo de la ruptura sería de 330 km.

El maremoto fue de poca importancia, del orden de 1 metro, y no produjo daños en el puerto.

El daño causado por el terremoto de 1906 se detalla prolijamente en los informes de Montessus de Ballore (1915) y Steffen (1907), estimando las intensidades de un número importante de localidades ubicadas a lo largo de Chile usando para ello la escala de intensidades de diez grados de Mercalli-1902. Aprovechando esta información y en el marco del conocimiento actual, Astroza (2007) ha hecho una reinterpretación de las intensidades en la escala MSK-64, resultando las isosistas de la figura 3.2 cuando no se consideran los efectos locales debido al

suelo de fundación. Como se observa en esta figura, el daño causado por el terremoto de 1906 fue mayor en la zona próxima a la costa y menor a los pies de la Cordillera de Los Andes; además, el daño disminuyó más rápidamente hacia el norte del epicentro lo que permite establecer que la ruptura se propagó hacia el sur de él y entender la forma elíptica de las curvas isosistas con su eje mayor dirigido en la dirección Norte–Sur, características destacada por Steffen (1907).

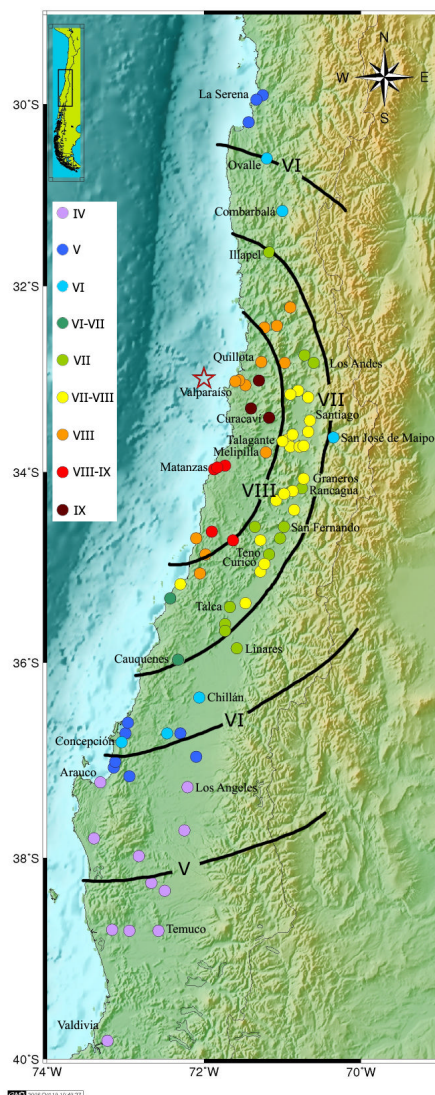


Figura 3.2 – Isosistas del terremoto del 16 de agosto de 1906 (Astroza, 2007)

En relación con el tipo de edificios existentes en Chile cuando ocurrió el terremoto de Valparaíso de 1906, ellos correspondían a construcciones de adobe y albañilería sin refuerzo. Los edificios construidos con la intervención de profesionales eran escasos y eran principalmente los habitados por la burguesía adinerada y los usados para las actividades comerciales que comenzaron a desarrollarse en Chile desde los inicios de la República, concentrándose una parte

importante de estas actividades en la ciudad de Valparaíso. Estos edificios eran de albañilería de ladrillo cerámicos con mortero de cal de muy mala calidad como los destacan reiteradamente los informes del terremoto (Montessus de Ballore, 1915, Rodríguez y Gajardo, 1906). Ninguna de las construcciones contaba con un diseño sismorresistente por no existir normas u ordenanzas sobre el particular, debe recordarse que estos documentos se redactaron después que ocurrió el terremoto de Talca de 1928 (Sarrazin, 1985). Además, debe tenerse presente que los profesionales que intervinieron en su construcción y diseño eran principalmente arquitectos europeos formados en una escuela sin una concepción sísmica en el diseño de los proyectos.

Daños en la ciudad de Valparaíso

Un estudio de los daños que provocó el terremoto del 16 de Agosto de 1906 fue realizado por Carvajal (1989) a partir de una revisión exhaustiva de los diarios de la época y de la publicación de Rodríguez y Gajardo (1906). Entre los diarios revisados por Carvajal se cuentan: El Mercurio, El Pueblo Ilustrado, El Amigo Chileno, La Alborada, El Herald y The Star of Chile. Los únicos diarios que fueron capaces de imprimir ediciones el día inmediatamente después fueron El Mercurio de Valparaíso, El Mercurio de Santiago y las Últimas Noticias editado en Santiago y Valparaíso, los cuales no incluían fotografías.

Al analizar los daños y el número de víctimas producidas por el terremoto en la ciudad de Valparaíso, debe considerarse los efectos locales del suelo, el hacinamiento en que habitaba la población más pobre y el incendio declarado después del terremoto en la zona del barrio de El Almendral, como se muestra en la figura 3.3.

En relación con el daño que se produjo en el sector del “plan” de Valparaíso, este daño se debió en buena medida a la mala calidad de la albañilería construida y la falta de integridad estructural de los edificios producto de la falta de refuerzos que garantizaran una buena unión entre los elementos que forman la estructura sismorresistente, como lo destaca el ingeniero civil Hormidas Henríquez (Rodríguez y Gajardo, 1906) y lo que se aprecia en los colapsos parciales o totales que muestran muchas de las fotos de los informes y diarios de la época.

Teniendo en cuenta estas características de los edificios de albañilería no reforzada, el número de pisos (entre tres y cinco) y su excesivo peso (gruesos muros y pesadas ornamentaciones y terminaciones), su comportamiento no fue mejor que el de las construcciones de adobe (Montessus de Ballore, 1915), y por lo mismo para analizar los efectos de este terremoto se debe considerar que estos edificios corresponden a una clase de vulnerabilidad del Tipo A dentro de la clasificación usada por la escala MSK-64 (Kárník et al., 1984, Monge y Astroza, 1989).

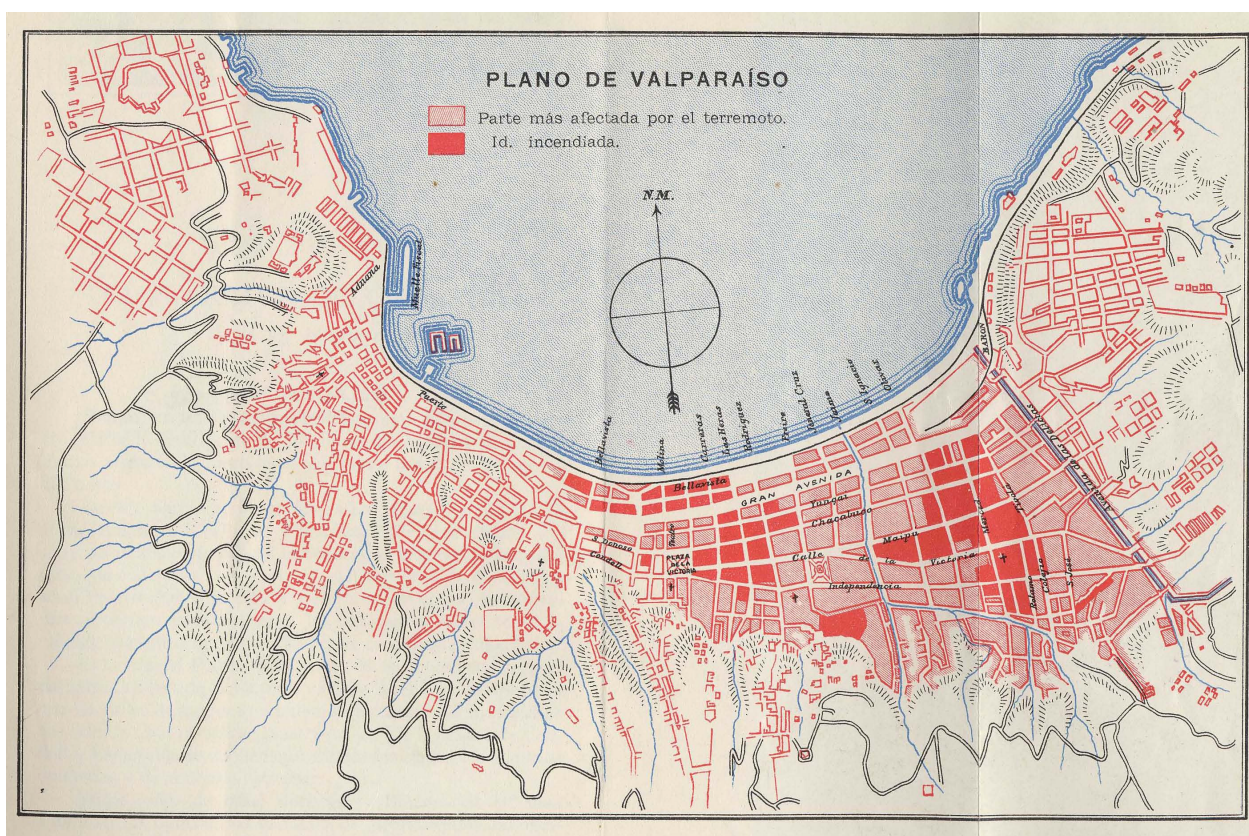


Figura 3.3 – Mapa de los sectores dañados por el terremoto y por el incendio en Valparaíso (Rodríguez y Gajardo, 1906).

En particular en la ciudad de Valparaíso, Carvajal (1989) estudió los daños del terremoto de 1906 determinando las intensidades en la escala MSK-64 a partir de los daños observados y de su distribución, identificando cuatro zonas con diferentes grados de intensidad en el sector de El Almendral (ver Figura 3.4). En esta figura sobresale por su extensión una zona del sector de El Almendral con una intensidad igual a 9 grados, valor que se compara satisfactoriamente con el sugerido por Steffen (1907), IX-X grado en la escala de Mercalli de 1902.

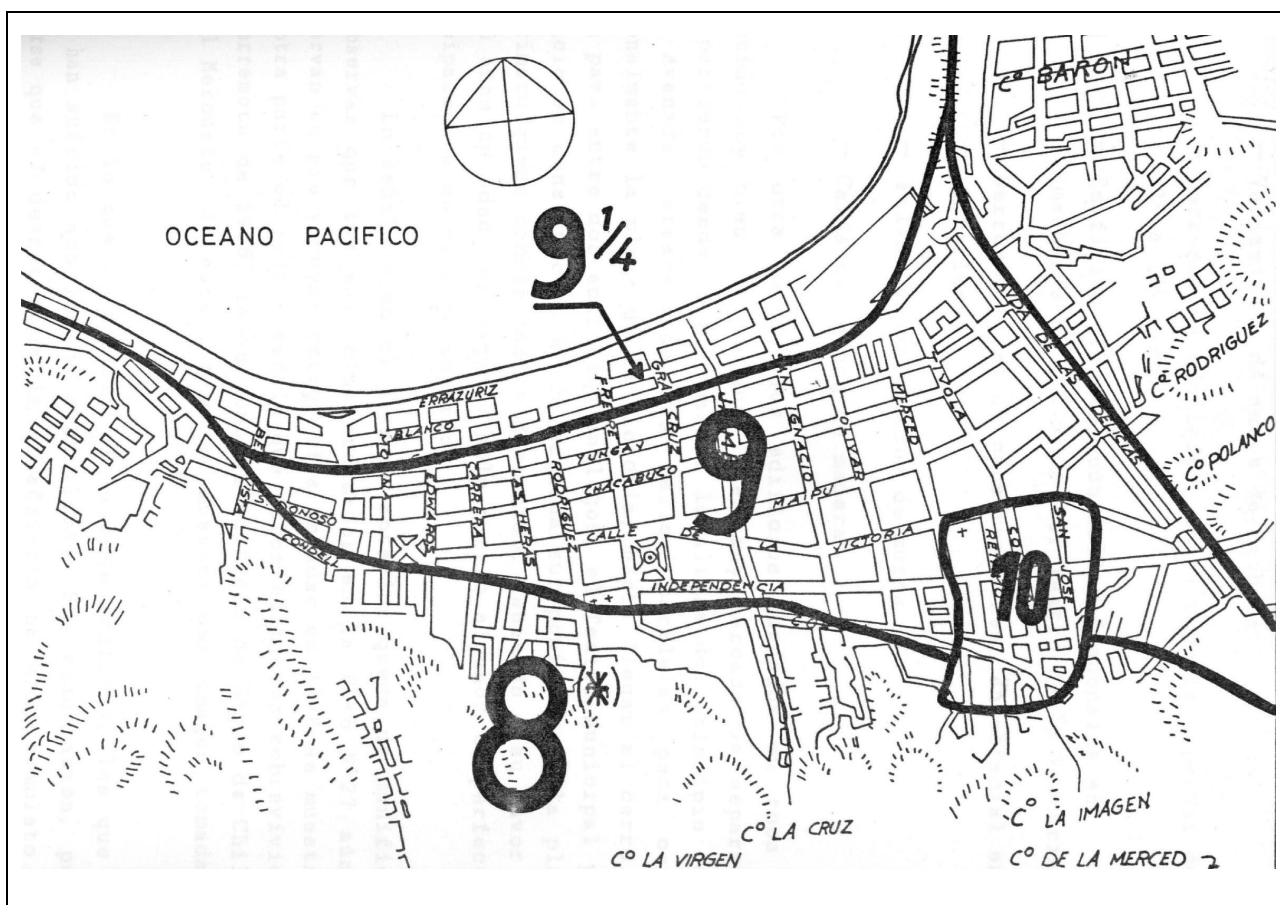


Figura 3.4 – Intensidades en el sector de El Almendral de la ciudad de Valparaíso durante el terremoto del 16 de agosto de 1906 (Carvajal, 1989)

El aumento de la intensidad en el sector de El Almendral también se observó en el terremoto del 3 de marzo de 1985 (Acevedo et al., 1989) y se atribuye a las características del depósito de suelo que se encuentra en esta zona, arenas y rellenos artificiales no controlados.

En el sector vecino a los cerros y en los cerros propiamente tal, la intensidad MSK estimada fue de 8 grados (Carvajal, 1989), este valor se puede considerar también como el valor que presenta los daños observados en el barrio de El Puerto y en general en un suelo que califique como Tipo 2 según la norma chilena de diseño sísmico de edificios (INN, 2003) en la ciudad de Valparaíso. Aceptar este valor, significa que en los edificios de la época - clase de vulnerabilidad Tipo A - el 50% experimenta daño severo y sólo un 5% colapso total (Kárník et al., 1984, Monge y Astroza, 1989), lo que representa adecuadamente el daño que muestran las fotos de la época en este sector. Es importante destacar que en este sector los edificios no fueron afectados por el incendio y por lo mismo, el daño observado corresponde al producido directamente por el terremoto.

Resumiendo se puede destacar que en Valparaíso, en especial el barrio El Almendral, los daños durante el terremoto de 1906 fueron severos, estimándose intensidades entre IX y X grados en la escala MSK producto de las condiciones locales existente y de un basamento con una serie de singularidades como es la detectada en el sector de la calle Hontaneda (Verdugo, 1995), donde la intensidad alcanzó los X grados (Carvajal, 1989). Estas condiciones contribuyeron para que esta zona de la ciudad haya quedado prácticamente en ruinas debido a la alta vulnerabilidad de las construcciones existente, principalmente clase A según la clasificación de la escala europea de intensidades (Grunthal, 1998).

3.2.2 Terremoto del 3 de Marzo de 1985

Este terremoto constituye el evento más reciente de la secuencia que regularmente se ha manifestado en la región. Barrientos y Kausel han hecho en 1990 una revisión integrada de las características del terremoto, trabajo del cual se han extraído la mayor parte de los datos que se presentan a continuación.

Este terremoto fue precedido por una serie de sismos precursores que se iniciaron en forma evidente el 21 de febrero de 1985 con la ocurrencia de un temblor de magnitud $m_b = 4.7$ a las 18:53:08.5 GMT, sentido con un grado de intensidad IV en la zona de la costa de Algarrobo y San Antonio. La mayoría de estos sismos precursores se localizan en una pequeña zona de no más de 50kmx50km, costa afuera, frente al sector Valparaíso-Algarrobo, región donde se iniciaría la ruptura del terremoto.

El sismo comenzó con un sismo de magnitud $m_b = 5.5$ a las 22:46:56.8 GMT con epicentro en 33.24°S-71.85°W y una profundidad $H=17$ km, según el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, seguido 10 a 13 segundos después por un terremoto (Sismo principal) de magnitud $m_b = 6.7$, $M_s = 7.8$, cuyo epicentro determinado por el NEIS (National Earthquake Information Service, USA) fue ubicado en 33,13° S - 71,87° W. El precursor, ocurrido segundo antes, se situó unos 12 km al NE del sismo principal, lo que impide rescatar la información de los registros para el cálculo del epicentro del sismo principal con los registros de la red local. El epicentro se ubicó costa afuera en el área epicentral definida por los sismos precursores.

El mecanismo focal determinado por el NEIS corresponde a una falla inversa con rumbo N20°W y manteo 10° al E-NE. La pendiente de 10° está más de acuerdo con la inclinación del plano de subducción entre la fosa y la costa determinada a partir de la ubicación de los hipocentros de un gran número de sismos ocurridos en los 20 años previos a 1989.

En relación con las características del proceso de ruptura se encuentran varios trabajos, los que resumen Barrientos y Kausel. Los resultados de estos estudios estiman que la longitud de la ruptura es entre 100 – 150 km (Monfret y Romanowicz, 1986), del orden de 160 km (Zhang y Kanamori, 1986) y entre 160 - 200 km (Pardo et al., 1986). Por otra parte Comte et al, (1986), estiman que el área del plano de falla es de 170 km x 100 km, y la pendiente de dicho plano es de 25° hacia el este, siguiendo la inclinación de la superficie superior de la subducción de la placa de Nazca por debajo del continente.

A lo largo de la costa se pudo comprobar sollevamientos de costa que alcanzaron 30 cm en Algarrobo, disminuyendo progresivamente hacia el interior del continente. El maremoto que se produjo fue pequeño, la amplitud máxima fue de 1.15 m en Valparaíso según lo registrado por mareógrafos.

Daños observados

El daño causado por el terremoto de 1985 se ha detallado en numerosos estudios realizados con distintos propósitos. Entre estos estudios y en el marco de los objetivos de este capítulo, los más útiles son los trabajos realizados por Menéndez (1991) y por Canales y Perretta (1988).

Aprovechando las intensidades estimadas para varias localidades ubicadas en la zona de daño del terremoto, entre Illapel y Cauquenes (Menendez, 1991), Astroza y Monge (1989) trazaron las isosistas en roca para el sismo del 3 de marzo de 1985, las que se muestran en la figura 3.5.

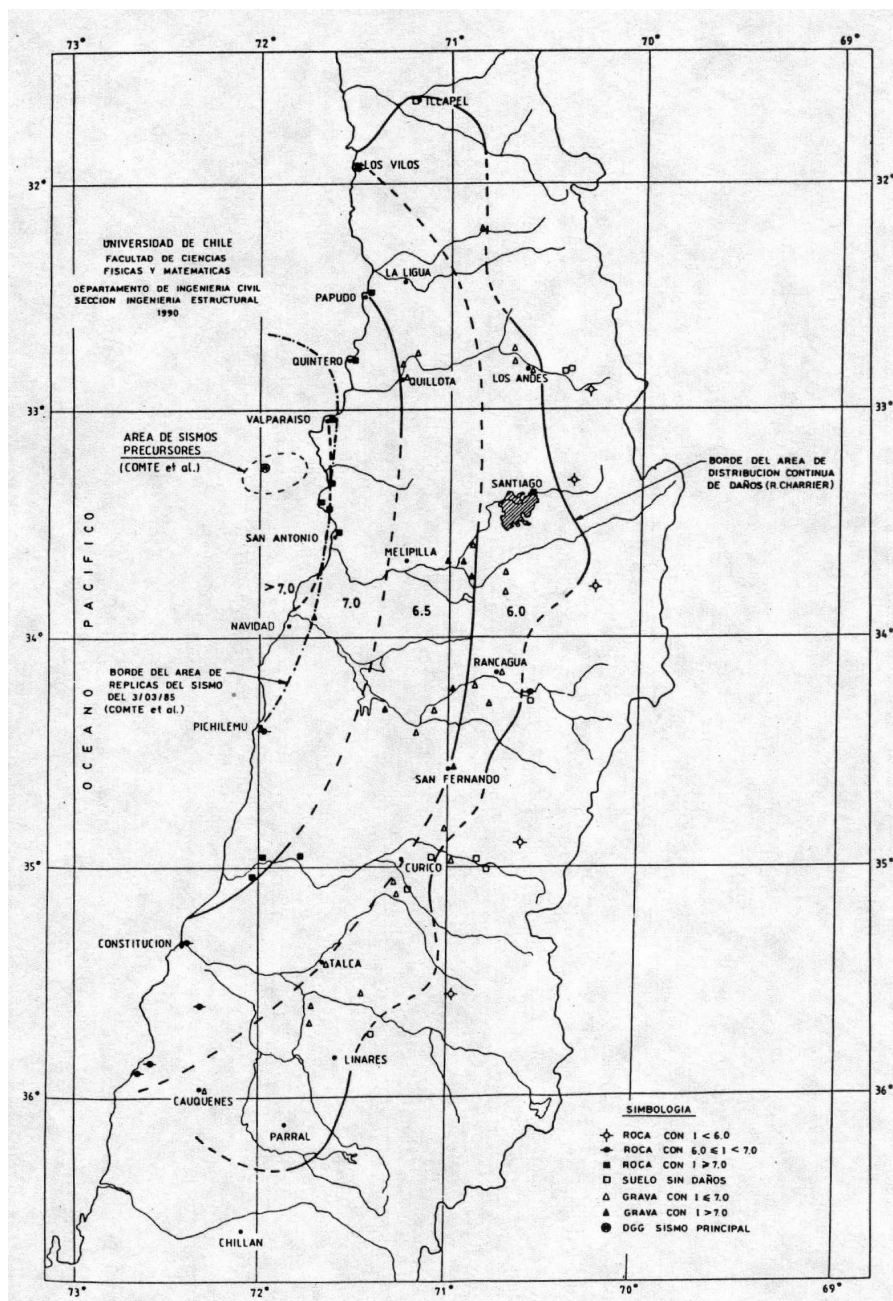


Figura 3.5 – Isosistas en roca del sismo del 3 de marzo de 1985 (Astroza y Monge, 1989).

Comparando las intensidades obtenidas en las distintas unidades o depósitos de suelo, Astroza y Monge (1989) recomiendan aumentar los valores de la figura 3.5 como sigue:

- i) Entre $\frac{1}{2}$ y 1 grado en los depósitos de grava.
- ii) Entre 1 y 2 grados en los depósitos coluviales.
- iii) Entre $1 \frac{1}{2}$ y $2 \frac{1}{2}$ grados en los depósitos de ceniza , y
- iv) Entre 2 y $2 \frac{1}{2}$ grados en los depósitos lacustres y rellenos artificiales no controlados.

Al igual que en el terremoto de 1906, de las isosistas de la figura 3.5 se concluye que el daño causado por el terremoto de 1985 fue mayor en la zona próxima a la costa y menor a los pies de la Cordillera de Los Andes. Además, nuevamente se comprueba que el daño disminuyó más rápidamente hacia el norte del epicentro y hay una fuerte atenuación del daño en la dirección oeste-este, lo que permite entender la forma elíptica de las curvas isosistas con su eje mayor dirigido en la dirección Norte-Sur. La distribución de daño descrita, se puede aceptar que constituye un patrón que caracteriza a los terremotos chilenos del *tipo interplaca*.

En particular, Canales y Perretta (1988) estudiaron los daños del terremoto de 1985 en la ciudad de Valparaíso, determinando las intensidades en la escala MSK-64 a partir de los daños observados y de su distribución, identificando zonas con diferentes grados de intensidad (ver Figura 3.6). En la figura 3.6 nuevamente sobresale el sector de El Almendral con intensidades entre $8 \frac{1}{2}$ y $7 \frac{3}{4}$. En el sector vecino a los cerros y en los cerros propiamente tal, la intensidad estimada fue entre $7 \frac{1}{2}$ y $7 \frac{1}{4}$ confirmando el efecto de la presencia de la roca en la intensidad sísmica. Nuevamente, Canales y Perretta identifican un sector con mayor daño, $I = 8 \frac{1}{2}$, el cual coincide con el detectado por Carvajal pero en este caso ha quedado mejor delimitado y corresponde al encerrado por las calles Victoria, Hontaneda, Rancagua y Uruguay. En esta zona la roca fundamental se ubica a una mayor profundidad que el resto de los sectores del “plan” de la ciudad y el estrato de rellenos artificiales tiene una compactación o consistencia de muy suelta a media (Acevedo et al., 1989).

Los edificios de albañilería simple revisados por Perretta y Canales en el plano de Valparaíso suman 66. En los sectores III-C del barrio Puerto y I del borde costero, donde se ubican los edificios estudiados en esta memoria, la cantidad de edificios de albañilería simple encuestados y la distribución de daños que éstos sufrieron se indican en la tabla 3.2. De esta tabla se puede comprobar que el número de edificios con daño del sector correspondiente al borde costero es mayor y el nivel de daño también.

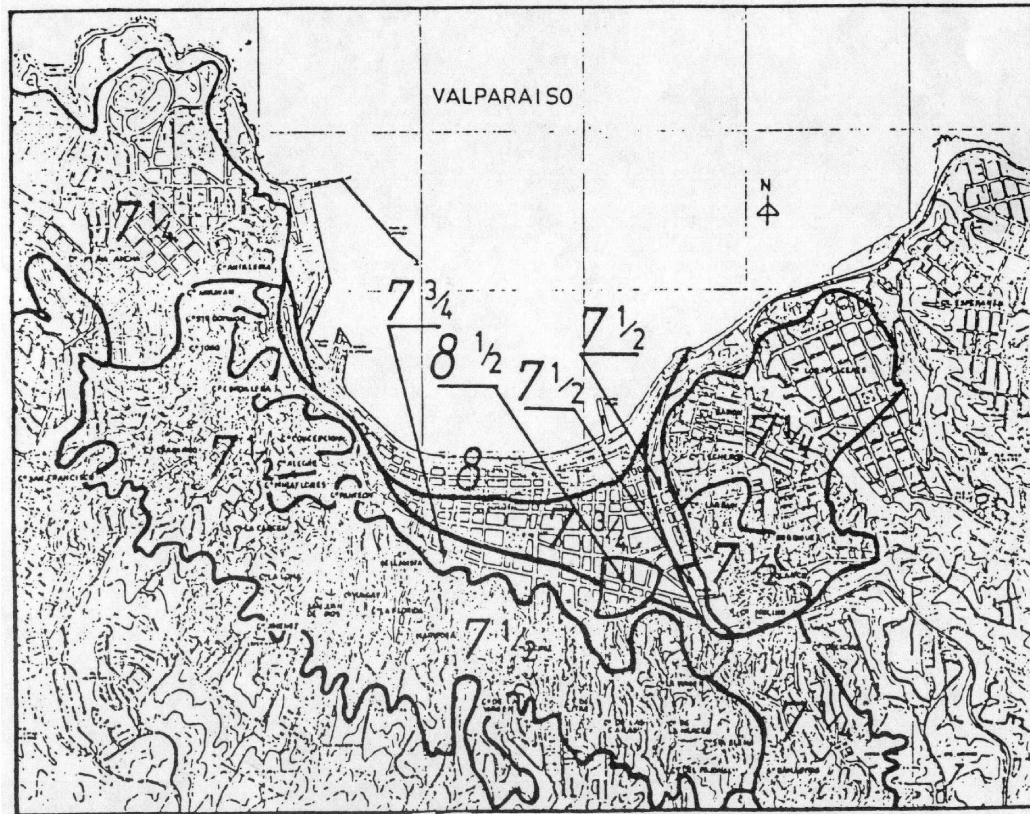


Figura 3.6 – Intensidades en la ciudad de Valparaíso en el sismo del 3 de marzo de 1985 (Canales y Perretta, 1988).

Tabla 3.2 – Edificios de albañilería simple encuestados por Perretta y Canales.

Sector	Grado de Daño					Total
	1	2	3	4	5	
I	0	6	10	5	2	22
III-C	0	0	1	2	0	3

3.3 ACELERACIONES REGISTRADAS

Los registros del terremoto del 3 de marzo de 1985 se obtuvieron en una estación ubicada en un barrio del sector de El Almendral y en una estación ubicada en roca en la Universidad Federico Santa María, cerro Los Placeres. Las características principales de los acelerogramas registrados se indican en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 - Características de los acelerogramas registrados en Valparaíso en el terremoto de 1985 (Saragoni y Carvajal, 1989)

Estación	Componente	a_{max} (g)	v_{max} cm/s	d_{max} cm
El Almendral	N50E	0.290	28.59	5.37
	S40E	0.163	16.89	2.81
	Vertical	-	-	-
U.T.F.S.M.	S20E	0.164	6.40	1.33
	N70E	0.179	14.70	3.26
	Vertical	0.125	5.85	1.37

3.4 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Pensando en la caracterización del peligro sísmico de la zona de conservación histórica de la ciudad de Valparaíso, zona mostrada en la figura 3.7, se concluye que esta zona es afectada en promedio cada 80 años por sismos de magnitud superior a $M=7.7$, dejando cuantiosos daños en esta zona. Además de estos sismos, la zona ha sido afectada por otros sismos que ocurren con mayor frecuencia pero de menor magnitud y que no han producido un alto nivel de daño en la ciudad de Valparaíso.

Por la forma en que se ha ido desarrollando la ciudad de Valparaíso, los edificios centenarios sólo han sido afectados por los terremotos de 1906 y 1985. En particular, el terremoto de 1906 se caracteriza por haber ocasionado daño cuantioso y pérdidas de vidas humanas en la ciudad de Valparaíso. Los daños se concentraron en el sector de El Almendral y en gran medida se debieron al posterior incendio que afectó este sector de la ciudad (ver figura 3.3). Los cerros prácticamente no sufrieron daños, confirmándose la tesis que los edificios en las zonas de rellenos son los más vulnerables, lo que pudo comprobarse nuevamente ocho décadas más tarde durante el terremoto del 3 de marzo de 1985.

Una evidencia cuantitativa de lo anterior se obtiene de los registros de aceleraciones obtenidos en las estaciones de El Almendral y de la U.T.F.S.M durante el terremoto del año 1985, de estos registros se puede concluir que la demanda sísmica en la ciudad de Valparaíso de los

terremotos interplaca es menor en los cerros que en El Almendral. Por otra parte, considerando que en el barrio del Puerto la profundidad del basamento rocoso es pequeña, se puede aceptar la demanda sísmica es menor y por ello el daño observado es menor.

Teniendo en cuenta que el área de conservación histórica, ver figura 3.7, comprende el sector de El Almendral, el Barrio Puerto y algunos cerros, el peligro sísmico de ella no es uniforme por los argumentos mencionados. En particular, la zona de mayor peligro es la ubicada en el sector de El Almendral y en esta zona se ubican la mayoría de los edificios centenarios y de los monumentos históricos (ver capítulo 4.6); por esta situación es importante estudiar la vulnerabilidad sísmica de estos edificios y proponer medidas de refuerzo, en caso que sea necesario, para que estos edificios también sobrevivan los próximos terremotos.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN Y PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO DE LA CIUDAD DE VALPARAÍSO

En este capítulo se presenta la caracterización de los suelos de fundación de la ciudad de Valparaíso para lo cual se ha usado información publicada en los últimos 45 años. Adicionalmente se entrega información relacionada con la profundidad del basamento rocoso obtenida de un estudio gravimétrico realizado el año 1995.

4.1 CARACTERIZACION DE LA GEOLOGIA DE LA CIUDAD DE VALPARAISO

En general, el relieve de la zona donde se ubica la ciudad de Valparaíso es de tipo abrupto y no existe el desarrollo extenso de superficies llanas. Las quebradas que separan los cerros Recreo, Placeres, Esperanza y Barón, de dirección noroeste, son profundas en las proximidades de su desembocadura. Las numerosas quebradas que desembocan en la parte llana de la ciudad de Valparaíso, se disponen en forma aproximadamente radial y son profundas y angostas. Entre Playa Ancha y Quebrada Verde hay numerosas quebradas que desembocan en el mar, éstas son angostas, profundas, cortas y de mucha pendiente.

En el área de la ciudad de Valparaíso no hay cursos de agua permanentes, las quebradas sólo conducen agua en la época lluviosa, produciendo inundaciones en las áreas en que desembocan. Las precipitaciones se restringen a los meses de mayo, junio, julio y agosto.

En términos generales se puede destacar que la zona urbana de la parte plana de la ciudad de Valparaíso está construida sobre depósitos de *arenas litorales cubiertas por relleno artificial* y *depósitos coluviales* en las partes ubicadas al pie de los cerros o quebradas. Estos depósitos se muestran en la figura 4.1.

Las características de estos depósitos son (Alvarez, 1964):

- a. *Arenas litorales*: Esta arena es gruesa a fina y está constituida por granos de cuarzo, feldespatos y hojitas de mica, además contiene restos de conchas marinas modernas.
- b. *Depósitos coluviales*: Corresponden a rocas meteorizadas transportadas por pequeños cursos de agua, permanentes o esporádicos. Estos son sedimentos no consolidados ubicados en las cabeceras de las quebradas, que provienen principalmente de depósitos gravitacionales correspondientes a flujos en masa de muy mala selección granulométrica, que pueden incluir desde bloques hasta arcillas.
- c. *Depósitos de relleno artificial*: Estos alcanzan un espesor de varios metros cerca de la costa, acuniándose hasta desaparecer tierra adentro. Este relleno comenzó a ponerse desde el siglo XVI, y fue aumentando considerablemente después del terremoto del año 1906, cuando se subió el nivel de la ciudad en aproximadamente un metro. En la mayor parte de la ciudad, el relleno artificial está constituido por arena y escombros de demoliciones; incluso hay pequeñas zonas con rellenos orgánicos.

4.2 SUELOS DE FUNDACION DE LA CIUDAD DE VALPARAISO

El suelo de fundación de la ciudad de Valparaíso está constituido por las siguientes unidades (Grimme y Alvarez, 1964):

i) *Roca fresca*:

Esta roca aflora escasamente en comparación con los otros grupos de suelo de fundación, ya que está generalmente cubierta por una gruesa capa de roca meteorizada. Se encuentra en paredes casi verticales de la costa, en algunas pendientes fuertes de las quebradas profundas y, en pocos casos, en cortes profundos de algún camino. Por lo expuesto, la roca fresca es utilizada escasamente como suelo de fundación.

ii) Roca meteorizada:

Cubre el área más grande, se clasifica en el grupo de las rocas sueltas, pero sus características de mecánica de suelos son diferentes de aquellas masas originalmente sueltas depositadas por el agua o por el viento.

La corteza meteorizada superficial que alcanza localmente hasta 7 m, está constituida por un material pardo rojizo que se ha descompuesto totalmente formando un limo muy arenoso con escasas cantidades de arcilla. Los minerales que lo constituyen ya no tienen una ligazón fuerte entre si, lo que hace que la roca sea relativamente deleznable; este tipo de material se conoce como *maicillo*.

iii) Relleno artificial:

Como se ha destacado, este suelo cubre casi toda la parte plana de la zona urbana de Valparaíso. Además, constituye el relleno utilizado para la construcción de la costanera desde su comienzo en el barrio Las Torpederas hasta Viña del Mar.

Un mapa del año 1838, muestra la línea de costa entre 150 a 300 m más tierra adentro que la actual, lo que da una medida de la extensión de este relleno. La obtención de terrenos mediante relleno se realizó por etapas, en estas operaciones se fueron depositando escombros de todo tipo avanzando paulatinamente la línea de la costa, ver figura 4.2.

El extenso relleno artificial del área urbana de Valparaíso esta constituido por materiales muy diversos. El tipo de suelo varía en distancias muy cortas, por lo que no se pueden dar datos exactos acerca de su comportamiento.

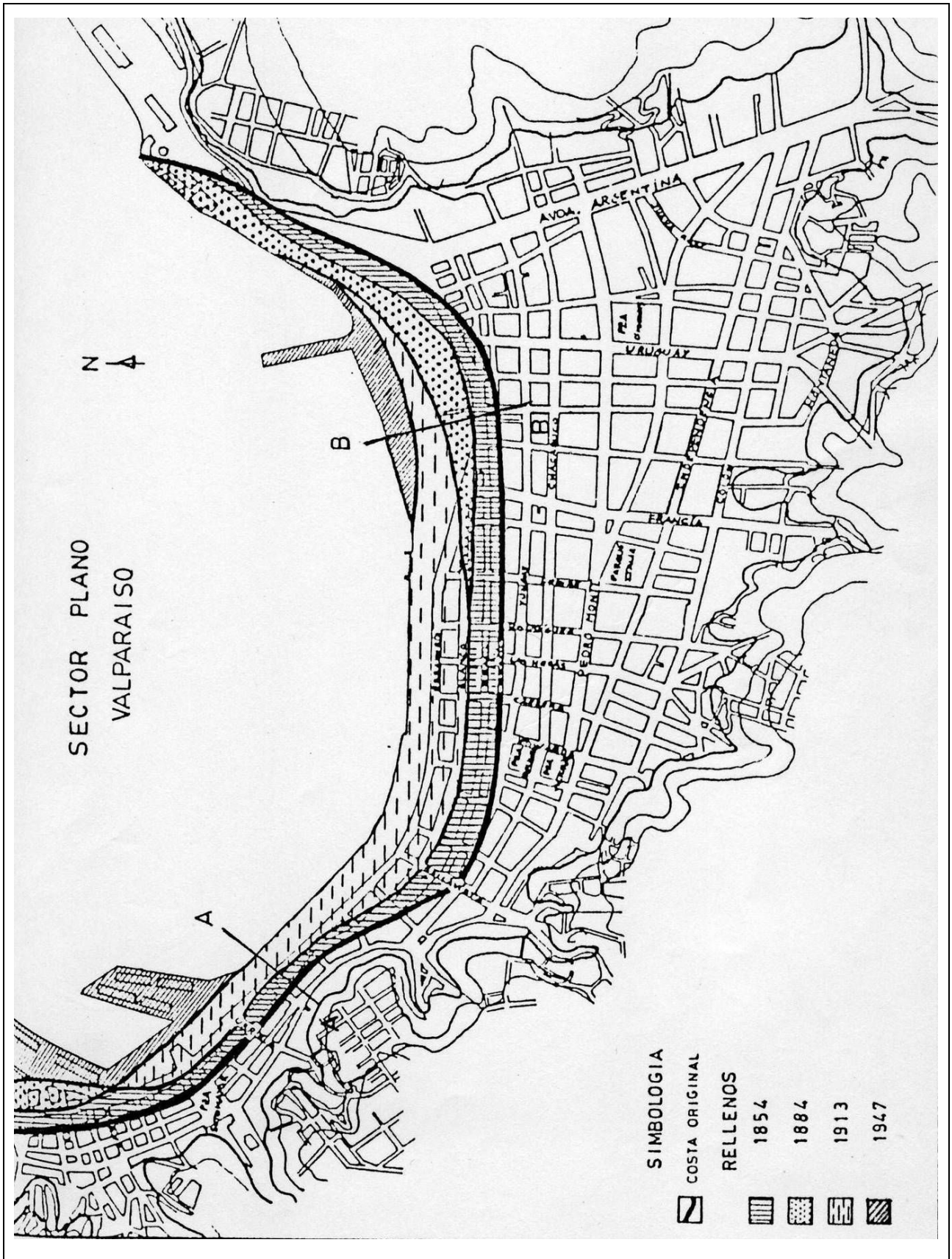


Figura 4.2 – Avance de la línea de costa (Perreta y Canales, 1988)

En general, el espesor del relleno artificial disminuye tierra adentro como se aprecia en los perfiles correspondientes a las secciones A-A y B-B indicadas en la figura 4.2, ver figuras 4.3 y 4.4. Únicamente al este de la Avenida Argentina se encuentra roca meteorizada como primer estrato en el suelo de fundación y roca fresca en profundidad.

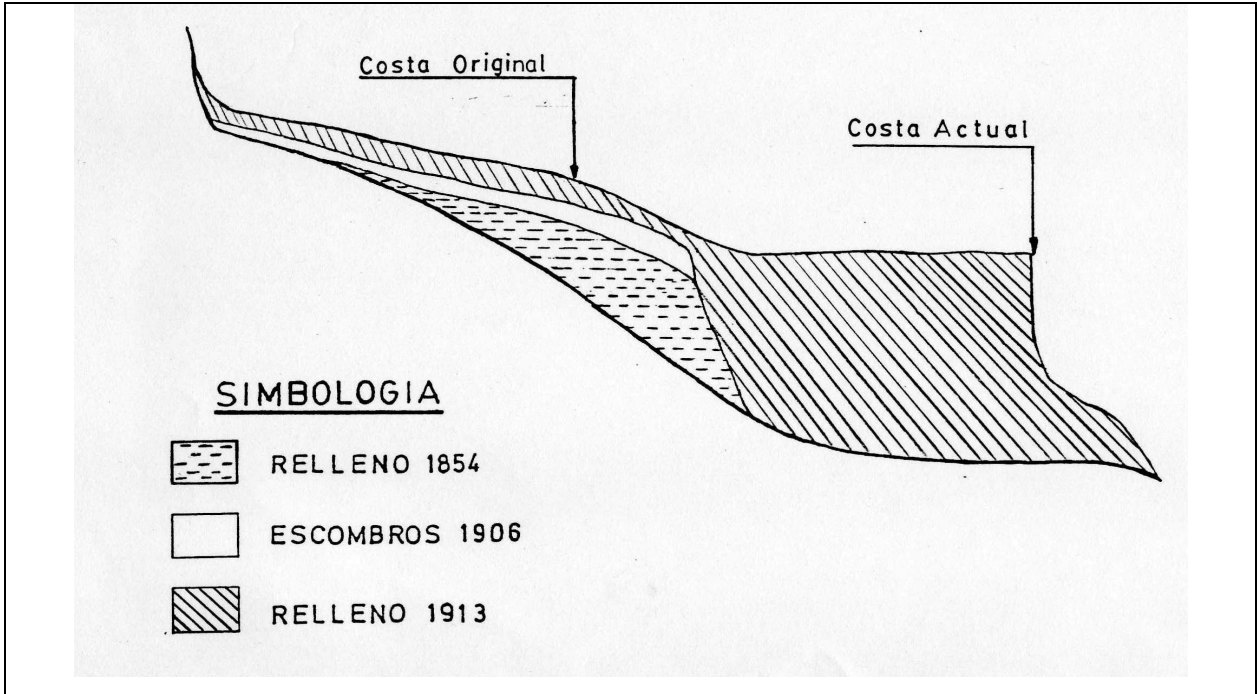


Figura 4.3 – Corte del relleno en el sector del Puerto, sección A-A (Perreta y Canales, 1988)

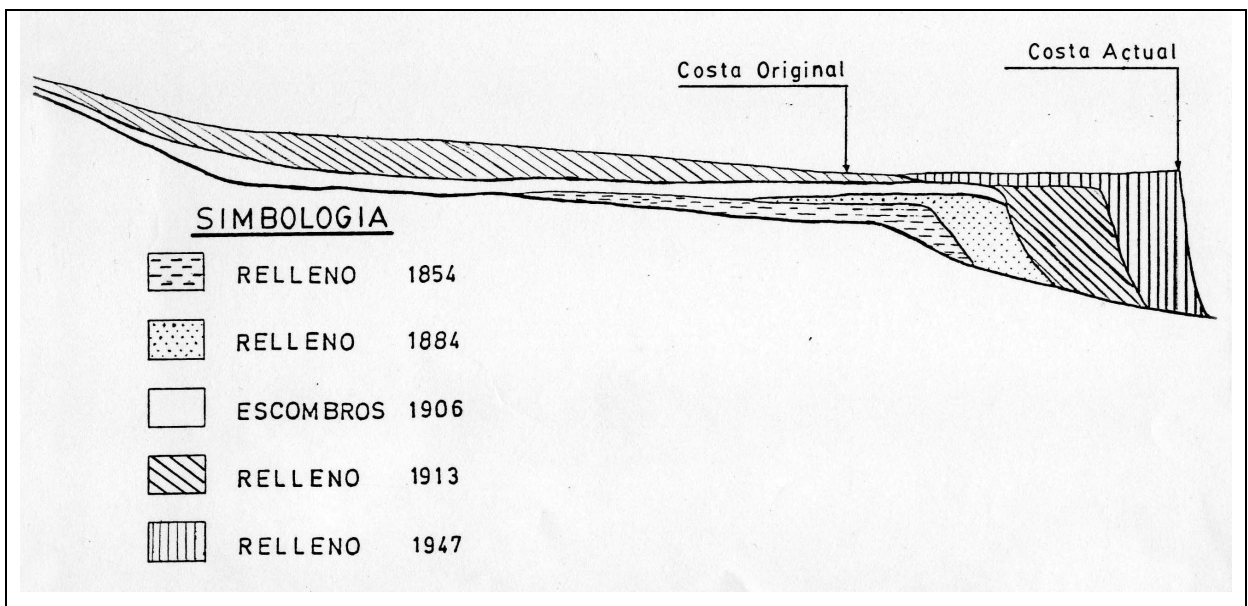


Figura 4.4 – Corte del relleno en el sector de El Almendral, sección B-B (Perreta y Canales, 1988)

Los mayores daños sísmicos se han producido en la zona del sector de El Almendral y probablemente lo sigan siendo en el futuro dado sus características. La posibilidad de lograr un mejoramiento de estos suelos es casi imposible debido a la existencia de arenas no cementadas y a la presencia de un nivel de agua subterránea muy alto.

4.3 CARACTERISTICAS DEL SUELO DE FUNDACION DEL SECTOR DE EL ALMENDRAL

Como ya se ha mencionado, la zona plana de Valparaíso se caracteriza por haber sufrido modificaciones durante el desarrollo de la ciudad. Estas consisten en cuatro rellenos de terreno sucesivos que se iniciaron en 1854, siguieron en 1884 y 1913 y terminaron en 1947, además de los escombros depositados después del terremoto de 1906.

La zona donde se encuentran estos rellenos corresponde al sector de El Almendral, el que ha sufrido los peores daños tanto para el terremoto de 1906 y 1985. Estos daños están asociados directamente, entre otros factores, con la calidad de este tipo de suelo para fundar edificios, especialmente cuando no son controlados como es en este caso. Como se mostrará más adelante, un número importante de los edificios históricos están fundados sobre estos rellenos (ver figura 4.10).

Con el propósito de lograr una zonificación de los suelos de fundación en la zona plana de Valparaíso, Acevedo y Orozco (1986) han hecho un ordenamiento de las unidades geotécnicas a partir de la información reunida en los lugares mostrados en la figura 4.5. Con este propósito las unidades geotécnicas se ordenaron según su rigidez, resultando lo siguiente (Acevedo et al., 1989):

E-I Roca Fundamental.

Constituida por roca fundamental sana y/o parcialmente meteorizada, caracterizada por densidades y resistencias a la compresión simple altas y porosidades y permeabilidades bajas.

La profundidad de esta unidad varía entre los 3 y 30 m. en el sector alto (cerros) y entre los 6 y 50 m. en el sector plano de Valparaíso. Las mayores profundidades se encuentran

en el eje de las quebradas y en las proximidades de la costa actual; las menores se encuentran a los pies del acantilado y en los bordes de las quebradas. En la parte plana, la superficie de la roca es muy irregular debido a que anteriormente era una costa de arrecifes.

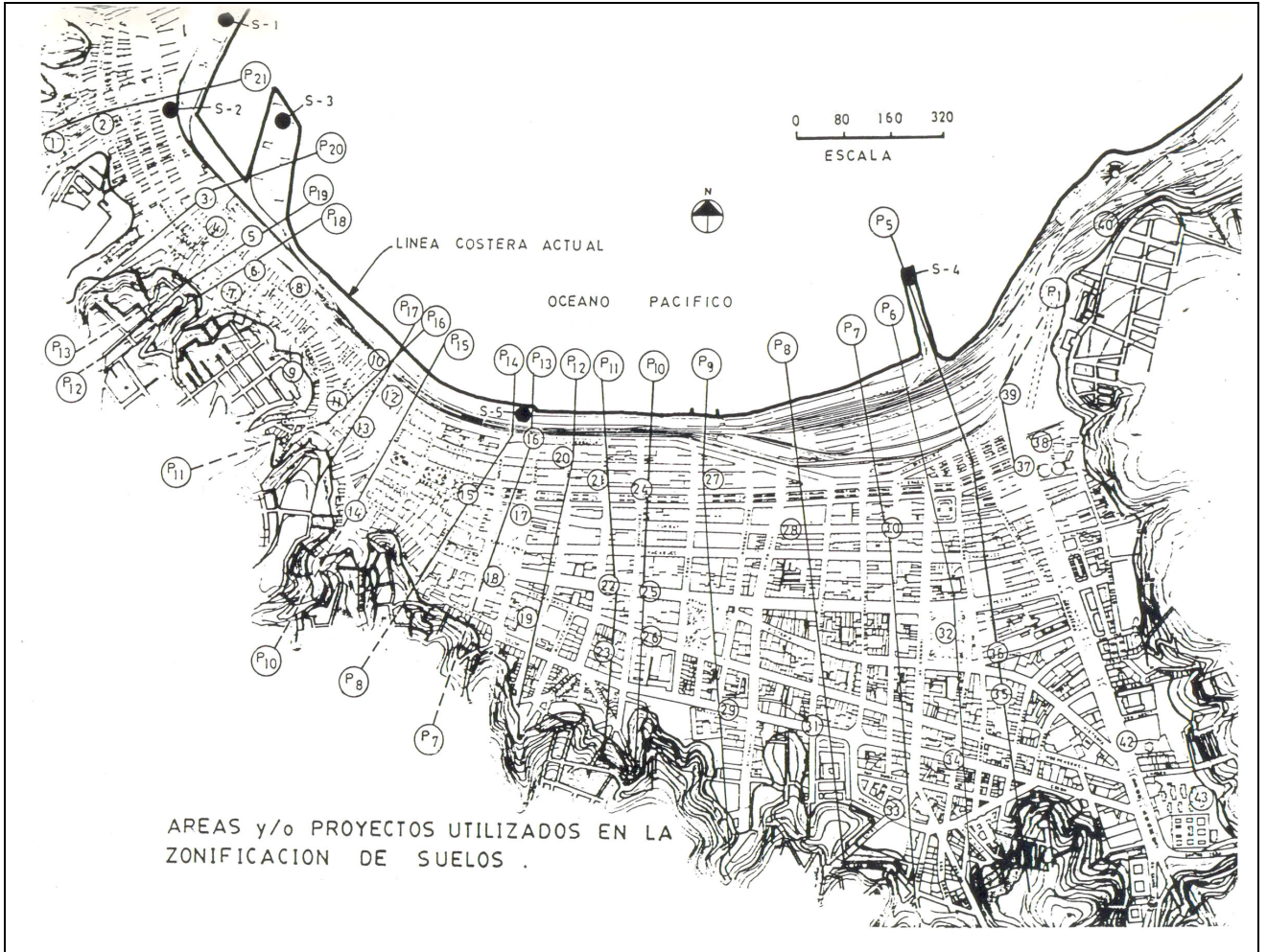


Figura 4.5 – Ubicación de los lugares con estudios geofísicos y perfiles estratigráficos (Acevedo y Orozco, 1986)

E-2 Roca Fundamental Parcialmente Meteorizada.

Roca fundamental parcialmente meteorizada. El espesor de esta unidad varía entre los 0,15 y 0,50 m, los mayores espesores se localizan en aquellas zonas donde la roca está más superficial.

E-3 Roca Meteorizada.

Roca meteorizada que se presenta localmente como disgregable y erosionable, constituyendo un manto de espesor variable que cubre todos los cerros que conforman el

anfiteatro porteño. Se le clasifica como arena limosa con índices de plasticidad que normalmente varían entre 1% y 10%. Generalmente se encuentra en los cerros con espesores que varían entre los 2 y 13 m; los mayores espesores se encuentran en aquellas zonas con menor pendiente y, a su vez, los espesores menores donde ésta es más pronunciada.

E-4 Sedimentos Aluviales y Coluviales.

Sedimentos aluviales y coluviales (reellenos naturales) clasificados como arenas, limos y/o arcillas, acumulados preferentemente en superficies planas estrechas, desembocaduras de quebradas o al pie de acantilados. Actualmente estos materiales se siguen depositando al ser arrastrados como corrientes de barro. Este sedimento se encuentra rodeando los cerros a partir de la cota +20 m hasta la línea de costa original. Los espesores máximos se encuentran en la cota +20, donde alcanza la mayor profundidad, llegando a los 14 m de espesor, reduciéndose su profundidad hacia la línea de costa original donde alcanza espesores de 2 a 4 m.

La acumulación de estos materiales, se ha producido por gravedad y por el arrastre de aguas lluvias desde los sectores altos de la ciudad.

E-5 Sedimentos Marinos Estuariales.

Estos sedimentos se han formado debido a la acción abrasiva del mar sobre los macizos rocosos, depositándose estas partículas en un ambiente de aguas someras, dando origen a sedimentos de arenas y gravas con distintos porcentajes de limos y arcilla que en algunos sectores presentan grados variables de cementación, en algunas zonas aparecen lentes de bolones o gravas dispersas con partículas micáceas y conchuelas. Su compacidad varía de densa a muy densa.

E-6 Arenas de Playas Antiguas.

Este estrato se extiende desde Av. Colón, Condell y Serrano hasta la costa actual. Está constituido por arenas de granos finos a gruesos que contienen porcentajes variables de grava, conchuelas, partículas micáceas y limos. Su compacidad varía de densa a muy densa. Sus espesores varían entre los 10 a 23 m en el sector delimitado por la línea de costa original y actual y entre los 18 y 28 m, en el resto del área en que se encuentra este estrato. Se encuentra con humedad alta a saturada.

E-7 Arenas de Playas Modernas.

Estas arenas presentan granos gruesos a finos con limos en diferentes porcentajes y algo de grava. Su compacidad varía de suelta a media aumentando con la profundidad. Alcanza su ancho máximo hacia El Almendral y mínimo hacia el Puerto. Los espesores máximos se localizan en la costa actual, llegando a los 21 m., con la salvedad que a esta profundidad aún no se alcanzó la roca, pudiendo entonces ser este valor mayor. Los espesores mínimos se detectan a los pies del Cerro Placeres a una profundidad de 5 metros.

E-8 Relleno Artificial.

Rellenos artificiales que han alterado la topografía original determinando una terraza artificial que sobreyace a los sedimentos y a la roca fundamental sana y/o meteorizada. Este estrato se encuentra presente en todo el sector plano de Valparaíso, llegando hasta la cota +20 m adentrándose en algunas quebradas.

Como esta unidad ha sido el producto de una serie de rellenos parciales, su composición es variada, destacándose principalmente las arenas con escombros de demolición, trozos de ladrillos, losas de hormigón, bloques de rocas, gravas, bolones y diferentes porcentajes de finos limosos y/o arcillosos. Con menor frecuencia se encuentran materiales orgánicos, trozos de vidrio, escoria, carboncillo, trozos de madera en descomposición, latas, escombros, basura y restos de embarcaciones.

Parte de este relleno fue proporcionado por los escombros que quedaron producto de los daños producidos por el terremoto de 1906. Entre los años 1912 y 1919, con dichos escombros se continuaron los rellenos para aumentar la superficie plana; como consecuencia de esto en El Almendral la cota del suelo fue aumentada en aproximadamente un metro. Estos rellenos abarcan la zona comprendida entre la línea de costa actual y la Avda. Blanco.

Cerca de la costa actual, se encuentra un relleno compuesto por enrocado de piedras y arenas correspondientes a antiguas defensas marinas y muelles o atracadores.

Los espesores mayores se encuentran en la línea de costa actual, llegando entre los 10 y 12 m, y espesores menores de 2 m, en las cercanías de la cota +20 m. Localmente los espesores varían, ya que algunas quebradas fueron rellenadas por este material. Como ejemplo, en Avda. Argentina se encuentran espesores de hasta 20 m.

Con esta información y estudios de suelos más específicos Acevedo y Orozco (1989) han planteado una zonificación que divide el plan de la ciudad de Valparaíso en cinco zonas, como se muestra en la figura 4.6.

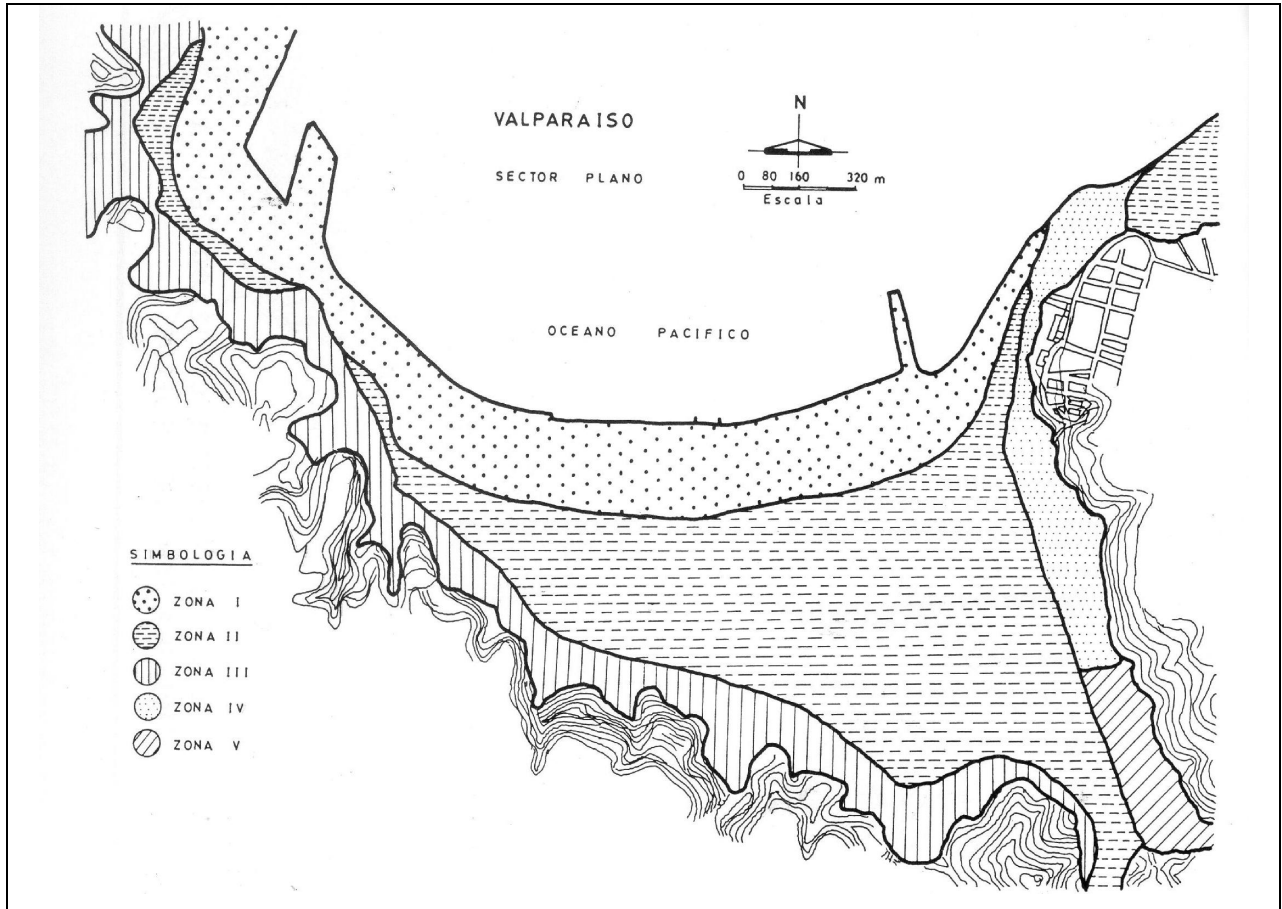
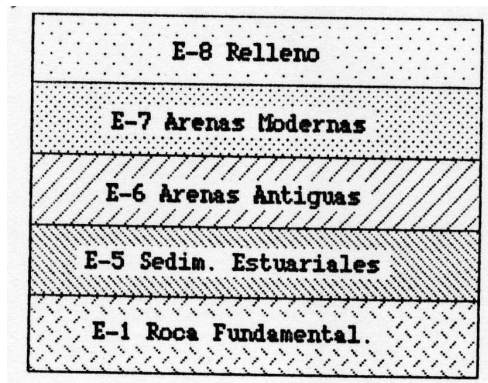


Figura 4.6 – Zonificación de los suelos del plan de Valparaíso (Acevedo et al., 1986)

A continuación se hace una descripción de las propiedades de cada zona.

Zona I: E8/E7/E6/E5/E1



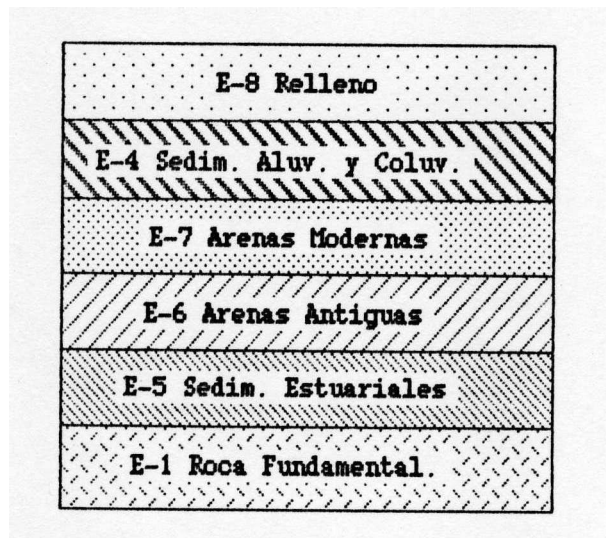
Esta zona se extiende entre las líneas de costa actual y original. La capa superior de suelo (E-8) consiste de relleno artificial y tendría entre 5.5 y 8.5 m alcanzando valores de 9 a 11.5 m en el sector del puerto y está compuesto por desechos de demolición, trozos de ladrillos, carbón vegetal y vidrios, mezclado con arena. En el perímetro de la intersección de la Avdas. Argentina y Blanco los espesores serían los mínimos entre 2 y 3 m.

Los estratos inmediatamente inferiores a estos (E-7 y E-6) presentan grano grueso a fino con diferentes porcentajes de limos, algo de grava, partículas micáceas y limos. Los espesores de estos estratos oscilan de 5.3 a 21 m sin alcanzar la roca.

Después viene un estrato (E-5) de arenas gruesas a media y su espesor no está del todo definido, ya que su separación con la capa superior no es claramente diferenciable.

La superficie de la roca fundamental (E-1) es de superficie irregular y se encuentra en profundidades entre los 15 y 25 m. El agua subterránea se puede detectar a la profundidad de 5 m.

Zona II: E8/E4/E7/E6/E5/E1



Esta zona se extiende de la línea de la costa original hasta las inmediaciones de los cerros de la ciudad.

El primer estrato de esta zona (E-8) es parecido al de la Zona I. Tiene espesores máximos entre 4 a 5 m cerca de la línea de costa original y hasta 7 m en algunos cauces de quebradas. Hacia el sur disminuye paulatinamente hasta alcanzar un espesor de 0.5 m. Su composición es de arenas con finos limosos y/o arcillosos en diversas proporciones,

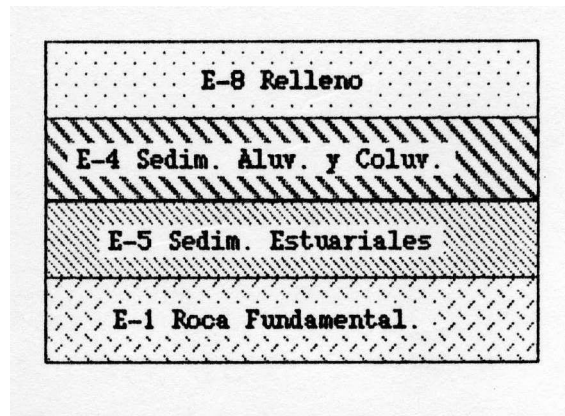
grandes bloques de piedras, gravas, trozos de ladrillos, losas de hormigón y escombros. Las compacidades varían desde suelta a media.

El estrato inferior (E-4) aumenta su espesor hacia el límite con la Zona III y se llega hasta los 8 m cerca del Puerto y cerca de la Iglesia de los Doce Apóstoles. Su composición es de suelos arenosos con finos limosos y/o arcillosos en diferentes proporciones.

Posteriormente vienen tres estratos (E-7, E-6 y E-5) compuestos de arenas de grano fino con diferentes porcentajes de limo, partículas micáceas, conchuelas y, localmente, bolones y lentes de limo-arcillosos y arena-arcillosa. Los espesores varían aproximadamente entre 9 a 18 m.

La roca fundamental (E-1) está localmente a profundidades mayores a 10 m y llega incluso a 50 m en la Iglesia de los Doce Apóstoles (Avda. Argentina con Juana Ross). La profundidad del agua es mayor que en la Zona I.

Zona III: E8/E4/E5/E1



Esta zona se extiende a lo largo del barranco, formando una especie de anillo que se amplía en los sectores de la cañada y desaparece donde el barranco cae al mar.

Las primeras dos capas son de relleno y de sedimentos aluviales y coluviales. Éstas alcanzan espesores de hasta 9 m. Su compacidad varía desde suelta en la superficie a muy densa.

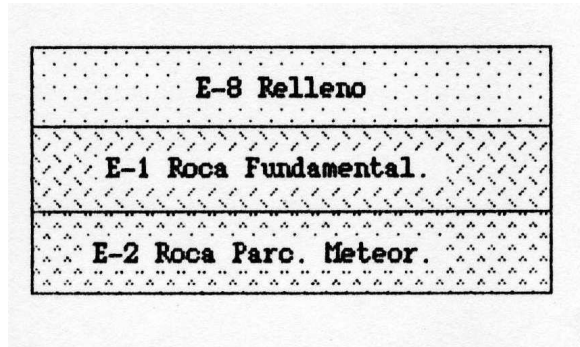
La segunda capa (E-4) se compone de arena con diferentes porcentajes de limos y/o arcillas, gravas y, alternadamente, lentes de arcilla de baja plasticidad y lentes de limo-arenoso. Los espesores varían entre 4 y 8.5 m, alcanzando su máximo espesor al medio de las quebradas donde llega a 9 m. Los espesores mínimos son de 1.5 m.

Después viene un estrato (E-5) de arenas gruesas a medias, cuyos espesores no están determinados.

La roca fundamental (E-1) es menos profunda que en las otras zonas anteriores, encontrándose entre los 8 a 16.7 m.

El agua se puede encontrar entre los 4 y los 7 m.

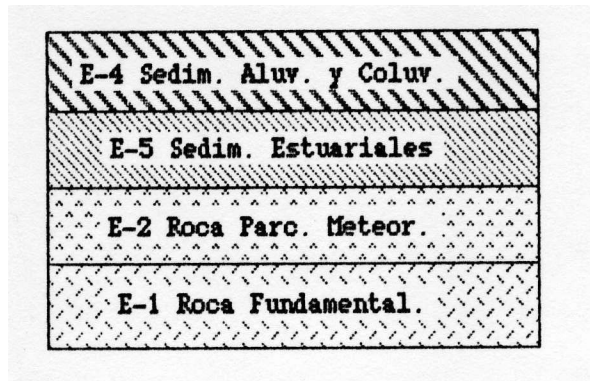
Zona IV: E8/E1 o E2



Este sector está ubicado al noreste del sector plano. El primer estrato (E-8) es de relleno y tiene un espesor que varía entre 0.5 y 5.0 m. Está compuesto por arenas, gravas, finos limosos y desperdicios.

Inmediatamente después viene la roca fundamental (E-1) que se ha encontrado a una profundidad de entre 0.8 a 1.6 m. Después vendría un estrato de roca descompuesta (E-2) que se ha encontrado entre 0.7 a 4.6 m.

Zona V: E4/E5/E2/E1



Está ubicada al sur de la Zona IV y es el área más pequeña. El primer estrato (E-4) es de maicillo plástico intercalado por un manto arcilloso que presenta espesores entre 1 y 2 m. El espesor de la unidad varía entre 5 a 7 m. Luego viene un estrato que no se ha podido identificar y después viene un estrato de roca meteorizada (E-2) que tiene un

espesor de 0.5 m y a una profundidad de 5 a 7m. La roca fundamental (E-1) tiene una fuerte pendiente en dirección nor-oriente y sur poniente y a profundidades de 5.8 a 8.8 m.

4.4 NIVEL DE NAPA FREATICA

El nivel freático tiene una inclinación hacia el mar, pero con una pendiente más suave y uniforme que la pendiente del terreno. En la mayor parte de la zona plana, el nivel freático se encuentra a una profundidad del orden de los 4 a 5 m. Esta profundidad se reduce en las desembocaduras de algunas quebradas como por ejemplo en la Avda. Argentina con 3,2 a 3.5 m y en Avda. España con niveles que fluctúan entre 0.5 y 1.0 m.

En las cercanías de la cota +20 el nivel freático oscila entre los 5.7 y 7.0 m. En cada una de las cinco zonas del plan de Valparaíso, la profundidad del nivel freático es (Carvajal, 1989):

Zona I. - En este sector se han observado los niveles más superficiales que varían entre los 0.6 a 3.5 m. Estos se han observado en Avda. Urriola, Avda. Carrera con Blanco y Avda. Argentina con Avda. España. En el resto de esta zona los niveles varían entre los 4 y 5 m.

Zona II. - En esta zona los niveles más superficiales se encuentran en los sectores en que desembocan las quebradas. Esto se observa en las quebradas que se ubican en la Avda. Urriola y en la Avda. Argentina con niveles que varían entre los 3 y 3.7 m.

En el sector de El Almendral, el nivel de la napa se encuentra entre los 4 y 5 m, llegando a una mayor profundidad en los límites de la zona III con variaciones de 5.7 a 7m.

Zona III. - En este sector, al igual que en el anterior, las menores profundidades se encuentran en las desembocaduras de las quebradas como, por ejemplo, en la existente en Avda. Urriola con 4m de profundidad.

Zona IV. - En esta zona, sólo se ha detectado la napa en Avda. España a los pies del cerro Placeres, con una profundidad de 4m.

Zona V. - Sólo se detectó en el sector de Avda. Argentina con Santos Ossa con una profundidad de 5.8 m.

4.5 PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO EN LA CIUDAD DE VALPARAÍSO

Verdugo (1995) determinó la profundidad del basamento rocoso por el método gravimétrico de prospección geofísica para lo cual hizo 77 observaciones gravimétricas en la ciudad de Valparaíso. Estas observaciones se ubicaron en las intersecciones de las calles del sector plano de la ciudad.

Según Verdugo, el basamento rocoso bajo el sector plano de la ciudad de Valparaíso presentaría la forma de una cuenca individual, esto es, separada de otra cuenca existente más allá de la línea de costa. Además, el basamento sufriría una significativa profundización, unos 300 m, en el sector suroriente del plan, en una zona del sector de El Almendral, como se muestra en la figura 4.7.

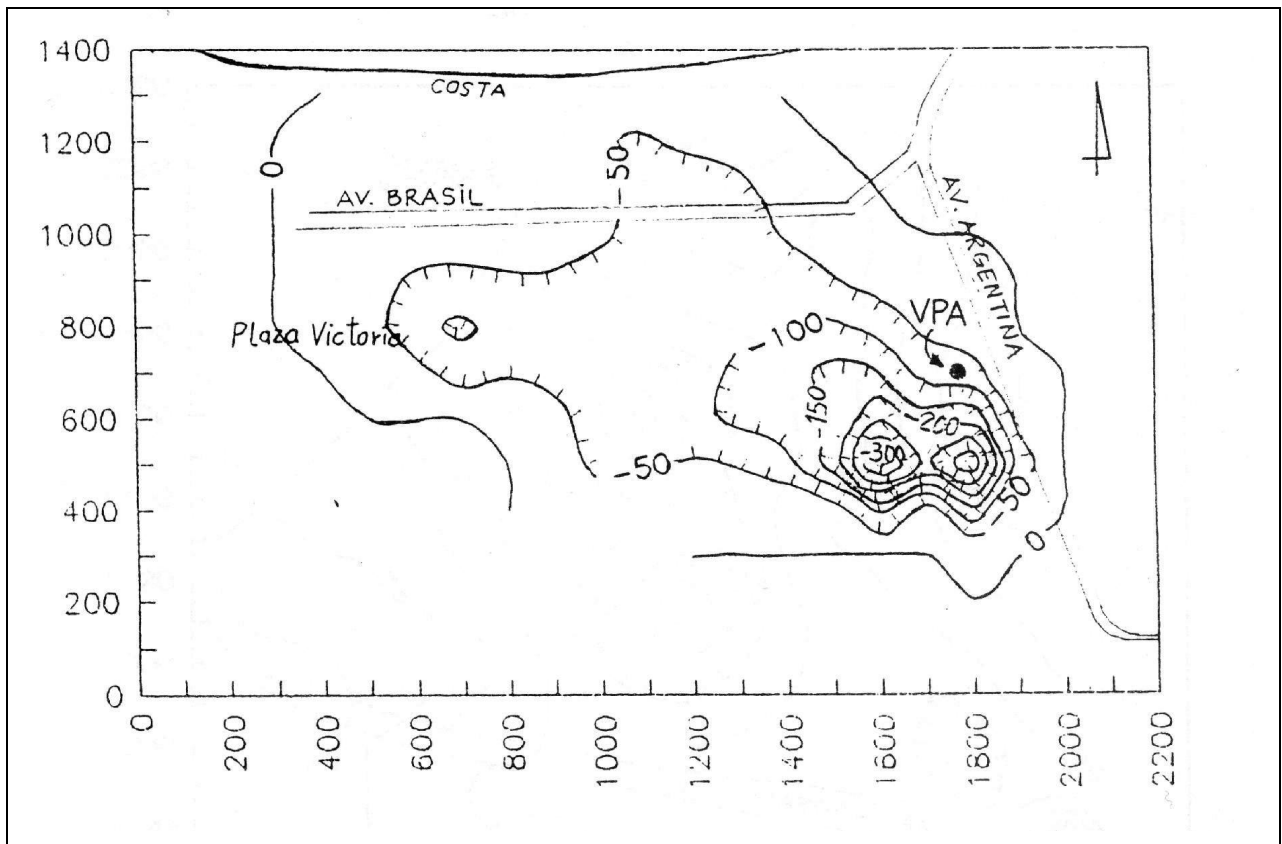


Figura 4.7 – Profundidad basamento rocoso de la ciudad de Valparaíso (Verdugo, 1995)

4.6 CARCTERIZACION DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN EN EL AREA DE VALPARAISO MEDIANTE EL METODO DE NAKAMURA

Una forma de caracterizar sísmicamente los suelos de fundación es mediante su período fundamental. Esta propiedad es controlada, entre otros factores, por las propiedades geotécnicas de las distintas unidades de suelos depositadas y por las condiciones geomorfológicas del basamento rocoso.

Con el propósito de determinar los períodos fundamentales de los suelos de fundación compuestos por los depósitos del área de la ciudad de Valparaíso, Verdugo y Pastén (2007) aplicaron el método de Nakamura el cual aprovecha las vibraciones ambientales para calcular la razón espectral entre los espectros de amplitud de Fourier de los movimientos horizontales y verticales registrados.

Para hacer estas mediciones, Verdugo y Pastén instalaron geófonos en nueve lugares de la ciudad de Valparaíso, los que se muestran en las figuras 4.8 y 4.9, registrando las velocidades en dos direcciones horizontales (H1 y H2) y en la dirección vertical (V). Después de un proceso de filtrado de los registros, se calcularon mediante la transformada rápida de Fourier el espectro de amplitudes (EH1, EH2 y EV) en el rango de frecuencias comprendido entre 0.2 Hz y 25 Hz y la razón espectral, las que se muestran en las figuras 4.8 y 4.9.

Como se puede apreciar en la figura 4.8, en el sector de El Almendral el período fundamental del lugar queda claramente identificado y corresponde a 1.2 s en el Muelle Barón y 0.7 s en el Congreso. Por otro lado, los períodos fundamentales en los lugares ubicados en el cerro Los Placeres, ver figura 4.9, no quedan claramente identificados como en los casos anteriores y las razones espectrales no superan el valor de 2.

El hecho de que no se tenga un período fundamental claramente definido con este método, como se aprecia en los lugares ubicados en el cerro Los Placeres, es una característica de los suelos muy rígidos o de los lugares donde la roca es muy superficial. El método de Nakamura no funciona bien en este tipo de suelos. Además una razón espectral baja, como ocurre en estos lugares, indica que las amplificaciones dinámicas también lo son.

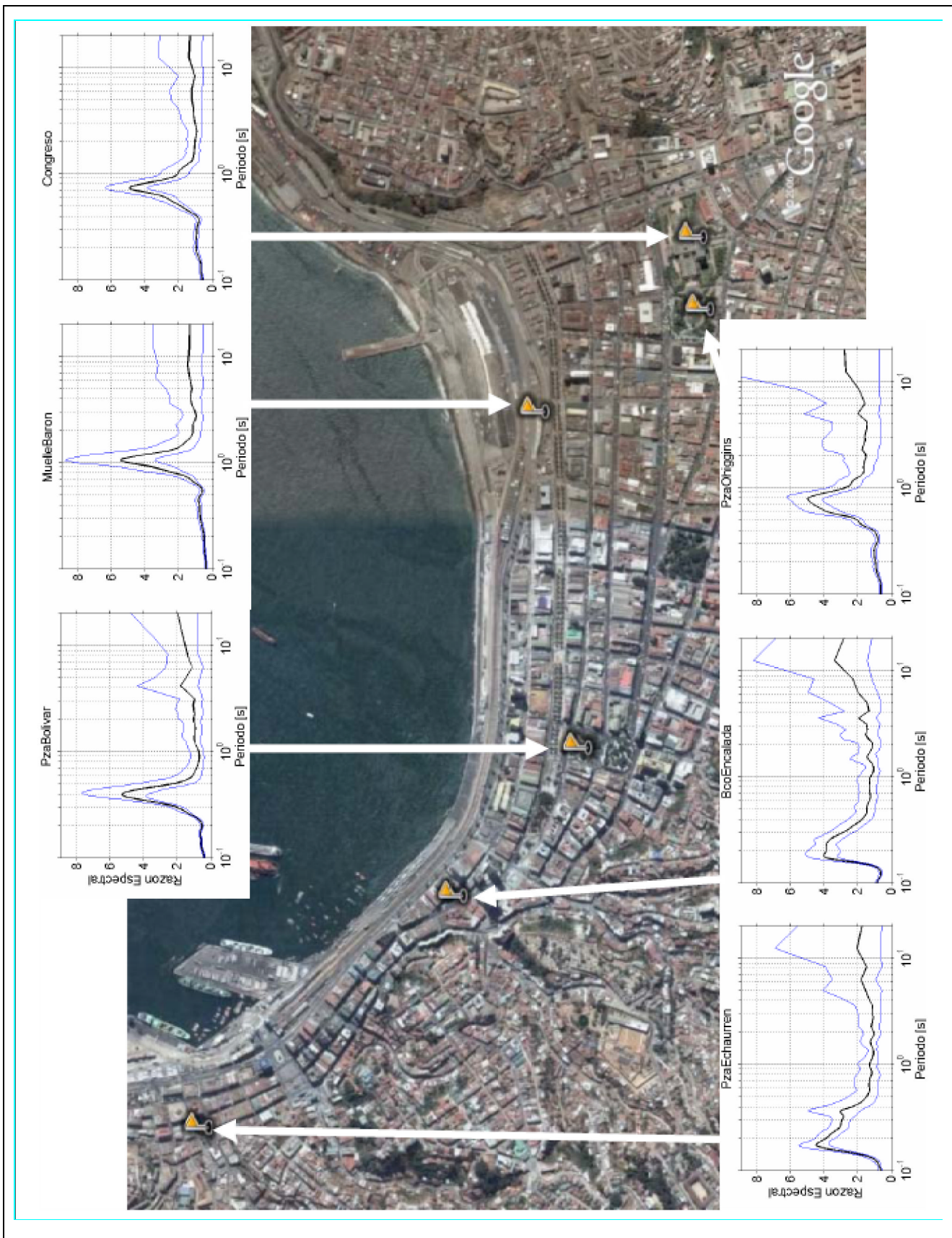


Figura 4.8 – Lugares de medición de las microvibraciones en el plan de Valparaíso y las razones espectrales resultantes (Verdugo y Pastén, 2007)

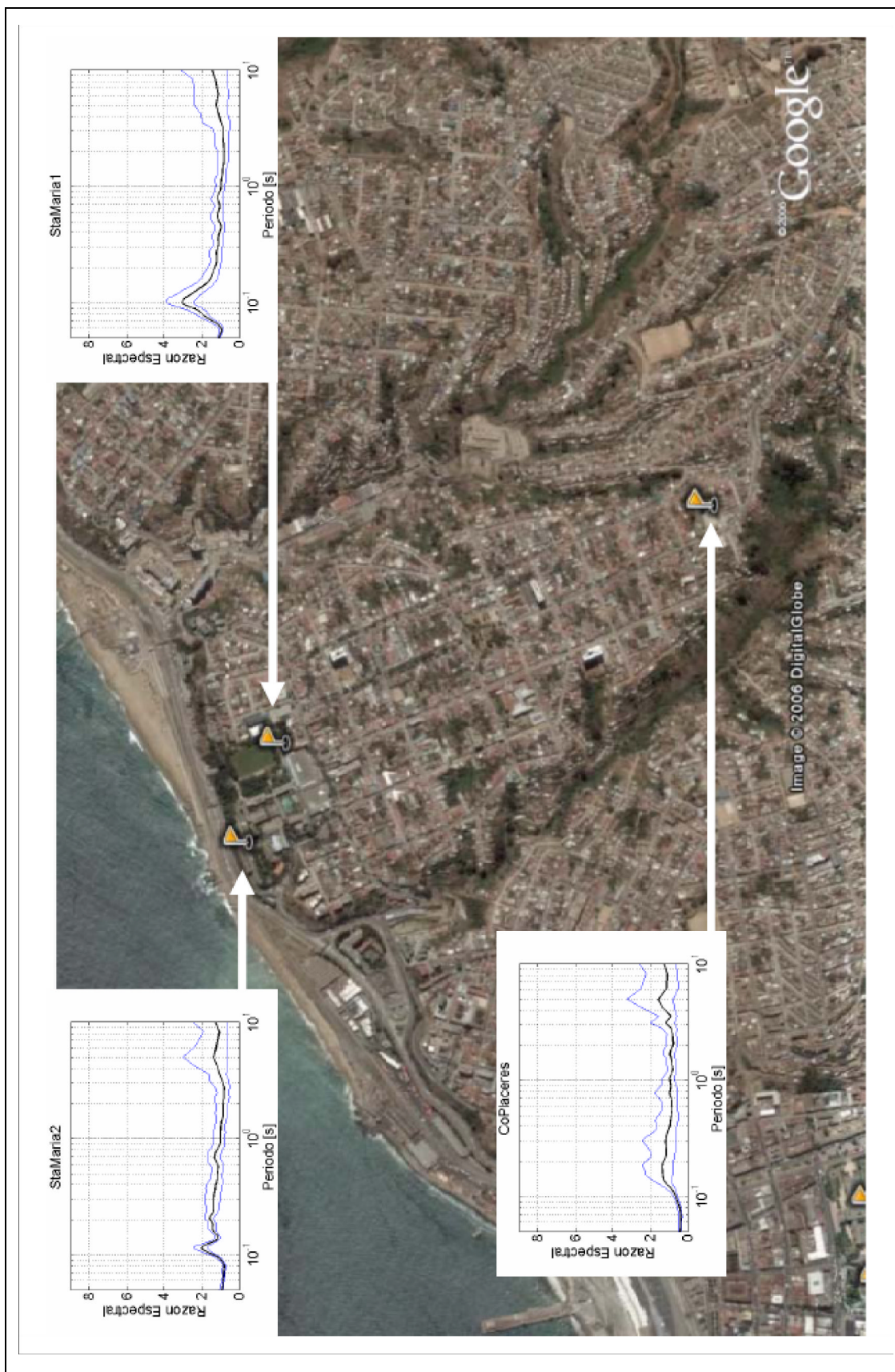


Figura 4.9 – Lugares de medición de las microvibraciones en el cerro Los Placeres de Valparaíso y las razones espectrales resultantes (Verdugo y Pastén, 2007)

Comparando los resultados obtenidos por Verdugo y Pasten en los lugares ubicados en el cerro Los Placeres con los obtenidos en los lugares ubicados en el Barrio Puerto, ver figura 4.8, se puede concluir que el suelo de este último sector es más bien rígido y que el basamento rocoso no está a una gran profundidad. Además se observa que los valores de la razón espectral son menores que los obtenidos en el sector de El Almendral.

4.7 CARACTERIZACION DE LAS CONDICIONES LOCALES DONDE SE UBICAN LOS EDIFICIOS HISTORICOS

Con los antecedentes reunidos en este capítulo, se pueden ubicar los monumentos históricos y los edificios de interés patrimonial según la zonificación de suelos mostrada en la figura 4.6, resultando la figura 4.10. En esta figura se muestra la ubicación de los monumentos históricos y de la zona típica dentro la zonificación de la ciudad de Valparaíso.

De la figura 4.10 se comprueba que:

- Sólo un monumento histórico se ubica en la Zona I, y este edificio corresponde al Palacio Luis Cousiño, construido entre 1881 y 1883. Este edificio ha sobrevivido a los terremotos de 1906 y de 1985.
- La mayoría de los monumentos históricos están ubicados en la Zona II.
- Los monumentos históricos ubicados en la zona III son en su gran mayoría los ascensores de Valparaíso.
- La zona típica de Valparaíso está ubicada en gran parte en la Zona II. Sólo quedan fuera de la Zona II las partes que comprenden el muelle de los pescadores en el entorno de la plaza Sotomayor y los edificios proa Palacio Luis Cousiño y Ex-Cousiño, los que se ubican en la Zona I.

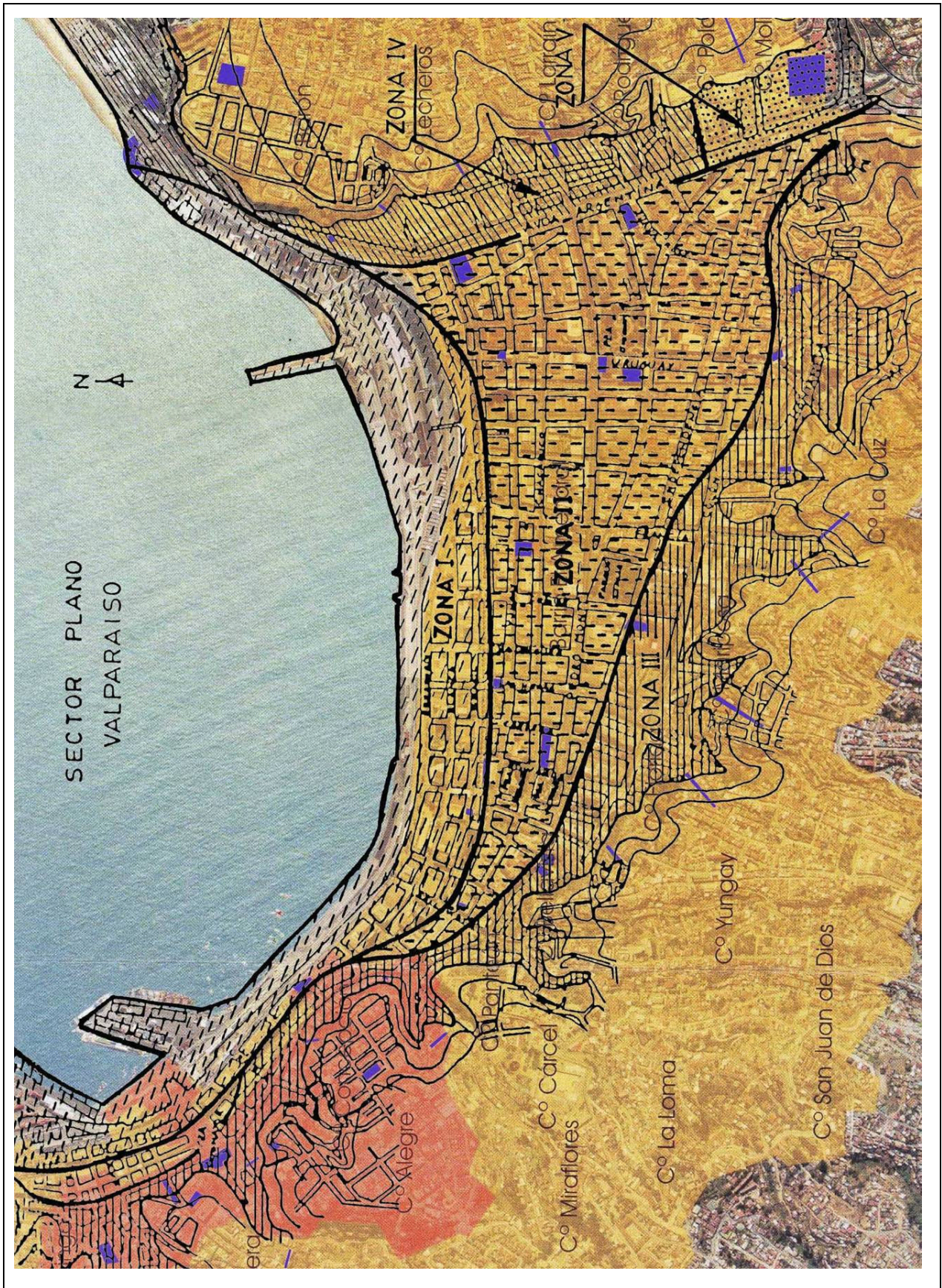


Figura 4.10 – Ubicación de los monumentos históricos en la zonificación de suelos

4.8 CARACTERISTICAS DE LAS CONDICIONES LOCALES EN LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS

Para obtener un diagnóstico a partir de los resultados que se obtienen del estudio de la vulnerabilidad sísmica de los palacios Luis Cousiño y Subercaseaux, es fundamental conocer más en detalle las características del suelo de fundación en el lugar en que se ubican estos palacios.

Con este propósito se utiliza la información recopilada por Ojeda (1978) de los informes de mecánica de suelos y de los ensayos de laboratorio realizados en la zona plana de Valparaíso.

De los 44 lugares reportados por Ojeda, ver figura 4.5, en la Figura 4.11 se muestra la ubicación de los lugares que interesan, siendo ellos los pozos P2 y P3 para el caso del Palacio Subercaseaux y P8 y P10 para el caso del Palacio Luis Cousiño. La información que se entrega en estos lugares se indica en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 – Información entregada en los lugares cercanos a los edificios estudiados (Ojeda, 1978)

N° Sector	Ubicación	Descr. Estrat.		Penetración Cuch. Normal	Penetración Cono Dinam.
		Pozo	Sondaje		
2	Pza. Eachaurren	1	-	-	-
3	Blanco Errázuriz	2	2	2	-
8	Blanco Carreño Errázuriz	-	1	1	1
10	Errázuriz	-	1	1	-

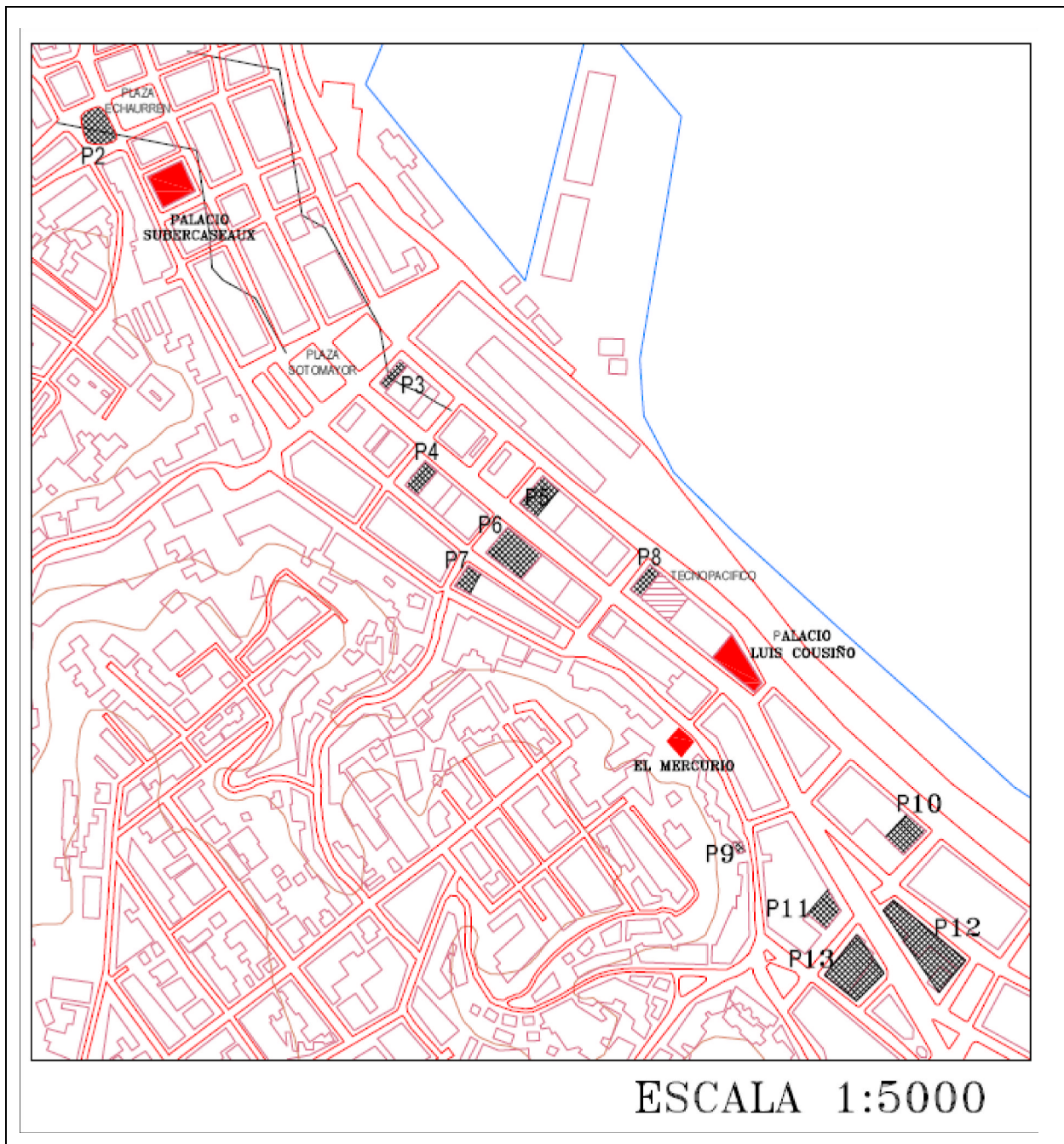


Figura 4.11 – Ubicación de los edificios estudiados y de los lugares reportados por Ojeda

La descripción cualitativa de los cuatro pozos es la siguiente:

P2: Hasta una profundidad de 1.8 m se encuentran suelos arenosos con finos limosos y gravas, posiblemente bajo éste se encuentra la roca (ver figura 4.12).

P3: En este lugar existe un relleno artificial formado por arena y enrocado de espesor variable entre 7.7 m y 8.1 m y más abajo arena, vidrios y carboncillo lo que hace un relleno de aproximadamente 11.0 m descansando sobre arena limosa, con partículas de mica y restos de concha (ver figura 4.12). La napa de agua se ubicó, en Julio de 1973, aproximadamente a 4.0 m de profundidad.

Este sector se ubica cerca del mar y a los pies de una quebrada profunda que baja por Tomás Ramos. De acuerdo con Grimme, corresponde a un relleno artificial sobre suelos arenosos.

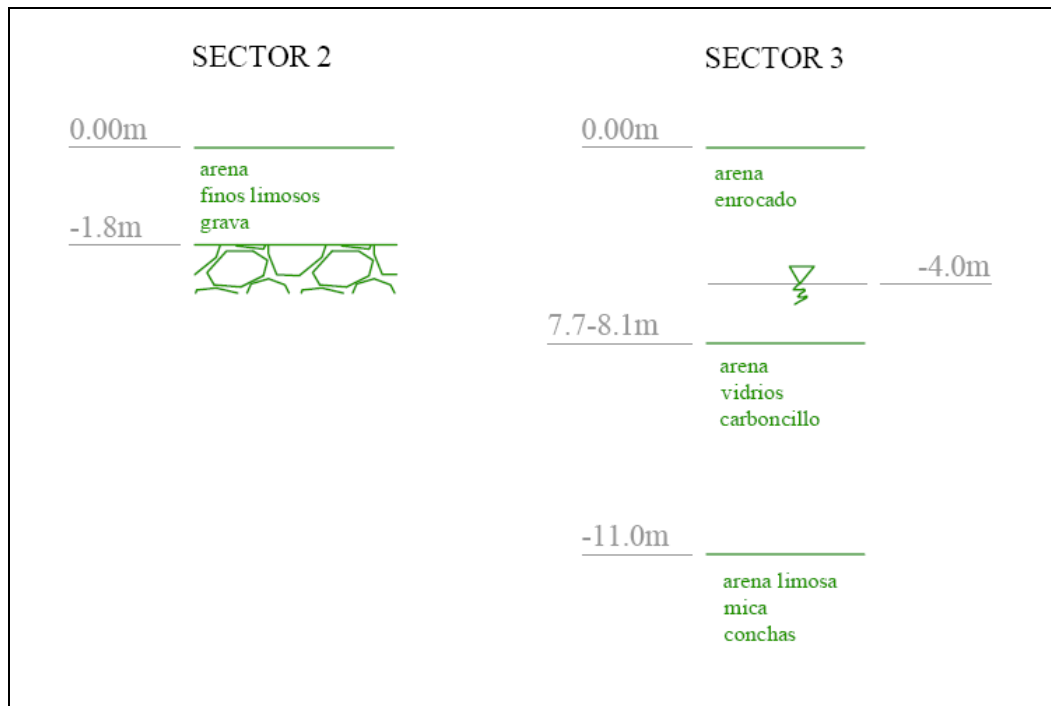


Figura 4.12 – Estratigrafía de los pozos P2 y P3

P8: En este lugar el relleno artificial tiene un espesor de 5.4 m constituidos los últimos 2.9 m por trozos de rocas con abundante arena y le subyacen suelos arenosos con finos limosos y algo de grava fina contaminada con partículas de mica y trozos de conchas, de espesor aproximado de 7.0 m que a su vez descansan sobre bolones (ver figura 4.13). La napa de agua se observó en Marzo de 1970 a 3.6 m bajo la superficie.

Este sector se ubica cerca del mar. Grimme lo define como relleno artificial sobre suelos arenosos.

P10: En este lugar se tiene un relleno de arena gruesa con bolones de 5.5 m de espesor, apoyado sobre 2.3 m de arenas fangosas que a su vez sobreyacen a las arenas de playa (ver figura 4.13). En el lugar se observó un espesor mayor a 7.5 m de arena con algo de arcilla posiblemente producto de la descomposición de la rocas diorítica. No se determinó la napa de agua.

Este sector se ubica en las cercanías del litoral. Según Grimme es una zona de relleno artificial sobre suelos arenosos.

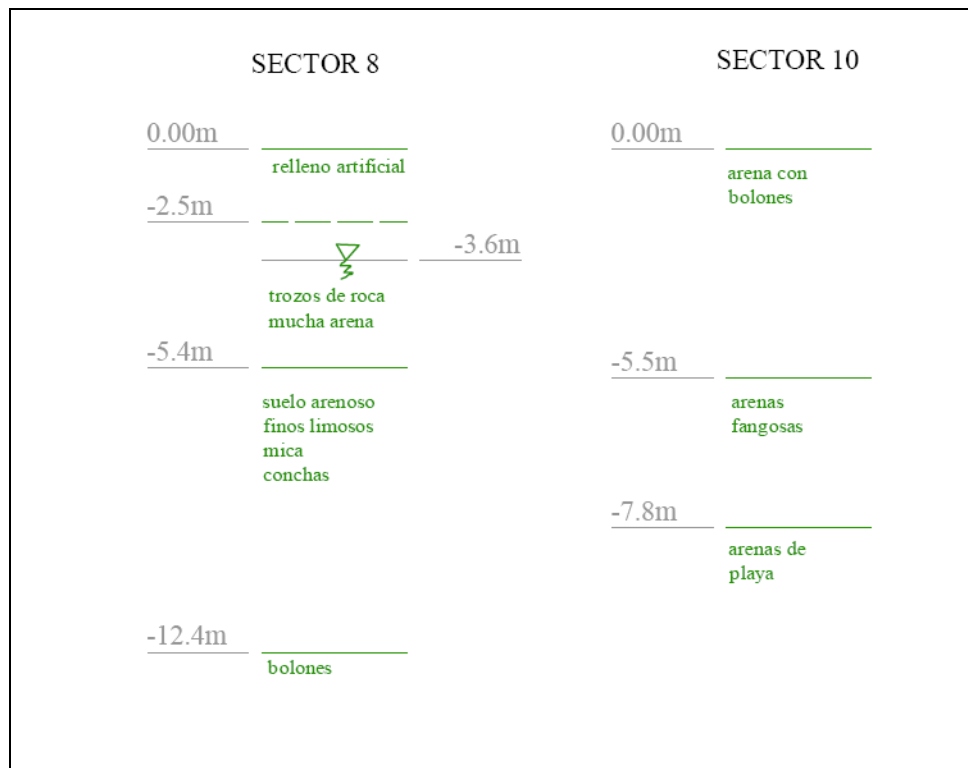


Figura 4.13 – Estratigrafía de los pozos P8 y P10

4.8.1 Palacio Luis Cousiño

Como se puede apreciar en la figura 4.11, los pozos más cercanos al Palacio Luis Cousiño son los pozos P8 y P10 y su estratigrafía corresponde a la mostrada en la figura 4.13. El pozo P8 se encuentra aproximadamente a 100 m del palacio, mientras que el pozo P10 está aproximadamente a 215 m. Considerando estas distancia, el pozo que mejor representa el suelo de fundación de este edificio es el pozo P8 lo cual se confirma de la comunicación personal con el jefe de obra del Edificio Tecnopacífico que está ubicado en la misma cuadra, aproximadamente a 70 m (ver figura 4.14). Según esta comunicación, el edificio tiene 2 subterráneos y las

fundaciones se hicieron a la cota -8 m, encontrándose a esta profundidad el estrato de arenas mezcladas con grandes bolones y roca, además de una gran cantidad de agua.

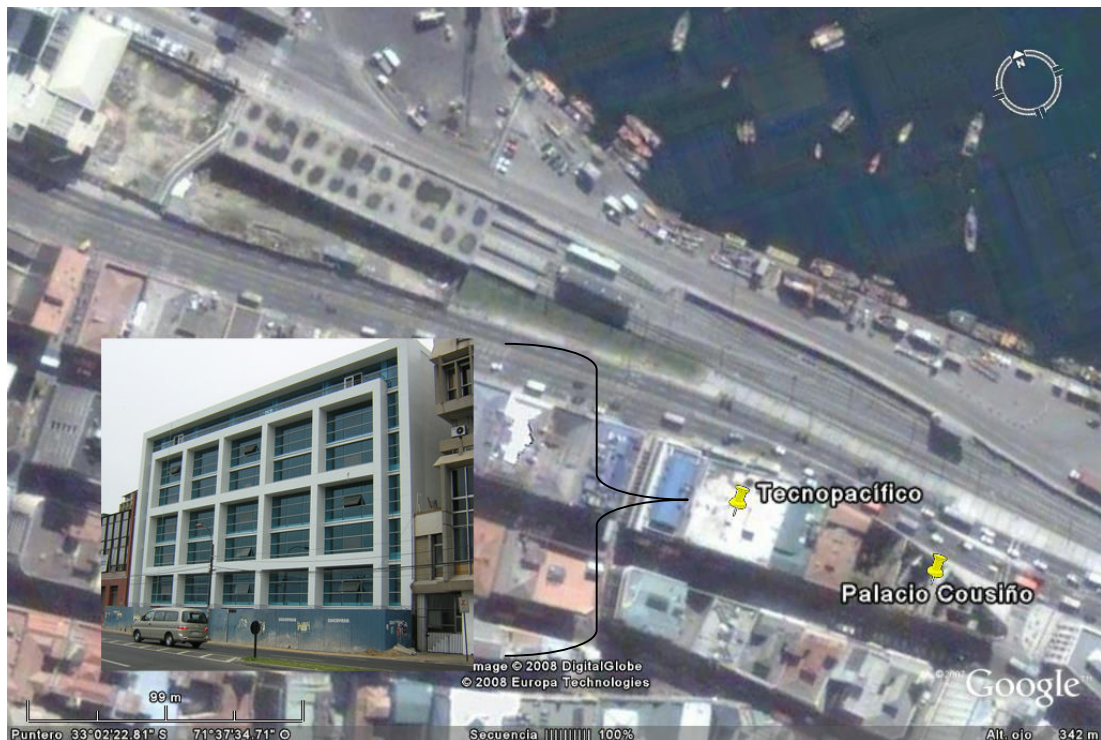


Figura 4.14 – Ubicación edificio Tecnopacífico

Por lo tanto se puede aceptar que en esta parte de la ciudad de Valparaíso, que antiguamente separaba al Barrio Puerto de El Almendral (ver Capítulo 2), la roca basal se ubica a menos profundidad y que esta se profundiza conforme uno se mueve al este y oeste. Esto se explica porque, como ya se ha mencionado anteriormente, en esta parte el cerro Concepción llegaba directamente al mar.

De acuerdo con lo anterior, las fundaciones del Palacio Luis Cousiño descansarían, sobre un estrato de aproximadamente 1.9 m de trozos de roca con arena seguido de 3.4 m de suelos arenosos con finos limosos y algo de grava fina contaminada con partículas de mica y trozos de conchas para luego descansar sobre grandes bolones a los aproximadamente 8 m. Es importante destacar que en este caso el edificio no está fundado sobre relleno artificial, ya que este estrato en esta zona es muy poco profundo.

4.8.2 Palacio Subercaseaux

En el caso del Palacio Subercaseaux los pozos más cercanos son el pozo P2 y P3. El pozo P2 está aproximadamente a 90 m del palacio mientras que el pozo P3 está aproximadamente a 270 m. En este caso se acepta que el pozo P2 representa muy bien el suelo de fundación de este palacio, por su proximidad y porque si se dibuja una proyección en planta de la curva de nivel de la falda del cerro Cordillera que pasa por P2, el Palacio Subercaseaux queda entre la falda del cerro y esta línea; en cambio la paralela del pozo P3 sigue el trazado de la avenida Errázuriz y por lo tanto se descarta (ver figura 4.11). Este análisis se basa en el supuesto que el cerro Cordillera se hunde con la misma pendiente a lo largo de su falda.

El Palacio Subercaseaux estaría por lo tanto *directamente sobre roca*, ya que tiene un subterráneo que probablemente tiene una altura mayor que 2.5 m y por lo tanto se habría removido el suelo arenoso, con finos limosos y gravas. Esta afirmación se confirma con los resultados obtenidos por Verdugo y Pastén en cuanto a la mayor rigidez de los suelos del Barrio Puerto comparado con el sector de El Almendral.

CAPÍTULO 5

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

Cuando se habla de la vulnerabilidad sísmica de la estructura de un edificio se debe entender que se trata de calificar la respuesta del edificio frente a los terremotos, la cual depende de sus características o cualidades. Para realizar esta calificación, existen actualmente métodos con distinto grado de complejidad, cuyo uso depende del alcance perseguido en el estudio en particular.

Generalmente los métodos más sencillos se expresan en términos de un “*índice*” que cuantifica de alguna manera *las cualidades más determinantes* en el comportamiento sísmico de la estructura. Considerando que las construcciones tienen cualidades que dependen de los materiales y de las prácticas locales usadas en su construcción, los métodos propuestos para determinar la vulnerabilidad requieren de una calibración cuando se importan de otro país.

Cualquiera sea el método para determinar la vulnerabilidad de un edificio se debe entender su funcionamiento estructural y el mecanismo de transmisión de fuerzas concebido por sus constructores. Además se deben identificar los factores que pueden haber modificado el sistema estructural original, entre los que se pueden destacar: efectos de sismos anteriores; asentamientos diferenciales de sus apoyos; deterioro debido al intemperismo, a agentes químicos u otros efectos ambientales; modificaciones hechas a la estructura; y efectos de incendios.

En relación con la vulnerabilidad sísmica de los edificios históricos, se debe tener presente que en Chile los sismos han sido y seguirán siendo la mayor amenaza de ellos, lo que queda en evidencia al revisar los informes de daños de los terremotos que han ocurrido los últimos 100 años (Moya, 2001, Sanhueza, 2001, entre otros). Teniendo en cuenta esta realidad, los resultados obtenidos del estudio de los efectos de los sismos históricos permiten identificar los factores que han sido determinantes en su comportamiento. Entre ellos se puede destacar la mala calidad de los materiales usados localmente (Rodríguez y Gajardo, 1906, Montessus de Ballore, 1915) y la débil o pobre unión entre los muros de las fachadas con los sistemas de piso

o con los muros interiores, lo que ha permitido que se produzca el vaciamiento de los muros y pisos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este capítulo se detallan los índices de vulnerabilidad que se han aplicado a los edificios históricos. Además, en este capítulo se entrega información relacionada con las características arquitectónicas y estructurales de los edificios históricos de la ciudad de Valparaíso. El capítulo termina con una ficha confeccionada para reunir en una inspección en terreno las características usadas para calcular los índices de vulnerabilidad.

Los resultados que se obtengan de este estudio de vulnerabilidad adquieren mayor importancia si se considera que:

- Los edificios seleccionados han resistido los terremotos de 1906 y 1985. De este modo, los valores de los índices que resulten representan valores útiles para calificar la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos con las características de los seleccionados cuando se ubican en la zona epicentral de un sismo de subducción con las características de los terremotos chilenos del tipo interplaca o tipo Thrust de magnitud entre 7.8 y 8.2 en la escala de Richter.
- El proceso de aprendizaje basado en un método de prueba y error ha sido importante en las prácticas de diseño local debido a la frecuencia en que ocurren los terremotos en Chile, y
- Este tipo de edificios aún existen en otras ciudades de Chile y en otros países del mundo.

5.1 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTONICAS Y ESTRUCTURALES DE LOS EDIFICIOS HISTORICOS DE LA CIUDAD DE VALPARAISO

El conocimiento de las características del diseño arquitectónico y estructural de un edificio, sea moderno o histórico, es fundamental para evaluar su vulnerabilidad sísmica. Especialmente si se considera que estas características varían con el tiempo y de un país a otro o de una región a otra en un mismo país.

5.1.1 Características Arquitectónicas

Las características de los elementos que forman el sistema estructural dependen del diseño arquitectónico, el que normalmente queda definido por los estilos arquitectónicos de cada época. En particular, la arquitectura de Valparaíso durante el período colonial se caracterizó por una precariedad y pobreza material en edificaciones de baja altura, construidas en adobe, tejas de arcilla y muros estucados con barro y pintados con cal. En esta época sólo destacan las torres de las iglesias.

La Independencia Nacional, a inicios del siglo XIX, trae consigo la libertad de comercio y por consiguiente la integración de Valparaíso al contexto mundial, especialmente con Europa y Estados Unidos. En esta época Valparaíso experimenta grandes cambios entre los cuales se cuentan la extensión de la superficie ocupada, rellenos de playa, apertura de nuevos caminos y la construcción de edificios públicos de mayor jerarquía, especialmente dedicados al naciente comercio portuario-internacional, y residencias permanentes ocupadas por la burguesía.

La apertura no fue sólo comercial, sino también cultural traída desde Europa. Esta se expresaba a través del romanticismo y se tradujo arquitectónicamente en el *Historicismo*. Esto conlleva también a una extroversión del espacio privado al público lo que se ve reflejado en la constitución de plazas, avenidas y miradores. Algunos ejemplos de este período se pueden apreciar en los Cerros Alegre y Concepción, en la arquitectura de cementerios y en el sector bancario de las calles Prat y Cochrane.

En el segundo tercio del siglo XIX, debido al auge portuario-marítimo y financiero de la ciudad, se construyen muchos edificios en la zona plana de la ciudad y mayoritariamente a lo largo de las calles que circundan los cerros Cordillera, Concepción y Alegre. Estas construcciones *se caracterizan por su funcionalidad teniendo locales comerciales en la primera planta y residencias en los pisos superiores con accesos laterales*. A partir de este momento la inmigración europea y norteamericana, sumada a la inmigración rural, impulsa la construcción de importantes edificios destinados a hoteles, bancos, oficinas del comercio marítimo, edificios del comercio urbano y espacios públicos para mercado de abastos y de servicios.

Estas edificaciones se enmarcan en conjuntos continuos que integran unidades en el plan de Valparaíso, sin que ninguna de ellas prevalezca sobre las otras. Nacen de esta forma la definición de “edificios manzana” y de los “edificios crucero”, los cuales se adecuaron a la estrechez del “plan”.

A fines del siglo XIX, el gran auge del Puerto, trae como resultado una arquitectura portuario-comercial sustentada por los inmigrantes europeos y norteamericanos, además de la modernización y la mecanización de los sistemas de transporte urbanos y marítimos, entre los cuales se cuentan el ferrocarril Santiago-Valparaíso (1852) y la incorporación de los funiculares a partir de 1883. También se incorporan en esta época los servicios de alumbrado y gas.

En respuesta a las necesidades de densificación y los sistemas tecnológicos utilizados en la época para la construcción, la arquitectura del área histórica de Valparaíso se caracteriza por una altura constante que va entre los tres y cuatro pisos, lo que corresponde a una altura que varía entre los 9 y 12 m, como regla general. La planta de los edificios se acomoda a la forma irregular del sector, a su pendiente y a la estrechez de la planta urbana.

En muchos casos los edificios se enriquecieron volumétricamente con dobles fachadas. Algunos elementos que le dan valor son las terrazas que corresponden al cierre superior (Mercado Puerto), los torreones y las quillas o esquinas con remate de cúpula (edificio Turri, El Mercurio, Iglesia Matriz, etc.). Además se encuentran líneas de zócalo en el primer piso que permiten la iluminación y ventilación a nivel de subterráneo, un ejemplo de ello son los edificios bancarios de la calle Prat y de otros destinados a bodegas. En general, la necesidad de iluminación se resolvió mediante patios de luz, lucarnas o claraboyas.

La mayor elaboración estilística queda reservada a los lugares con mayor presencia urbana, es decir calles del cordón, plazas o esquinas. En los lugares menos notorios, las edificaciones son más austeras, lo que en los casos extremos resulta en un mínimo de elementos formales y en algunos casos la utilización de albañilería a la vista sin estucar.

Al término del siglo XIX y comienzos del siglo XX se dio paso a la materialización de un movimiento ecléctico que se ve reflejado en la arquitectura religiosa, bancaria, institucional, hotelera y residencial. Esta fue encabezada por arquitectos extranjeros y criollos y luego se

traspasó a la población situada en las quebradas y cerros. Esto configuró una rica expresión de arquitectura que conforma el paisaje montano actual de la ciudad. Esta arquitectura se diferencia de la existente en la zona plana de Valparaíso por su ingeniosa incorporación a la pendiente de los cerros y quebradas, valorizando la vista panorámica que ofrece el anfiteatro de la ciudad.

Este proceso de transculturización arquitectónica se extiende hasta las primeras décadas del siglo XX, configurándose un modelo particular y auténtico para la arquitectura de Valparaíso que se incorpora y adapta correctamente al medio natural y paisajístico del Puerto. Esto se ve fortalecido por el terremoto de 1906 y la conmemoración de los 100 años de independencia en 1910, asentando definitivamente este modelo arquitectónico.

La condición sísmica de la ciudad le da un sello particular a las edificaciones, lo que se ve reflejado en las morfologías y sistemas constructivos. El terremoto de 1906 constituye un hito histórico en este sentido, logrando que se valoren aún más las edificaciones que quedaron en pie.

En las décadas de 1930 y 1940, se materializan las primeras soluciones modernas. De esta manera se zanja el período de la arquitectura historicista-ecléctica con adaptación porteña, la cual queda como un producto cultural por su innegable originalidad y valor en el tiempo. Por lo tanto surge una nueva tipología, con una planimetría libre y versátil, la cual fue facilitada por el uso de los nuevos sistemas tecnológicos como el hormigón armado.

Según Jiménez y Ferrada (2006) el patrimonio de Valparaíso se puede clasificar en los cuatro grupos tipológicos de la tabla 5.1, destacándose en ella los años en los cuales se desarrollan y algunos ejemplos de cada grupo. Desde la óptica actual, los cuatro grupos tipológicos se mantienen vigentes actualmente, con usos en general distintos a los originales, pero que han logrado acogerse en el esquema tipológico inicial.

Estas tipologías enmarcan a los edificios en una arquitectura particular, que guarda directa relación con los materiales usados, su sistema constructivo, uso, etc. Sin embargo, su comportamiento sísmico no necesariamente es igual para los edificios de un mismo grupo tipológico, ya que en algunos casos se tomaron prevenciones antisísmicas.

Tabla 5.1 – Grupos tipológicos

	GRUPO TIPOLOGICO	PERÍODO	EJEMPLOS	AÑO CONST.
1	Grupo neoclásico	1850-1900	Edificio Ivens Edificio Ex Hotel Colón Edificio Calle Esmeralda Edificio Subercaseaux	1854-1862 1864 1864-1869 1881-1888
2	Grupo historicistas ecléctico	1900-1906	Edificio Ross Santa María Edificio El Mercurio Edificio Registro Civil	1900-1905 1900-1920 1905-1914
3	Grupo ecléctico tardío	1906-1920	Edificio La Nave Edificio Palacio Rivera Edificio El Mercado	1912 1914 1920-1924
4	Grupo ecléctico tardío en transición al movimiento moderno	1920-1950	Edificio Edwards (Turri) Edificio Servicio de Salud Edificio Banco Estado Edificio Ex Correos Edificio de Bomberos	1922-1924 1923 1925 1936 1950

Por lo tanto se puede afirmar que la singular ubicación geo-topográfica de Valparaíso, sumado al cambio en el uso de materiales y de los sistemas de construcción debido a la situación sísmica de Chile, genera un conjunto de soluciones tipológicas adaptadas al medio, difiriendo de las tipologías europeas que en un comienzo alimentaron los esquemas teóricos de esta arquitectura.

5.1.2 Características Estructurales

Los edificios construidos durante la segunda mitad del siglo XIX en la ciudad de Valparaíso corresponden principalmente a viviendas de uno y dos pisos y edificios de hasta cinco pisos cuyo sistema resistente está constituido por muros apoyados sobre fundaciones corridas y por sistemas de pisos de madera. Además de los muros perimetrales, existían abundantes muros interiores que subdividían la planta en áreas relativamente pequeñas, resultando edificios de gran peso y rigidez. Teniendo en cuenta estas características de los edificios, se puede concluir que las cargas vivas sólo representan una pequeña fracción de la carga gravitacional total y por lo tanto no son determinantes en la seguridad estructural.

Los materiales utilizados en la construcción de los muros son adobe, albañilería de ladrillos de arcilla cocida unidos con mortero de cal y arena sin refuerzo y tabiquería de madera

rellena. Las fundaciones y los muros del piso zócalo y subterráneo son de albañilería de piedras canteada unidas con morteros de cal y arena.

De acuerdo con los antecedentes fotográficos de los daños observados en los edificios de adobe y albañilería sin refuerzo durante los terremotos de 1906 y 1985, el comportamiento ha sido más bien desastroso debido a la mala calidad de los materiales y a la falta de refuerzos y a la mala unión entre los elementos del sistema estructural. Estos dos últimos aspectos son fundamentales para garantizar la integridad del edificio una vez que se agrietan los muros, y en la medida que no se incorporen en el proyecto ha significado el colapso parcial o total de los edificios, como se observa en las fotos de la figura 5.1.



Figura 5.1 – Almedral 1906 y 1985

Con estos antecedentes, se puede establecer que en este tipo de estructura el comportamiento sísmico ha quedado controlado principalmente por la capacidad resistente de los materiales utilizados en la construcción de los muros, por la cantidad de muros, por las condiciones de apoyo que posean los muros ante acciones fuera de su plano y por los detalles de unión entre los elementos que forman el sistema estructural (muros, sistema de piso y techumbre).

En el siglo XX y especialmente producto del desastre que produjo el terremoto de 1906, en los edificios de albañilería, se colocan algunos refuerzos como los que se muestran en la figuras 5.2 y se incorpora el uso del hormigón armado, ver figura 5.3 (Edificio de Correos) y del acero en los muros de los edificios. Ejemplos de este último tipo de edificios son el edificio del Mercado y el edificio de la fábrica Hucke (ver figuras 5.4), ambos ubicados en el barrio del Almendral.



Figura 5.2 – Refuerzos de acero en un muro de albañilería



Figura 5.3 – Edificio de hormigón armado



Mercado Central

Ex Fabrica Hucke

Figura 5.4 – Edificios reforzados con perfiles de acero.

Teniendo en cuenta las modificaciones destacadas, los estudios de vulnerabilidad de los edificios históricos de la ciudad de Valparaíso deben considerar en forma separada los edificios construidos antes y después del terremoto de 1906.

Los edificios históricos son en su mayoría de albañilería construida con unidades cerámicas y mortero de cal y arena. Lamentablemente la información experimental disponible relacionada con las propiedades de este tipo de albañilería es escasa por la dificultad de reproducir en laboratorio las condiciones específicas de la obra y por la variedad de situaciones que pueden presentarse.

En una primera aproximación se puede considerar que la resistencia a la compresión de este tipo de albañilería tiene un valor entre 30% y 40% de la resistencia a compresión del ladrillo (Meli, 1998). Además, la información experimental disponible a nivel mundial permite establecer que la resistencia a la compresión de estas albañilerías puede variar entre 5 kg/cm^2 y 50 kg/cm^2 (Meli, 1998). Localmente no se encuentran datos publicados de ensayos relacionadas con esta propiedades; como antecedente se puede destacar que ensayos de prismas de albañilería obtenidos de la Basílica de El Salvador ubicada en la ciudad de Santiago, entregaron valores de resistencia prismática del orden de 15 kgf/cm^2 (Astroza, 2007).

En relación con la resistencia al corte, para fines de cálculos preliminares se puede considerar que mientras esté controlada por la adherencia entre el mortero y las unidades, las tensiones tangenciales máximas son del orden 2 kgf/cm^2 ; en cambio si está gobernada por la tensiones de tracción diagonal, las tensiones tangenciales no superan los 3 kgf/cm^2 a 4 kgf/cm^2 (Astroza, 2007).

5.2 METODOS SIMPLIFICADOS PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS HISTORICOS

Estos métodos se basan en la comparación de *la acción impuesta por el sismo con la capacidad que tiene la estructura del edificio para resistir dicha acción (fuerza) en cada una de las dos direcciones principales de la planta*. Usando estos conceptos, se determinan las expresiones de los índices de vulnerabilidad sísmicas que permiten comparar la seguridad sísmica de un determinado tipo de edificios bajo ciertas condiciones de actividad sísmica.

El valor práctico de conocer estos índices se logra cuando se relaciona el valor del índice con el nivel de daños que puede experimentar un edificio en un escenario sísmico esperado o bien cuando el valor del índice se relaciona con la necesidad de hacer modificaciones de un proyecto en su etapa conceptual de diseño (Etapa de anteproyecto) para impedir que anteproyectos que no califican adecuadamente sean ejecutados (Gallegos, 1986). Además, el uso de estos índices permite identificar en forma rápida los casos de mayor riesgo dentro de una muestra de edificios.

En los hechos se pueden diferenciar cuatro *niveles* de índices de vulnerabilidad.

- **Nivel 0:** El valor del índice se determina sólo tomando en cuenta la tipología del edificio. Sirve para mapear de manera rápida la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de una zona asignándole una vulnerabilidad a los edificios de acuerdo con su tipología.
- **Nivel 1:** El valor del índice rescata cuantitativamente alguna característica de los edificios, como por ejemplo la densidad de muros, y según esta característica se clasifican los edificios. El uso de este tipo de índice es útil para mapear zonas grandes, aunque requiera de más tiempo e información para determinarlo que el nivel 0.
- **Nivel 2:** Este nivel es más elaborado, ya que toma en cuenta varias características del sistema estructural para luego asignarles un valor numérico que finalmente permite calcular el índice. Es una forma de dar un valor a la vulnerabilidad de una estructura de manera más acabada, pero sin hacer un análisis estructural exhaustivo como los que se pueden ocupar actualmente en el cálculo de edificios.
- **Nivel 3:** Este nivel es el más específico y se aplica en edificios del cual se requiere saber con un alto grado de certeza su competencia sísmo resistente para proponer una futura intervención haciendo uso de herramientas modernas de modelamiento estructural.

En el caso particular de esta Memoria de Título se ocuparán índices del nivel 1 y 2. Los resultados que se obtengan al calcular estos índices a los edificios históricos de albañilería de la ciudad de Valparaíso, permitirán obtener los valores de estos índices para los cuales no se producen daños en este tipo de edificio bajo las condiciones locales donde se ubican los dos edificios seleccionados y en un escenario sísmico como el que ocurrió en esta ciudad durante los

terremotos de 1906 y 1985. Además, los resultados obtenidos se podrán comparar con los valores recomendados para edificios históricos de albañilería ubicados en otras zonas sísmicas del mundo, por ejemplo México y Portugal.

5.2.1 Índices de Vulnerabilidad de Primer Nivel

El uso de este tipo de índices es muy útil en estudios preliminares de vulnerabilidad sísmica de edificios ya que su uso requiere de poca información para su cálculo, y de información que en el caso de edificios históricos no es difícil de obtener.

En atención a su simpleza, la aplicación de estos índices está limitada al cumplimiento de ciertas condiciones, entre las que se pueden destacar (Meli, 1998, Roque, 2002): (a) la estructura debe ser regular, (b) la presencia de sistemas de pisos y techo que puedan considerarse como diafragmas rígidos capaces de transmitir las cargas a todo el conjunto de muros; y (c) los muros deben estar uniformemente distribuidos en toda la planta del edificio. Teniendo en cuenta que algunas de estas condiciones no se cumplen en los edificios históricos de Valparaíso, es necesario complementarlo con revisiones sobre la posibilidad de fallas por efectos de fuerzas que actúan perpendicular al plano del muro, con este último propósito es recomendable incluir datos relativos a la geometría de los paños de albañilería que forman el muro (Roque, 2002).

Como valor representativo del índice de un edificio, se recomienda tomar el menor de los valores obtenidos para cada una de las dos direcciones principales de la planta. Los índices utilizados en esta memoria son los siguientes:

a. Índice de densidad de muros por unidad de pisos, d_n

Un índice ampliamente usado en la revisión de la seguridad sísmica de estructuras de albañilería ha sido *la densidad de muros*. Conceptualmente, este índice está relacionado con la seguridad sísmica, expresada por el Factor de Seguridad Global, cuando el comportamiento de los muros de un edificio está controlado por una falla ocasionada por el esfuerzo de corte que actúan en el plano de los muros.

Para lograr expresar el Factor de Seguridad Global (Fs) de un edificio en la forma de una densidad de muros se debe aceptar que. (a) el peso total del edificio, W_s , es proporcional al área en planta del edificio, A_p , y que este peso se distribuye más o menos uniformemente en cada piso, w_o , con lo cual $W_s = n \cdot w_o$; y (b) la capacidad resistente del edificio es igual a la suma de las contribuciones de los muros alineados en la dirección considerada y esta capacidad está controlada por la resistencia que es capaz de desarrollar la albañilería (τ_m). De este modo resulta:

$$F_S = \frac{R}{S} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_{mj} \cdot \tau_m}{C_s \cdot W_s} = \frac{\tau_m \cdot \sum_{j=1}^{j=n.m} A_{mj}}{C_s \cdot w_o \cdot n \cdot A_p} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

A_{mj} = área de la sección transversal del muro j de la la dirección considerada de la planta.

$n.m$ = número de muros en la dirección considerada.

A_p = área de la planta del edificio.

W_s = peso sísmico del edificio.

N = número de pisos del edificio.

w_o = peso promedio por unidad de área del edificio.

τ_m = resistencia al corte de la albañilería.

C_s = coeficiente de corte sísmico basal.

La ecuación 5.1 se puede expresar como:

$$F_S = \frac{\tau_m}{C_s \cdot w_o} * \left(\frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_{mj}}{n \cdot A_p} \right) = C_1 * d_n \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

$$C_1 = \frac{\tau_m}{C_s \cdot w_o} \quad \text{Ec. 5.3}$$

$$d_n = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m} A_{mj}}{n \cdot A_p} = \text{índice de densidad de muros por unidad de pisos.} \quad \text{Ec. 5.4}$$

Revisando los términos que intervienen en la expresión de C_1 , se puede aceptar que su valor es constante para los edificios seleccionados por *su uso, ubicación y tipo de albañilería*, con

lo cual d_n es una medida de la seguridad sísmica de los edificios. El índice d_n es adimensional, y su cálculo está basado en cantidades puramente geométricas que se pueden calcular fácilmente con la información disponible para este tipo de edificio.

Aún cuando se reconoce que este índice debe emplearse con mucha cautela y únicamente con fines comparativos de las características sismorresistentes de los edificios, ha sido usado en el diseño de los edificios de albañilería (Kuroiwa, 2002) y para establecer los niveles de daño que puedan esperarse en los edificios de albañilería modernos (Astroza et al. 1993, Meli, 1991). Además ha sido utilizado para calibrar otros índices de vulnerabilidad, como es el índice de vulnerabilidad del método G.N.D.T (Gentt et al., 2005), de modo que se logre un ordenamiento relativo entre los edificios analizados similar al que resulta al aplicar el índice de densidad de muros por unidad de pisos.

b. Indices de Lourenco y Roque

Lourenco y Roque (2006), utilizaron tres índices para evaluar la seguridad sísmica de iglesias antiguas, los cuales convierten las características geométricas de los edificios, al igual que el índice anterior, en índices cuya representatividad es tanto mejor cuanto mayor es la regularidad de la estructura.

b.1 Porcentaje de área de muros en planta, γ_1 .

Con este propósito se considera todos los muros de espesor mayor o igual a 40 cm (Lourenco y Roque, 2006) y se define por la relación entre la suma del área de muros del primer piso del edificio orientados en una dirección de la planta ($\sum_{j=1}^{j=n,m} A_j$) y área de la planta (A_p):

$$\gamma_{1,i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n,m} A_j}{A_p} \quad \text{Ec. 5.5}$$

La ecuación 5.5 se puede expresar como:

$$\gamma_{1,i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n,m.} A_j}{A_{PM}} \cdot \frac{A_{PM}}{A_P} \quad \text{Ec.5.6}$$

Donde: A_{PM} = Area de muros en ambas direcciones de la planta.

Como se puede apreciar este índice sólo considera relaciones dimensionales de la geometría de la planta. Al ser independiente de la altura del edificio es un índice limitado pues ignora completamente *la esbeltez y el peso de la estructura*. Su mayor bondad es que entrega información sobre *la cantidad de muros en cada dirección y de alguna manera de la rigidez*

lateral del edificio en cada dirección de la planta ($\% A_i = \frac{\sum_{j=1}^{j=n,m.} A_j}{A_{PM}}$), **Ec. 5.7.**

b.2 Relación entre el área de muros en una dirección de la planta y el peso del edificio, γ_2 .

Como un índice más representativo se propone usar la relación entre el área de muros en una dirección de la planta y el peso total del edificio:

$$\gamma_{2,i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n,m.} A_j}{W_T} \quad \text{Ec. 5.8}$$

La ventaja de usar este índice es que se incluye el efecto del peso del edificio, y con ello, de alguna manera, la altura del edificio. Para edificios regulares, es decir edificios con un peso por unidad de piso (w_0) distribuido uniformemente a lo alto de la estructura, este índice es proporcional a d_n , ya que en ese caso $W_T = w_0 \cdot n \cdot A_P$.

Si se revisa la expresión de γ_2 , se puede concluir que este índice da una idea de la resistencia de la estructura en cada dirección y permite comprobar que la relación $(\frac{\sum_{j=1}^{j=n.m.} A_j}{A_p})$ es tanto mejor mientras menor es el peso del edificio cuando éste está dado principalmente por el peso de los muros.

b.3. Índice de seguridad global, γ_3 .

Este índice está definido por la relación entre la capacidad resistente al corte del edificio en cada dirección y la demanda de corte basal impuesta por el sismo en la base del edificio. Aceptando que la demanda de corte basal se puede expresar como un porcentaje del peso del edificio ($C_S \cdot W_T$) y la capacidad resistente al corte como la suma de la contribución de cada muro de la planta se obtiene:

$$\gamma_{3,i} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n.m.} A_j \cdot \tau_m}{C_S \cdot W_T} \quad \text{Ec. 5.9}$$

En este caso, según Roque (2002), se puede comprobar que en edificios con igual índice de seguridad total, son teóricamente menos vulnerables aquellos que tengan mayor relación $\gamma_{2,i}$,

ósea mayor relación $(\frac{\sum_{j=1}^{j=n.m.} A_j}{A_p})$.

Como lo destaca Roque (2002), los tres índices (γ_1 , γ_2 y γ_3) son inversamente proporcionales a la relación entre el área de muros en la dirección “i” y el área total de muros de

la planta, $\frac{\sum_{j=1}^{j=n.m.} A_j}{A_{PM}}$. Además los índices γ_1 y γ_2 son independientes de la zona sísmica en que se ubique el edificio, admitiendo que sus valores límites deben crecer a medida que la demanda sísmica crezca.

Es conveniente destacar que estos índices de primer orden traducen las características arquitectónicas-estructurales de los edificios en valores medios y uniformes. De esta forma cuanto más irregulares y asimétricas sean estas características menos representativa es la información que proporcionan, debiéndose corregir su expresión.

5.2.2 Índices de Vulnerabilidad de Segundo Nivel

Considerando las limitaciones que tienen los índices de *Primer Nivel*, se han propuesto otros índices de vulnerabilidad que cuantifican lo cualitativo y que permiten evaluar la competencia sismorresistente de los edificios incorporando más cualidades explícitamente en su expresión pero sin llegar necesariamente a una etapa de cálculo detallada.

Con tal propósito, los índices de *Segundo Nivel*, califican numéricamente estas cualidades usando un criterio muy simple como es reconocer si ella es buena, regular o mala al contrastarlas con lo que serían condiciones ideales y establecer su “peso” en función de lo determinante que puede resultar la cualidad en el comportamiento sísmico. El producto y suma de estas calificaciones y pesos permite obtener el índice resistente básico de la estructura de un edificio.

Debe reconocerse que *cuantificar lo cualitativo* implica tanto decisiones subjetivas como otras, que aunque objetivas, proviene o representan un contenido o realidad local o regional. Por lo tanto los valores tanto de calificación como de peso son válidos para un determinado país o región, aunque los criterios y cualidades tengan validez general.

Ejemplos de este tipo de índices, son el índice de vulnerabilidad propuesto por Gallegos (1989) y el índice del G.N.D.T. (Benedetti y Petrini, 1984), los cuales se aplicarán a los dos edificios históricos seleccionados de Valparaíso para comprobar si son utilizables en este tipo de estructuras. Teniendo en cuenta este alcance, a continuación se detallan estos dos índices.

a. *Indice de Gallegos (1989)*

Según Gallegos, el índice de calidad estructural sismorresistente, se puede expresar para cada dirección principal de la planta de un edificio de albañilería por la expresión:

$$I = [PxExSxC] * [F] \quad \text{Ec. 5.10}$$

En las tablas 5.2 a 5.6 se destacan las características que consideran los términos P, E, S, C y F.

Tabla 5.2 – Índice de Planta

$P = P1 \times P2 \times P3$	
P1	Simetría
P2	Proporción
P3	Continuidad

Tabla 5.3 – Índice de la Elevación

$E = E1 \times E2 \times E3$	
E1	Simetría en la elevación
E2	Proporción
E3	Continuidad

Tabla 5.4 – Índice de componentes del sistema estructural

$S = S1 * [Rm \cdot (S4 \cdot S5)]$	
S1	Densidad de elementos verticales ⁽¹⁾
S4	Continuidad de muros
S5	Conexiones entre muros
Rm	Cantidad de muros ⁽²⁾

(1) Area total de muros (cm²)/(Area de la planta del edificio (m²) por el número de pisos) = $d_n(\%) * 100$

(2) Rm = (área de muros) / (área de columnas + área de muros) = 1.0 si no hay columnas que formen parte del sistema sismorresistente del edificio

Tabla 5.5 – Índice de la configuración estructural

$C = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot C4$	
C1	Simetría y uniformidad estructural
C2	Distribución de rigidez
C3	Simetría de masas
C4	Relación con elementos no estructurales

Tabla 5.6 – Factores de adecuación

$F = F1 \cdot F2 \cdot F3 \cdot F4$	
F1	Suelo
F2	Uso
F3	Altura
F4	Relación suelo-altura

Al igual que para la densidad de muros, Gallegos propone que se considere como el índice de una edificación, el menor valor de los determinados para las dos direcciones principales de la misma. Más detalle de este índice se entrega en el Anexo A.

Además se define el índice I_o definido por los primeros 4 términos de la ecuación 5.10. La ventaja de usar este índice radica en que se excluye el término F, y por lo tanto es un instrumento para comparar la vulnerabilidad de los edificios independientemente del suelo sobre el cual se encuentren fundados.

$$I_o = [P * E * S * C] \quad \text{Ec. 5.11}$$

b. Índice de Vulnerabilidad del GNDT.

El índice GNDT está dado por la siguiente expresión:

$$I_v = \frac{\sum_{i=1}^{11} \frac{k_i \rho_i}{q_i}}{I_{\max}} \quad \text{Ec. 5.12}$$

Donde:

- k_i = puntaje del parámetro i
- ρ_i = peso del parámetro i
- q_i = calidad de la información del parámetro i
- I_{\max} = puntaje máximo

Cada parámetro i representa una característica específica del edificio. Estas se resumen en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 – Parámetros de índice GNDT

Característica considerada
1) <u>Organización del sistema</u>
2) <u>Calidad del sistema resistente</u>
3) <u>Resistencia convencional</u>
4) <u>Posición del edificio y fundación</u>
5) <u>Sistema de piso</u>
6) <u>Configuración de la planta</u>
7) <u>Configuración de la elevación</u>
8) <u>Esbeltez horizontal de las fachadas</u>
9) <u>Sistema de techumbre</u>
10) <u>Elementos no estructurales</u>
11) <u>Estado de conservación</u>

Los detalles de como se obtienen los valores k_i , ρ_i , y q_i para cada uno de los parámetros se entregan en el Anexo A.

5.3 VULNERABILIDAD ANTE ACCIONES QUE ACTUAN PERPENDICULAR AL PLANO DEL MURO

Muchas veces los daños en edificios históricos se deben a mecanismos de falla producidos por fuerzas sísmicas que actúan perpendicular al plano del muro. Por lo tanto es importante que las estructuras tengan una buena distribución de muros transversales o contrafuertes para contrarrestar los efectos de flexión que producen estas acciones (Roque, 2002).

Con el propósito de calificar la vulnerabilidad desde este punto de vista, se establecen límites a la relación entre la altura del muro y su espesor y a la relación entre los lados de los paños que forman el muro, considerando que ambas relaciones están relacionadas con los niveles de tensiones de tracción que se pueden producir en cada paño. Para establecer la primera relación se toma en cuenta la altura total, ya que en general los edificios históricos carecen de sistemas de pisos rígidos que hagan de apoyo en el sentido horizontal.

Para calificar la vulnerabilidad desde este punto de vista se han considerado los valores límites indicados en las tablas 5.8 y 5.9.

Tabla 5.8 – Calificativo para la relación H/t

$\frac{H}{t} \leq 15$	$15 < \frac{H}{t} \leq 30$	$\frac{H}{t} > 30$
BUENO	REGULAR	MALO

Donde:

H = altura del muro medida desde la sección analizada hasta el último piso.

t = espesor del muro

Tabla 5.9 – Calificativo para la relación b/h

	$\frac{b}{h} < 2$	$2 \leq \frac{b}{h} < 4$	$4 \leq \frac{b}{h}$
Sin aberturas	BUENO	REGULAR	MALO
Con aberturas	REGULAR	MALO	MALO

Donde:

b = ancho del paño

h = altura del paño del último piso

5.4 FICHA TECNICA PARA LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACION

Para poder reunir la información necesaria para determinar la vulnerabilidad sísmica con los métodos seleccionados para tal efecto, se ha preparado una ficha técnica para ser llenada durante una visita de inspección al edificio. Esta ficha, ver Anexo B, contiene datos tanto cualitativos como cuantitativos, los que se detallan a continuación.

Antecedentes Generales

- I. **Nombre del edificio histórico.** En caso que el edificio no posea un nombre que lo identifique se usa otra referencia como por ejemplo la calle donde se ubica.
- II. **Ubicación:** Dirección del edificio.
- III. **Sector de Urbanización:** Sector en el que se encuentra el edificio según el sector usado por la Municipalidad.
- IV. **Uso actual:** El uso que se le está dando al edificio a la fecha.
- V. **Cantidad de Residentes:** Cantidad promedio máxima de personas que residen en el edificio.
- VI. **Fecha de Construcción:** Fecha o período en cual el edificio fue construido.
- VII. **Modificaciones, Daños y Reparaciones Previas:** En este espacio se enumerarán las modificaciones, los daños y las reparaciones que se han efectuado en el edificio de manera cualitativa.
- VIII. **Estado de Conservación:** En este espacio se marca con una cruz el campo que mejor describa el estado actual del edificio. Este puede ser bueno, regular o malo. En caso que el estado sea regular o malo se marca con una cruz los campos de recuperable o irrecuperable.

Características generales de la estructura

- I. **Número de Pisos:** Número de pisos, sin considerar los subterráneos, en la fecha de construcción y en la actualidad.
- II. **Número de Subterráneos:** Total de pisos subterráneos.
- III. **Superficie:** Metros cuadrados de la superficie que tiene el terreno que ocupa el edificio y la planta del edificio.

IV. Altura Total del Edificio: La altura medida desde el nivel de calle hasta la parte más alta de la fachada.

V. Tipo de Fundación: Los tipos de fundaciones en edificios históricos son tres:

- Zapata corrida: pueden ser de albañilería de piedra o de albañilería simple
- Pilotes: pueden ser de madera o acero
- Ninguna

VI. Sistema de Techo: La techumbre puede ser del tipo:

- Cercha con pendiente
- Cercha con techo plano
- Mansarda
- Otra. Por ejemplo losa

A su vez se indica la forma de como se apoya el techo sobre los muros, el material de cubierta y el material de la cercha y apoyos.

VII. Ubicación de la Estructura: Se indica en que posición con respecto a su entorno está la estructura. La ubicación puede ser:

- Intermedia
- Esquina
- Cabeza
- Aislado

VIII. Entorno: Se indican las características con respecto a su entorno.

- Desnivel de losa: se indica el máximo desnivel entre las losas del edificio y los edificios contiguos
- Homogeneidad: Se compara si la rigidez del edificio es comparable con la rigidez de los edificios vecinos.

IX. Desnivel de Terreno: Se indica la pendiente del terreno, en porcentaje, y la diferencia de cotas máxima de la planta.

X. Características de la Albañilería: Se resumen las características dimensionales de la albañilería, en cm.

- Largo de la unidad
- Ancho de la unidad
- Alto de la unidad
- Espesor de la junta horizontal de mortero
- Espesor de la junta vertical de mortero

Características de los Distintos Pisos

Plantas

- I. **Áltura Piso:** Altura libre del piso en metros.
- II. **Forma:** Rectangular u otra
- III. **Largo y Ancho:** Largo y ancho de la planta del piso en metros.
- IV. **Número de Ejes Resistentes:** Número de ejes resistentes en cada dirección de la planta.

Muros

- V. **Largo de Muros:** Largo total de los muros en metros en cada dirección de la planta.
- VI. **Espesor de los muros:** Se indica si el espesor de muros es uniforme para todo el piso. En caso de no ser así, se indica el espesor de muro de cada eje.
- XI. **Materiales de Construcción:** Se indica el material del cual esta construido el muro. La lista de los materiales está compuesta por aquellos que comúnmente se han ocupado para la construcción de edificios históricos:
 - i. Adobe
 - ii. Bloques de piedra
 - iii. Albañilería de Piedra
 - iv. Albañilería no reforzada
 - v. Albañilería reforzada
 - vi. Hormigón
 - vii. Hormigón armado
 - viii. Madera
 - ix. Acero
- VII. **Refuerzo de aberturas:** Se destaca la existencia de refuerzos de aberturas (SI/NO). En caso de existir pueden estar ubicados en cuatro posiciones y se indica su material.
 - Borde superior
 - Borde inferior
 - Borde laterales
 - Todo el contorno

VIII. Unión entre muros: Se destaca la existencia de unión entre muros (SI/NO). En caso de existir pueden ser de cuatro tipos y se indica su material.

- Trabazón parcial
- Trabazón completa
- Escuadra de esquina
- Viga collar

IX. Unión con Tabiques: Se destaca la existencia de unión entre tabiques y muros (SI/NO).

X. Esquinas no Rectas: Se destaca la existencia de esquinas no rectas (SI/NO). En caso que existan pueden ser redondas o ochavos.

XI. Sistema de Piso: Se indica el tipo de sistema de piso y si el piso es rígido o flexible. El sistema puede ser:

- Envigado con entablado
- Viguetas con bovedillas
- Losa de Hormigón armado
- Otro

Además se indica si hay desniveles en el piso y se indica la forma de apoyo que puede tener.

Elementos no Estructurales y Terminaciones

I. Tabiquería: Se indica su existencia (SI/NO), su material y la forma en que está conectada a la estructura.

II. Escalera: Se destaca la existencia de un sistema de escalera, el material del cual está construido. Además se indican las ornamentaciones que tiene y si éstas son pesadas o livianas y si están bien ancladas.

III. Contrafuertes: Se destaca la existencia de contrafuertes (SI/NO).

IV. Chimeneas: Se destaca la existencia de chimeneas (SI/NO).

V. Elementos No Estructurales: Se destaca la existencia de elementos no estructurales (SI/NO), si éstos son pesados o livianos y si están bien anclados.

VI. Ornamentaciones de Fachada: Se destaca la existencia de ornamentaciones de fachada (SI/NO), si éstas son pesadas o livianas y si están bien ancladas.

Daños

- I. Grietas:** Se marca el grado de daños que tiene la estructura según la definición modificada de la Escala Europea de Intensidades (Grünthal, 1998). El grado de daño se marca por piso y por elevación. La definición de los grados de daño se muestra en la tabla 5.10.

Tabla 5.10 – Grado de daño definida por la EEI

Grado de Daño	Descripción del Daño
Grado 0	<u>Sin daños</u>
Grado 1	<u>Daños ligeros:</u> Fisuras finas en estucos; caída de pequeños trozos de estuco
Grado 2	<u>Daños moderados:</u> Fisuras pequeñas en muros; caída de grandes trozos de estuco; corrimiento de tejas; caída de antepechos; grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales en las mismas.
Grado 3	<u>Daños graves:</u> Grietas grandes y profundas en los muros; caída de chimeneas o de otros elementos exteriores.
Grado 4	<u>Destrucción:</u> Grietas en los muros resistentes; derrumbamiento parcial; elementos de un edificio pierden su cohesión; derrumbamiento de muros interiores.
Grado 5	<u>Colapso:</u> Ruina completa de la construcción.

- II. Incendio:** Se marca el grado de deterioro por incendio de los elementos de la estructura para cada eje en cada piso. El deterioro se califica como bueno regular o malo.

Mantenición

- I. Humedad:** Se destaca el estado de los muros en relación con la humedad. Este se califica como bueno, regular o malo.
- II. Erosión:** Se destaca el estado de los muros en relación con el desgaste por la erosión. Este se califica como bueno, regular o malo.

CAPÍTULO 6

ESTUDIO DE CASOS

El objetivo de este Trabajo de Título es hacer una caracterización sísmico-estructural de edificios que forman el actual patrimonio histórico de la ciudad de Valparaíso y en especial de los edificios que han permitido que esta ciudad sea declarada Patrimonio de la Humanidad por parte de la UNESCO. Con este propósito se han seleccionado dos edificios construidos durante la segunda mitad del siglo XIX y que se ubican en la llamada Zona Típica de la ciudad.

Con este propósito se ha reunido información relacionada con sus características arquitectónicas (número de pisos, espesores de muros, alturas de muros, densidades de muros, porcentaje de aberturas por fachada, entre otras) y estructurales (tipo de material, sistema de pisos, sistema de techumbre, encuentro de muros de fachadas y muros interiores, etc).

Con la información reunida se calculan índices de vulnerabilidad sísmica propuestos para este tipo de edificios, índices con los cuales se puede relacionar las características de los edificios estudiados y el comportamiento observado de estos edificios patrimoniales de Valparaíso durante terremotos de alta magnitud sísmica como han sido los terremotos ocurridos en los años 1906, 1965, 1971 y 1985.

A continuación se presentan los antecedentes reunidos de los dos edificios seleccionados; Palacio Luis Cousiño y Palacio Subercaseaux. Para cada uno de los edificios se entrega en primer lugar los datos históricos reunidos y luego un resumen de la información obtenida durante la inspección en terreno, la que ha quedado plasmada en la ficha técnica que se entrega en el Anexo C. La ubicación de los dos edificios se indica en el mapa de la figura 6.1.



Figura 6.1 - Ubicación de los edificios históricos seleccionados de la ciudad de Valparaíso

6.1 PALACIO LUIS COUSIÑO

6.1.1 Datos históricos

Este palacio fue construido entre los años 1881 y 1883 por don Luis Cousiño, hijo único de Matías Cousiño y Loreto Squella. En los tiempos de Portales, Matías Cousiño era un modesto empleado de correos quién al enviudar se volvió a casar con la riquísima viuda Luz Gallo Goyenechea, la cual tenía una hija de su primer matrimonio, doña Isidora Goyonechea Gallo. La riqueza de la señora Luz permitió a Matías Cousiño despegar económicamente financiando los ferrocarriles de Copiapó-Caldera, de Valparaíso-Santiago, Asociación de Molineros, minas y fundiciones. Curiosamente el hijo de don Matías, Luis, se casó con la hija de doña Luz, Isidora.

El palacio está ubicado en lo que en algún momento fue la entrada de la *Cueva del Chivato*. Este sector fue ganado al mar para unir el sector de El Almendral y el Barrio Puerto (ver capítulo 2).

El proyecto es obra del arquitecto Esteban Orlando Harrington, también conocido por la construcción del Hotel Palace, las casonas de Gran Bretaña 766, del Pasaje Harrington y del Hotel Royal. El edificio es de estilo “Neo Barroco Francés” de proporciones clásicas y con elementos ornamentales como el cornisamiento horizontal que marca proporcionalmente los tres niveles del edificio, como se aprecia en la foto del edificio original mostrada en la figura 6.2, en ella se aprecia la ubicación del borde costero cuando se construyó el edificio.

La mansión se ubicaba en la calle el Cabo, hoy calle Blanco, es el único edificio testimonial de la antigua costanera, sector en la cual se aprecia el auge económico alcanzado por Valparaíso en la segunda mitad del siglo XIX.



Figura 6.2 – Foto del edificio original del Palacio Luis Cousiño.

El trazado vial que se observa actualmente como determinante de su forma de “edificio proa” o “cruce” no existió inicialmente. Al construir el edificio existía un trazado ferroviario que corría por lo que hoy es la calle Blanco y justamente en este punto se desviaba hacia el mar continuando por la actual calle Errázuriz. Este tendido ferroviario se había construido en 1871 y cuando la ciudad se amplió hacia el mar en 1913, la vía férrea se trasladó íntegramente a la posición de la actual Avenida Errázuriz, es decir al frente costero de este edificio. A comienzos de la década de 1930 se volvería a trasladar la línea del ferrocarril hacia el mar para construir la avenida Errázuriz.

El edificio ha sido ocupado como sede de El Club Alemán de Valparaíso, el club social más antiguo de Chile, fundado en 1838. A principios de los años 80 el escritor y poeta catalán Modesto Parera Casas formó una sociedad inmobiliaria para construir un edificio de 21 pisos de altura en el terreno del Palacio Luis Cousiño. Ante la oposición de la comunidad se decidió declararlo monumento nacional en agosto de 1994, siendo ocupado como centro cultural de la Municipalidad, en donde se presentaban obras teatrales y tocatas de grupos modernos.

Sin embargo, el edificio fue descuidado y terminó abandonado. En agosto del año 1997 el edificio se quemó, supuestamente producto de las fogatas que encendían los indigentes que lo habitaban, quedando sólo en pie los muros de albañilería, perdiéndose todos los pisos de madera y el techo. El subterráneo quedó prácticamente tapado hasta la mitad de su altura por los escombros.

Hoy en día este edificio se ha ganado el triste nombre de “La Ratonera” y su estado actual es el mostrado en la figura 6.3. El edificio sobrevivió a los terremotos de 1906 y 1985, aparentemente sin daños mayores, sin embargo su vulnerabilidad sísmica ha cambiado debido a su pobre estado de conservación y porque actualmente su techumbre, sistema de piso y vigas collares sobre el cual se apoyaba el sistema de piso ya no existen.

En la actualidad se están haciendo propuestas para recuperar este espacio, con una infraestructura interna moderna y manteniendo su fachada original.



Figura 6.3 – Estado actual del edificio Luis Cousiño

6.1.2 Información reunida en terreno

A continuación se hace una descripción de la estructura del edificio de acuerdo con los datos reunidos durante en la inspección visual hecha al edificio.

El Palacio Luis Cousiño es un edificio con 4 pisos y un subterráneo. El edificio tiene una planta de forma triangular con un primer piso que ocupa todo el terreno como se muestra en la figura 6.4 (Taller Intramuros, 2007).

El sistema estructural del edificio está compuesto por muros de albañilería distribuidos en dos ejes resistentes en la dirección longitudinal (Ejes 1 y 2 en la figura 6.4) y seis ejes resistentes en la dirección transversal (Ejes A a F en la figura 6.4). Los seis ejes resistentes de la dirección transversal de la planta del primer piso, están compuestos por un solo muro sin aberturas, con la excepción del muro del eje D que tiene una pequeña abertura. Los ejes

resistentes de la dirección transversal están separados entre sí por una distancia de 10 m aproximadamente.

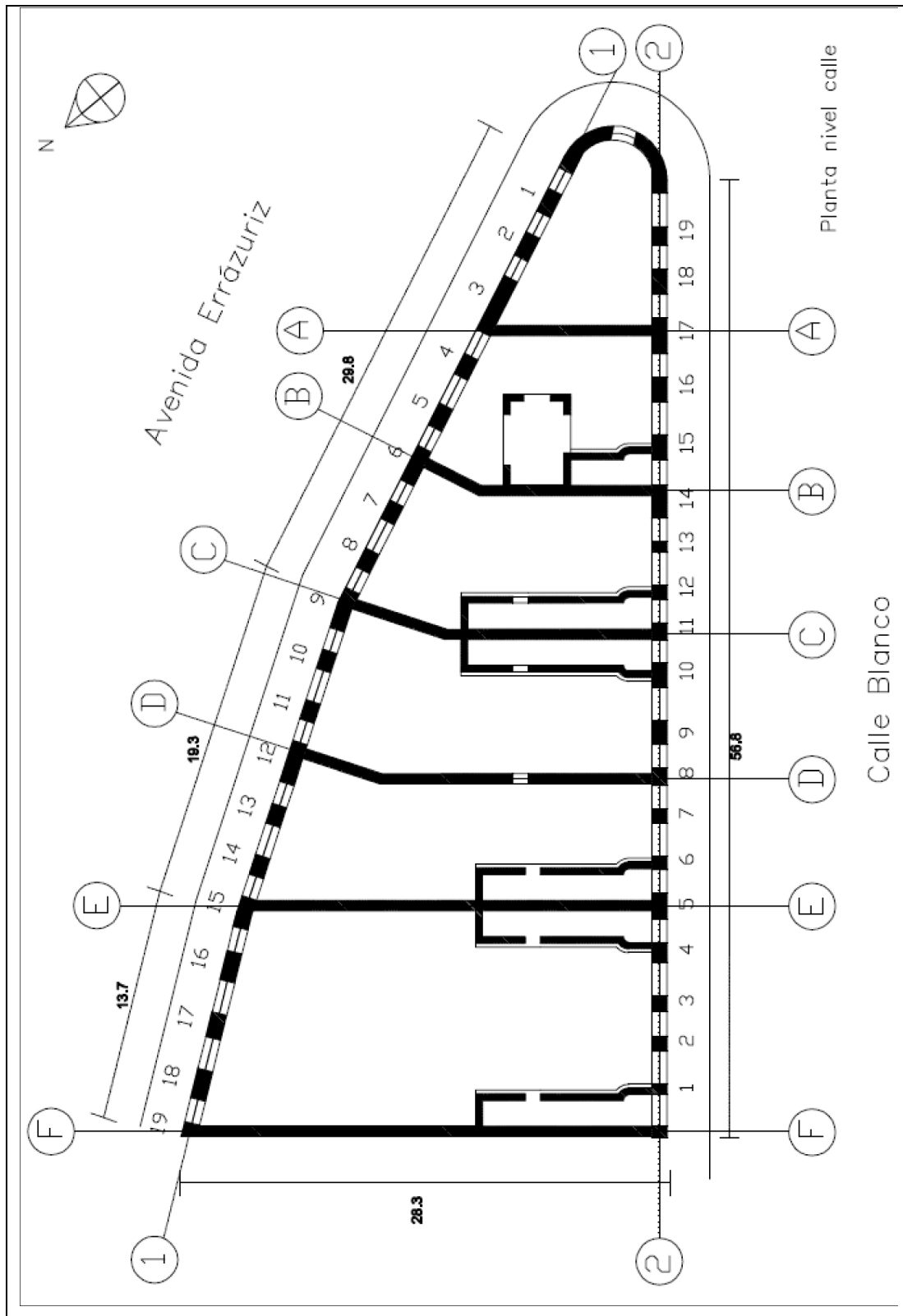


Figura 6.4 – Planta del primer piso

Por las características descritas, en una primera aproximación se puede aceptar que el edificio es de planta regular y considerando la distribución y separación entre los muros interiores, se puede considerar que en el momento que ocurre un sismo los efectos torsionales son de carácter secundario.

Como se muestra en la figura 6.5, los muros de los subterráneos son de albañilería de piedra, mientras que los muros de los primeros tres pisos son de albañilería sin refuerzo, ver figura 6.6. El cuarto piso era una mansarda de madera, algunos detalle de ella se muestran en la figura 6.7.



Figura 6.5 – Muro de albañilería de piedra del subterráneo

Las fundaciones no se pudieron revisar debido a que el subterráneo se encuentra lleno hasta la mitad de su altura por escombros. Los muros del subterráneo en la dirección longitudinal tienen un espesor de 110 cm y los muros en el sentido transversal un espesor de 79cm. Considerando la profundidad del basamento rocoso en el sitio donde se ubica el edificio, se puede

aceptar que los muros del subterráneo forman parte de la fundación del edificio, solución muy común en los edificios construidos a fines del siglo XIX y a comienzos del siglo XX.



Figura 6.6 - Muros de albañilería sin refuerzo del primer, segundo y tercer piso

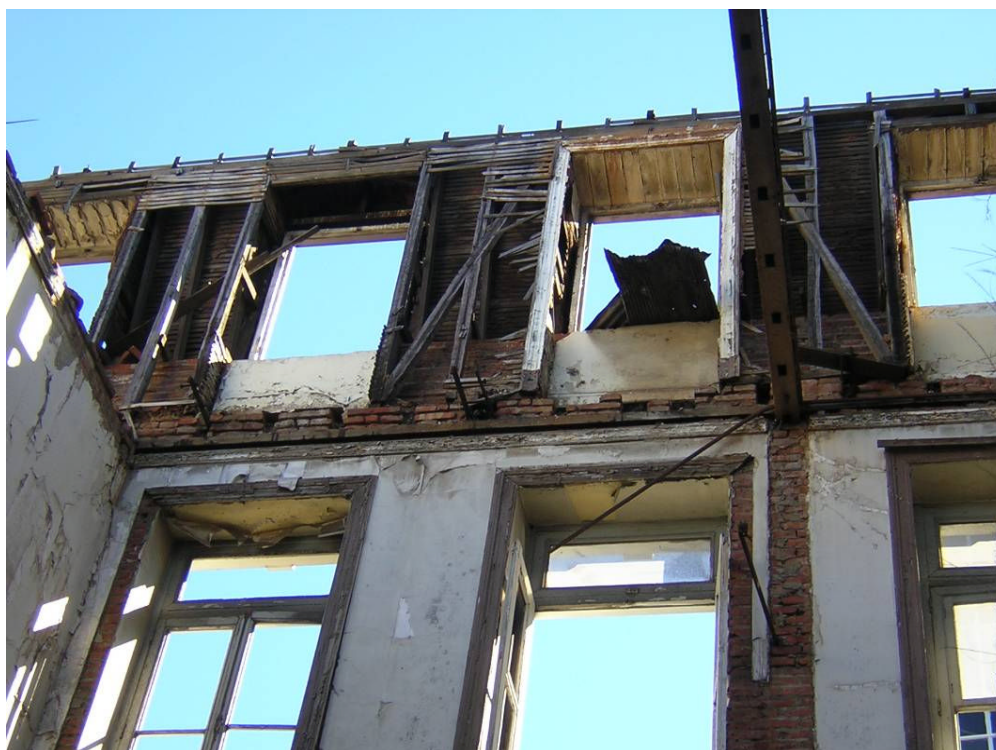


Figura 6.7 - Restos de la mansarda de madera

Adosados a los muros de los ejes B, C, E y F del primer piso se encuentran muros de albañilería apoyados sobre arcos de albañilería ubicados a nivel del subterráneo, los que se muestran en la figura 6.8, formando pequeñas bodegas como se aprecia en la planta de la figura 6.4. Estos muros no se conectan con el muro de la fachada (eje 1) y sólo están presentes en el primer piso, por lo tanto se consideran que corresponden más bien a tabiques interiores y no forman parte del sistema estructural sismorresistente.



Figura 6.8 – Tabiques interiores adosados a los muros transversales del primer piso

Las fachadas del edificio, ejes 1 y 2 según la planta de la figura 6.4, cuentan con numerosas aberturas de puertas y ventanas como se muestra en las elevaciones de la figura 6.9. Como se aprecia en esta figura, en el segundo piso sólo cuenta con aberturas de ventanas (cuadradas y redondas). En el tercer piso existen tanto aberturas de puertas como de ventanas, las puertas dan directamente a angostos balcones cuyas barandas están constituidas por balaustras. El cuarto piso era una mansarda de madera y debido al incendio es poco lo que se puede decir de sus características y del sistema de techo, salvo lo que se puede rescatar de la figura 6.2.

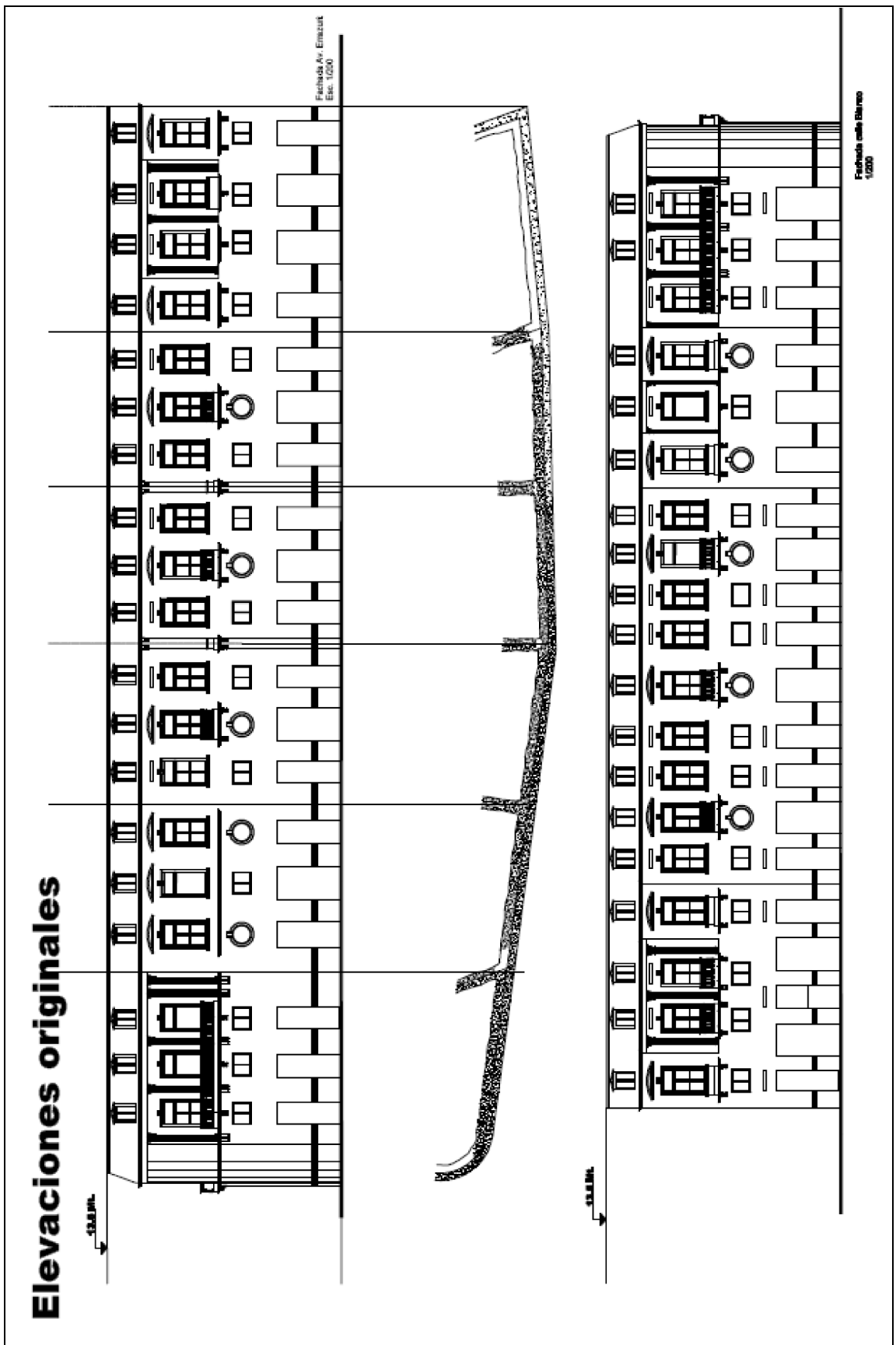


Figura 6.9 – Elevaciones de los ejes longitudinales del edificio Luis Cousiño (Taller Intramuros, 2007).

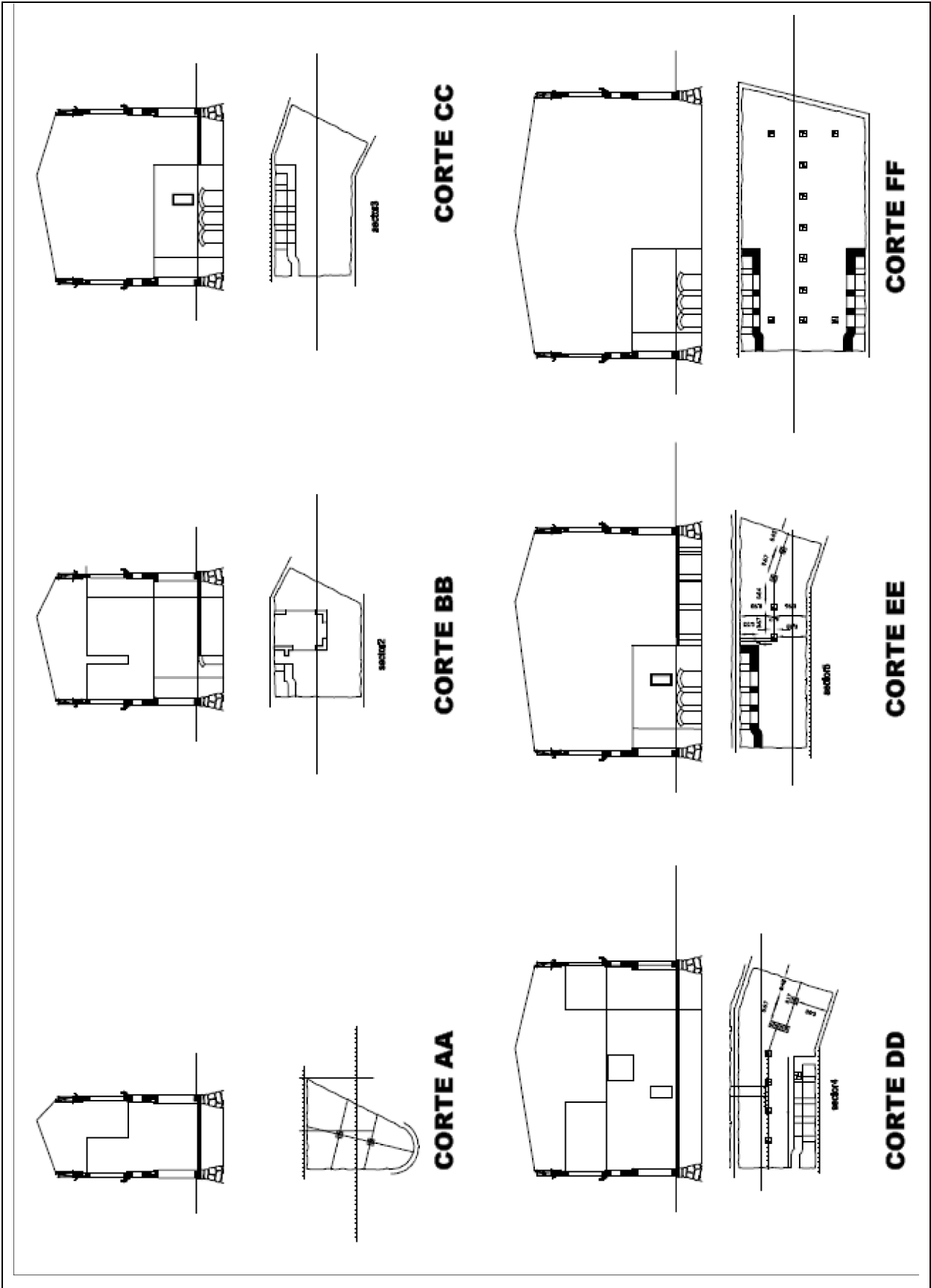


Figura 6.10 – Elevaciones de los ejes transversales del edificio Luis Cousiño (Taller Intramuros, 2007).

En general, se puede destacar que las aberturas ubicadas en un mismo piso forman muros (Machones) de un ancho y una altura parecida a lo largo de los ejes 1 y 2. En cambio, en la dirección transversal sólo en el eje D existe una abertura constituida por una pequeña puerta, de un metro de ancho y 2.5 m de alto, a la altura del primer piso y una ventana cuadrada de 2.9 m de lado en el segundo piso, que conectan un patio del edificio con otro. Estas propiedades del edificio reafirman su regularidad. Todos los muros transversales se muestran en la figura 6.10.

Es importante destacar que las aberturas del primer piso se encuentran actualmente tapadas por paños de albañilería simple, como se muestra en las elevaciones de la figura 6.11. Esta situación puede modificar el comportamiento observado de la estructura y puede considerarse más bien positiva para el primer piso ya que el área de muros de las fachadas es mayor que la original.

Las alturas de los pisos son las siguientes: 4.2 m en el primer piso, 2.3 m en el segundo, 3.2 m en el tercero y una altura estimada de la mansarda de 3.8 m. Por lo tanto la altura total del edificio sería de 13.5 m aproximadamente.

En relación con las terminaciones, las fachadas prácticamente no tienen ornamentaciones, excepto algunas pequeñas columnas insertas en los muros y los coronamientos de las puertas del tercer piso, como se puede apreciar en la figura 6.11. Esta característica es una gran diferencia con respecto a otros edificios históricos como son los edificios de la calle Huito con calle Condell, de El Mercurio y del Club Naval. Esta diferencia se aprecia en la figura 6.11 al comparar las fachadas del palacio Luis Cousiño y la fachada del edificio El Mercurio. Esta característica es importante, ya que significa que el edificio no cuenta con masas adicionales que aumentan la vulnerabilidad sísmica de la estructura.

La albañilería del edificio está hecha con ladrillos sin huecos de arcilla y probablemente con un mortero de cal y arena como se acostumbraba en la época. Las dimensiones de los ladrillos y el espesor de las juntas de mortero se indican en la tabla 6.1.



Figura 6.11 – Terminaciones de las fachadas del Palacio Luis Cousiño y del edificio el Mercurio

Tabla 6.1 - Dimensiones de los ladrillos y de las juntas de mortero, en cm

Largo del ladrillo	39
Ancho del ladrillo	19
Altura del ladrillo	6,5
Espesor de la junta horiz.	2
Espesor de la junta vert.	1

El aparejo usado en la construcción de los muros, a lo largo de ellos, se muestra en la figura 6.12.



Figura 6.12 - Aparejo de la albañilería a lo largo de los muros

Los espesores de los muros de las fachadas (eje 1 y 2 en la figura 6.4) son de 90 cm en el primer piso, de 59 cm en el segundo y de 39 en el tercero. En los ejes transversales (ejes A, B, C, D, E y F en la figura 6.5) el espesor es de 59 cm en los primeros dos pisos, y de 39 cm en el tercero. Para lograr estos espesores, los muros de los ejes A, B, C, D, E y F del primer y segundo piso están formados a lo ancho por un ladrillo a lo largo y uno a lo ancho, como se muestra en la figura 6.13. En el tercer piso, el ancho del muro se logra colocando los ladrillos de cabeza en una hilada y dos ladrillos a lo ancho en las hiladas vecinas, como se detalla en la figura 6.14.

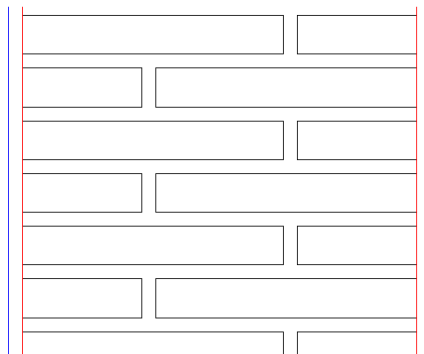


Figura 6.13 – Detalle de colocación de los ladrillos a lo ancho de los muros de los ejes A, B, C, D, E y F en los pisos 1º y 2º (muros de 90 cm de espesor).

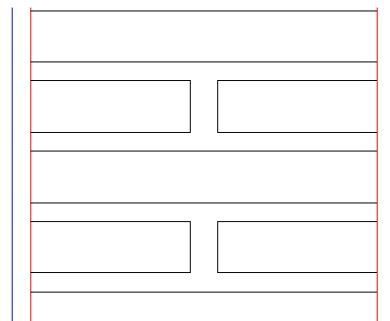


Figura 6.14 - Detalle de colocación de los ladrillos a lo ancho de los muros de los ejes A, B, C, D, E y F en el 3er. piso (muros de 39 cm de espesor).

La conexión entre los muros se materializa por trabazón total de las unidades de albañilería, como se muestra en la figura 6.15. Esto da cuenta de que los muros se apoyan entre si, aumentando la capacidad de resistir sismos.



Figura 6.15 - Trabazón en el encuentro de muros

El sistema de piso estaba conformado por un envigado de madera recubierto con un entablado (Taller Intramuros, 2007). Las vigas de madera se apoyaban sobre una viga collar de madera que estaba inserta en el muro y que rodeaba el perímetro del edificio. Las dimensiones de las vigas eran de 12'' x 3'' y las de la viga collar de 4'' x 6'', ambas vigas eran de pino oregón, madera de gran calidad que se ha conservado muy bien en numerosos edificios centenarios. En el tercer piso el entablado se apoyaba directamente sobre el muro; detalles de estos pisos se muestran en las figuras 6.16 a 6.20.

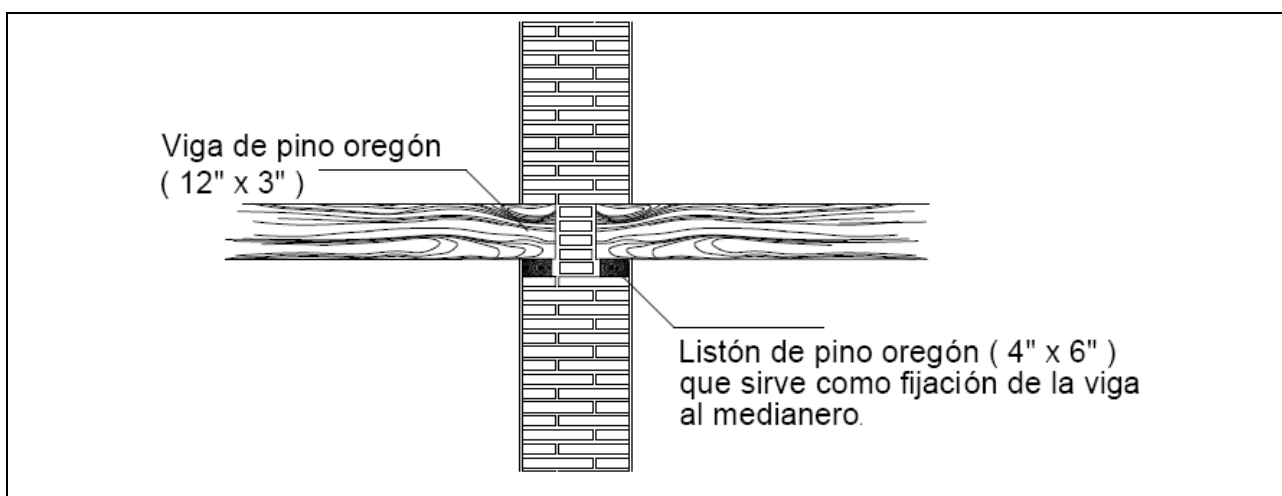


Figura 6.16 – Detalle del apoyo del sistema de piso en los ejes interiores (Taller Intramuros, 2007).



Figura 6.17 - Huecos en donde se apoyaban las vigas del piso y viga collar



Figura 6.18 - Viga collar en una esquina

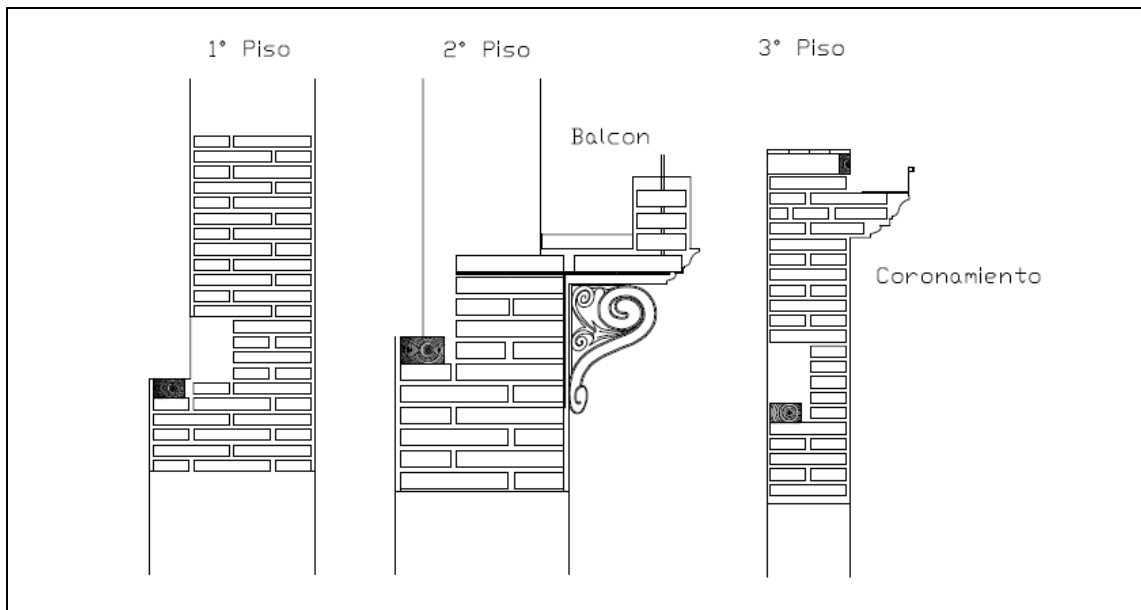


Figura 6.19 - Detalle del apoyo de sistema de piso en los muros de las fachadas (Taller Intramuros, 2007).

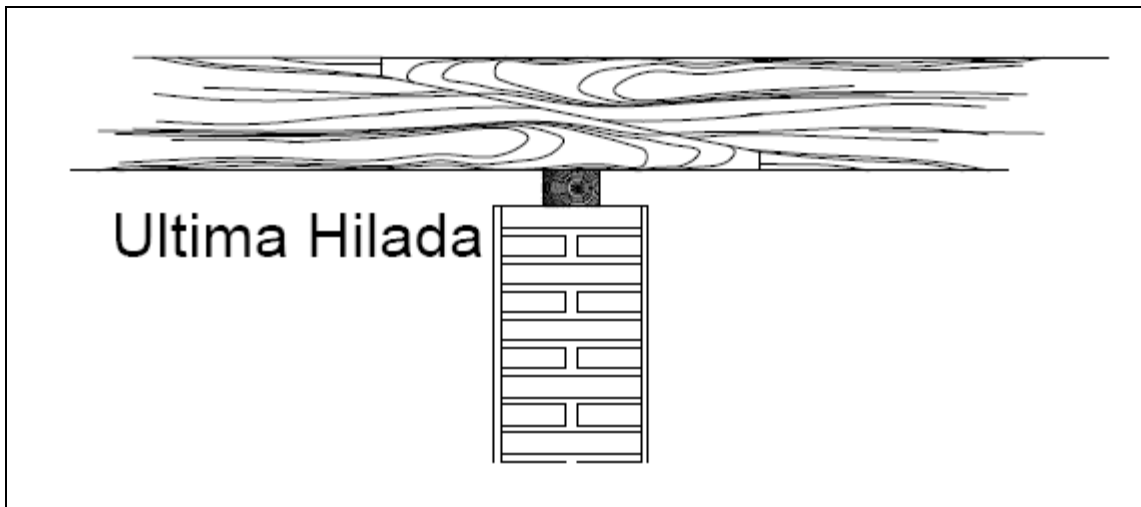


Figura 6.20 - Apoyo del sistema de piso en ejes interiores del 3° piso (Taller Intramuros, 2007)

Teniendo en cuenta las dimensiones de las vigas del sistema de piso, la separación entre ellas y la existencia de un entablado, se puede considerar que el sistema de piso tiene la rigidez suficiente para lograr un trabajo conjunto de los muros, contribuyendo las vigas collar a lograr una unión del sistema de piso con los muros. En la actualidad, esta característica se ha perdido debido al incendio, y por lo tanto la vulnerabilidad sísmica de esta estructura ha aumentado si se compara con la vulnerabilidad de la estructural original que resistió los terremotos de 1906 y 1985.

Por último se hizo una verificación del estado en que se encuentran los muros, el cual se puede calificar en general como bueno. Los muros prácticamente no presentan fisuras e incluso en algunos de ellos conservan el estuco, como se muestra en la figura 6.21. Solamente en los ejes C, D y F se aprecian grietas, la que en el peor de los casos (sólo una) puede calificarse como de un grado 2 de daño (MSK, 1964). La humedad ha afectado a los muros aparentemente sólo por fuera. No se observan erosiones de los ladrillos salvo en los muros de los ejes D, E y F. Por último, es conveniente destacar que el daño producido por el incendio afecta a todo el edificio, aunque los muros no sufrieron mucho por ser de albañilería, la estructura perdió todos los pisos, las vigas collar, las escaleras, la mansarda, etc.



Figura 6.21 - Estucos que se conservan

6.1.3 Dimensiones del edificio y de sus muros y peso de la estructura

En las tablas 6.2 a 6.11 se entregan las dimensiones del edificio necesarias para calificar su vulnerabilidad estructural con los índices destacados en el capítulo 5. Los muros se identifican de acuerdo con la figura 6.4 y las dimensiones se obtuvieron del trabajo del “Taller Intramuros” del Departamento de Arquitectura de la Universidad Técnica Federico Santa María, segundo

semestre 2007. En la tabla 6.10 se entregan los pesos sísmicos y el peso total de la estructura. El detalle de la cubicación de estos pesos se entrega en el Anexo D.

Tabla 6.2 - Altura de los pisos del edificio

Piso N°	Altura [m]
1	4.2
2	2.3
3	3.2
Mansarda	3.8
Total	13.5

Tabla 6.3 - Largo total de los ejes 1 y 2.

Eje	Largo [m]
1	62.00
2	56,44

Tabla 6.4 - Dimensiones de los muros (machones) del eje 1 por piso.

Piso N° 1				Piso N° 2				Piso N° 3			
Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]	
L101	157	h101	365	L201	171	h201	110	L301	161	h101	245
L102	159	h102	365	L202	160	h202	110	L302	150	h102	292
L103	354	h103	365	L203	366	h203	110	L303	361	h103	245
L104	140	h104	365	L204	181	h204	106	L304	176	h104	245
L105	149	h105	365	L205	180	h205	110	L305	175	h105	245
L106	228	h106	365	L206	233	h206	106	L306	229	h106	245
L107	127	h107	365	L207	160	h207	110	L307	152	h107	245
L108	130	h108	365	L208	159	h208	106	L308	154	h108	292
L109	256	h109	365	L209	264	h209	110	L309	254	h109	245
L110	126	h110	365	L210	157	h210	110	L310	151	h110	245
L111	126	h111	365	L211	157	h211	106	L311	151	h111	292
L112	251	h112	365	L212	259	h212	110	L312	251	h112	245
L113	128	h113	365	L213	160	h213	110	L313	155	h113	245
L114	131	h114	365	L214	162	h214	106	L314	155	h114	292
L115	192	h115	365	L215	204	h215	110	L315	194	h115	245
L116	180	h116	365	L216	249	h216	106	L316	230	h116	245
L117	156	h117	365	L217	167	h217	110	L317	175	h117	245
L118	181	h118	365	L218	247	h218	106	L318	228	h118	245
L119	94	h119	365	L219	109	h219	110	L319	98	h119	245
Suma	3267			Suma	3745			Suma	3602		

Tabla 6.5 - Dimensiones de los muros del eje 2 por piso.

Piso N° 1				Piso N° 2				Piso N° 3			
Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]	
L101	104	h101	357	L201	100	h201	110	L301	82	h301	245
L102	57	h102	357	L202	230	h202	110	L302	199	h302	292
L103	88	h103	357	L203	153	h203	110	L303	108	h303	292
L104	87	h104	357	L204	238	h204	110	L304	199	h304	245
L105	87	h105	357	L205	188	h205	110	L305	147	h305	245
L106	176	h106	357	L206	122	h206	106	L306	80	h306	292
L107	81	h107	357	L207	128	h207	110	L307	80	h307	245
L108	100	h108	357	L208	112	h208	110	L308	71	h308	245
L109	138	h109	357	L209	183	h209	106	L309	136	h309	292
L110	137	h110	357	L210	182	h210	110	L310	136	h310	245
L111	100	h111	357	L211	109	h211	110	L311	69	h311	245
L112	83	h112	357	L212	126	h212	106	L312	79	h312	292
L113	67	h113	357	L213	110	h213	110	L313	68	h313	245
L114	185	h114	357	L214	209	h214	106	L314	167	h314	245
L115	142	h115	357	L215	195	h215	110	L315	149	h315	245
L116	138	h116	357	L216	183	h216	106	L316	136	h316	245
L117	206	h117	357	L217	223	h217	110	L317	176	h317	292
L118	146	h118	357	L218	156	h218	110	L318	117	h318	292
L119	111	h119	357	L219	148	h219	110	L319	109	h319	292
Suma	2233			Suma	3093			Suma	2309		

Tabla 6.6 – Largo de los ejes A, B, C, D, E y F del primer piso.

Eje	Largo total del eje [m]	Ancho Abertura, cm ¹
A	11,30	-
B	15,62	-
C	19,80	-
D	22,66	100
E	25,37	-
F	28,84	-

(1) Abertura en el primer piso

Tabla 6.7 - Distancia entre los muros transversales de la fachadas longitudinales, ejes 1 y 2

Tramo	Distancia [m]
0-A	11,5
A-B	8,8
B-C	9,5
C-D	9,4
D-E	9,9
E-F	13,7

Tabla 6.8 - Espesor, largo y área de la sección transversal de los muros por ejes en el primer piso.

Eje	Espesor [cm]	Largo de Muros por eje, [m]	Area ¹ [m ²]
1	90	32,67	29,40
2	90	22,33	20,10
Ax		Suma	49.50
A	59	11.30	6.67
B	59	15.62	9.21
C	59	19.80	11.68
D	59	21.66	12.78
E	59	25.37	14.97
F	59	28.84	17.02
Ay		Suma	72.33

(1) El área resulta de la multiplicación de la longitud de muros por eje por el espesor.

Tabla 6.9 - Esbeltez máxima de las fachadas

	Espesor [cm]	Ancho libre max. ¹ [m]	Esbeltez horizontal	Altura max. ² [m]	Esbeltez Vertical
Calle Errazuriz	90	13.7	15.2	9.7	10.8
Calle Blanco	90	12.8	14.2	9.7	10.8
Eje D	59	22.7	38.4	9.7	16.4

(1) Ver tabla 6.7

(2) Corresponde a la suma de las alturas del 1°, 2° y 3° piso (ver tabla 6.2).

Tabla 6.10 – Pesos sísmicos y peso total de la estructura

Piso	W ₀
1 ¹	801
2	511
3	393
P_T²	2217

(1) No contempla el peso de la mitad inferior del primer piso

(2) El peso total contempla todo el peso del primer piso

Tabla 6.11 – Participación en el peso de cada parte del sistema estructural

Muros	88.0%
Sistema de piso	6.3%
Sistema de techo	5.6%

6.1.4 Cálculo de los índices de vulnerabilidad del edificio del palacio Luis Cousiño

6.1.4.1 Índice de densidad de muros por unidad de piso, d_n

Conocida el área total de la planta, 1063 m^2 , y la suma de las áreas de muros en cada dirección de la planta, ver tabla 6.8, con la ecuación 5.4 se obtienen los valores del índice d_n de la tabla 6.12. En esta tabla se entrega además la densidad de muros del edificio del primer piso, $d = n \cdot d_n$.

Tabla 6.12– Índice d_n y d , en %

	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
$d_n^{(1)}$	1,55	2,27
d	4,66	6,80

(1) No se considera la mansarda como un piso, (2) $n = 3$

6.1.4.2 Índices de Lourenço y Roque, γ_i

b.1 Porcentaje de área de muros en planta, γ_1 .

El índice γ_1 de Lourenço y Roque, ver ecuación 5.5, coincide con el índice de densidad de muros d de la tabla 6.12. Por lo tanto, los valores de γ_1 son:

$$\gamma_{1,x} = 4.66\% \quad \text{Dirección longitudinal}$$

$$\gamma_{1,y} = 6.80\% \quad \text{Dirección transversal}$$

Conocidas las áreas de muros en ambas direcciones, su suma resulta $A_{PM} = 121.83 \text{ m}^2$, con lo cual de la ecuación 5.7 se obtiene la rigidez lateral para cada dirección de la planta, resultando:

$$\% A_x = 40.6\%$$

$$\% A_y = 59.4\%$$

Con estos valores, se comprueba que en este caso la rigidez en ambas direcciones es prácticamente la misma.

b.2 Relación entre el área de muros en una dirección de la planta y el peso del edificio, γ_2 .

Conociendo de la tabla 6.8 las áreas de muros en cada dirección de la planta y el peso total de la estructura de la tabla 6.10, se puede calcular el índice γ_2 con la ecuación 5.8, resultando:

$$\gamma_{2,x} = 0.022 \frac{m^2}{tonf}$$

$$\gamma_{2,y} = 0.033 \frac{m^2}{tonf}$$

b.3. Índice de seguridad global, γ_3 .

Para la determinación del parámetro C_s de la ecuación 5.9, se hace uso del coeficiente de corte basal recomendado por la norma sísmica chilena NCh433Of 96 cuando se aplica el método estático de análisis, suponiendo que el período fundamental de la estructura es igual o menor que 0.3 s y que el suelo es de tipo II (ver propiedades del perfil de suelo en el capítulo 4). Los valores que resultan de C_s se entregan en la tabla 6.13, para lo cual se usó la ecuación siguiente:

$$C_{\min} \leq C_s = \frac{2.75 \cdot A_o}{g \cdot R} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n \leq C_{\max}$$

Tabla 6.13 – Cálculo de C_s según norma NCh433 of 96 para la zona sísmica 3.

Aceleración efectiva	Ao	0.4 g
Factor de modificación de la respuesta	R	2
Período fundamental de la estructura	T*	0.3 s
Parámetros del tipo de suelo (Tipo II)	T'	0.35
	n	1.33
	S	1.00
Coficiente sísmico	C	0.68
Coficiente sísmico mínimo	C_{min}	0.07
Coficiente sísmico máximo	C_{max}	0.36

Por otro lado, como la resistencia al corte τ_m de este tipo de albañilería es incierta, se supondrá una resistencia mínima de 20 tonf/m² y una máxima de 30 tonf/m².

El peso total de la estructura es el peso total indicado en la tabla 6.10.

Con estos valores el índice γ_3 que resulta es el indicado en la tabla 6.14.

Tabla 6.14 – Índice γ_3 para el Palacio Luis Cousiño

	$\tau_m = 20 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$	$\tau_m = 30 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$
$\gamma_{3,x}$	1.24	1.86
$\gamma_{3,y}$	1.81	2.72

Con la ecuación 5.9 es posible determinar el coeficiente sísmico C_s necesario para alcanzar un estado crítico, lo que ocurre cuando $\gamma_3 = 1.00$. En la tabla 6.15 se resumen los valores de los coeficientes C_s para que se produzca esta condición.

Tabla 6.15 – Valores de C_s para una condición crítica

	$\tau_m = 20 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$	$\tau_m = 30 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$
Dirección X	0.45	0.67
Dirección Y	0.65	0.98

La densidad de muros en la dirección más desfavorable es satisfactoria y la densidad de muros en ambas direcciones son comparables. Los valores de γ_3 están por encima del valor límite 1, incluso en su caso más desfavorable. Como este edificio ha resistido los terremotos de 1906 y 1985 sin daño y tomando en cuenta el valor del corte basal más desfavorable, se puede concluir que el corte basal en esta zona de Valparaíso nunca ha sido mayor a 0.45. Sin embargo, el índice γ_2 en la dirección longitudinal es inferior al límite 3.25 m²/MN (0.0325 m²/tonf) propuesto por Roque para sismos de gran magnitud. Esto no significa necesariamente que el edificio tenga

deficiencias, sino mas bien que este valor límite tiene que ser revisado para la zona de Valparaíso, ya que en la práctica este edificio ha resistido dos grandes sismos.

6.1.4.3 Índice de Gallegos, I

Con la información entregada en los puntos 6.1.2 y 6.1.3 se calcula el índice de Gallegos, utilizando las expresiones del punto 5.2.2.a. Los valores que resultan son:

$$I_o = 0.46$$

$$I = 0.39$$

El detalle de los cálculos de estos índices se entregan en el Anexo E.

El índice de vulnerabilidad para este método está en el rango intermedio (entre 0.30 y 0.45), y por lo tanto no están en una situación crítica. Sin embargo Gallegos propone que se haga una revisión más exhaustivas a las estructuras que estén en este rango.

6.1.4.4 Índice GNDT, I_v

Al igual que en el índice anterior, para calcular el índice GNDT se hace uso de la información entregada en los puntos 6.1.2 y 6.1.3. Los valores utilizados en la ecuación 5.12 se detallan en el Anexo E, resultando los valores de I_v siguientes:

a. Ficha de viviendas

$$I_v = 0.15 \quad \text{Antes del incendio}$$

$$I_v = 0.22 \quad \text{Posterior al incendio}$$

b. Ficha de edificios grandes

$$I_v = 0.35 \quad \text{Antes del incendio}$$

$$I_v = 0.41 \quad \text{Posterior al incendio}$$

El Palacio Luis Cousiño también está en una situación intermedia (entre 0.20 y 0.40) según la ficha de edificios grandes. Sin embargo la situación sería menos crítica si se ocupa la ficha de vivienda. Esto se debe a que la característica 3 pasa de una calificación B en la ficha de vivienda a una D en la ficha de edificios grandes. Se considera que una calificación D para esta característica es demasiado severa, y por lo tanto se considera válido el resultado de la ficha de vivienda. Como la característica 3 de la ficha de edificios grandes está calibrada en base a las características de los edificios de albañilería italianos, los límites no reflejan la realidad chilena, ya que este tipo de edificios, siendo regulares y bien construidos, han resistido sismos grandes en el país.

6.1.4.5 Vulnerabilidad ante acciones perpendiculares al plano de los muros.

Usando el criterio establecido en el punto 5.3 y los valores que se entregan en las tablas 6.2 y 6.9, se obtiene la situación destacada en la tabla 6.16.

Tabla 6.16 – Efecto de la acción perpendicular al plano de los muros.

t	90 cm	1° nivel
b	13.7 m	
H	9.7 m	
h	2.9 m	
aberturas	SI	
H/t	10.8	Bueno
b/h	4.7	Malo

Como se puede apreciar en la tabla 6.16 la relación H/t tiene un valor que la permite calificar como buena. Sin embargo la relación b/h es insuficiente, y dista de estar cerca del valor correspondiente a una calificación REGULAR. Tomando en cuenta que este edificio ha resistido los terremotos de 1906 y 1985 sin daños, los valores límites quedan cuestionados ante la evidencia empírica y deberían ser revisados.

6.2 PALACIO SUBERCASEAUX

6.2.1 Datos históricos

Este edificio fue construido el año 1895 en el Barrio Puerto, ver figura 6.22, por el reconocido arquitecto chileno Fermín Vivaceta. Según Jiménez y Ferrada (Jiménez y Ferrada, 2006), el edificio fue construido entre 1881 y 1889.

El edificio está ubicado entre la plaza Echaurren y la plaza Sotomayor entre las calles Serrano y Cochrane y los pasajes Almirante Pérez Gacitúa y Almirante Luis Goñi, es uno de los edificios más antiguos de este sector y fue el primer hotel de este barrio.

El edificio tiene dos pisos en la fachada que da hacia calle Serrano y tres pisos en la fachada que da hacia la calle Cochrane y se caracteriza por su alto nivel estilístico en sus decoraciones y terminaciones de la fachada por la calle Serrano, correspondiendo al estilo historicista tardío, con rasgos eclécticos. Esto queda de manifiesto por tener vanos en el primer piso con aberturas para el comercio, ver figura 6.23, y en el segundo piso una composición de columnas circulares, frisos y ventanas decoradas, como se puede apreciar en la figura 6.24. Por estas características se ha considerado como un edificio de valor histórico – artístico.



Figura 6.22 – Vista del segundo piso de la fachada de la calle Serrano (antes del incendio)



Figura 6.23 – Vista del primer piso por la calle Serrano (antes del incendio)

El 3 de febrero del año 2007 a las 8:30 hrs. una fuerte explosión sacudió la calle Serrano dejando 4 muertos, cuantiosos heridos, 31 inmuebles con daños graves, 5 inmuebles completamente destruidos por las llamas y el impacto de la explosión (entre ellos el Palacio Subercaseaux) y la caída de postes del tendido eléctrico. La explosión desató un voraz incendio, dejando en pie solamente las fachadas y parcialmente los muros interiores del Palacio Subercaseaux que en ese momento albergaba 22 departamentos y 4 locales comerciales; parte de los daños se muestran en la figuras 6.24 y 6.25.



Figura 6.24 – Estado de la fachada de calle Serrano tras la explosión



Figura 6.25 – Estado de la fachada de calle Serrano tras la explosión

6.2.2 Información reunida en terreno

A continuación se entrega la información que se reunió al hacer una visita al edificio, el cual se encontraba en el estado que quedó tras el incendio del 3 de febrero de 2007. El subterráneo estaba lleno de escombros hasta el primer nivel y de los muros sólo quedaban las cuatro fachadas y parte de los muros interiores. En el momento de la visita se realizaban obras de apuntalamiento las que consistían en la colocación de una viga doble T de acero que rodea el edificio (viga collar) a la altura del segundo y tercer nivel.

El edificio es de planta rectangular, como se muestra en el esquema de la figura 6.26, con dos fachadas principales de las cuales una da hacia calle Serrano y la otra hacia calle Cochrane, calles entre las cuales existe un desnivel de 66 cm. Las otras dos fachadas dan hacia el pasaje Almirante Goñi y Almirante Pérez Gacitúa (ver figura 6.27). De las cuatro fachadas, sólo la que da hacia calle Serrano tiene un gran valor arquitectónico (ver figura 6.22), el resto son más bien simples y sin ornamentaciones.

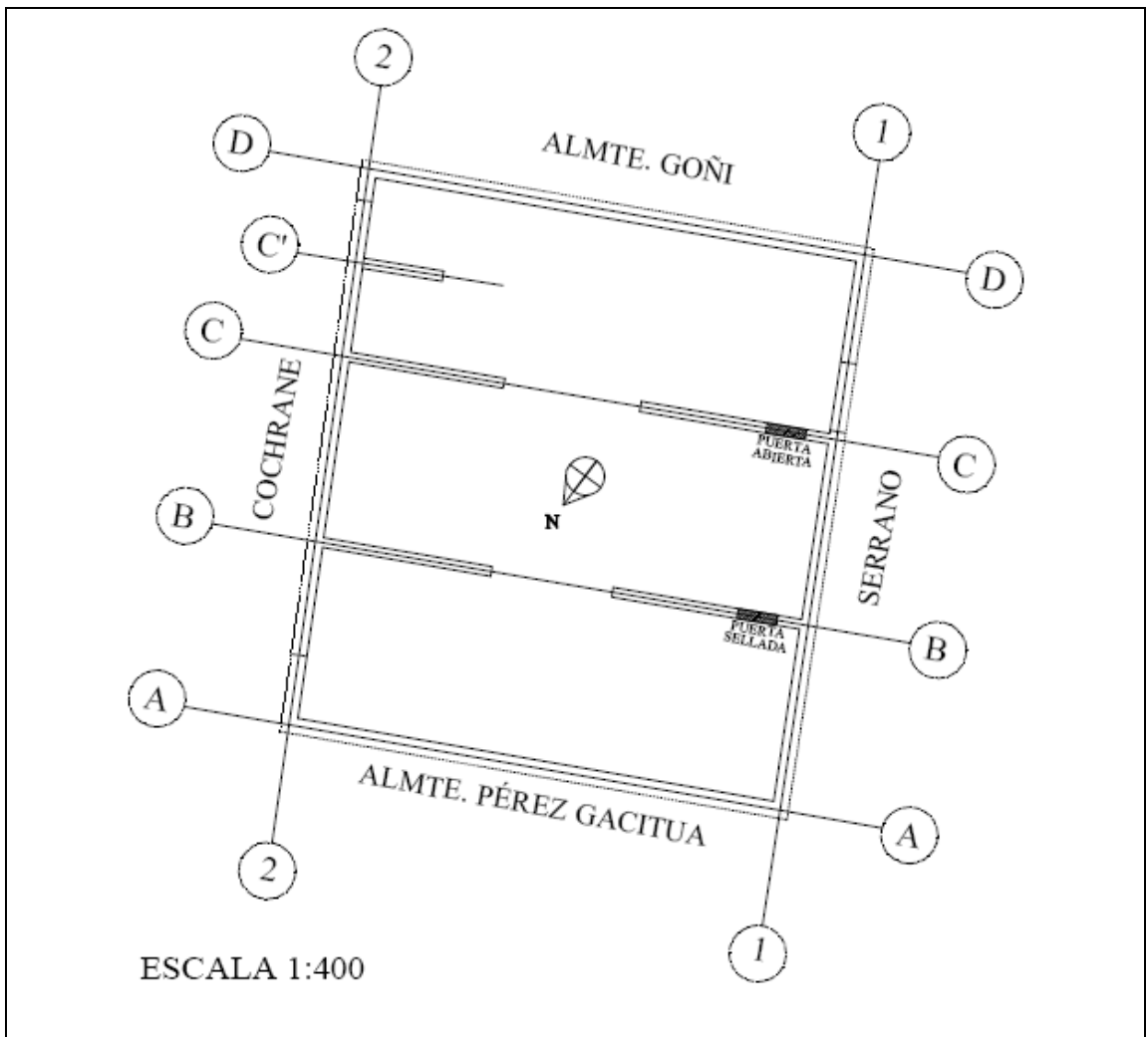
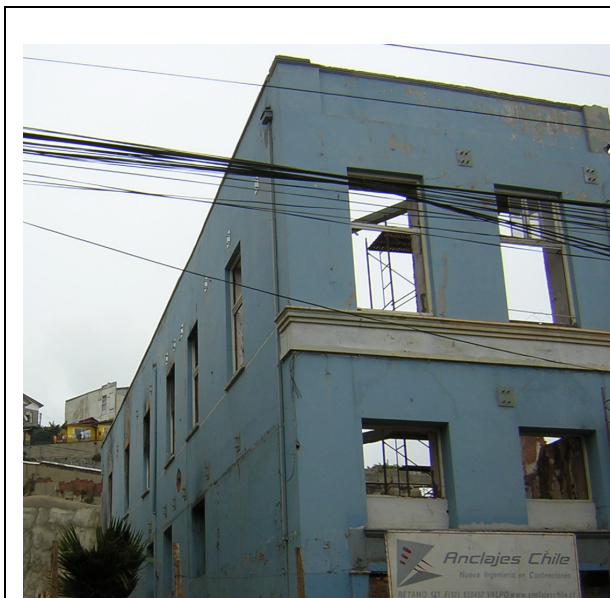


Figura 6.26 – Esquema de la planta del edificio del Palacio Subercaseaux



Pasaje Almirante Luis Goñi



Pasaje Pérez Gacitúa

Figura 6.27 – Fachadas a la calle Cochrane, al pasaje Almirante Luis Goñi y Pérez Gacitúa.

La fachada principal tiene 2 pisos y una mansarda, ver figura 6.28, y un entrepiso sobre el primer nivel que servía de bodegas para los locales comerciales ubicados en la planta baja. Los arcos de la fachada cubrían tanto el primer piso como el entrepiso. En el centro del segundo piso se encuentran 4 columnas que forman una terraza, la cual se encuentra flanqueada por otras dos columnas que están integradas a los muros. El lado izquierdo y el lado derecho del segundo piso están formados por 5 arcos y bajo tres 3 de estos se encuentran pequeñas terrazas (ver figura 6.28).

Por la calle Cochrane el edificio tiene tres pisos además de la mansarda y dos entradas, las que mediante una escalera de madera llevaban directamente a los pisos superiores. Las fachadas que dan hacia los pasajes son sencillas y con pocas ventanas y puertas (Ver figura 6.29).

Al interior del inmueble existían dos ejes resistentes cuya elevación se muestra en la figura 6.30; además existía un pequeño muro (eje C', que sólo está presente en el primer piso). Además en el interior del edificio existía una estructura de forma rectangular que formaba la caja de escala. Esta estructura era de albañilería sin refuerzo la cual no estaba conectada con el resto de la estructura, actualmente esta caja de escala ya no existe.



Figura 6.28 – Fachada a la calle Serrano.

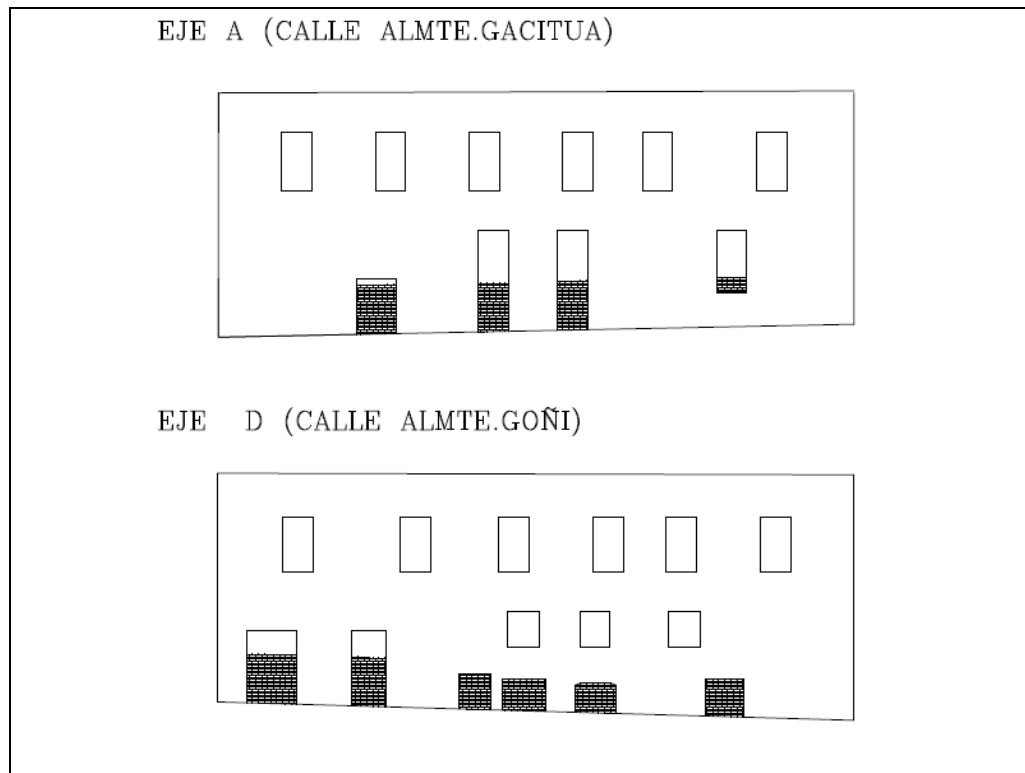


Figura 6.29 - Elevaciones a los pasajes

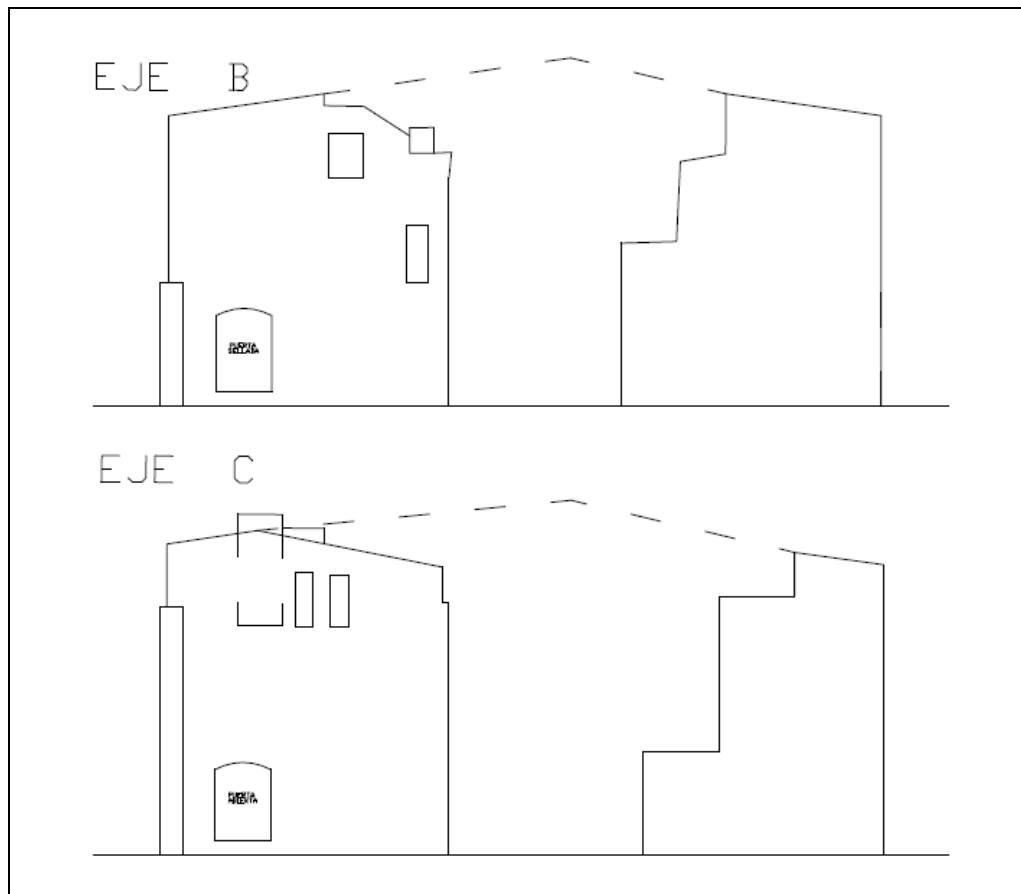


Figura 6.30 - Elevación de los ejes interiores B y C

Atendiendo a la distribución de los muros interiores de este edificio se puede considerar que no existen efectos torsionales.

Todos los muros son de albañilería de ladrillo sin refuerzo, ver figura 6.31, con excepción de los muros del subterráneo, los cuales son de albañilería de piedra. La mansarda era un entramado de madera y se integra con la estructura del techo, ver figura 6.32.



Figura 6.31 - Muros de albañilería sin refuerzo del segundo y tercer piso de la fachada por calle Cochrane



Figura 6.32 - Columnas y mansarda de fachada principal por calle Serrano.

Las fundaciones no se pudieron revisar, ya que el subterráneo fue rellenado después de que se quemara el edificio el 3 de febrero del 2007.

El espesor de los muros de las cuatro fachadas es de 85 cm en el primer piso, reduciéndose a 62 cm en el resto de la altura, con excepción de la fachada de calle Cochrane, que mantiene el espesor de 85 cm en toda su altura. Los muros de los ejes resistentes interiores tienen un espesor de 62 cm en toda su altura; además existe una “mocheta” (eje C’) del mismo espesor que sólo está presente en el primer piso, por sus dimensiones se considerará que no forma parte del sistema resistente. En el segundo piso de las fachadas de la calle Serrano y los pasajes Almirante Luis Goñi y Pérez Gacitúa se produce una reducción del espesor a 62 cm.

Las columnas tienen una altura de 4.2 m y cuentan con pedestales y capiteles, El diámetro de las columnas es variable, en el primer tercio tiene 50 cm, en el segundo de 43 cm y en el tercero de 40 cm.

Las dos fachadas principales cuentan con numerosas aberturas. En el caso de la fachada de la calle Cochrane estas aberturas son bastante regulares en cuanto a su ubicación y distribución en cada uno de los pisos (ver figura 6.33). Las aberturas de la fachada de la calle Serrano no presentan la misma regularidad y es así como en el primer piso y el entrepiso tienen alturas distintas a lo largo de toda la fachada y no están distribuidas de manera regular. Lo mismo sucede con el ancho de estas aberturas. El segundo piso está compuesto por aberturas con arcos en los costados y por una parte abierta (terrace) que está compuesta por columnas; estos dos arreglos son regulares y mantienen distribuciones y proporciones adecuadas. En general los elementos de muro que dejan las aberturas en la fachada de la calle, Serrano son bastante esbeltos en su propio plano.



Figura 6.33 – Fachada a la calle Cochrane

Las fachadas laterales tienen pocas aberturas y los muros que se forman entre ellos tienen largos que en promedio superan los 3 m. Sin embargo las alturas de estas aberturas son muy irregulares en el primer piso, ver figura 6.29, por lo tanto se tomó la altura mayor para caracterizar estos machones.

Actualmente las aberturas del primer piso del edificio han sido selladas con paños de albañilería sin refuerzo de 2.5 m de altura, como se muestra en la figura 6.34.



Figura 6.34 – Detalle de paños que sellan las aberturas de 1° piso

Todas las fachadas rematan en una cornisa. En la fachada de la calle Serrano esta cornisa mide alrededor de 0.80 m de altura y 1.5 m en las fachadas laterales.

Este edificio sólo tiene ornamentaciones en la fachada de la calle Serrano. Estas ornamentaciones consisten básicamente en arcos postizos que delinean los arcos del segundo piso, y capiteles y pedestales decorados en las columnas. Además, cuenta con un antepecho ornamentado a lo largo de la parte superior del segundo piso. Por último hay que destacar la mansarda de madera, la que por sus ventanas con antepechos y tejuelas de madera, le daba un valor agregado al inmueble. Aunque este edificio posee ornamentaciones, se puede afirmar que ellas son sobrias, no muy pesadas y reducidas en cantidad, representando un caso intermedio entre el Palacio Luis Cousiño y el edificio El Mercurio. Detalle de estas terminaciones se muestran las figuras 6.35 y 6.36



Figura 6.35 - Detalle de capitel de las columnas, antepechos y arcos del 2° piso por calle Serrano



Figura 6.36 - Detalle de capitel de las columnas, antepechos y arcos del 2° piso calle Serrano

Los muros de albañilería están contruidos con ladrillos de arcilla sin huecos, ver figura 6.37, con un mortero probablemente de cal y arena. Las dimensiones de los ladrillos y de los espesores de las juntas de mortero se indican en la tabla 6.17.

Tabla 6.17 - Dimensiones de ladrillos y espesor de las juntas de mortero, en cm

Largo del ladrillo	41
Ancho del ladrillo	20
Altura del ladrillo	5
Espesor de la junta horiz.	2
Espesor de la junta vert.	1~2



Figura 6.37 - Ladrillo y aparejo de los muros de albañilería

El aparejo usado para dar el espesor de los muros de 85 cm consiste en dos ladrillos a lo largo y cuatro a lo ancho. El aparejo para formar los muros de 62 cm consta de un ladrillo a su largo y uno a lo ancho (ver figura 6.38 y 6.39).

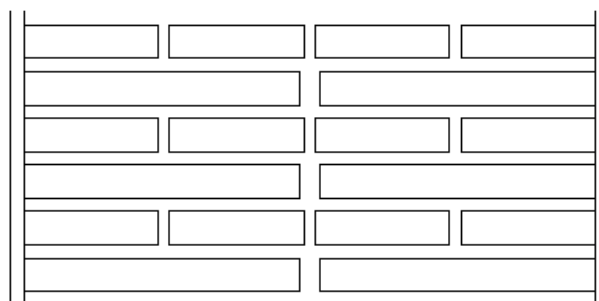


Figura 6.38 - Aparejo para lograr el espesor de los muros de albañilería de 85 cm.

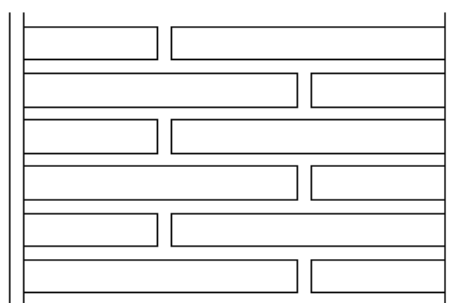


Figura 6.39 - Aparejo para lograr el espesor de los muros de albañilería de 62 cm

La conexión entre los muros no se pudo observar en terreno, ya que los encuentros se encuentran estucados. Lo más probable es que sea de trabazón completa, como se ha observado en otros edificios de Valparaíso construidos en la misma época.

El sistema de piso de este edificio es semejante al del edificio del Palacio Luis Cousiño (ver sección 6.1.2) en lo que se refiere al apoyo y a los elementos que lo forman. Sin embargo no se tiene información sobre el tipo de madera del cual estaba construido. Al igual que en el edificio del Palacio Luis Cousiño, el sistema de piso y la techumbre de este edificio no sobrevivieron al incendio. Hoy en día sólo se pueden observar los huecos y las vigas que apoyaban las vigas del envigado de piso, ver figura 6.40. La cubierta de la techumbre que existía previamente al incendio consistía de planchas de zinc.



Figura 6.40 - Huecos en los muros de albañilería donde se apoyaba las vigas del sistema de piso.

La tabiquería al interior de este edificio estaba construida con un entramado de madera revestido con listones de madera estucados con barro; ninguna de estas tabiquerías sobrevivió el incendio.

En general, el estado de conservación de la estructura se puede calificar entre regular a malo después del incendio, aunque a simple vista los muros no presentan daños estructurales. Lo mismo sucede con los daños debido a la humedad, y que todos los muros de albañilería se ven erosionados por fuera, sin comprometer la junta de mortero; el muro más erosionada se ubica en el eje B del primer piso.

Posteriormente al incendio, han quedado al descubierto algunos refuerzos y muchas modificaciones que ha sufrido el edificio a lo largo del tiempo. En primer lugar se puede constatar de la presencia de una viga doble T para reforzar una ventana del eje D en su parte superior, ver figura 6.41.



Figura 6.41 - Viga metálica de refuerzo en ventana

Además, la mayoría de las aberturas en los muros del primer piso han sido modificadas y se han incluido refuerzos de hormigón armado, ya sea mediante un refuerzo de hormigón embebido en los bordes laterales de las aperturas o como vigas de hormigón en la parte superior de la abertura. Estas intervenciones llegan a tal punto que incluso se suprimió uno de los arcos en el primer piso, dando lugar a un simple marco de hormigón, como se aprecia en la figura 6.42 y 6.43.



Figura 6.42 – Refuerzos de abertura



Figura 6.43 – Modificación abertura de la fachada a calle Serrano

Después del incendio, para evitar el derrumbe de las fachadas se colocó una viga collar de acero de sección transversal doble T. Esta viga rodea toda la estructura por dentro a la altura de la parte superior del primer piso y de la parte superior del tercer piso. Estas vigas están sujetas por unas placas metálicas que van por adentro y por afuera de la estructura y que se han apernadas entre ellas (Ver figura 6.44).

La viga doble T está puesta con su eje fuerte hacia el muro para dar apoyo a la fachada fuera de su plano y así impedir su volcamiento hacia la calle. La viga es continua en todo el perímetro y está apuntalada (ver figura 6.45 y 6.46).

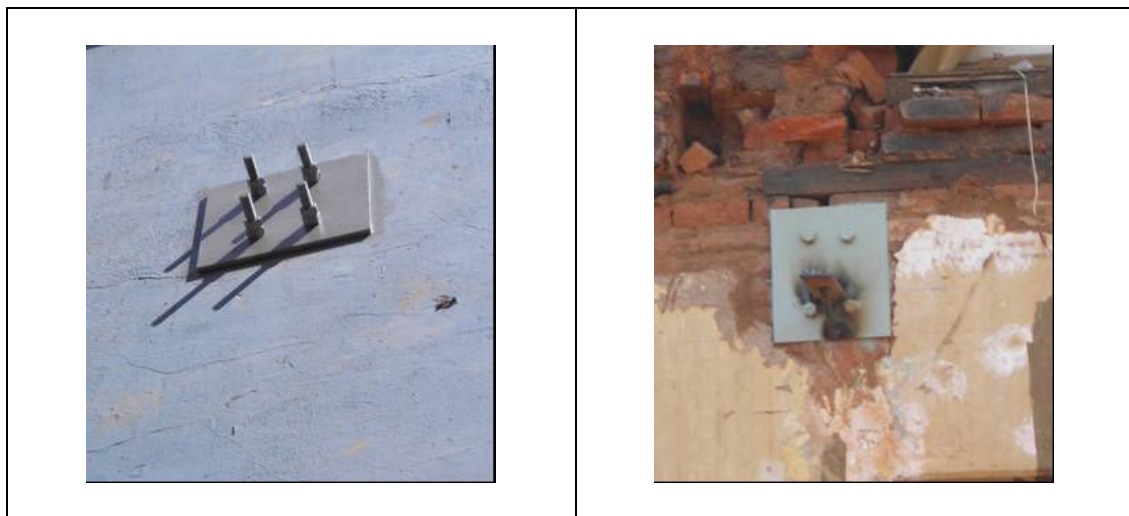


Figura 6.44 – Apoyos de la viga collar metálica



Figura 6.45 – Vista de la viga metálica



Figura 6.46 – Vista del sistema de apuntalamiento.

6.2.3 Dimensiones del edificio y de los muros y el peso de la estructura.

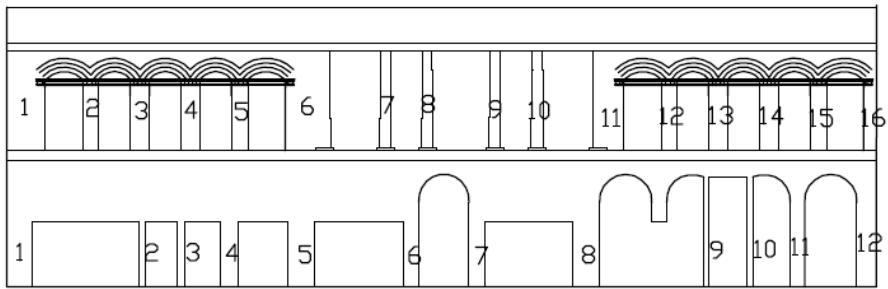
En las tablas 6.18 a 6.29 se entregan las dimensiones del edificio necesarias para calificar su vulnerabilidad estructural con los índices destacados en el capítulo 5. Los muros y ejes se identifican de acuerdo con la figura 6.47. Además, en la tabla 6.30 se resumen los pesos de la estructura, los que resultan de una cubicación que está detallada en el Anexo D.

Las dimensiones fueron obtenidas del levantamiento que hizo la Oficina de Gestión Patrimonial de Valparaíso.

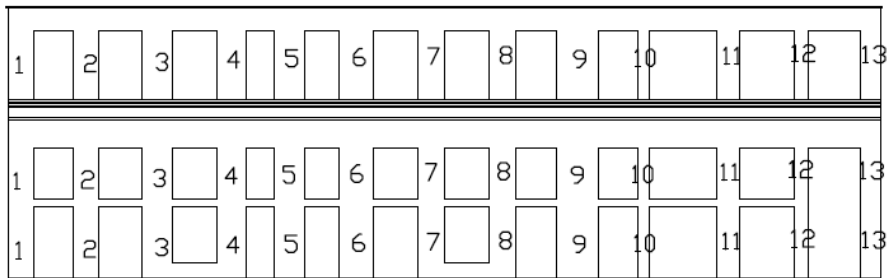
Tabla 6.18 - Altura de los pisos

Piso	Altura [m]	
	Cochrane	Serrano
1	3.3	5.8
2	4.2	
3	3.6	5.6
Mansarda	3.2	3.6
Total	14.3	15

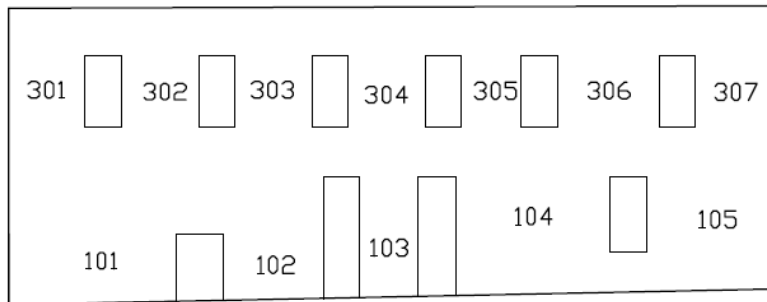
ELEVACION CALLE SERRANO



ELEVACION CALLE COCHRANE



ELEVACION CALLE ALMTE.GACITUA



ELEVACION CALLE ALMTE.GOÑI

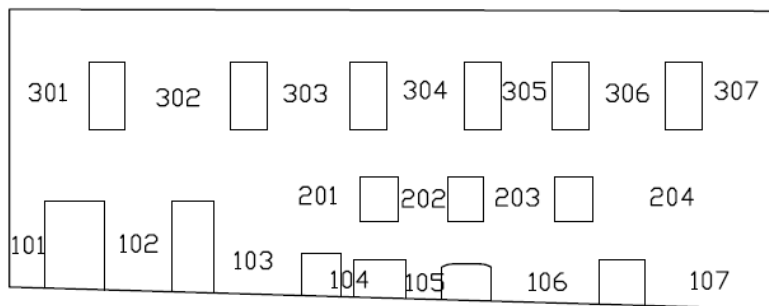


Figura 6.47 – Numeración de los machones

Tabla 6.19 - Largo total de los ejes resistentes 1 y 2 del primer piso.

Eje	Largo [m]
1	36.6
2	36.5
A	32.3
B	32.5
C	32.6
D	32.7

Tabla 6.20 - Dimensiones de los elementos verticales del eje 1 en el primer y tercer piso.

Piso N° 1				Piso N° 2			
Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]	
L101	103	h101	274	L201	160	h201	332
L102	28	h102	479	L202	65	h202	332
L103	30	h103	274	L203	80	h203	332
L104	83	h104	274	L204	80	h204	332
L105	110	h105	274	L205	70	h205	332
L106	67	h106	469	L206	188	h206	419
L107	70	h107	470	L207	40	h207	419
L108	113	h108	471	L208	40	h208	419
L109	22	h109	469	L209	40	h209	419
L110	25	h110	469	L210	40	h210	419
L111	61	h111	469	L211	127	h211	419
L112	82	h112	469	L212	65	h212	332
				L213	80	h213	332
				L214	80	h214	332
				L215	70	h215	332
				L216	54	h216	332
Suma	794			Suma	1279		

Tabla 6.21 - Dimensiones de los elementos verticales del eje 2 por piso.

Piso N° 1				Piso N° 2				Piso N° 3			
Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]	
L101	109	h101	287	L201	109	h201	218	L301	109	h301	290
L102	107	h102	287	L202	107	h202	218	L302	107	h302	290
L103	126	h103	233	L203	126	h203	218	L303	126	h303	290
L104	126	h104	233	L204	126	h204	218	L304	126	h304	290
L105	126	h105	287	L205	126	h205	218	L305	126	h305	290
L106	143	h106	287	L206	143	h206	218	L306	143	h306	290
L107	111	h107	233	L207	111	h207	218	L307	111	h307	290
L108	112	h108	233	L208	112	h208	218	L308	112	h308	290
L109	175	h109	287	L209	175	h209	218	L309	175	h309	290
L110	48	h110	287	L210	48	h210	218	L310	48	h310	290
L111	97	h111	287	L211	97	h211	218	L311	97	h311	290
L112	63	h112	287	L212	63	h212	218	L312	63	h312	290
L113	84	h113	547	L213	84	h213	218	L313	84	h313	290
Suma	1427			Suma	1427			Suma	1427		

Tabla 6.22 - Dimensiones de los muros del eje A en el primer y tercer piso.

Piso N° 1				Piso N° 3			
Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]	
L101	700	h101	283	L301	320	h301	302
L102	418	h102	512	L302	322	h302	302
L103	247	h103	506	L303	322	h303	302
L104	648	h104	315	L304	322	h304	302
L105	544	h105	315	L305	251	h305	302
				L306	425	h306	302
				L307	340	h307	302
Suma	2557			Suma	2302		

Tabla 6.23 - Dimensiones de los muros del eje D por piso.

Piso N° 1				Piso N° 2				Piso N° 3			
Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]		Largo del machón [cm]		Altura del machón [cm]	
L101	150	h101	364	L201	1468	h201	184	L301	332	h301	283
L102	280	h102	375	L202	206	h202	184	L302	443	h302	283
L103	367	h103	385	L203	300	h203	184	L303	344	h303	283
L104	56	h104	170	L204	775	h204	184	L304	326	h304	283
L105	153	h105	154					L305	215	h305	283
L106	451	h106	170					L306	321	h306	283
L107	559	h107	190					L307	320	h307	283
Suma	2016			Suma	2749			Suma	2301		

Tabla 6.24 - Dimensiones de los muros del eje interior B¹.

Muro	Largo del muro [cm]	Altura Total del muro [m]
L101	250	13.40
L102	799	11.5-14.15
Discontinuo		
L103	251	7.43
L103	220	11.27
L103	699	13.18-14.15
Suma	2219	

Tabla 6.25 - Dimensiones de los muros del eje interior C¹.

Muro	Largo del muro [cm]	Altura Total del muro [cm]
L101	246	14.32
L102	804	13.07-14.6
Discontinuo		
L103	343	4.67
L103	343	11.7
L103	400	13.18-13.74
Suma	2136	

(1) Para estos muros se indica la altura total del muro, ya que sólo tienen una abertura de consideración en el primer. La altura total de los muros cambia a lo largo del eje, ver figura 6.30, y por lo tanto se tiene en un mismo muro distintas alturas.

Tabla 6.26 - Distancia entre los muros transversales a los muros de la fachadas longitudinales, ejes 1 y 2⁽¹⁾

Tramo	Cochrane [m]	Tramo	Serrano [m]
A-B	10.9	A-B	10.9
B-C	11.3	B-C	11.3
C-C'	5.3	C-D	11.0
C'-D	5.1		

(1) Se diferencian las distancias de la fachada de la calle Serrano y la de la calle Cochrane porque existe un machón en el primer piso designado como eje C'.

Tabla 6.27 - Espesor, largo y área de la sección transversal de los muros de cada eje del primer piso

Eje	Espesor [cm]	Largo del Muro [m]	Area [m ²] ¹
1	85	7.9	6.75
2	85	14.3	12.13
Ax	Suma		18.88
A	85	25.6	21.73
B	62	22.2	13.76
C	62	21.4	13.24
D	85	20.2	17.14
Ay	Suma		65.87

(1) Se consideraron todos los muros del primer piso, incluso aquellos que se podrían considerar como columnas por las dimensiones de su sección transversal.

Tabla 6.28 - Esbeltez máxima de las fachadas de la estructura

	Espesor [cm]	Ancho libre max. ⁽¹⁾ [m]	Esbeltez horizontal [-]	Altura max. [m]	Esbeltez vertical [-]
Calle Serrano	85	11.27	13.3	12.1	14.2
Calle Cochrane	85	11.27	13.3	11.4	13.4
Psje. Alte. Gacitúa	85	32.24	37.9	12.4	14.6
Psje. Alte. Goñi	85	32.24	37.9	12.5	14.7

(1) Ver tabla 6.26

Tabla 6.29 - Pendiente del terreno donde se ubica edificio

Desnivel	0.66
L	32.2
Pendiente	2.05%

Tabla 6.30 - Pesos sísmicos y peso total de la estructura

Piso	W₀
1 ¹	622
2	613
3	461
P_T²	1992

(1) No contempla el peso de la mitad inferior del primer piso

(2) El peso total contempla todo el peso del primer piso

Tabla 6.31 – Participación en el peso de cada parte del sistema estructural

Muros	87.1%
Sistema de piso	6.3%
Sistema de techo	6.6%

6.2.4 Cálculo de los índices de vulnerabilidad del edificio del Palacio Subercaseaux

6.2.4.1 Índice de densidad de muros por unidad de piso, d_n

Conocida el área total de la planta, 1184 m², y la suma de las áreas de muros en cada dirección de la planta, ver la tabla 6.27, con la ecuación 5.4 se obtienen los valores del índice d_n , los que se detallan en la tabla 6.32. En la tabla 6.32 se entrega además la densidad de muros del edificio en el primer piso, $d = n \cdot d_n$.

Tabla 6.32 - Índice d_n y d , en %

	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
$d_n^{(1)}$	0.53 %	1.85 %
d	1.59 %	5.56 %

(1) Número de pisos considerado 3, no se considera la mansarda.

6.2.4.2 Índices de Lourenco y Roque, γ_i

b.1 Porcentaje de área de muros en planta, γ_1 .

El índice γ_1 , ver ecuación 5.5, coincide con el índice de densidad de muros d de la tabla 6.32. Por lo tanto los valores de γ_1 son:

$$\gamma_{1,x} = 1.59\% \quad \text{Dirección longitudinal}$$

$$\gamma_{1,y} = 5.56\% \quad \text{Dirección transversal}$$

Además, conocidas las áreas de muros en ambas direcciones (ver tabla 6.27), su suma es $A_{PM} = 121.83 \text{ m}^2$ y así con la ecuación 5.7 se obtiene la rigidez lateral en cada dirección, resultando:

$$\% A_x = 22.3\%$$

$$\% A_y = 77.7\%$$

Con estos valores, se comprueba que en este caso la rigidez en ambas direcciones es diferente.

b.2 Relación entre el área de muros en una dirección de la planta y el peso del edificio, γ_2 .

Con las áreas de muros en cada dirección de análisis y el peso total de la estructura, se puede calcular el índice γ_2 conforme a la ecuación 5.8, resultando:

$$\gamma_{2,x} = 0.0095 \frac{\text{m}^2}{\text{tonf}}$$

$$\gamma_{2,y} = 0.033 \frac{\text{m}^2}{\text{tonf}}$$

b.3 Índice de seguridad global, γ_3 .

Para la determinación del parámetro C_s de la ecuación 5.9, se hace uso de la ecuación 6-2 de la norma sísmica chilena NCh433Of 96, suponiendo que el período fundamental de la

estructura es igual o menor que 0.30 s y que el suelo es de tipo I (ver propiedades del perfil de suelo en el capítulo 4). Los valores que resultan de C_s se entregan en la tabla 6.33, para lo cual se usó la ecuación siguiente:

$$C_{\min} \leq C_s = \frac{2.75 \cdot A_o}{g \cdot R} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n \leq C_{\max}$$

Tabla 6.33 – Cálculo de C_s según norma NCh433 of 96 para la zona sísmica 3.

Aceleración efectiva	A_o	0.4 g
Factor de modificación de la respuesta	R	2
Período fundamental de la estructura	T*	0.30 s
Parámetros del tipo de suelo (Tipo I)	T'	0.20 s
	n	1.00
	S	0.9
Coefficiente sísmico	C	0.37
Coefficiente sísmico mínimo	C_{min}	0.07
Coefficiente sísmico máximo	C_{max}	0.32

Por otro lado, como la resistencia al corte τ_m de este tipo de albañilería es incierta, se supondrá una resistencia mínima de 20 tonf/m² y una máxima de 30 tonf/m².

El peso total de la estructura es el peso total indicado en la tabla 6.30. Con estos valores el índice γ_3 que resulta es el indicado en la tabla 6.34.

Tabla 6.34 – Índice γ_3 para el Palacio Subercaseaux

	$\tau_m = 20 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$	$\tau_m = 30 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$
$\gamma_{3,x}$	0.58	0.88
$\gamma_{3,y}$	2.04	3.06

En la tabla 6.35 se resumen los valores de Cs para la condición crítica descrita en el capítulo 6.1.

Tabla 6.35 – Cs para la condición crítica

	$\tau_m = 20 \frac{tonf}{m^2}$	$\tau_m = 30 \frac{tonf}{m^2}$
Dirección X	0.19	0.28
Dirección Y	0.66	0.99

La densidad de muros en la dirección longitudinal es muy baja, incluso para edificaciones modernas. Por lo tanto las densidades de muros en ambas direcciones no son comparables ($\% A_x = 22.3\%$), lo que puede significar grandes distorsiones en caso de un sismo. El índice γ_2 en la dirección longitudinal es muy inferior al límite ($3.25 \text{ m}^2/\text{MN}$) propuesto por Roque para sismos de gran magnitud, pero no en la otra dirección. Los valores de γ_3 están por debajo del valor límite 1, incluso si se supone una buena calidad del material. En la otra dirección el índice está por encima del límite. Por otro lado, si se calcula el valor Cs para la condición crítica, estos no resultan ser muy altos. En el caso de que el material sea de buena calidad sería de 0.28, lo cual se podría dar eventualmente en un sismo de gran magnitud. Si es de baja calidad, Cs sería 0.19, lo cual es probable incluso para sismos de mediana consideración.

6.2.4.3 Índice de Gallegos, I

Con la información cualitativa y cuantitativa de los puntos 6.2.2 y 6.2.3, se puede calcular el índice de Gallegos. Los valores que resultan son los siguientes:

$$I_o = 0.46$$

$$I = 0.46$$

Los valores de los parámetros ocupados para obtener este resultado se pueden encontrar en el Anexo E.

El índice I anteriormente calculado está en el rango que Gallego define como *intermedio* (ver Anexo A). Por lo tanto su situación no es crítica, pero requiere de una inspección más exhaustiva.

6.2.4.4 Índice GNDT, I_v

Al igual que en el índice anterior, para calcular el índice GNDT se hace uso la información entregada en los puntos 6.2.2 y 6.2.3. Los valores utilizados en la ecuación 5.12 se detallan en el Anexo E, resultando los valores de I_v siguientes:

a. Ficha de viviendas

$I_v = 0.11$	Antes del incendio
$I_v = 0.25$	Posterior al incendio

b. Ficha de viviendas de albañilería.

$I_v = 0.28$	Antes del incendio
$I_v = 0.40$	Posterior al incendio

En el caso que el edificio estuviera en su estado original, su vulnerabilidad sería muy baja tomando en cuenta el criterio de la ficha de viviendas. Incluso posterior al incendio, su condición sería intermedia y por lo tanto sería recomendable una inspección más exhaustiva. La prevención de riesgos ya se está realizando con el apuntalamiento de las fachadas, como se comentó anteriormente. Al usar la ficha de edificios grandes, el edificio queda en el caso intermedio anterior al incendio y en el límite entre el caso intermedio y crítico posterior al incendio. Sin embargo en este caso nuevamente la característica 3 pasa de una calificación A para la ficha de vivienda a una D en la ficha de edificios grandes. También en este caso se estima que la calificación es muy severa y que no debería corresponder para este tipo de edificios en Chile.

6.2.4.5 Vulnerabilidad ante acciones perpendiculares al plano de los muros.

Usando el criterio establecido en el punto 5.3 y los valores que se entregan en las tablas 6.18 y 6.28, se obtiene la situación destacada en la tabla 6.36.

Tabla 6.36 – Efecto de la acción perpendicular al plano de los muros.

t₈₅	85 cm	1° nivel
t₆₂	62 cm	2° y 3° nivel
b	11.27 m	
H	11.1 m	
h	3.6 m	
aberturas	SI	
H/t₈₅	13.1	Bueno
b/h	3.13	Malo

Como se puede apreciar en la tabla 6.36 la relación H/t tiene un valor que la permite calificar como buena. Sin embargo, al igual que en el caso del Palacio Luis Cousiño, la relación b/h es insuficiente y dista de estar cerca del valor REGULAR. Sin embargo, en este caso se han observado arreglos hecho a la estructura y por lo tanto el diagnóstico se puede considerar como correcto.

6.3 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

6.3.1 Análisis de los índices de vulnerabilidad de Primer Nivel

Del análisis de los valores de los índices de vulnerabilidad de Primer Nivel, se concluye:

- El Palacio Luis Cousiño tiene una densidad de muros en el primer piso igual a 4.66% en la dirección longitudinal y 6.80% en la dirección transversal, siendo los valores de ambas densidades de muros comparables.
- El Palacio Subercaseaux tiene una densidad de muros en el primer piso igual a 1.59% en la dirección longitudinal y 5.56% en la dirección transversal. Como se aprecia, los valores de las densidades de muro no son comparables, siendo muy baja en la dirección longitudinal.

El valor de la densidad de muros por unidad de piso de 0.53% en la dirección longitudinal del Palacio Subercaseaux, representa un valor muy bajo si se considera que para edificios modernos de albañilería un valor de esta magnitud ha significado la ocurrencia de daños severos (Astroza et. al., 1993).

- Si se considera el valor mínimo del índice γ_2 , $0.022 \text{ m}^2/\text{tonf}$ ($2.24 \text{ m}^2/\text{MN}$) para el Palacio Luis Cousiño y $0.0095 \text{ m}^2/\text{tonf}$ ($0.95 \text{ m}^2/\text{MN}$) para el Palacio Subercaseaux, se comprueba que ninguno de los valores obtenidos de este índice cumple con el valor mínimo de $3.25 \text{ m}^2/\text{MN}$ recomendado por Roque (2002) para una zona de gran sismicidad.
- Al revisar los valores del índice γ_3 de cada edificio, en un escenario de demanda sísmica como el aceptado en la norma NCh433Of96 para edificios con las características de los estudiados ($R=2.0$), se comprueba que el Palacio Luis Cousiño estaría en una condición segura ($\gamma_3 \geq 1.0$), aún cuando se acepte que la albañilería es de la calidad más baja ($\tau_m = 20 \text{ tonf} / \text{m}^2$). En el caso del Palacio Subercaseaux la situación no es igual, ya que aunque se acepte que la albañilería sea de la mejor calidad ($\tau_m = 30 \text{ tonf} / \text{m}^2$), el diagnóstico es malo al existir una condición de inseguridad en la dirección longitudinal ($\gamma_{3,x} = 0.88 \leq 1.0$).
- Para los dos casos analizados, el índice γ_2 y γ_3 tienen una directa relación con el índice γ_1 debido a que en estos dos edificios las terminaciones y los adornos son livianos y así el peso de ellos depende prácticamente sólo del peso de los muros el cual bajo estas condiciones es proporcional al área de ellos.
- De los valores de los índices de vulnerabilidad de primer nivel se concluye que el edificio del Palacio Subercaseaux tendría en su dirección longitudinal una alta vulnerabilidad sísmica. Las razones que explicarían su sobrevivencia son por un lado, el tipo de suelo sobre el cual está fundado (Roca) y la conexión entre muros, y por otro lado, las características menos destructivas de los terremotos interplaca que se producen en la zona de subducción de la parte central de Chile.
- Tomando en cuenta que ambos edificios han resistido los terremotos de 1906 y 1985, es razonable revisar los límites propuesto hasta la fecha para estos índices de vulnerabilidad en edificios de albañilería.

6.3.2 Análisis de los índices de vulnerabilidad de Segundo Nivel

Del análisis de los valores de los índices de Segundo Nivel se concluye:

- El índice de Gallegos da el mismo valor ($I_0 = 0.46$) para ambos edificios cuando no se consideran las características del suelo. Según este índice, el edificio del Palacio Luis Cousiño lo desfavorece la forma triangular de su planta y al edificio del Palacio Subercaseaux, la baja densidad de muros en la dirección longitudinal.
- En relación con el índice GNDT para viviendas, este dio un valor de 0.15 en el caso del Palacio Luis Cousiño y 0.11 en el caso del Palacio Subercaseaux, considerando un estado de conservación bueno como sería el encontrado previo a los incendios. En estos casos, las diferencias más grandes (ver Anexo E) se encuentran en la característica relacionada con la “Posición del Edificio y de su Fundación” (Característica 4) y con la “Configuración de la Planta” (Característica 6). Diferencias menos importantes, debido a sus bajos pesos en el cálculo, se presentan en las características relacionadas con la “Configuración de la Elevación” (Característica 7) y con la de “Esbeltez de Fachada” (Característica 8).
- Independientemente de lo anterior, ambos edificios tienen un valor del índice GNDT bajo 0.20, lo que significaría que no serían vulnerables. Además es el único índice en que el Palacio Subercaseaux resulta mejor evaluado que el Palacio Luis Cousiño; este diagnóstico indicaría que en este índice hay factores descalibrados en cuanto a su impacto en el comportamiento sísmico de los edificios históricos chilenos.

Al considerar su estado actual (incendiados), la situación no cambia.

- Si se hace el cálculo del índice de vulnerabilidad del GNDT con la ficha recomendada para las viviendas de albañilería, los valores del índice en ambos edificios aumentan. En este cálculo la única característica que cambia es la relacionada con la “Resistencia Convencional” (Característica 3), y en ninguno de los dos casos la clase resulta superior a D. Los valores que se obtienen para el caso en que no se considera el incendio, son 0.35 para el Palacio Luis Cousiño y 0.28 para el Palacio Subercaseaux. El aumento en el valor del índice se debe esencialmente a la mala calificación de ambos edificios (Clase D) y al valor del peso que se asigna a esta característica en esta ficha, 1.5.

- En cuanto a los valores de la esbeltez de los paños de albañilería, se puede decir que están en los rangos establecidos para la relación H/t. Sin embargo los valores que resultan de la relación b/h son en ambos casos considerados como MALOS, ya que están sobre el límite 2. Teniendo en cuenta la evidencia empírica que indicaría que valores de este orden no representan mayor problema, se recomienda revisar el valor en esta ficha límite de esta esbeltez.

6.3.3 Comportamiento sísmico observado en el entorno de ambos edificios.

- La construcción del Palacio Luis Cousiño se puede aceptar que es de buena calidad, comparándola con otras construcciones de la época, y además se caracteriza porque tiene una alta densidad de muros y está fundado sobre un suelo más firme que el suelo que se encuentra en el “plan” del sector de El Almendral. Una prueba de la calidad sismorresistente de este palacio es la foto de la figura 6.48, en la cual se puede apreciar la magnitud del daño que sufrió el entorno del Palacio Luis Cousiño durante el terremoto de 1906.

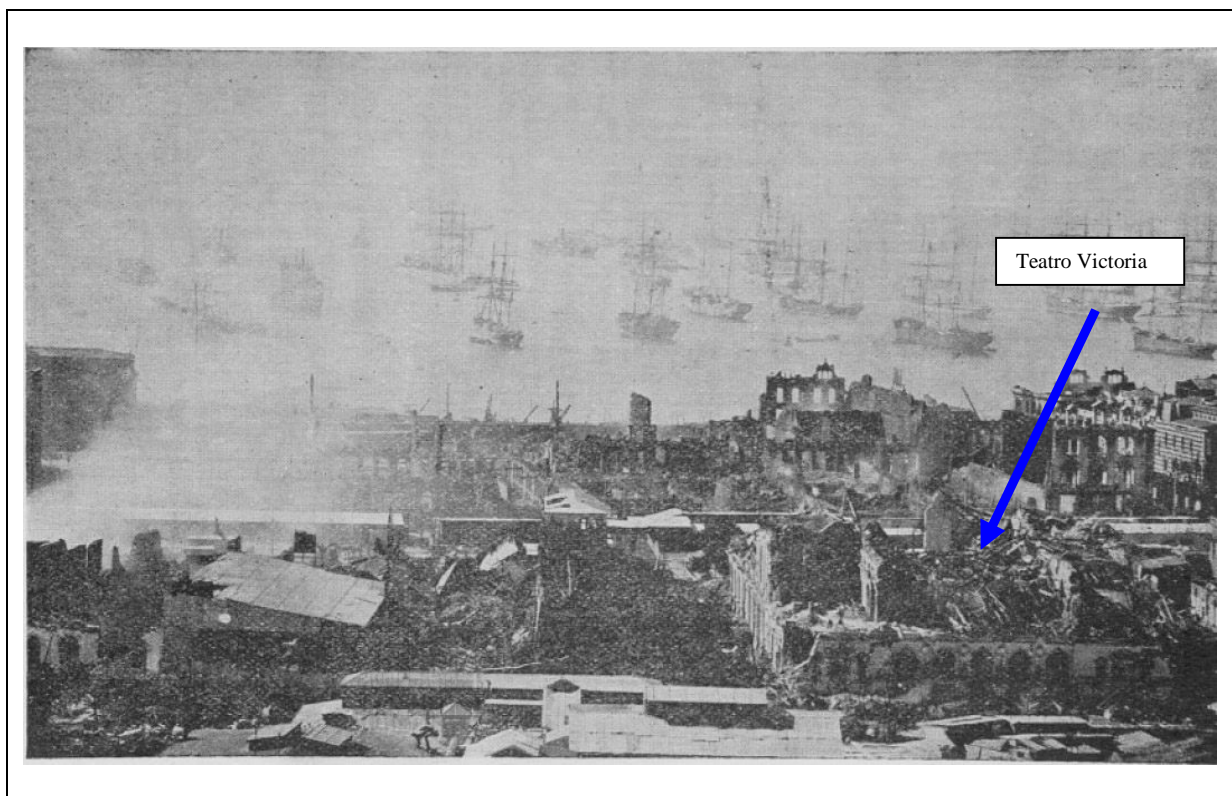


Figura 6.48 – Daños en el entorno del Palacio Luis Cousiño durante el terremoto de Valparaíso de 1906 (Rodríguez y Gajardo, 1906).

- La construcción del Palacio Subercaseaux aparentemente no es de tan buena calidad y se caracteriza porque tiene una baja densidad de muro en una dirección y por ello una mala distribución de su rigidez. Por lo tanto, el hecho de que el edificio esté fundado en roca ha sido una de las razones para que haya resistido los terremotos de 1906 y 1985.

Sin embargo, ésta no es una condición suficiente para la sobrevivencia de este tipo de edificios; un ejemplo de aquello es el comportamiento observado durante el terremoto de 1906 en los edificios ubicados alrededor de la plaza Echaurren en el Barrio Puerto, a escasos metros del Palacio Subercaseaux. Como se observa en las figuras 6.49 y 6.50, las que muestran la Plaza Echaurren antes y después del terremoto de 1906, no todos los edificios sobrevivieron a este terremoto. De ambas figuras se aprecia que el edificio de la esquina no resistió el sismo porque sus muros no estaban bien conectados entre si y con el sistema de pisos lo que provocó su colapso. Además, las esquinas en forma de ochavo, en general han demostrado tener un mal comportamiento durante los terremotos.

Por otro lado, el edificio Liberty (ver figuras 6.49 y 6.51), que acaba de ser adquirido por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso por su alto valor patrimonial (El Mercurio, 2008), ha resistido los sismos de 1906 y 1985 sin daños aparentes. Esta diferencia con sus vecinos deberá aclararse cuando se estudie este edificio.

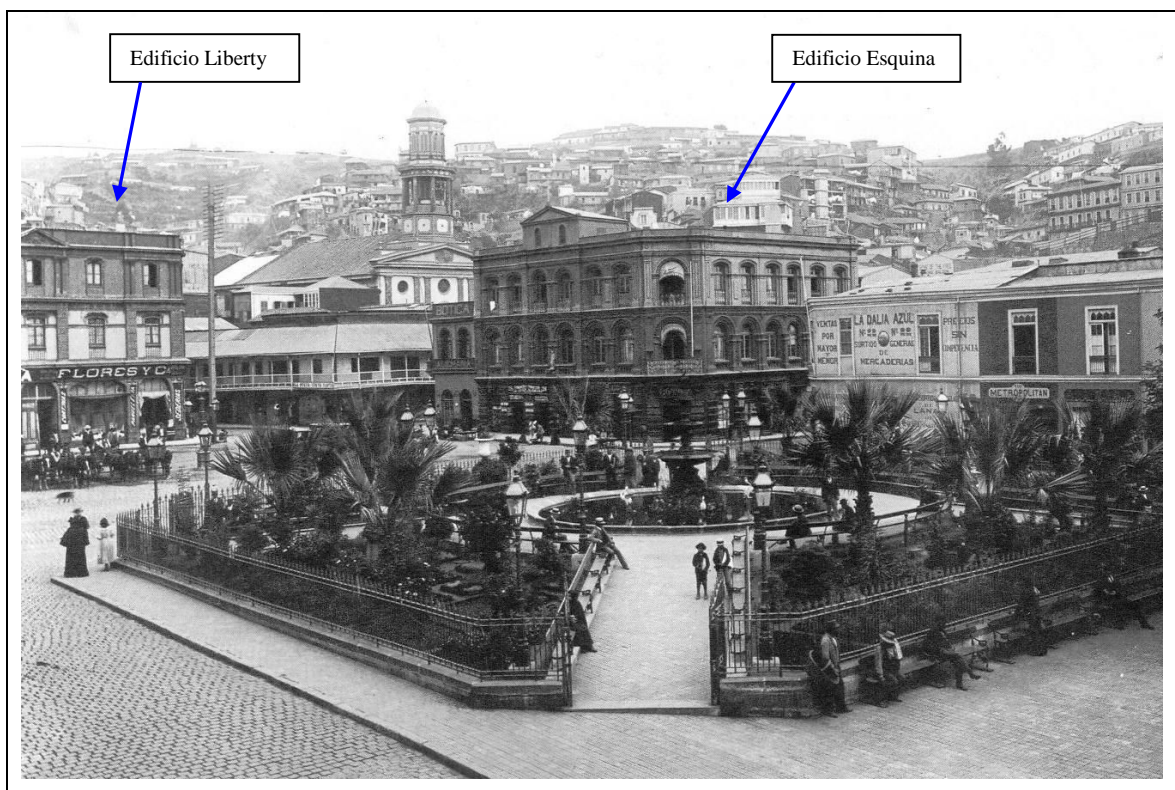
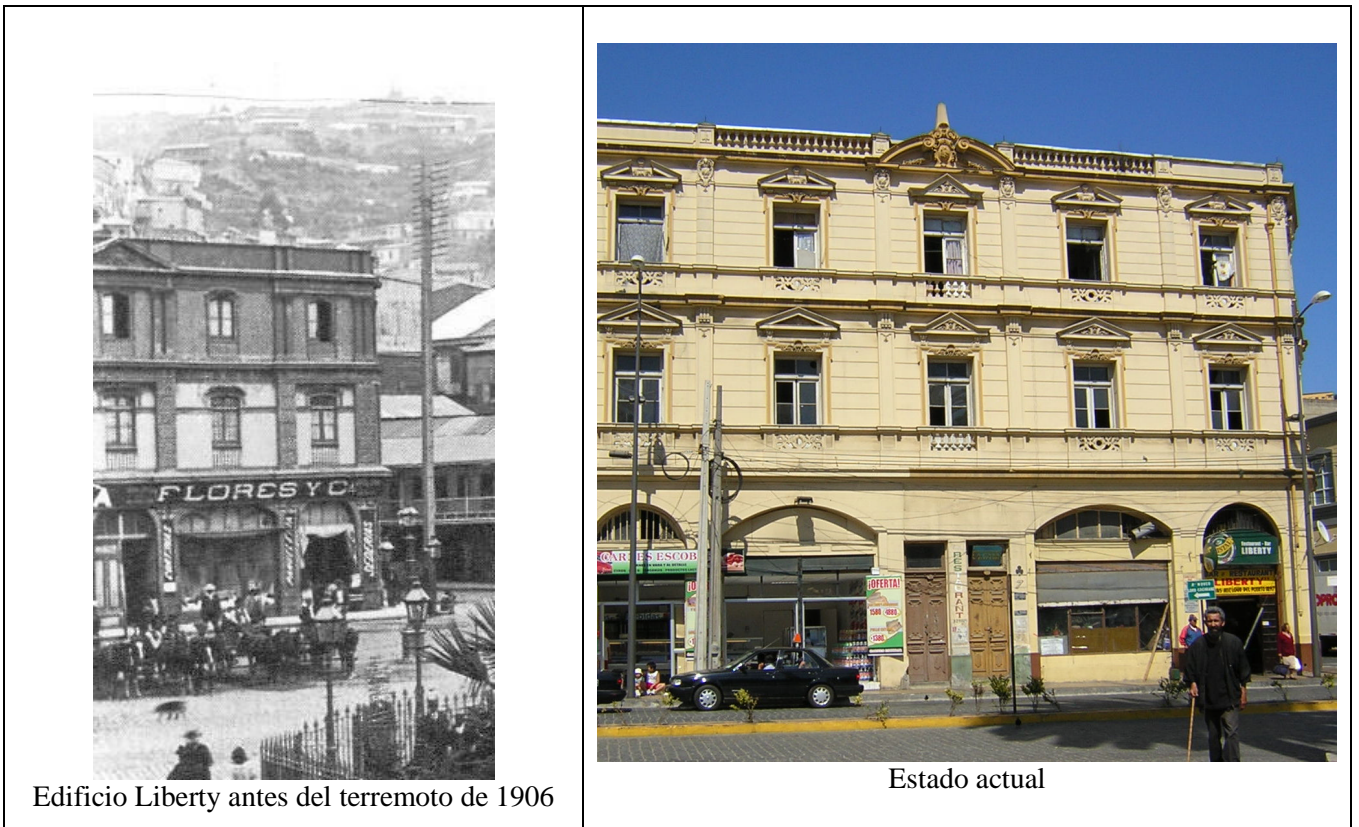


Figura 6.49 – Edificios alrededor de la Plaza Echaurren antes del terremoto de 1906



Figura 6.50 – Edificio esquina de la Plaza Echaurren después del terremoto de 1906



Edificio Liberty antes del terremoto de 1906

Estado actual

Figura 6.51 – Edificio Liberty

CAPÍTULO 7

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

- Una de las razones para que se hayan conservado los dos edificios históricos estudiados después de dos grandes terremotos con las características de los terremotos del tipo interplaca chilenos de 1906 y 1985, es el hecho de que el Palacio Luis Cousiño tiene una alta densidad de muros en ambas direcciones de la planta y que el Palacio Subercaseaux está fundado sobre roca. Esta última condición ha permitido que el Palacio Subercaseaux haya sobrevivido a pesar de su baja densidad de muro en la dirección longitudinal ($\gamma_1=1.59\%$).

Sin embargo ha quedado en evidencia, por el comportamiento de los edificios ubicados alrededor de la plaza Echaurren, que estas características no son suficientes para garantizar la seguridad estructural de estos edificios ante la acción sísmica de grandes terremotos como los de 1906 ($M_s=8.2$) y 1985 ($M_s=7.8$). La calidad de los materiales de construcción y de las uniones entre los distintos componentes del sistema estructural es fundamental para que no se produzcan daños severos, como son el colapso total o parcial del edificio.

- Los índices de vulnerabilidad correspondientes a los métodos de Primer Nivel demostraron ser una herramienta muy efectiva a la hora de hacer una evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de estos dos edificios. Del análisis de la vulnerabilidad usando estos índices se pudo comprobar que el Palacio Luis Cousiño tiene una adecuada *densidad de muro*, índice γ_1 (Método de Meli y Método de Lourenco), y ésta se reparte de forma equitativa en ambas direcciones. Por otro lado, el Palacio Subercaseaux tiene una densidad de muros muy baja en la dirección longitudinal y por lo tanto también una mala distribución de rigidez, lo que permite concluir en una primera etapa que es un edificio estructuralmente vulnerable ante acciones sísmicas.
- Los otros índices, γ_2 y γ_3 , tienen una directa relación con el índice γ_1 al aplicarlos a este tipo de estructuras, ya que ambos índices toman en cuenta el peso del edificio, el cual en este tipo de edificio depende prácticamente sólo del peso de los muros, por tener terminaciones livianas, y por lo mismo resulta proporcional al área de muros.

- Al aplicar los índices de los métodos de vulnerabilidad de Segundo Nivel, ambos edificios presentarían una condición de vulnerabilidad similar. Este diagnóstico indicaría que en estos métodos hay factores descalibrados en cuanto a su impacto en el comportamiento sísmico de los edificios históricos chilenos.

Finalmente, se aconseja revisar más edificios históricos, para así poder calibrar a la realidad chilena los valores de calificación y del peso usados en los métodos de Segundo Nivel.

Anexo A: Detalles del índice de Gallegos y del índice del GNDT

A.1 INDICE DE GALLEGOS (1986)

El *Indice de Calidad Estructural Sismo Resistente* o también llamado *Índice de Gallegos* es una herramienta útil para establecer un criterio y un valor de calificación para la cuantificación de las características de la configuración sismo resistente de los edificios.

Las aplicaciones de este método pueden estar dirigidas a edificios existentes para determinar la necesidad de refuerzos o modificación de su competencia sismo resistente al identificar atributos inadecuados o defectuosos. En el caso de anteproyectos, su relevancia radica en que se pueden calificar las propuestas de concursos arquitectónicos para la evaluación técnica municipal de anteproyectos o proyectos en general.

Para poder llegar a un índice de calidad estructural, Gallegos identifica aquellos aspectos cualitativos que son determinantes en el comportamiento sísmico de los edificios, como son:

(a) *Forma*

1. Planta: simetría, proporción, continuidad y diafragma.
2. Elevación: robustez y continuidad.

(b) *El sistema estructural*

1. Componentes: densidad, continuidad y conexiones.
2. Configuración: simetría, uniformidad y relación con elementos no estructurales.

El índice propiamente tal, queda expresado por la ecuación A1.

$$I = [PxExSxC] * [F] \quad \text{Ec. A1}$$

Según Gallegos, cuando el valor del índice I resulte mayor o igual a 0.45 se considera que la competencia sismo resistente es adecuada. En el caso que el índice I esté entre los valores de

0.30 y 0.45, se recomienda una revisión para posibles refuerzos o modificaciones de la estructura. En caso que el índice sea inferior a 0.30 el edificio se considera en una condición crítica.

A continuación se indica como se obtienen los términos P, E, S, C y F para los edificios de albañilería. Cada término es la consecuencia de la calificación de las características como *BUENO*, *REGULAR* o *MALO*, asignando a esta calificación los valores de la tabla A.1.

Tabla A.1 – Valores índices según calificación

Calificación	Valor índice
BUENO	1.00
REGULAR	0.90
MALO	0.80

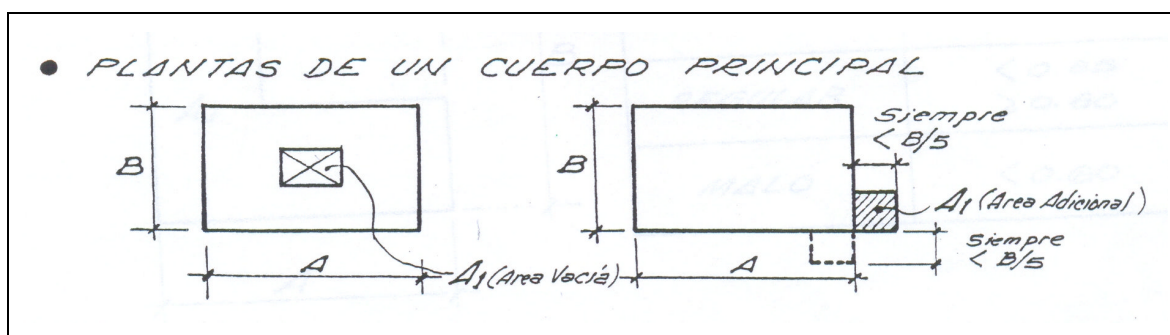
El resumen que se entrega a continuación califica sólo aquellas características que se presentan en el Palacio Luis Cousiño y en el Palacio Subercaseaux. Los detalles del uso de este índice para cualquier otro caso, se pueden consultar en el trabajo de Gallegos (Gallegos, 1986).

1. **P: Índice de Planta**

$$P = P1 \times P2 \times P3$$

P1: Simetría

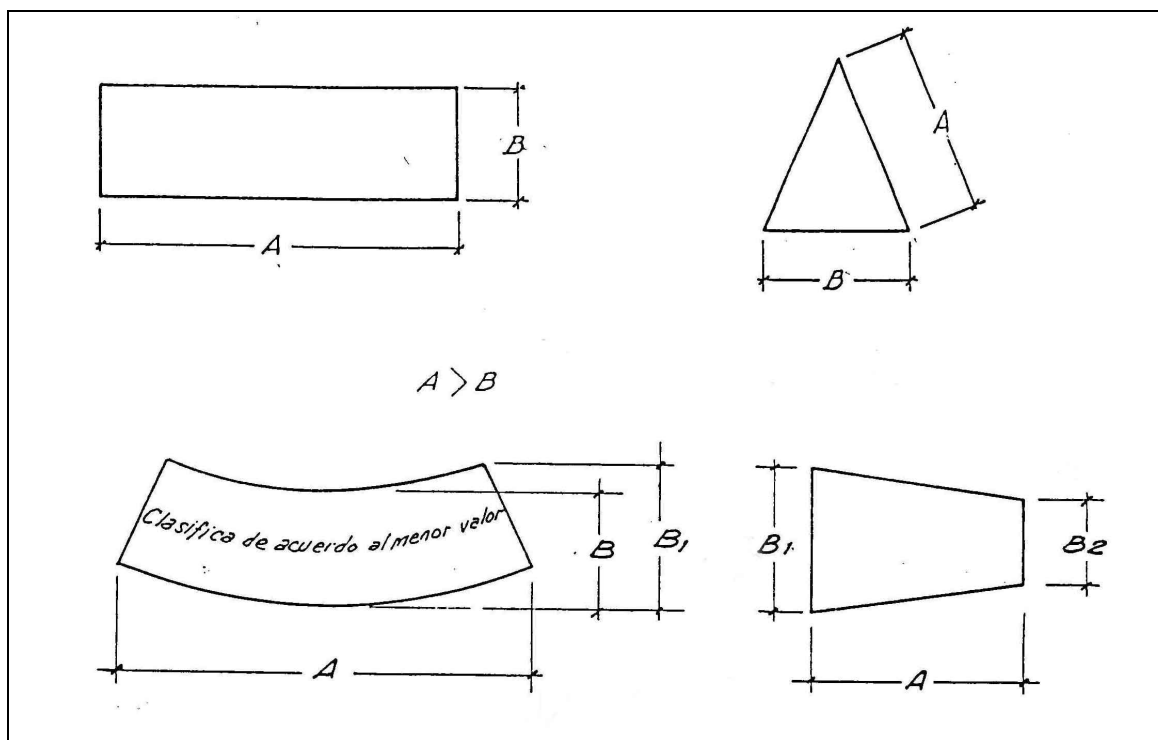
En este caso se toma en cuenta la forma de la planta, ya sea cuando se trata de un cuerpo o de varios cuerpos, y de los patios o anexos del edificio.



Calificativo	Condición
Bueno	$\frac{A_1}{A \cdot B} \leq 0.10$

P2: Proporción

En este punto se revisa las proporciones que tienen los largos principales de la planta, tomando en cuenta la forma de esta.



Descripción Calificativo	Rectangular	Triangular
	curvada y trapezoidal	
BUENO	$\frac{A}{B} \leq 3$	$\frac{A}{B} \cong 1$
REGULAR	$3 < \frac{A}{B} \leq 5$	$1 < \frac{A}{B} \leq 1.5$
MALO	$\frac{A}{B} > 5$	$1.5 < \frac{A}{B}$

P3: Continuidad

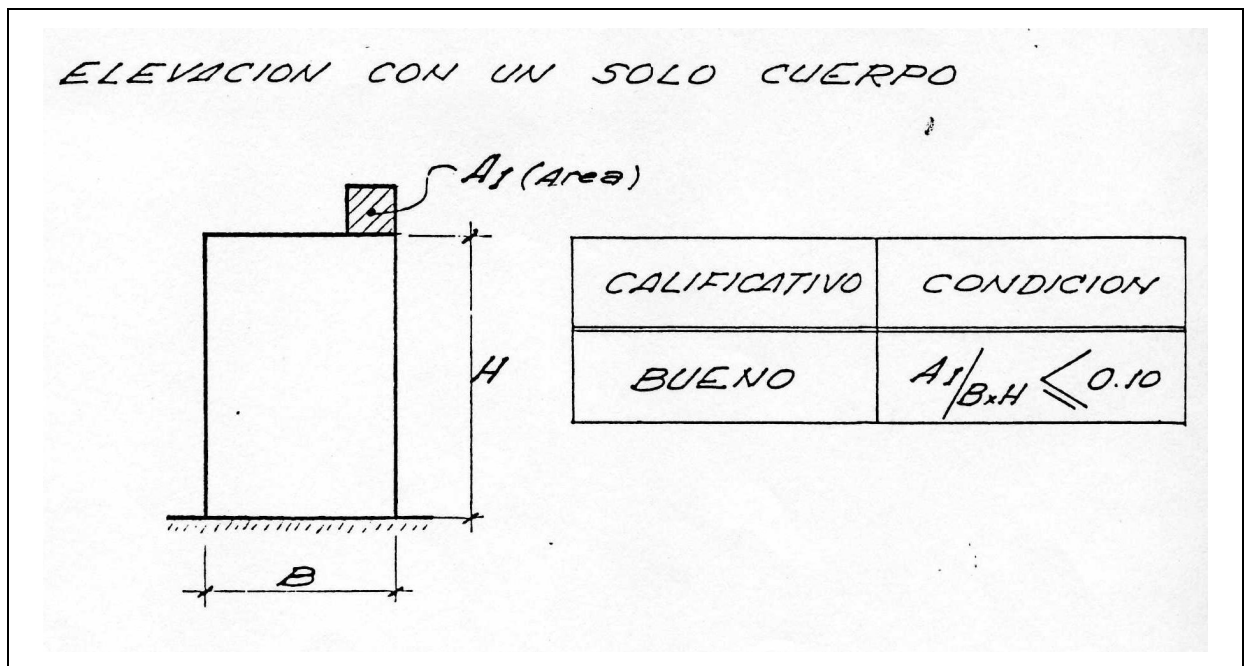
La continuidad toma en cuenta el impacto que tienen las perforaciones o estrangulaciones que se presentan en la planta. En el caso de los edificios estudiados no se presenta esta situación.

2. E: Índice de la Elevación

$$E = E1 \times E2 \times E3$$

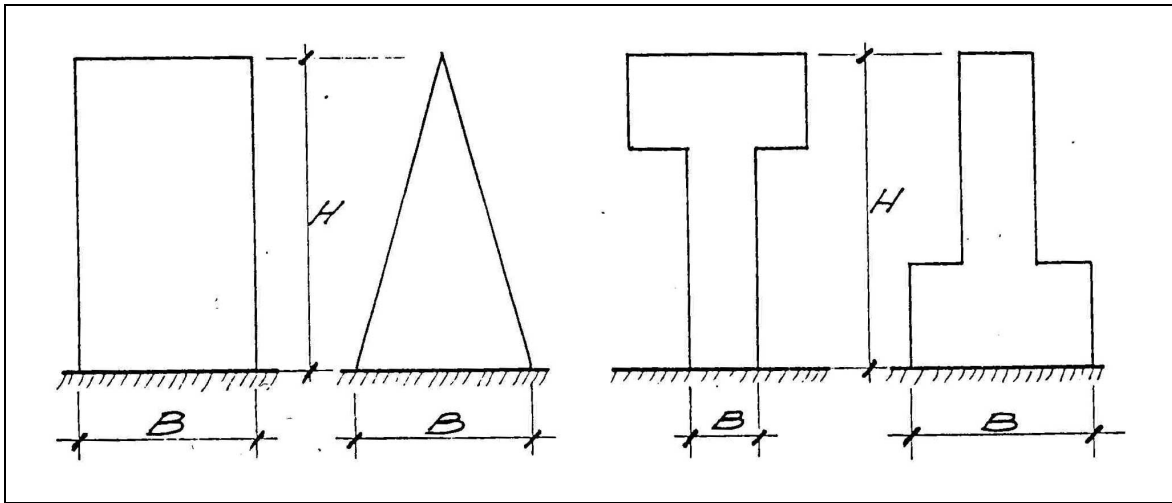
E1: Simetría en la elevación

Este término califica la forma de la elevación, ya sea ésta de un sólo cuerpo o de varios.



E2: Proporción

Se califica la relación entre la altura y el largo de la base del edificio.



Condición / Calificativo	$\frac{B}{H}$
BUENO	$\frac{1}{4} \leq \frac{B}{H}$
REGULAR	$\frac{1}{6} \leq \frac{B}{H} < \frac{1}{4}$
MALO	$\frac{B}{H} < \frac{1}{6}$

E3: Continuidad

Califica los efectos de las estrangulaciones que se producen a lo alto del edificio.
En el caso de los edificios estudiados no se presenta esta situación.

3. S: Índice de Componentes del Sistema Estructural

$$S = S1 * [Rc \cdot (S2 \cdot S3) + Rm \cdot (S4 \cdot S5)]$$

Para edificios de albañilería $Rc = 0$ (% de elementos de concreto) y $Rm = 1$ (% de elementos de albañilería).

S1: Densidad de elementos verticales

Toma en cuenta la densidad de muros en la dirección en la que ésta sea menor.

Calificativo	Condición ⁽¹⁾
BUENO	$A_v \geq 100$
REGULAR	$50 \leq A_v < 100$
MALO	$A_v < 50$

(1) $A_v = \text{Area total de muros (cm}^2\text{)} / (\text{Area de la planta del edificio (m}^2\text{)} \text{ por el número de pisos)}$

(2) $A_v = d_n(\%) * 100$

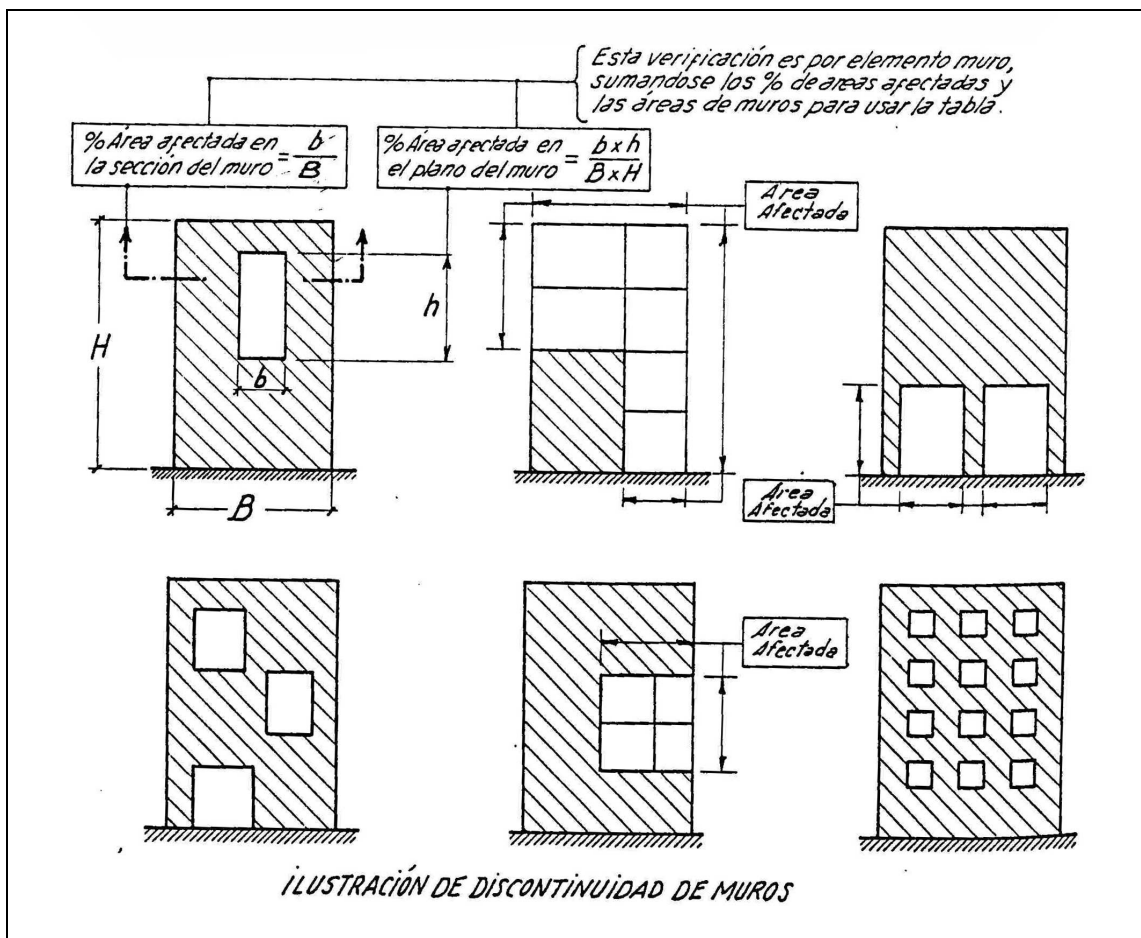
S4: Continuidad de muros

Califica el efecto de las perforaciones en los muros de acuerdo con su ubicación a lo alto del edificio. Con este propósito se considera el eje y la ubicación que tenga como resultado la peor calificación.

%AreaPlano %AreaSección	Nivel de la ubicación de la discontinuidad en la altura del edificio		
	1 / 3 Inferior	1 / 3 Central	1 / 3 Superior
10 ≤ 15 ≤	REGULAR	REGULAR	BUENA
> 10 ≤ 20 > 15 ≤ 25	MALA	REGULAR	REGULAR
> 20 > 25	MALA	MALA	MALA

Nota: % Area plano: Porcentaje del área del *plano del muro* afectada por las aberturas ubicadas en el plano del muro.

% Area sección: Porcentaje del área de la *sección transversal del muro* afectada por la perforación en la sección.



S5: Conexiones entre muros

Esta variable se define por el tipo de elemento de acoplamiento que existe entre un muro y otro en la zona donde se ubican las aberturas de puertas.

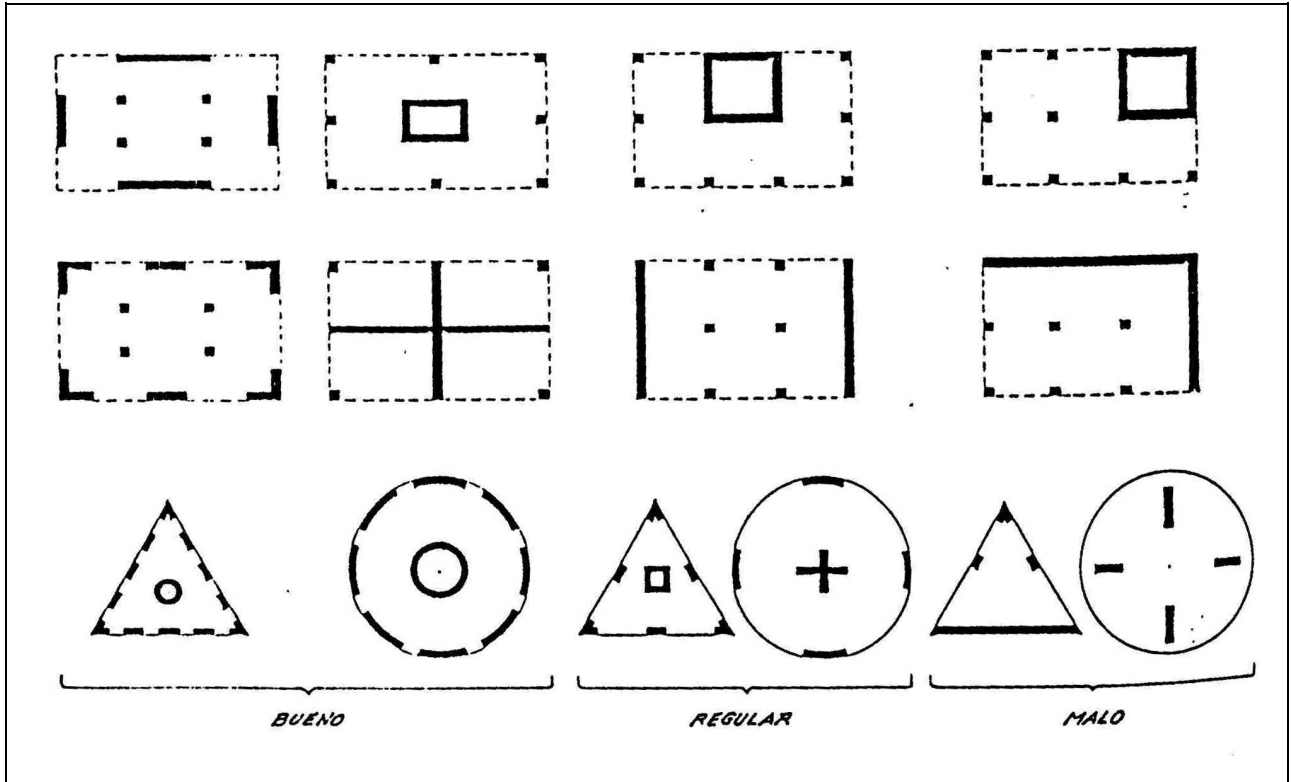
Calificativo	Tipo de conexión
BUENO	Mediante las losas de los techos
REGULAR	Mediante vigas peraltadas corridas a todo lo largo de los muros
MALO	Mediante vigas peraltadas que no continúan a todo lo largo de los muros

4. **C: Indice de la Configuración Estructural**

$$C = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot C4$$

C1: Simetría y uniformidad estructural

Esta variable califica la distribución de los muros en planta de acuerdo con el detalle adjunto.



C2: Distribución de rigidez

Calificativo	% largo de muros mayor al promedio	Relación entre el largo de cada muros y la longitud promedio
BUENO	≥ 50	de 0.7 a 1.4
REGULAR	< 50 ≥ 30	de 0.4 a 1.7
MALO	< 30	de <0.4 a >1.7

C3: Simetría de masas

Ubicación de masas	Condición de Simetría	Simétrico o casi simétrico	Asimétrico	
	1 / 3 Inferior	BUENO	REGULAR	
	1 / 3 Central	BUENO	MALO	
	1 / 3 Superior	REGULAR	MALO	

- Masas: se refiere a cargas adicionales importantes
- Simetría: respecto a los ejes principales de la edificación

C4: Relación con elementos no estructurales

Calificativo	Condición
BUENO	Tabiquería independiente de la estructura principal.
REGULAR	Tabiquería adosada a la estructura principal de manera simétrica, sin originar efectos de concentración de esfuerzos (columnas cortas, etc)
MALO	Tabiquería adosada a la estructura principal dispuesta asimétricamente

5. **F: Factores de adecuación**

$$F = F1 \cdot F2 \cdot F3 \cdot F4$$

Los términos de este factor se califican de otra forma que los términos anteriores, dándoles la condición 1, 2 o 3. En la tabla A.2 se indican los valores que posteriormente se le asigna a cada término para el cálculo del índice.

Tabla A.2 – Valores de índices según calificación

Factores de Adecuación	Condición		
	1	2	3
F1 , F2	1.00	0.85	0.70
F3 , F4	1.00	0.9	0.80

F1: Suelo

Condición	Descripción
1	<u>Duro:</u> Roca, grava densa, grava arenosa densa
2	<u>Medio:</u> Arena densa, suelo cohesivo duro o firme sin presencia de agua
3	<u>Blando:</u> Arena suelta, suelos cohesivos medianos o blandos con o sin agua

F2: Uso

Condición	Descripción
1	<u>Común:</u> Edificios comunes de vivienda u oficinas....
2	<u>Medio:</u> Edificios públicos: iglesias, teatros, coliseos....
3	<u>Especial:</u> Edificios especiales: hospitales, colegios, asilos, registros públicos

F3: Altura

Condición	Descripción
1	<u>Bajo:</u> Hasta 6 pisos
2	<u>Medio:</u> de 7 a 15 pisos
3	<u>Especial:</u> Más de 15 pisos

F4: Relación Suelo-Altura

Esta variable relaciona el tipo de suelo definido en F1 con la altura de la edificación definida en F3. Considerando que la experiencia se contradice con la condición asignada al considerar el tipo de suelo y altura de edificio, para los efectos de aplicar el índice no se ha considerado esta relación.

A.2 INDICE GNDT

A.2.1 Usando ficha de viviendas

Con este propósito se utilizó la ficha recomendada por el GNDT (Gruppo Nazionale per la difesa dei Terremoti) para las viviendas italianas, la cual se ocupó para el estudio de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del Cerro Cordillera en el marco del proyecto *Mar Vasto* (Manejo de Riesgos en el Área Patrimonial de Valparaíso, 2007), adaptándola a la realidad Chilena, específicamente de la ciudad de Valparaíso.

La ficha está pensada para ser ocupada en edificios de albañilería, tabiquería de adobe o adobe. La ventaja de utilizar esta ficha radica en que requiere de poco tiempo para llenarla. La ficha tiene cinco columnas (ver Anexo E) en las que se recogen información sobre once características que definen la vulnerabilidad.

Cada columna recoge la información siguiente:

- Características considerada en la determinación de la vulnerabilidad
- Clase de vulnerabilidad (Para este efecto se clasifica en cuatro grupos: A, B, C o D, siendo A el más favorable)
- Calidad de la información
- Factores que se evalúan y la forma de hacerlo.
- Esquemas de apoyo para evaluar los factores de la columna anterior

Para cada una de las características de la columna 1 se indica en la tercera columna la *calidad de la información*. Los criterios y el puntaje que se recomiendan se indican en la tabla A.3.

Tabla A.3 – Criterios para establecer la calidad de la información

Calidad de la información		Descripción
E	1.1	Se entiende como una calidad elevada de información cuando ésta se obtiene en forma directa (medición in-situ, planos confiables, vista directa del elemento de información, etc) con un grado de confiabilidad cercano a la certeza.
M	1.0	Se entiende como una calidad media : cuando ésta se obtiene por lectura indirecta como por ejemplo a través de una fotografía, medida tomada de manera no minuciosa, ensayos no destructivos de origen empírico, deducciones directas de situaciones análogas, información oral de alguna persona con conocimiento, etc, con un grado de confiabilidad intermedia entre el término E y B.
B	0.9	Se entiende como una calidad baja : cuando esta se obtiene por medida deducida de una hipótesis razonable basada en modalidades similares y frecuentes en el área o información oral distinta a la anterior, con un grado de confiabilidad un poco superior a una mera conjetura.
A	0.8	Se entiende como información ausente , cuando la información está al límite de una conjetura. En este caso, la información del relator tiene un valor meramente indicativo; durante la elaboración de los resultados se podrá decidir si se toma en cuenta esta información o si se considera otra basada en la observación de la zona.

Las once características que definen la vulnerabilidad se describen a continuación:

1. Organización del sistema estructural

Esta característica evalúa el grado de integración que existe entre los elementos verticales (muros) que forman el sistema estructural, prescindiendo del material, dando cuenta de la efectividad de la unión entre muros y de los elementos que garanticen su estabilidad una vez que se agrieten.

Clase	Definición
A	Edificio construido de acuerdo a la normativa sísmica vigente o con características equivalentes.
B	Edificio que tiene conexiones a lo largo de todos los pisos, que presenta cadenas o contrafuertes y que tiene muros con encuentros de trabazón completa.
C	Edificio con ausencia de elementos de cadenas y contrafuertes, pero cuyos muros estén bien conectados.
D	Edificio con conexiones malas entre muros.

2. Calidad del sistema resistente

Aquí se distingue entre los distintos tipos de albañilería, diferenciándolos por los materiales usados en su construcción y por su homogeneidad.

Clase	Definición
A	Albañilería de ladrillo, homogénea en todas las direcciones.
B	Albañilería mixta y no homogénea.
C	Sistema constructivo mixto compuesto por albañilería en pisos inferiores y tabiquería de adobe en los superiores.
D	Sistema constructivo de tabiquería de adobe o adobe.

3. Resistencia convencional

Esta característica relaciona la situación propia del edificio y de su entorno. La clase se establece a través del parámetro α , el cual se evalúa numéricamente considerando los datos siguiente:

- a) La diferencia máxima de altura entre la losa del piso con respecto a la losa del edificio vecino (k_1):
 1. Sin losa o con una diferencia ≤ 0.5 m $\rightarrow k_1 = 1.00$
 2. Diferencia > 0.5 m y ≤ 1.5 m $\rightarrow k_1 = 0.66$
 3. Diferencia ≥ 1.5 m $\rightarrow k_1 = 0.33$
- b) La posición dentro de la cuadra (k_2):
 1. Intermedia $\rightarrow k_2 = 1.00$
 2. Esquina $\rightarrow k_2 = 0.75$
 3. Cabeza $\rightarrow k_2 = 0.50$
 4. Aislado $\rightarrow k_2 = 0.25$
- c) Homogeneidad del sistema del edificio con respecto a los edificios que lo rodean (k_3):
 1. Homogeneidad de la rigidez con respecto al edificio contiguo
 $\rightarrow k_3 = 1.00$
 2. Rigidez distinta con respecto al edificio contiguo $\rightarrow k_3 = 0.50$
- d) Número de pisos (N)
- e) Superficie total de la planta (S)
- f) Peso específico de los muros (ρ)

Luego se calcula el valor C:

$$C = \frac{S}{N * \rho}$$

Basado en las clases del punto anterior, se proponen los siguientes valores para el peso específico:

1. Clase A-B: 2000 kg/m³
2. Clase B-C: 1500 kg/m³

En caso que se disponga de información más precisa de la Clase, se pueden considerar los valores siguientes:

1. Clase A: 1800 kg/m³
2. Clase B: 2000 kg/m³
3. Clase C: 1500 kg/m³
4. Clase D: 1400 kg/m³

Luego, k_4 queda dado por las siguientes condiciones:

1. $C < 0.1$ $\rightarrow k_4 = 0.50$
2. $C \geq 0.1$ $\rightarrow k_4 = 1.00$

Conocidos los valores k_i , el parámetro α se calcula de la forma siguiente:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^4 k_i}{4}$$

Las clases quedan dadas de acuerdo con los siguientes valores de α :

Clase	Definición
A	Edificios con $0.86 \leq \alpha \leq 1.00$
B	Edificios con $0.71 \leq \alpha \leq 0.85$
C	Edificios con $0.56 \leq \alpha \leq 0.70$
D	Edificios con $0.40 \leq \alpha \leq 0.55$

4. Posición del edificio y fundación

En este punto se considera la influencia del terreno y de la fundación en el comportamiento. Para ello se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Pendiente porcentual del terreno
- b) Diferencia máxima de cotas del terreno
- c) Presencia de roca de fundación SI/NO

- d) Presencia de terreno suelto sin empuje SI/NO
- e) Presencia de terreno suelto con empuje SI/NO

En esta característica no se toman en cuenta fenómenos de asentamiento ni de liquefacción, es más bien un análisis de la estabilidad general del terreno ante un evento sísmico.

Clase	Definición
A	Edificio construido sobre suelo estable con pendiente menor o igual a 10%. Posición de la fundación en una misma cota. Ausencia de empujes de tierra.
B	Edificio puesto sobre roca en terreno con pendiente comprendida entre 10% y 30%; edificio sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre 10% y 20%. Diferencia de la cota de fundación no superior a un metro. Ausencia de empujes de tierra.
C	Edificio sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre 20% y 30%; edificio construido sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre 30% y 50%. Diferencia de la cota de fundación no superior a un metro. Presencia de empujes de tierra.
D	Edificio construido sobre terreno suelto con pendiente no menor a 30% o sobre terreno rocoso con pendiente no menor al 50%. Diferencia de la cota de fundación superior a un metro. Presencia de empujes de tierra.

5. Sistema de piso

La calidad del sistema de piso tiene un gran peso al momento de evaluar el correcto comportamiento de los elementos verticales. Por otro lado, existen casos en los cuales ha colapsado el sistema de piso, dejando numerosos daños y victimas. En esta característica se toma en cuenta ambos factores de la manera siguiente: Existencia de diferencia de cota entre la losa de un mismo piso, SI/NO.

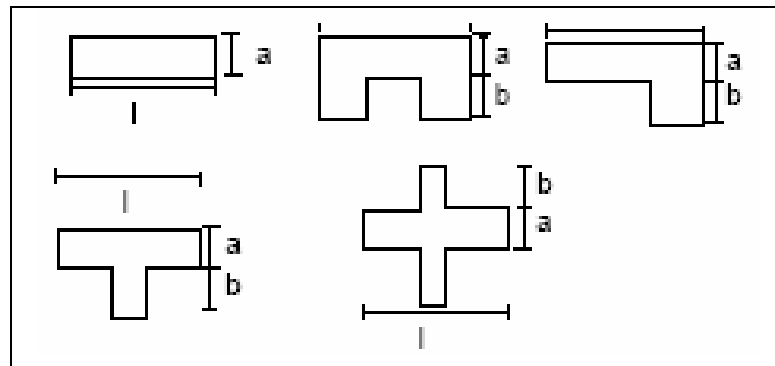
- a) Rigidez del sistema y conexión con los muros
 1. Losa rígida y bien conectada
 2. Losa deformable y bien conectada
 3. Losa rígida y mal conectada
 4. Losa deformable y mal conectada

Clase	Definición	
A	Edificio con losas de cualquier naturaleza que cumpla las tres siguientes condiciones: <ol style="list-style-type: none"> a. deformaciones del piso sólo fuera del plano de la losa b. conexión eficaz entre la losa y los muros c. ausencia de diferencia de cotas en un mismo piso 	1 – N
B	Edificio con losas más eficaces que la clase C pero que no satisfacen la clase A	1 – S
C	Edificio con losa deformable en su plano pero bien conectada a los muros.	2 – S/N
D	Edificio con losas de cualquier naturaleza mal conectada a los muros	3/4 – S/N

6. Configuración de la planta

El comportamiento sísmico del edificio depende en gran parte de la forma de la planta. Para determinar la clase de acuerdo con esta característica se mide el lado más largo (l), el ancho del cuerpo principal (a) y el ancho del cuerpo secundario (b , vale 0 en caso que no exista) del edificio. Luego se calculan los parámetros $\beta_1 = a/l$ y $\beta_2 = b/l$ y de acuerdo con los valores obtenidos se establece la clase de la forma siguiente:

Clase	Definición	
A	$\beta_1 \geq 0.8$	$\beta_2 \leq 0.1$
B	$0.8 > \beta_1 \geq 0.6$	$0.1 < \beta_2 \leq 0.2$
C	$0.6 > \beta_1 \geq 0.4$	$0.2 < \beta_2 \leq 0.3$
D	$0.4 > \beta_1$	$0.3 < \beta_2$



7. Configuración de la elevación

En el caso de edificios de albañilería, sobre todo los más antiguos, la mayor parte de las irregularidades se deben a la presencia de pórticos, logias y terrazas de techo. La presencia del pórtico se marca con el porcentaje que ocupa éste en relación a la planta. Otros elementos que causan irregularidades en la elevación son las torres o torrecillas pesadas con respecto al resto del edificio o angostamientos de planta. Por lo tanto se anota el porcentaje resultante de la altura de la torre o del angostamiento (T) con respecto a la altura total del edificio (H).

Para evaluar el cambio de masa que existe entre un piso y otro se estima la variación porcentual de masa que existe en el piso superior con respecto al inferior. Esta variación se anota con un signo + en caso de aumento y - en caso de disminución. Si el porcentaje es menor al 10% se puede considerar como nulo. Una forma indirecta de estimar la variación de masa es medir la variación porcentual del área en elevación del piso superior con respecto al inferior.

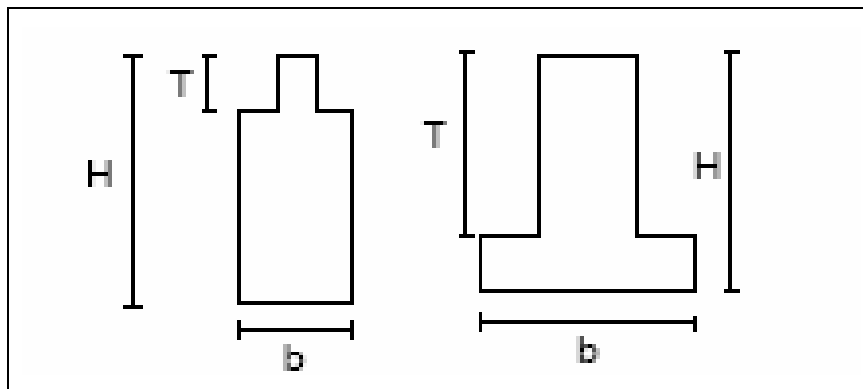
Luego, los términos que se detallan en la ficha son los siguientes:

1. Variación porcentual de la masa del piso superior con respecto al inferior.
2. Porcentaje que ocupa el pórtico en la planta.
3. Relación del angostamiento de los últimos pisos con respecto a su altura total (T/H)

Clase	Definición
A	Edificio con distribución de masa y/o de elementos resistentes y/o volumétrica prácticamente uniforme en toda su altura; edificio con masa decreciente en altura y elementos resistentes continuos; edificios que tienen una reducción de planta en altura menor al 10%.
B	Edificio con pórtico o logia modesta en dimensión, de tal manera de no ocupar más del 10% del área total de la planta; edificios que tienen una reducción de planta en altura comprendida entre 10% y 20%.
C	Edificio con pórtico o logia que ocupa entre un 10% y 20% del área total de la planta; edificio con una torre cuya altura sea inferior a 2/3 de la altura total del edificio.
D	Edificio con pórtico o logia que ocupa más del 20% del área total de la planta; edificio con una torre cuya altura sea superior a 2/3 de la altura total del edificio.

En caso que la estructura presente variación en altura de los materiales ocupados o la forma constructiva, que implique una variación significativa de la rigidez o resistencia de la estructura vertical, la clase anteriormente escogida es penalizada de la siguiente manera:

- Edificios que por geometría correspondían a la clase A o B, pasan a ser de clase C.
- Edificios que por geometría correspondían a la clase C, pasan a ser de clase D.



8. Esbeltez horizontal de las fachadas

Esta característica se relaciona con la existencia de sectores de la fachada, comprendidas entre los muros ortogonales a ella, que son muy largas, con lo cual la fachada se puede volcar hacia afuera. Para ello se anota el largo máximo entre muros ortogonales (l) y el espesor de la fachada (s). Luego se calcula la relación l/s.

En el caso de edificios de adobe se considera como espesor mínimo 25 cm.

Clase	Definición
A	Edificio con una relación l/s no superior a 15.
B	Edificio con una relación l/s superior a 15 y no superior a 18.
C	Edificio con una relación l/s superior a 18 y no superior a 25.
D	Edificio con una relación l/s superior a 25.

En caso que no se tenga acceso a la vivienda, se debe hacer una estimación de donde están ubicado los muros interiores.

9. Sistema de techumbre

Los elementos que definen la influencia de la techumbre sobre el comportamiento sísmico de la estructura son la tipología y la conexión con el muro de apoyo. Para evaluar esta característica se considera lo siguiente:

1. El techo transmite las fuerzas laterales sobre los muros de apoyo, SI/NO.
2. Existe cadena de apoyo o algún otro tipo de apoyo o conexión, SI/NO.

Clase	Definición
A	Edificio con techumbre plana provista de apoyos eficaces.
B	Edificio con techumbre que no transmite fuerzas laterales y bien apoyada sobre el muro, pero sin conexión.
C	Edificio con techumbre que transmite fuerzas laterales, provista de conexiones.
D	Edificio con techumbre que transmite fuerzas laterales sin conexión.

10. Elementos no estructurales

Este punto da cuenta de la presencia de elementos no estructurales que pueden causar daño a personas o cosas en caso de sismo. Se trata de elementos secundarios, y por lo tanto no vale la pena distinguir entre las primeras dos clases.

Clase	Definición
A-B	Edificio provisto de accesorios bien colgados a la pared, de peso modesto. Edificio con balcones que no son parte integral de la estructura.
C	Edificio con accesorios externos de dimensiones pequeñas mal colgadas.
D	Edificio que presenta: accesorios mal colgados de peso, parapetos mal hechos o cualquier otro elemento pesado que pueda colapsar en caso de sismo. Balcones u otro elemento anexo al edificio con posterioridad y que no esta bien unido a la estructura.

11. Estado de conservación

Esta característica se refiere al estado de conservación del edificio.

Clase	Definición
A	Muros en buenas condiciones sin fisuras visibles.
B	Edificios que presentan fisuras capilares, con excepción si estas se produjeran a raíz de un terremoto.
C	Edificio con fisuras medianas (entre 2 y 3 mm) o con lesiones capilares producidas por un sismo; Edificio que no presenta lesiones pero cuyos muros no están bien conservados.
D	Edificio que presenta muros desaplomados y/o con lesiones graves; Edificio con un grave deterioro del material de construcción.

En general, en el caso que se esté ante una situación intermedia entre dos clases, siempre se tiene que escoger la clase más desfavorable.

En la tabla A.4 se muestra la ficha ocupada para reunir la información de las viviendas.

Luego, para el cálculo del índice de vulnerabilidad, se asigna a cada clase un valor (tabla A.5) y a cada uno de las once características consideradas se le asigna un peso. Estos valores fueron calibrados para Italia, y por lo tanto los valores que resulten del índice de vulnerabilidad no necesariamente son comparables con los que resulten para la zona de Valparaíso.

Tabla A.4 – Ficha GNDT para viviendas

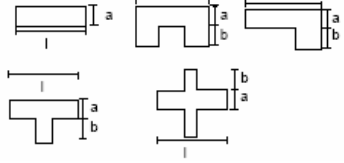
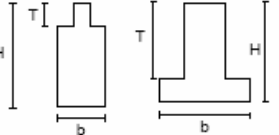
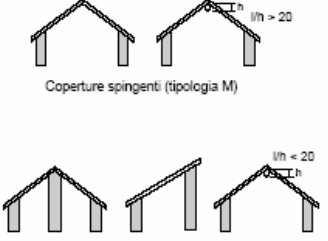
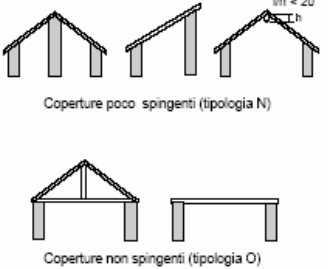
PARAMETRO		Cali.	Cali. Inf.	ELEMENTO DE EVALUACION	ESQUEMAS Y VALORES
1	TIPO DE ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA			Norma nueva o equivalente Cordones y/o cadenas y/o contra fuertes en todos los niveles Buenas conexiones entre muros y entre todos los pisos consecutivos Edificio con malas conexiones	A B C D 3. Resistencia conven. Edificio 1. Dif. Losa ≤ 0.5 m → 1.00 2. 0.5 m < Dif Losa ≤ 1.5 m → 0.66 3. 1.5m ≤ Dif losa → 0.33 1. Entre medianeros → 1.00 2. Esquina → 0.75 3. Cabezal → 0.50 4. Aislado → 0.25
2	CALIDAD DEL S.R.			1. Albañilería simple 2. Muros mixtos 3. Sistema mixto albañilería/tab. de adobe 4. Edificio de tabiquería de adobe	1. Homogéneo → 1.0 2. Non Homogéneo → 0.5 Calidad S.R. 1-2 → 2000 kg/m ³ Calidad S.R. 3-4 → 1200 kg/m ³
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL			a) Losa con respecto a edif. contiguo (m) b) Posición en la cuadra c) Homogeneidad con los edif. contiguos d) Numero de pisos N e) Superficie cubierta S f) Peso específico muros ρ (kg/m ³)	$C = \frac{S}{N \cdot \rho} \begin{cases} \geq 0.1 \rightarrow 1 \\ < 0.1 \rightarrow 0.5 \end{cases}$ $\alpha = \frac{\sum_{i=a}^c i + C}{4} = \underline{0.79}$ 6. Configuración planimétrica
4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y FUNDACION			a) Pendiente porcentual del terreno (%) b) Diferencia max cota Δh (m) c) Roca (S/N) d) Terreno suelto sin empuje (S/N) e) Terreno suelto con empuje (S/N)	 7. Configuración en elevación
5	SISTEMA DE PISO			a) Losa con diferencia de cota (S/N) 1. Losa rígida y bien colgada 2. Losa deformable y bien colgada 3. Losa rígida y mal colgada 4. Losa deformable y mal colgada	 9. Techo
6	CONFIGURACION DE LA PLANTA			Relación porcentual $\beta_1 = a/l$ (a:29 l:56) Relación porcentual $\beta_2 = b/l$ (b:0 l:56)	 Coperture spingenti (tipologia M) Coperture poco spingenti (tipologia N)
7	CONFIGURACION EN ELEVACION			1. Aumento o disminución de masa (%) 2. Superficie pórtico (%) 3. T/H (%)	 Coperture non spingenti (tipologia O)
8	D_{max} ESTRUCTURA			Esbeltez horiz. max. l/s (l: 14 s: 0.9)	
9	SISTEMA DE TECHO			1. Techo con empuje (S/N) 2. Cadena y/o conexión (S/N)	
10	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES			(Ver manual)	
11	ESTADO DE CONSERVACION			(Ver manual)	

Tabla A.5 – Puntaje por clase y peso de las características consideradas del GNDT para viviendas

Característica considerada	Puntaje por Clase, k				Peso ρ
	A	B	C	D	
1) <u>Organización del sistema</u>	0	5	20	45	1
2) <u>Calidad del sistema resistente</u>	0	5	25	45	1.5
3) <u>Resistencia convencional</u>	0	5	25	45	0.5
4) <u>Posición del edificio y fundación</u>	0	5	25	45	0.75
5) <u>Sistema de piso</u>	0	5	15	45	0.35
6) <u>Configuración de la Planta</u>	0	5	25	45	0.35
7) <u>Configuración de la elevación</u>	0	5	25	45	0.35
8) <u>Esbeltez horizontal de las fachadas</u>	0	5	25	45	0.35
9) <u>Sistema de techumbre</u>	0	5	25	45	0.35
10) <u>Elementos no estructurales</u>	0	0	25	45	0.75
11) <u>Estado de conservación</u>	0	5	25	45	1

El índice de vulnerabilidad se calcula sumando el producto del valor correspondiente a cada una de las características consideradas por su peso y luego normalizándolo con el valor máximo que puede tener este índice, resultando la expresión de la ecuación A.2. El valor resultante varía entre el 0 y el 1 (muy vulnerable).

$$I_v = \frac{\sum_{i=1}^{11} k_i \rho_i q_i}{I_{\max}} \quad \text{Ec. A2}$$

k_i = puntaje asignado a la característica considerada i

ρ_i = peso de la característica considerada i

q_i = calidad de la información de la característica considerada i

I_{\max} = puntaje máximo del índice de vulnerabilidad

De acuerdo con la experiencia italiana, los valores límites del índice de vulnerabilidad corresponden a los indicados en la tabla A.6.

Tabla A.6 – Valores límites del índice de vulnerabilidad para viviendas según GNDT

Iv	Calificación
0.2 <	Sísmicamente competente
0.2 - 0.4	Competencia sísmica media. Se recomienda una revisión de nivel 3.
< 0.4	Sísmicamente vulnerable

A.2.2 Índice GNDT para viviendas de albañilería

Hasta la fecha todavía no existe una ficha GNDT para edificios con las características de los palacios. Sin embargo, existe una ficha para casas grandes de albañilería idéntica a la ficha anterior, excepto por la característica 3, que en este caso toma en cuenta el área total de planta, el área de muros en ambas direcciones principales de la planta, el peso de la techumbre y la resistencia al corte de los muros de albañilería. Además, se han redefinido los pesos de cada característica considerada y sus puntajes.

En este caso la característica 3 queda redefinida de la manera siguiente:

3. Resistencia convencional

Siguiendo la misma lógica conceptual de la ficha anterior el cálculo cambia al tomar en cuenta otros factores.

- a) Número de pisos (N)
- b) Area total de la planta en $m^2 (A_t)$
- c) Area de muros en la dirección x en $m^2 (A_x)$ (las direcciones principales se definen arbitrariamente en terreno)
- d) Area de muros en la dirección y en $m^2 (A_y)$
- e) Resistencia convencional del material resistente en $\text{tonf}/m^2 (\tau_k)$. Los rangos de resistencia que se proponen para albañilería no reforzada van de $2 \text{ tonf}/m^2$ a $3 \text{ tonf}/m^2$
- f) Altura media entre pisos en m (h)

- g) Peso específico de los muros en tonf/m² (p_m). Los rangos del peso específico que se proponen son entre 1.6 tonf/m³ a 2.2 tonf/m³.
- h) Peso permanente de techo en tonf/m² (p_s). Los valores propuestos para la techumbre son 0.1 tonf/m² a 0.2 tonf/m².

En caso que se disponga de información más precisa de las variables τ_k , q_m , y p_s se pueden ocupar. En caso que las distintas elevaciones estén conformadas por distintos materiales, se anotan las resistencias en la última columna denominada τ_x . Luego τ_k queda definido como el mínimo valor de τ_x .

Con la información anterior se definen los siguientes parámetros:

- $A = \text{mínimo entre } A_x \text{ y } A_y$
- $B = \text{máximo entre } A_x \text{ y } A_y$
- $a_0 = \frac{A}{A_t}$
- $\gamma = \frac{B}{A}$
- $q = \frac{(A_x + A_y) \cdot h}{A_t} \cdot p_m + p_s$

Finalmente, el valor C se obtiene con la ecuación A.3.

$$C = \frac{a_0 \tau_k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5 a_0 \tau_k (1 + \gamma)}} \quad \text{Ec. A3}$$

El parámetro α se calcula de la ecuación A.4.

$$\alpha = \frac{C}{0.4} \quad \text{Ec. A4}$$

Luego, las clases quedan dadas por los rangos de α siguientes:

Clase	Definición
A	Edificios con $1.0 \leq \alpha$
B	Edificios con $0.6 \leq \alpha < 1.0$
C	Edificios con $0.4 \leq \alpha < 0.6$
D	Edificios con $\alpha < 0.4$

El índice de vulnerabilidad nuevamente se calcula como en la ecuación A.2, pero cambia el valor del puntaje y los pesos y por ende también I_{max} . Los pesos y los puntajes se muestran en la tabla A.7.

Tabla A.7 - Puntaje por clase y peso de las características consideradas en el GNDT para casas grandes de albañilería

Característica considerada	Puntaje de Clase, k				Peso ρ
	A	B	C	D	
1) <u>Organización del sistema</u>	0	5	20	45	1
2) <u>Calidad del sistema resistente</u>	0	5	25	45	0.25
3) <u>Resistencia convencional</u>	0	5	25	45	1.5
4) <u>Posición del edificio y fundación</u>	0	5	25	45	0.75
5) <u>Sistema de piso</u>	0	5	15	45	var
6) <u>Configuración de la Planta</u>	0	5	25	45	0.5
7) <u>Configuración de la elevación</u>	0	5	25	45	var
8) <u>Esbeltez horizontal de las fachadas</u>	0	5	25	45	0.25
9) <u>Sistema de techumbre</u>	0	15	25	45	var
10) <u>Elementos no estructurales</u>	0	0	25	45	0.25
11) <u>Estado de conservación</u>	0	5	25	45	1

Los pesos de las características 5, 7 y 9 son variables y sus rangos se definen a continuación:

5. Peso asignado a la característica “sistema de piso”

En la mayoría de los casos el peso vale 0.5. Si existe más de una tipología de losa, el peso queda definido por la ecuación $\rho_5 = 0.5/\alpha_0$, donde α_0 es la razón entre el área de losas de mejor calidad y el área de losa total. Este valor no puede ser mayor a 1.

Si la losa es de hormigón armado, ρ_5 vale 1.25.

7. Peso asignado a la característica “configuración de la elevación”

Usualmente el peso de este parámetro es 1. Sin embargo, si la irregularidad sólo se debe a pórticos en el primer piso, el peso vale 0.5.

9. Peso asignado a la característica “sistema de techumbre”

El valor del peso de este parámetro se calcula por medio de la ecuación $\rho_9 = 0.5 + \alpha_1 + \alpha_2$.

α_1	0.25	Si el techo es de hormigón armado o pesa más de 200 kgf/m ² .
	0	De otro modo.
α_2	0.25	La razón entre el perímetro y el largo total de la zona de apoyo del sistema de techo es mayor a 2.
	0	De otro modo.
ρ_9	1.5	Si el techo se apoya sobre muros de muy baja resistencia.

Características Generales de la Estructura

Número de Pisos: Inauguración Actual

Número de Subterráneos:

Superficie [m²]: Terreno Primer Piso

Altura Total del edificio [m]:

Fundaciones

<u>Tipo</u>		<u>Material</u>
Sin Fundación Zapata Corrida	<input type="text"/> <input type="text"/>	Albañilería de Piedra <input type="text"/>
		Albañilería No Reforzada <input type="text"/>
Pilotes	<input type="text"/>	Madera <input type="text"/>
		Acero <input type="text"/>

Sistema de Techo

Material de la Cubierta:

Tejas	<input type="text"/>
Planchas de Zinc	<input type="text"/>
Losa H.A.	<input type="text"/>

Apoyo de Cubierta:

Cercha	<input type="text"/>	
Vigas	<input type="text"/>	<u>Material</u>
		Madera <input type="text"/>
		Acero <input type="text"/>

Apoyo de Viga o Cercha:

Directo	<input type="text"/>	
Elemento Cont.	<input type="text"/>	<u>Material</u>
Viga Collar	<input type="text"/>	Madera <input type="text"/>
Mansarda	<input type="text"/>	Acero <input type="text"/>

Ubicación de la Estructura

Cabeza	<input type="text"/>	Intermedio	<input type="text"/>
Esquina	<input type="text"/>	Aislado	<input type="text"/>

Entorno

Desnivel de Losa [m]

--

Homogeneidad (S/N)

--

Desnivel de Terreno

Pendiente (%)

--

Diferencia de cota máxima

--

Características de la Albañilería

Largo del ladrillo [cm]

--

Ancho del ladrillo [cm]

--

Alto del ladrillo [cm]

--

Espesor de la junta Horiz. [cm]

--

Espesor de la junta Ver. [cm]

--

Características del Primer Piso

Altura del Piso [m]:

Planta

Forma: Rectangular Otra: _____

Dimensiones:

Planta [m]	
Largo	Ancho

N° Ejes Resistentes:

N° de ejes resistentes	
Dirección x	Dirección y

Muros

Largo Total de Muros por Eje Resistente	
Dirección x	Dirección y
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

Espesor de Muros:

Uniforme

Variable

Espesor de Muros por Eje Resistente	
Dirección x	Dirección y
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

Material de los Muros Estructurales

- Mat1) Adobe
- Mat2) Bloques de piedra (junta seca)
- Mat3) Albañilería Piedra con mortero de barro
- Mat4) Albañilería Piedra con mortero de cal
- Mat5) Albañilería Piedra con mortero de cal y cemento
- Mat6) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal
- Mat7) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal y cemento

<u>Refuerzo de aberturas</u>		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Ubicación</u>			
Borde Superior	}	}	<u>Materiales</u>
Borde Inferior			
Borde Laterales			
Todo el contorno			
			Albañilería <input type="text"/>
			Madera <input type="text"/>
			Acero <input type="text"/>
<u>Unión Entre Muros</u>		SI/NO	<input type="text"/>
Trabazon Parcial	}	}	<u>Materiales</u>
Trabazon Completa			
Escuadra de Esquina			
Viga Collar			
			Madera <input type="text"/>
			Acero <input type="text"/>
<u>Union con Tabiques</u>		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Esquinas No Rectas</u>		SI/NO	<input type="text"/>
	Redondas	<input type="text"/>	
	Ochavo	<input type="text"/>	
<u>Piso</u>	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text"/>
	<u>Desnivel</u>	(S/N)	<input type="text"/>
<u>Sistema Piso:</u>			
Envigado con Entablado	}	}	<u>Apoyo Vigas</u>
Viguetas con Bovedillas			
Losa de H.A.			
Otro: _____			
			Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/>
			Sobre Elemento Continuo <input type="text"/>
			Viga Collar <input type="text"/>

Características Subterráneo

Altura del Piso [m]:

Planta

Forma: Rectangular Otra: _____

Dimensiones:

Planta [m]	
Largo	Ancho

N° Ejes Resistentes:

N° de ejes resistentes	
Dirección x	Dirección y

Muros

Largo Total de Muros por Eje Resistente	
Dirección x	Dirección y
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

Espesor de Muros:

Uniforme

Variable

Espesor de Muros por Eje Resistente	
Dirección x	Dirección y
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

Material de los Muros Estructurales

- Mat1) Barro o Albañilería con unidades de barro
- Mat2) Bloques de piedra (junta seca)
- Mat3) Albañilería Piedra con mortero de barro
- Mat4) Albañilería Piedra con mortero de cal
- Mat5) Albañilería Piedra con mortero de cal y cemento
- Mat6) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal
- Mat7) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal y cemento

Refuerzo de aberturas		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Ubicación</u>			
Borde Superior	}	}	<u>Materiales</u> Albañilería <input type="text"/> Madera <input type="text"/> Acero <input type="text"/>
Borde Inferior			
Borde Laterales			
Todo el contorno			
Unión Entre Muros		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Trabazon</u>			
Trabazon Parcial	}	}	<u>Materiales</u> Madera <input type="text"/> Acero <input type="text"/>
Trabazon Completa			
Escuadra de Esquina			
Viga Collar			
Union con Tabiques		SI/NO	<input type="text"/>
Esquinas No Rectas		SI/NO	<input type="text"/>
		Redondas	<input type="text"/>
		Ochavo	<input type="text"/>
Piso	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text"/>
	<u>Desnivel</u>	(S/N)	<input type="text"/>
Sistema Piso:			
Envigado con Entablado	}	}	<u>Apoyo Vigas</u> Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/> Sobre Elemento Continuo <input type="text"/> Viga Collar <input type="text"/>
Viguetas con Bovedillas			
Losa de H.A.			
Otro:			

Características Piso Tipo

Altura del Piso:

Pisos N°:

Planta

Forma:

Rectangular

Otra:

Dimensiones:

Planta [m]	
Largo	Ancho

N° Ejes Resistentes:

N° de ejes resistentes	
Dirección x	Dirección y

Muros

Largo Total de Muros por Eje Resistente	
Dirección x	Dirección y
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

Espesor de Muros:

Uniforme

Variable

Espesor de Muros por Eje Resistente	
Dirección x	Dirección y
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

Material de los Muros Estructurales

- Mat1) Barro o Albañilería con unidades de barro
- Mat2) Bloques de piedra (junta seca)
- Mat3) Albañilería Piedra con mortero de barro
- Mat4) Albañilería Piedra con mortero de cal
- Mat5) Albañilería Piedra con mortero de cal y cemento
- Mat6) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal
- Mat7) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal y cemento

Refuerzo de aberturas		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Ubicación</u>			
Borde Superior	}	}	→ <u>Materiales</u>
Borde Inferior			
Borde Laterales			
Todo el contorno			
			Albañilería <input type="text"/>
			Madera <input type="text"/>
			Acero <input type="text"/>
Unión Entre Muros		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Trabazon</u>			
Trabazon Parcial	}	}	→ <u>Materiales</u>
Trabazon Completa			
Escuadra de Esquina			
Viga Collar			
			Madera <input type="text"/>
			Acero <input type="text"/>
Union con Tabiques		SI/NO	<input type="text"/>
Esquinas No Rectas		SI/NO	<input type="text"/>
		Redondas	<input type="text"/>
		Ochavo	<input type="text"/>
Piso	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text"/>
	<u>Desnivel</u>	(S/N)	<input type="text"/>
<u>Sistema Piso:</u>			
Envigado con Entablado	}	}	→ <u>Apoyo Vigas</u>
Viguetas con Bovedillas			
Losa de H.A.			
Otro: _____			
			Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/>
			Sobre Elemento Continuo <input type="text"/>
			Viga Collar <input type="text"/>

Elementos No Estructurales y Terminaciones

Tabiquería SI/NO

Materiales

Tabiquería Adobe
 Albañilería Ladrillo
 Madera
 Otro: _____

Conexión con Estructura SI/NO

A nivel de Techo
 A nivel de Piso
 En los Muros

Escalera SI/NO

Material

Madera
 Albañilería
 Metálica

Ornamentación de Escalera

	Pesado	Liviano	Anclaje
Barandas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Balaustras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estatuillas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Caja de Escala SI/NO

Material

Madera
 Albañilería
 Tabiquería

Cielos SI/NO

Entablado
 Yeso

Contra Fuertes SI/NO

Chimeneas SI/NO

Elementos No Estructurales

SI/NO

	Pesado	Liviano	Anclaje
Antepedechos			
Antetecho			
Corta Fuego			
Revestimientos pesados			
Otros			

Ornamentaciones de Fachada

SI/NO

	Pesado	Liviano	Anclaje
Estatuillas			
Gabletes			
Balaustras			
Otros			

Daños

Grietas

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1						
Eje 2						
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A						
Eje B						
Eje C						
Eje D						
Eje E						

Incendio

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1						
Eje 2						
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A						
Eje B						
Eje C						
Eje D						
Eje E						

Mantenición

Humedad

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1						
Eje 2						
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A						
Eje B						
Eje C						
Eje D						
Eje E						

Erosiones

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1						
Eje 2						
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A						
Eje B						
Eje C						
Eje D						
Eje E						

Anexo C: Ficha Técnica de los Edificios Estudiados

Palacio Luis Cousiño			
Fecha: 25-10-2007			
Ubicación:	Esquina entre avda. Errázuriz y Blanco con psje. Ross		
Sector de Urbanización:	Zona Típica		
Clasificación Ley N°17.288:	Monumento Histórico		
Uso Actual:	Abandonado		
Cantidad de Residentes:	0		
Fecha de Construcción:	1881-1883		
Fecha Inauguración:	1883		
Modificaciones	SI/NO <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/>		
Descripción:	Se quemó en 1990, perdiendo los pisos y la techumbre. Se sellaron todas las entradas y ventanas del primer piso a lo largo de las fachadas con paños albañilería simple, para impedir el ingreso.		
Estado de Conservación			
Bueno	<input type="checkbox"/>	Recuperable	<input checked="" type="checkbox"/>
Regular	<input type="checkbox"/>	Irrecuperable	<input type="checkbox"/>
Malo	<input checked="" type="checkbox"/>		

Características Generales de la Estructura

Número de Pisos: Inauguración Actual

Número de Subterráneos:

Superficie [m²]: Terreno Primer Piso

Altura Total del edificio [m]:

Fundaciones

<u>Tipo</u>		<u>Material</u>
Sin Fundación Zapata Corrida	X	{ Albañilería de Piedra <input type="text"/> { Albañilería No Reforzada <input type="text"/>
Pilotes		{ Madera <input type="text"/> { Acero <input type="text"/>

Sistema de Techo

Material de la Cubierta:

Tejas	
Planchas de Zinc	
Losa H.A.	

Apoyo de Cubierta:

Cercha				<u>Material</u>
Vigas				

Apoyo de Viga o Cercha:

Directo				<u>Material</u>	
Elemento Cont.					Madera <input type="text"/> Acero <input type="text"/>
Viga Collar					
Mansarda					

Ubicación de la Estructura

Cabeza	X			Intermedio
Esquina				Aislado <input type="text"/>

Entorno

Desnivel de Losa [m]	0
Homogeneidad (SI/NO)	SI

Desnivel de Terreno

Pendiente (%)	0
Diferencia de cota máxima	0

Características de la Albañilería

Largo del ladrillo [cm]	39
Ancho del ladrillo [cm]	19
Alto del ladrillo [cm]	6.5
Espesor de la junta Horiz. [cm]	2
Espesor de la junta Ver. [cm]	1

Refuerzo de aberturas		SI/NO	<input type="text" value="NO"/>
<u>Ubicación</u>			<u>Materiales</u>
Borde Superior	}	}	Albañilería <input type="text"/>
Borde Inferior			Madera <input type="text"/>
Borde Laterales			Acero <input type="text"/>
Todo el contorno			
Unión Entre Muros		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
<u>Trabazon</u>			<u>Materiales</u>
Trabazon Parcial	}	}	Madera <input type="text" value="X"/>
Trabazon Completa			Acero <input type="text"/>
Escuadra de Esquina			
Viga Collar			
Union con Tabiques		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
Esquinas No Rectas		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
	Redondas	<input type="text" value="X"/>	
	Ochavo	<input type="text"/>	
Piso	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text" value="X"/>
	<u>Desnivel</u>	(SI/NO)	<input type="text" value="NO"/>
Sistema Piso:			<u>Apoyo Vigas</u>
Envigado con Entablado	}	}	Apoyo directo sobre el muro <input type="text" value="X"/>
Viguetas con Bovedillas			Sobre Elemento Continuo <input type="text"/>
Losa de H.A.			Viga Collar <input type="text" value="X"/>
Otro: _____			

Características Subterráneo

Altura del Piso [m]:

Planta

Forma: Rectangular Otra: Triangular

Dimensiones:

Planta [m]	
Largo	Ancho
62.00	28.84

N° Ejes Resistentes:

N° de ejes resistentes	
Dirección x	Dirección y
2	6

Muros

Largo Total de Muros por Eje Resistente		
	Dirección x	Dirección y
1	62.00	A 11.30
2	56.44	B 15.62
3		C 19.80
4		D 22.66
5		E 25.37
6		F 28.84

Espesor de Muros:

Uniforme

Variable

Espesor de Muros por Eje Resistente		
	Dirección x	Dirección y
1	110	A 79
2	110	B 79
3		C 79
4		D 79
5		E 79
6		F 79

Material de los Muros Estructurales

Mat1) Barro o Albañilería con unidades de barro

Mat2) Bloques de piedra (junta seca)

Mat3) Albañilería Piedra con mortero de barro

Mat4) Albañilería Piedra con mortero de cal

Mat5) Albañilería Piedra con mortero de cal y cemento

Mat6) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal

Mat7) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal y cemento

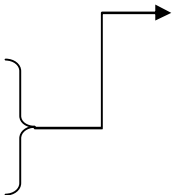
X

Refuerzo de aberturas

SI/NO

Ubicación

Borde Superior
Borde Inferior
Borde Laterales
Todo el contorno



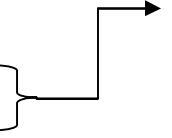
Materiales

Albañilería
Madera
Acero

Unión Entre Muros

SI/NO

Trabazon Parcial
Trabazon Completa
Escuadra de Esquina
Viga Collar



Materiales

Madera
Acero

Union con Tabiques

SI/NO

Esquinas No Rectas

SI/NO

Redondas
Ochavo

Refuerzo de aberturas		SI/NO	<input type="text" value="NO"/>
<u>Ubicación</u>			<u>Materiales</u>
Borde Superior	}	}	Albañilería <input type="text"/>
Borde Inferior			Madera <input type="text"/>
Borde Laterales			Acero <input type="text"/>
Todo el contorno			
Unión Entre Muros		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
Trabazon Parcial	}	}	<u>Materiales</u>
Trabazon Completa			Madera <input type="text" value="X"/>
Escuadra de Esquina			Acero <input type="text"/>
Viga Collar			
Union con Tabiques		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
Esquinas No Rectas		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
	Redondas	<input type="text" value="X"/>	
	Ochavo	<input type="text"/>	
Piso	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text" value="X"/>
	<u>Desnivel</u>	(SI/NO)	<input type="text" value="NO"/>
Sistema Piso:			<u>Apoyo Vigas</u>
Envigado con Entablado	}	}	Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/>
Viguetas con Bovedillas			Sobre Elemento Continuo <input type="text"/>
Losa de H.A.			Viga Collar <input type="text" value="X"/>
Otro:	_____		

Refuerzo de aberturas		SI/NO	<input type="text" value="NO"/>
<u>Ubicación</u>			<u>Materiales</u>
Borde Superior	}	}	Albañilería <input type="text"/>
Borde Inferior			Madera <input type="text"/>
Borde Laterales			Acero <input type="text"/>
Todo el contorno			
Unión Entre Muros		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
Trabazon Parcial	}	}	<u>Materiales</u>
Trabazon Completa			Madera <input type="text" value="X"/>
Escuadra de Esquina			Acero <input type="text"/>
Viga Collar			
Union con Tabiques		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
Esquinas No Rectas		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
	Redondas	<input type="text" value="X"/>	
	Ochavo	<input type="text"/>	
Piso	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text" value="X"/>
	<u>Desnivel</u>	(SI/NO)	<input type="text" value="NO"/>
Sistema Piso:			<u>Apoyo Vigas</u>
Envigado con Entablado	}	}	Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/>
Viguetas con Bovedillas			Sobre Elemento Continuo <input type="text"/>
Losa de H.A.			Viga Collar <input type="text" value="X"/>
Otro:	<hr/>		

Elementos No Estructurales y Terminaciones

Tabiquería SI/NO

Materiales

Tabiquería Adobe
 Albañilería Ladrillo
 Madera
 Otro: _____

Conexión con Estructura SI/NO

A nivel de Techo
 A nivel de Piso
 En los Muros

Escalera SI/NO

Material

Madera
 Albañilería
 Metálica

Ornamentación de Escalera

	Pesado	Liviano	Anclaje
Barandas			
Balaustras			
Estatuillas			
Otras			

Caja de Escala SI/NO

Material

Madera
 Albañilería
 Tabiquería

Cielos SI/NO

Entablado
 Yeso

Contra Fuertes SI/NO

Chimeneas SI/NO

Elementos No Estructurales

SI/NO

 NO

	Pesado	Liviano	Anclaje
Antepedros			
Antetecho			
Corta Fuego			
Revestimientos pesados			
Otros			

Ornamentaciones de Fachada

SI/NO

 SI

	Pesado	Liviano	Anclaje
Estatuillas			
Gabletes			
Balaustras		X	
Otros			

Daños

Grietas

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1	1	1	1	1		
Eje 2	1	1	1	1		
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A	1		2	1		
Eje B	1	2	1	1		
Eje C	1	2	1	1		
Eje D	1	1	1	1		
Eje E						

Incendio

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1		malo	malo	malo	malo	
Eje 2		malo	malo	malo	malo	
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A			regular	regular		
Eje B		regular	regular	regular		
Eje C		malo	malo	malo		
Eje D		malo	malo	malo		
Eje E						

Mantenición

Humedad

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1	bien	regular	regular	regular		
Eje 2	bien	regular	regular	regular		
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A	bien		regular	regular		
Eje B	bien	regular	regular	regular		
Eje C	bien	regular	regular	regular		
Eje D	bien	regular	regular	regular		
Eje E						

Erosiones

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1	bien	bien	bien	bien		
Eje 2	bien	bien	bien	bien		
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A	bien		bien	bien		
Eje B	bien	regular	bien	bien		
Eje C	bien	regular	regular	bien		
Eje D	bien	regular	regular	bien		
Eje E						

Palacio Subercaseaux

Fecha: 26-11-2007

Ubicación: Serrano 353-387

Sector de Urbanización: Zona Típica

Clasificación Ley N°17.288: Ninguna

Uso Actual: En recuperación

Cantidad de Residentes: 0

Fecha de Construcción: 1881-1895

Fecha Inauguración: 1895

Modificaciones

SI/NO

Descripción:

Se han puesto marcos de H.A. en los arcos del eje 1 y 2 y se han reforzado las columnas de albañilería con Hormigón.

Existen vigas doble T de acero de refuerzos en ventanas del eje D.

Estado de Conservación

Bueno

Regular

Malo

Recuperable

Irrecuperable

Características Generales de la Estructura

Número de Pisos: Inauguración Actual

Número de Subterráneos:

Superficie [m²]: Terreno Primer Piso

Altura Total del edificio [m]:

Fundaciones

Tipo	Material
Sin Fundación Zapata Corrida	<input type="text"/> <input type="text"/>
Pilotes	<input type="text"/> <input type="text"/>
	Albañilería de Piedra <input type="text"/> Albañilería No Reforzada <input type="text"/> Madera <input type="text"/> Acero <input type="text"/>

Sistema de Techo

Material de la Cubierta:

Tejas	<input type="text"/>
Planchas de Zinc	<input checked="" type="checkbox"/>
Losa H.A.	<input type="text"/>

Apoyo de Cubierta:

Cercha	<input type="text"/>	<u>Material</u>
Vigas	<input type="text"/>	Madera <input type="text"/> Acero <input type="text"/>

Apoyo de Viga o Cercha:

Directo	<input type="text"/>	<u>Material</u>
Elemento Cont.	<input type="text"/>	Madera <input type="text"/> Acero <input type="text"/>
Viga Collar	<input type="text"/>	
Mansarda	<input type="text"/>	

Ubicación de la Estructura

Cabeza	<input type="text"/>	Intermedio	<input type="text"/>
Esquina	<input type="text"/>	Aislado	<input checked="" type="checkbox"/>

Entorno

Desnivel de Losa [m]	2
Homogeneidad (S/N)	

Desnivel de Terreno

Pendiente (%)	2.05
Diferencia de cota máxima	0.66

Características de la Albañilería

Largo del ladrillo [cm]	41
Ancho del ladrillo [cm]	20
Alto del ladrillo [cm]	5
Espesor de la junta Horiz. [cm]	2
Espesor de la junta Ver. [cm]	1~2

Refuerzo de aberturas		SI/NO	<input type="text" value="NO"/>
<u>Ubicación</u>			<u>Materiales</u>
Borde Superior	}	<input type="text"/>	Albañilería <input type="text"/>
Borde Inferior			Madera <input type="text"/>
Borde Laterales			Acero <input type="text"/>
Todo el contorno			<input type="text"/>
Unión Entre Muros		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
Trabazon Parcial	}	<input type="text"/>	<u>Materiales</u>
Trabazon Completa			Madera <input type="text"/>
Escuadra de Esquina			Acero <input type="text"/>
Viga Collar			<input type="text"/>
Union con Tabiques		SI/NO	<input type="text"/>
Esquinas No Rectas		SI/NO	<input type="text" value="NO"/>
	Redondas	<input type="text"/>	
	Ochavo	<input type="text"/>	
Piso	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text" value="X"/>
	<u>Desnivel</u>	(SI/NO)	<input type="text" value="NO"/>
Sistema Piso:			<u>Apoyo Vigas</u>
Envigado con Entablado	}	<input type="text" value="X"/>	Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/>
Viguetas con Bovedillas			Sobre Elemento Continuo <input type="text" value="X"/>
Losa de H.A.			Viga Collar <input type="text"/>
Otro:	_____		

Características Subterráneo

Altura del Piso [m]:

Planta

Forma: Rectangular Otra:

Dimensiones:

Planta [m]	
Largo	Ancho
36.6	32.2

N° Ejes Resistentes:

N° de ejes resistentes	
Dirección x	Dirección y
2	4

Muros

Largo Total de Muros por Eje Resistente			
Dirección x		Dirección y	
1	7,94	A	25,57
2	14,27	B	22,22
3		C	21,35
4		D	20,16

Espesor de Muros:

Uniforme

Variable

Espesor de Muros por Eje Resistente	
Dirección x	Dirección y
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

Material de los Muros Estructurales

- Mat1) Barro o Albañilería con unidades de barro
- Mat2) Bloques de piedra (junta seca)
- Mat3) Albañilería Piedra con mortero de barro
- Mat4) Albañilería Piedra con mortero de cal
- Mat5) Albañilería Piedra con mortero de cal y cemento
- Mat6) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal
- Mat7) Albañilería no reforzada de ladrillo con mortero de cal y cemento

X

<u>Refuerzo de aberturas</u>		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Ubicación</u>			
Borde Superior	}	}	<u>Materiales</u>
Borde Inferior			
Borde Laterales			
Todo el contorno			
			Albañilería <input type="text"/>
			Madera <input type="text"/>
			Acero <input type="text"/>
<u>Unión Entre Muros</u>		SI/NO	<input type="text"/>
Trabazon Parcial	}	}	<u>Materiales</u>
Trabazon Completa			
Escuadra de Esquina			
Viga Collar			
			Madera <input type="text"/>
			Acero <input type="text"/>
<u>Union con Tabiques</u>		SI/NO	<input type="text"/>
<u>Esquinas No Rectas</u>		SI/NO	<input type="text"/>
	Redondas	<input type="text"/>	
	Ochavo	<input type="text"/>	
<u>Piso</u>	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text"/>
	<u>Desnivel</u>	(S/N)	<input type="text"/>
<u>Sistema Piso:</u>			
Envigado con Entablado	}	}	<u>Apoyo Vigas</u>
Viguetas con Bovedillas			
Losa de H.A.			
Otro: _____			Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/>
			Sobre Elemento Continuo <input type="text"/>
			Viga Collar <input type="text"/>

Refuerzo de aberturas		SI/NO	<input type="text" value="NO"/>
<u>Ubicación</u>			<u>Materiales</u>
Borde Superior	}	<input type="text"/>	Albañilería <input type="text"/>
Borde Inferior			Madera <input type="text"/>
Borde Laterales			Acero <input type="text"/>
Todo el contorno			<input type="text"/>
Unión Entre Muros		SI/NO	<input type="text" value="SI"/>
Trabazon Parcial	}	<input type="text"/>	<u>Materiales</u>
Trabazon Completa			Madera <input type="text"/>
Escuadra de Esquina			Acero <input type="text"/>
Viga Collar			<input type="text"/>
Union con Tabiques		SI/NO	<input type="text"/>
Esquinas No Rectas		SI/NO	<input type="text" value="NO"/>
	Redondas	<input type="text"/>	
	Ochavo	<input type="text"/>	
Piso	<u>Tipo:</u>	rígido	<input type="text"/>
		flexible	<input type="text" value="X"/>
	<u>Desnivel</u>	(SI/NO)	<input type="text" value="NO"/>
<u>Sistema Piso:</u>			<u>Apoyo Vigas</u>
Envigado con Entablado	}	<input type="text" value="X"/>	Apoyo directo sobre el muro <input type="text"/>
Viguetas con Bovedillas			Sobre Elemento Continuo <input type="text" value="X"/>
Losa de H.A.			Viga Collar <input type="text"/>
Otro:	<hr/>		

Elementos No Estructurales y Terminaciones

Tabiquería SI/NO

Materiales

Tabiquería Adobe
 Albañilería Ladrillo
 Madera
 Otro: _____

Conexión con Estructura SI/NO

A nivel de Techo
 A nivel de Piso
 En los Muros

Escalera SI/NO

Material

Madera
 Albañilería
 Metálica

Ornamentación de Escalera

	Pesado	Liviano	Anclaje
Barandas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Balaustras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estatuillas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Caja de Escala SI/NO

Material

Madera
 Albañilería
 Tabiquería

Cielos SI/NO

Entablado
 Yeso

Contra Fuertes SI/NO NO

Chimeneas SI/NO NO

Elementos No Estructurales

SI/NO

 SI

	Pesado	Liviano	Anclaje
Antepechos		X	X
Antetecho			
Corta Fuego			
Revestimientos pesados	X		
Otros			

Ornamentaciones de Fachada

SI/NO

 SI

	Pesado	Liviano	Anclaje
Estatuillas			
Gabletes			
Balaustras			
Otros		X	X

Daños**Grietas**

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1		1	1			
Eje 2		1	1	1		
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A		1	1	1		
Eje B		1	1	1		
Eje C		1	1	1		
Eje D		1	1	1		
Eje E						

Incendio

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1		malo	malo			
Eje 2		malo	malo	malo		
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A		malo	malo	malo		
Eje B		malo	malo	malo		
Eje C		malo	malo	malo		
Eje D		malo	malo	malo		
Eje E						

Mantenimiento

Humedad

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1		bien	bien			
Eje 2		bien	bien	bien		
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A		bien	bien	bien		
Eje B		bien	bien	bien		
Eje C		bien	bien	bien		
Eje D		bien	bien	bien		
Eje E						

Erosiones

	Subt.	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Eje 1		regular	regular			
Eje 2		regular	regular	regular		
Eje 3						
Eje 4						
Eje 5						
Eje A		regular	regular	regular		
Eje B		malo	regular	regular		
Eje C		regular	regular	regular		
Eje D		regular	regular	regular		
Eje E						

Anexo D: Pesos sísmicos

A continuación se resumen los cálculos para determinar el peso sísmico de las estructuras.

Lo primero que se definió es el peso específico de los materiales (ver tabla D.1). Para ello se consultaron distintas bibliografías.

Tabla N° D.1 - Peso específico de los materiales

	γ	Bibliografía
Alb	2000 kg/m ³	NCh 1536
Madera	515 kg/m ³	NCh 1537
Panel de Pino con doble forro de pino de 1/2"	15 kg/m ²	Icha

Después se calculó el peso de los muros. Para ello se ocupó el largo total de muros por eje (ver tabla D.3 y D.4), su espesor y la altura de cada piso (ver tabla D.2). No se consideraron los elementos que unen las aberturas, ya que estos elementos son pequeños.

Tabla D.2 - Alturas de los palacios en m.

Piso N°	Luis Cousiño	Subercaseaux	
		Cochrane	Serrano
1	4.2	3.3	5.8
2	2.3	4.2	
3	3.2	3.6	5.6
4	3.8	3.2	3.6
Total	13.5	14.3	15

Tabla D.3 - Peso muros Palacio Subercaseaux

Eje	Largo Muros [m]	Piso 1		Piso 2		Piso 3	
		Espesor [cm]	Peso [Ton]	Espesor [cm]	Peso [Ton]	Espesor [cm]	Peso [Ton]
1	7.9	85	78			62	89
2	14.3	85	80	85	102	85	87
A	25.6	85	143	62	133	62	114
B	22.2	62	91	62	116	62	99
C	21.4	62	87	62	111	62	95
D	20.2	85	113	62	105	62	90
	Total		593	Total	566.9	Total	574.7

Tabla D.4 - Peso muros Palacio Luis Cousiño

Eje	Largo Muros [m]	Piso 1		Piso 2		Piso 3	
		Espesor [cm]	Peso [Ton]	Espesor [cm]	Peso [Ton]	Espesor [cm]	Peso [Ton]
1	32.67	90	247	59	89.3	39	81.3
2	22.33	90	169	59	61.1	39	55.6
A	11.30	59	56	59	30.9	39	28.1
B	14.62	59	72	59	40.0	39	36.4
C	18.80	59	93	59	51.4	39	46.8
D	21.66	59	107	59	59.2	39	53.9
E	24.37	59	121	59	66.6	39	60.7
F	28.84	59	143	59	78.9	39	71.8
		Total	1008	Total	477.4	Total	434.6

Luego se calculó el peso del sistema de piso (ver tabla D.6 y D.7). Para ello se definieron distintas áreas en cada edificio (figura D.1). Además se cuenta con la descripción del tipo de sistema de piso que existía en estos edificios y el tipo de divisiones que se ocupaban (ver capítulo 6). Con estos datos es posible calcular el peso del sistema de piso, definiendo previamente las dimensiones de los elementos que los conforman (ver tabla D.5).

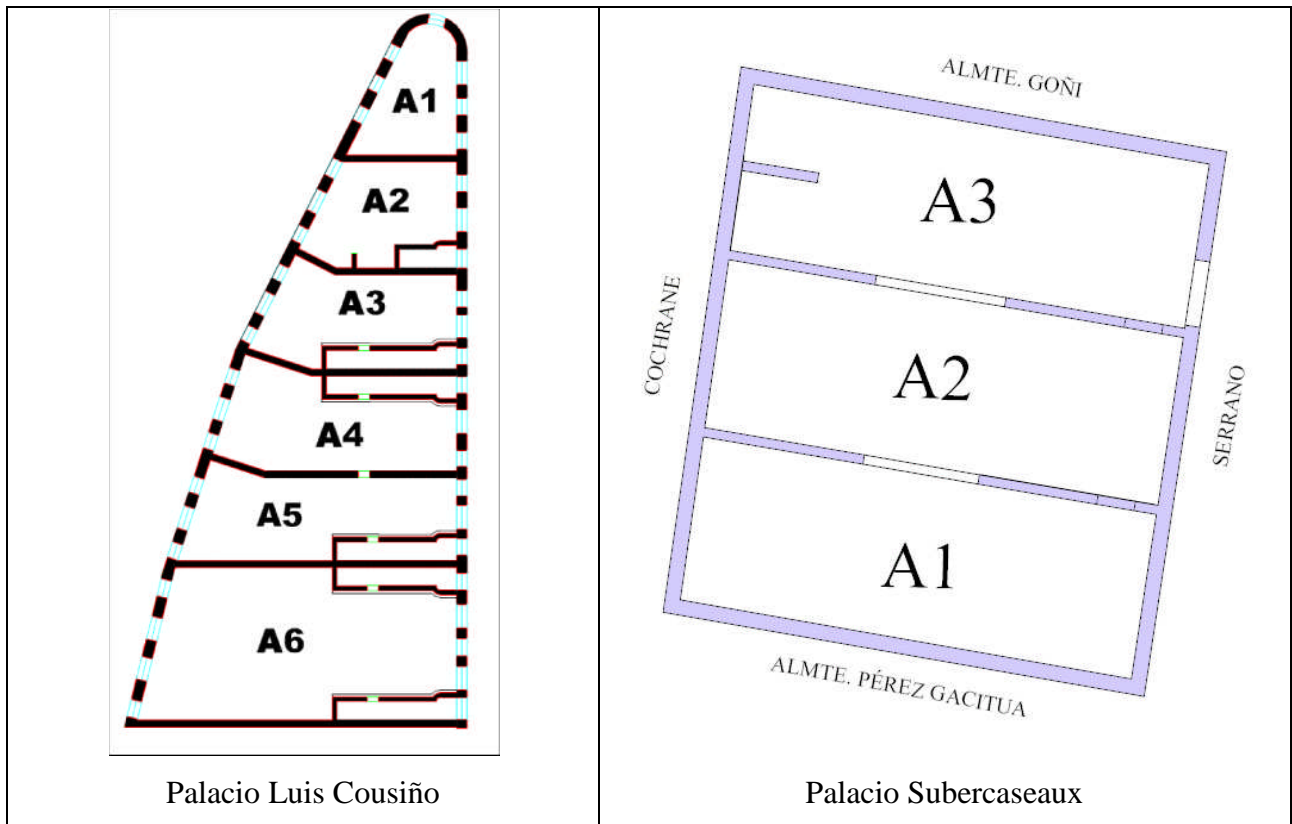


Figura D.1 – Areas consideradas para el cálculo del sistema de piso

Tabla D.5 - Características de sistema de piso

Espesor entablado	1	in
Espesor vigas	3	in
Alto vigas	12	in
Separación vigas	60	cm

Tabla D.6 - Peso sistema de piso Palacio Subercaseaux

Area N°	Area [m ²]	Peso Entablado [Ton]	N° Vigas	Largo [m]	Peso Vigas [Ton]	N° Divisiones	Peso Divisiones [Ton]
1	334.3	4.4	54.0	10.9	7.07	3	1.82
2	343.9	4.5	54.0	11.3	7.28	3	1.86
3	339.7	4.4	54.0	11.0	7.13	3	3.49
	Total	13.3		Total	21.48	Total	7.18

Tabla D.7 - Peso sistema de piso Palacio Luis Cousiño

Area N°	Area [m ²]	Peso Entablado [Ton]	N° Vigas	Largo [m]	Peso Vigas [Ton]	N° Divisiones	Peso Divisiones [Ton]
1	73.0	0.96	19	11.5	2.61	2	1.44
2	106.4	1.39	24	8.8	2.53	2	0.86
3	133.8	1.75	31	9.5	3.53	2	0.92
4	165.7	2.17	36	9.4	4.04	2	0.95
5	164.9	2.16	41	9.9	4.86	2	1.61
6	337.6	4.42	48	13.7	7.87	2	2.22
	Total	12.8		Total	25.43	Total	8.01

Luego, el valor del peso total del sistema de piso y el peso por metro cuadrado se muestra en la tabla D.8.

Tabla D.8 - Peso sistema de piso

	Subercaseaux	Cousiño	
Peso de sist. de piso por área	41.2	47.7	kg/m ²
Peso Total	42.0	46.8	Ton

Después se calculó el sistema de techo (ver tabla D.9). Para ello se consideraron tejas curvas y se supuso que el sistema de cercha tenía un peso de área igual al del sistema de piso. Por lo tanto el peso de la techumbre es:

Tabla D.9 - Peso del sistema de techo

	Cousiño	Subercaseaux	
Area Total	1063	1184	m ²
Peso cubierta	70	70	kg/m ²
Peso cercha	47.7	41.2	kg/m ²
Peso de techo por área	117.7	111.2	kg/m ²
Peso Total	125.1	131.7	Ton

Con todos los datos expuestos anteriormente se suman los pesos de la siguiente manera para obtener los pesos sísmicos:

$$W_{0i} = \frac{(W_i + W_{i+1})}{2} + W_p \quad \text{Pisos intermedios}$$

$$W_{0i} = \frac{(W_i + W_{i+1})}{2} + W_p + W_t \quad \text{Último Piso}$$

W_{0i} = peso sísmico del piso i

W_i = peso del piso i

W_p = peso del sist. de piso

W_t = peso del sist. de techo

Los pesos sísmicos resultantes son los detallados en la tabla D.10

Tabla D.10 - Peso sísmicos

Piso	Cousiño	Subercaseaux	
1	801	622	Ton
2	511	613	Ton
3	393	461	Ton

Por último se calculó el peso total del edificio que resulta de la suma del peso de todos los pisos, el sistema de piso y la techumbre. Además se cálculo el peso por el área de planta (ver tabla D.11).

Tabla D.11 - Peso total

	Cousiño	Subercaseaux	
Peso Total	2217	1992	Ton
Peso Promedio	0.70	0.56	Ton/m ² /n° pisos

Anexo E: Resumen de los valores ocupado para el cálculo de los índices de segundo nivel

En este anexo se detallan los valores que se ocuparon para el cálculo de los índices de segundo nivel. Todos estos valores se obtuvieron en la visita a terreno y se detallan en el capítulo 6 y en el Anexo C.

A continuación se detallan en las tablas E.1 y E.2 los valores ocupados para la evaluación del índice de Gallegos.

Tabla E.1 - Resumen de variables ocupadas en el cálculo del índice de Gallegos del Palacio Luis Cousiño

Parámetro	Variable	Valor
P	A	64.00
	B	28.84
E	B	12.8
	H	13.50

Tabla E.2 - Resumen de variables ocupadas en el cálculo del índice de Gallegos del Palacio Luis Cousiño

Parámetro	Variable	Valor
P	A	36.6
	B	32.2
E	B	36.6
	H	15

Con estos valores se llenan las tablas E.3 y E.4 y con la metodología definida en el Anexo A se calcula el índice de Gallegos.

Tabla E.3 - Índice Gallegos Palacio Luis Cousiño

PARÁMETRO			EVALUACIÓN			Calificación
PLANTA	P	0.80	P1.- Simetría	A1/A*B	N.A.	MALO (0.8)
			P2.- Proporción	Triangular		
			P3.- Continuidad	A/B	2.1	
SIMETRÍA EN LA ELEVACIÓN	E	1.00	E1.- Simetría	A1/B*H	N.A.	BUENO (1.0)
			E2.- Proporción	B/H	0.95	
			E3.- Continuidad	Ht/H	N.A.	
COMPONENETES DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	S	0.64	S1.- Densidad de elementos	Av	155	BUENO (1.0)
			S2.- Continuidad de pórticos	%Ele. vert.	N.A.	
				%Ele. Vert. Afec.	N.A.	
			S3.- Relación columnas-vigas	Ubicación	N.A.	
				α	N.A.	
S4.- Continuidad de muros	β	N.A.				
S5.- Conexiones de muros	% Area plano	0.60	MALO (0.8)			
	% Area sección	0.51				
			Ubicación	inf.	MALO (0.8)	
			Rm = 1	Rc = 0		
CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL	C	0.90	C1.- Simetría y uniformidad			BUENO (1.0)
			C2.- Distribución de rigidez	%L muros mayor	0.42	REGULAR (0.9)
				L/Lprom min	0.48	
			C3.- Simetría de masas	L/Lprom max	1.75	
Simetría	Sim.	BUENO (1.0)				
C4.- Rela. con ele. no estructurales	Ubicación	inf.	BUENO (1.0)			
FACTORES DE ADECUACIÓN	F	0.85	F1.- Suelo		2	0.85
			F2.- Uso		1	1
			F3.- Altura		1	1
			F4.- Relación suelo-altura		1	1
INDICE DE VULNERABILIDAD			Estructura			$i_v = 0.46$
			Estructura-Suelo			$i_v = 0.39$

%Area plano: Porcentaje de aberturas en el plano del muro del eje más desfavorable

%Area sección: Porcentaje de muros mayores al promedio de muros del eje más debil

N.A.: No Aplica

Tabla E.4 - Índice Gallegos Palacio Subercaseaux

PARÁMETRO			EVALUACIÓN		Calificación	
PLANTA	P	1.00	P1.- Simetría	A1/A*B	N.A.	BUENO
			P2.- Proporción	A/B	1.1	
			P3.- Continuidad	A1/A*B	N.A.	
SIMETRÍA EN LA ELEVACIÓN	E	1.0	E1.- Simetría	A1/B*H	N.A.	BUENO
			E2.- Proporción	B/H	2.44	
			E3.- Continuidad	Ht/H	N.A.	
			t/B	N.A.		
COMPONENTES DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	S	0.58	S1.- Densidad de elementos	Av	53	REGULAR
			S2.- Continuidad de pórticos	%Ele. vert.	N.A.	
				%Ele. Vert. Afec.	N.A.	
			S3.- Relación columnas-vigas	Ubicación	N.A.	
				α	N.A.	
	β	N.A.				
			S4.- Continuidad de muros	% Area plano	0.78	MALO
				% Area sección	0.48	
			S5.- Conexiones de muros	Ubicación	inf	MALO
				Rm = 1	Rc = 0	
CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL	C	0.80	C1.- Simetría y uniformidad			BUENO
			C2.- Distribución de rigidez	%L muros mayor	0.58	MALO
				L/Lprom min	0.34	
				L/Lprom max	1.71	
			C3.- Simetría de masas	Simetría	Sim.	BUENO
			C4.- Rela. con ele. no estructurales	Ubicación	inf	BUENO
FACTORES DE ADECUACIÓN	F	1.00	F1.- Suelo		1	1
			F2.- Uso		1	1
			F3.- Altura		1	1
			F4.- Relación suelo-altura		2	1
INDICE DE VULNERABILIDAD			Estructura		$i_v = 0.46$	
			Estructura-Suelo		$i_v = 0.46$	

En las tablas E.5 y E.6 se han llenado las fichas GNDT de viviendas para ambos palacios. Los resultados se han dividido en el caso anterior y posterior al incendio y se muestran en la última fila de la tabla. La metodología del cálculo del índice GNDT está resumido en el Anexo A.

Tabla E.5 – Índice GNDT para viviendas del Palacio Luis Cousiño

PARAMETRO		Cali.	Cali. Inf.	ELEMENTO DE EVALUACION	ESQUEMAS Y VALORES
1	TIPO DE ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA	C	E	Norma nueva o equivalente	A
				Cordones y/o cadenas y/o contra fuertes en todos los niveles	B
2	CALIDAD DEL S.R.	A	M	Buenas conexiones entre muros y entre todos los pisos consecutivos	C
				Edificio con malas conexiones	D
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	B	M	1. Albañilería simple	1
				2. Muros mixtos	
4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y FUNDACION	B	B	3. Sistema mixto albañilería/tab. de adobe	0
				4. Edificio de tabiquería de adobe	
5	SISTEMA DE PISO	C	B	a) Losa con respecto a edif. contiguo (m)	0.66
				b) Posición en la cuadra	0.5
6	CONFIGURACION DE LA PLANTA	C	M	c) Homogeneidad con los edif. contiguos	1
				d) Numero de pisos N	3
7	CONFIGURACION EN ELEVACION	A	M	e) Superficie cubierta S	1063
				f) Peso específico muros ρ (kg/m ³)	2000
8	D _{max} ESTRUCTURA	B	E	a) Pendiente porcentual del terreno (%)	0
				b) Diferencia max cota Δh (m)	0
9	SISTEMA DE TECHO	B	A	c) Roca (S/N)	N
				d) Terreno suelto sin empuje (S/N)	S
10	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	B	M	e) Terreno suelto con empuje (S/N)	N
11	ESTADO DE CONSERVACION	A	M	a) Losa con diferencia de cota (S/N)	N
				1. Losa rígida y bien colgada	
INDICE DE VULNERABILIDAD				2. Losa deformable y bien colgada	2
				3. Losa rígida y mal colgada	
				4. Losa deformable y mal colgada	
				Relación porcentual $\beta_1 = a/l$ (a:29 l:56)	0.51
				Relación porcentual $\beta_2 = b/l$ (b:0 l:56)	0.0
				1. Aumento o disminución de masa (%)	0
				2. Superficie pórtico (%)	0
				3. T/H (%)	0
				Esbeltez horiz. max. l/s (l: 14 s: 0.9)	15.22
				1. Techo con empuje (S/N)	N
				2. Cadena y/o conexión (S/N)	S
				(Ver manual)	
				Antes del incendio	
				Posterior al incendio	
				Antes del incendio	$i_v = 0.15$
				Posterior al incendio	$i_v = 0.22$

3. Resistencia conven. Edificio

1. Dif. Losa ≤ 0.5 m $\rightarrow 1.00$
 2. 0.5 m < Dif Losa ≤ 1.5 m $\rightarrow 0.66$
 3. 1.5 m \leq Dif losa $\rightarrow 0.33$

1. Entre medianeros $\rightarrow 1.00$
 2. Esquina $\rightarrow 0.75$
 3. Cabezal $\rightarrow 0.50$
 4. Aislado $\rightarrow 0.25$

1. Homogéneo $\rightarrow 1.0$
 2. Non Homogéneo $\rightarrow 0.5$

Calidad S.R. 1-2 $\rightarrow 2000$ kg/m³
 Calidad S.R. 3-4 $\rightarrow 1200$ kg/m³

$$C = \frac{S}{N \cdot \rho} \begin{cases} \geq 0.1 \rightarrow 1 \\ < 0.1 \rightarrow 0.5 \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=a}^c i + C}{4} = \frac{0.79}{4}$$

6. Configuración planimétrica

7. Configuración en elevación

9. Techo

Tabla E.6 – Índice GNDT para viviendas del Palacio Subercaseaux

PARAMETRO		Cali.	Cali. Inf.	ELEMENTO DE EVALUACION	ESQUEMAS Y VALORES
1	TIPO DE ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA	C	M	Norma nueva o equivalente	A
				Cordones y/o cadenas y/o contra fuertes en todos los niveles	B
2	CALIDAD DEL S.R.	A	M	Buenas conexiones entre muros y entre todos los pisos consecutivos	C
				Edificio con malas conexiones	D
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	B	M	1. Albañilería simple	1
				2. Muros mixtos	
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	B	M	3. Sistema mixto albañilería/tab. de adobe	1
				4. Edificio de tabiquería de adobe	
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	B	M	a) Losa con respecto a edif. contiguo (m)	1
				b) Posición en la cuadra	0.25
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	B	M	c) Homogeneidad con los edif. contiguos	1
				d) Numero de pisos N	3
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	B	M	e) Superficie cubierta S	1180
				f) Peso específico muros ρ (kg/m ³)	2000
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	B	M	$C = \frac{S}{N \cdot \rho} \begin{cases} \geq 0.1 \rightarrow 1 \\ < 0.1 \rightarrow 0.5 \end{cases}$	
				$\alpha = \frac{\sum_{i=a}^c i + C}{4} = \frac{0.79}{4}$	
4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y FUNDACION	A	B	6. Configuración planimétrica	
4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y FUNDACION	A	B	a) Pendiente porcentual del terreno (%)	2.05%
				b) Diferencia max cota Δh (m)	0.7
4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y FUNDACION	A	B	c) Roca (S/N)	N
				d) Terreno suelto sin empuje (S/N)	N
4	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y FUNDACION	A	B	e) Terreno suelto con empuje (S/N)	N
				7. Configuración en elevación	
5	SISTEMA DE PISO	C	B	a) Losa con diferencia de cota (S/N)	S
5	SISTEMA DE PISO	C	B	1. Losa rígida y bien colgada	2
				2. Losa deformable y bien colgada	
5	SISTEMA DE PISO	C	B	3. Losa rígida y mal colgada	2
				4. Losa deformable y mal colgada	
6	CONFIGURACION DE LA PLANTA	A	M	Relación porcentual $\beta_1 = a/l$ (a:29 l:56)	0.89
				Relación porcentual $\beta_2 = b/l$ (b:0 l:56)	0.0
7	CONFIGURACION EN ELEVACION	A	M	9. Techo	
7	CONFIGURACION EN ELEVACION	A	M	1. Aumento o disminución de masa (%)	10%
				2. Superficie pórtico (%)	0
7	CONFIGURACION EN ELEVACION	A	M	3. T/H (%)	0
8	D _{max} ESTRUCTURA	A	E	Esbeltez horiz. max. l/s (l: 14 s: 0.9)	13.3
9	SISTEMA DE TECHO	B	A	1. Techo con empuje (S/N)	N
				2. Cadena y/o conexión (S/N)	N
10	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	A	B	(Ver manual)	
11	ESTADO DE CONSERVACION	A D	M	Antes del incendio	
				Posterior al incendio	
INDICE DE VULNERABILIDAD				Antes del incendio	i_v = 0.11 i_v = 0.25
				Posterior al incendio	

La calificación de la característica que se refiere al “estado de conservación” después del incendio es de C en el caso del Palacio Luis Cousiño y D en el caso del Palacio Subercaseaux, ya que este último está más deteriorado y ha sufrido más modificaciones que el primero.

Por último se muestran en las tablas E.7 y E.8 los valores de la ficha de la característica 3 de la ficha GNDT para viviendas de albañilería y los valores que resultan al hacer este cambio.

Tabla E.7 – Índice GNDT para viviendas de albañilería del Palacio Luis Cousiño

PARAMETRO		Cali.	Cali. Inf.	ELEMENTO DE EVALUACION		ESQUEMAS Y VALORES
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	D	M	a) Número de piso N	<u>3</u>	Min. entre Ax y Ay A (m2) <u>49.5</u>
				b) Area total cubierta A_t (m ²)	<u>1063</u>	Max. entre Ax y Ay B (m2) <u>72.33</u>
				c) Area A_x (m ²)	<u>49.50</u>	Coefficiente $a_0 = A / A_t$ <u>0.068</u>
				d) Area A_y (m ²)	<u>72.33</u>	Coefficiente $\gamma = B / A$ <u>1.46</u>
				e) τ_k (tonf/m ²)	<u>20</u>	$q = \frac{(A_x + A_y) \cdot h}{A_t} \cdot p_m + p_s$ <u>734</u>
				f) Altura media entre pisos h (m)	<u>3.2</u>	$C = \frac{a_0 \tau_k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5a_0 \tau_k (1 + \gamma)}}$ <u>0.013</u>
				g) Peso específico p_m (tonf/m ³)	<u>2000</u>	
				h) Peso permanente techo p_s (kgf/m ³)	<u>0.112</u>	$\alpha = C / 0.4$ <u>0.032</u>
INDICE DE VULNERABILIDAD				Antes del incendio	i_v = 0.35	
				Posterior al incendio	i_v = 0.41	

Tabla E.8 – Índice GNDT para viviendas de albañilería del Palacio Subercaseaux

PARAMETRO		Cali.	Cali. Inf.	ELEMENTO DE EVALUACION		ESQUEMAS Y VALORES
3	RESISTENCIA CONVENSIONAL	D	M	a) Número de piso N	<u>3</u>	Min. entre Ax y Ay A (m2) <u>18.88</u>
				b) Area total cubierta A_t (m ²)	<u>1184</u>	Max. entre Ax y Ay B (m2) <u>65.87</u>
				c) Area A_x (m ²)	<u>18.88</u>	Coefficiente $a_0 = A / A_t$ <u>0.056</u>
				d) Area A_y (m ²)	<u>65.87</u>	Coefficiente $\gamma = B / A$ <u>3.49</u>
				e) τ_k (tonf/m ²)	<u>20</u>	$q = \frac{(A_x + A_y) \cdot h}{A_t} \cdot p_m + p_s$ <u>620</u>
				f) Altura media entre pisos h (m)	<u>3.6</u>	$C = \frac{a_0 \tau_k}{qN} \sqrt{1 + \frac{qN}{1.5a_0 \tau_k (1 + \gamma)}}$ <u>0.009</u>
				g) Peso específico p_m (tonf/m ³)	<u>2000</u>	
				h) Peso permanente techo p_s (kgf/m ³)	<u>105</u>	$\alpha = C / 0.4$ <u>0.024</u>
INDICE DE VULNERABILIDAD				Antes del incendio	i_v = 0.28	
				Posterior al incendio	i_v = 0.40	

REFERENCIAS

Acevedo P., M. Astroza, J.C. Canales, J. Monge y C. Perretta, 1989, “*Relación entre las unidades geotécnicas y los daños producidos por el sismo del 3 de marzo de 1985 en la ciudad de Valparaíso*”, Proceedings 5as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, 7-11 Agosto, Vol. 1, pp 515-523.

Acevedo P. y O. Orozco, 1986, “*Antecedentes generales del subsuelo en los sectores más densamente poblados de Valparaíso y San Antonio*”, Capítulo 10, El sismo del 3 de marzo 1985-Chile, Editado Acero Comercial S.A., Santiago, Chile.

Alvarez L., 1964, “*Geología del área de Valparaíso - Viña del Mar*”, Boletín N° 16, Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.

Astroza M., 2007, “*Reinterpretación de las intensidades del terremoto de 1906*”, VI Congreso Chileno de Geotécnica, Valparaíso-Chile, 28-30 Noviembre.

Astroza M., M.O. Moroni y M. Kupfer, 1993, “*Calificación sísmica de edificios de albañilería de ladrillo confinada con elementos de hormigón armado*”, Memorias de las 26as Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Montevideo-Uruguay, 15-19 Noviembre, 1993, Vol. 1, pp 327-338.

Barrientos S.E. y E. Kausel, 1990, “*Génesis y proceso de ruptura del terremoto del 3 de marzo de 1985*”, Revista de Geofísica, **46**, pp3-18.

Benedetti, D. & Petrini, V., *On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure*, L'Industria delle Costruzioni, vol. **18**, pp. 66-78.

Canales J.C. y C. Perretta, 1988, "*Estudios de los efectos del sismo del 3 de marzo de 1985 en la comuna de Valparaíso*", Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Carvajal A., 1989, "*Estudio comparativo de los terremotos de Valparaíso de 1906 y 3 de marzo de 1985*", Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Comte D., A. Esisenberg, E. Lorca, M. Pardo, L. Ponce, R. Saragoni, S.K. Singh y G. Suarez, 1986, "*The 1985 Central Chile earthquake: A repeat of previous great earthquakes in the region*", Science, **233**, pp 449-453.

DGF, <http://ssn.dgf.uchile.cl/home/terrem.html>, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.

El Mercurio, 2008, "*Valparaíso invierte en restauración patrimonial*", Sábado 29 de Marzo, Cuerpo C, pp C-1, Santiago, Chile.

Gallegos H., 1986, "*Índice de calidad estructural sismo resistente*", 4as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica y International Seminar on the Chilean earthquake of March 3, 1985, Viña del Mar-Chile, 2-4 Abril, Tomo 2, I36-I61.

Gent K.A., M. Astroza y G.M. Giuliano, 2005, "*Calibración del índice de vulnerabilidad del g.n.d.t. a las edificaciones chilenas: estructuras de albañilería confinada*", 9as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción-Chile, 16-19 Noviembre.

Graham M., 1824, "*An account of some effects of the late earthquakes in Chile*", Trans. Geol. Soc., London 2nd Ser., **1**, pp413-415.

Grimme K. y L. Alvarez, 1964, "*El suelo de fundación de Valparaíso y Viña del Mar. Provincia de Valparaíso*", Boletín N° **16**, Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.

Grünthal G. (Editor), 1998, “*European Macroseismic Scale 1998*”, Conseil de L’Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sésimologie, Vol. **15**, Luxembourg.

Gutenberg B. and C.F. Richter, 1954, “*Seismicity of the Earth*”, Princeton Univ. Press, Princeton.

INN, 1996, “*Norma Chilena Oficial NCh433 – Diseño sísmico de edificios*”, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.

Jiménez C. y Mario Ferrada, 2006, “*Identidad tipológica del patrimonio arquitectónico. Área Histórica UNESCO de Valparaíso*”, Revista Urbano, noviembre, Vol. 9, Num. **14**, Universidad del BíoBío, Concepción, Chile, pp. 20-26.

Kárník V., Z. Schenkova and V. Schenk, 1984, “*Vulnerability and the MSK scale*”, Engineering Geology, **20**, pp 161-168.

Kelleher J., 1972, “*Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions*”, J. Geophys. Res., **77**, pp 2087-2103.

Kuroiwa J., 2002, “*Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza*”, Primera Edición, Lima, Perú.

Le Dantec F., 2003, “*Crónicas del Viejo Valparaíso*”, Ediciones Universitarias de Valparaíso de la Universidad Católica de Valparaíso, Santiago, Chile.

Lomnitz C., 1971, “*Mayor earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1953*”, Geolog. Rundschau, **59**, pp 980-960.

Lourenço P. y J. Roque, 2006, “*Simplified indexes for the seismic vulnerability of ancient masonry buildings*”, Construction and Building Materials, **20**, pp 200-208.

Medvedev S., Sponheur W. and V. Kárník, 1964, “*Neue Seismische Skala*”, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Heft **77**, Akademie Verlag.

- Meli R., 1998, "*Ingeniería Estructural de los edificios históricos*", Fundación ICA A.C., México.
- Meli R., 1991, "*Diseño sísmico de edificios de muros de mampostería; la práctica actual y el comportamiento observado*", Memoria Simposium Internacional, Seguridad Sísmica en la Vivienda Económica, México D.F., México, 25 al 28 de febrero, pp 398-423.
- Menendez, P., 1991, "*Atenuación de las intensidades del sismo del 3 de marzo de 1985 en función de la distancia a la zona de ruptura y del tipo de suelo*", Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Monfret T. and B. Romanowicz, 1986, "*Importante of on scale observations of first arriving Rayleigh wave trains for source studies: Example of the Chilean event of March 3*", observed on the GEOSCOPE and IDA networks", *Geophys. Res. Lett.*, 1985, **99**, pp 1015-1018.
- Monge J. y M. Astroza, 1989, "*Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños*", Proceedings 5as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, 7-11 Agosto, Vol. 1, pp 483-492.
- Montessus de Ballore F., 1915, "*Historia Sísmica de Los Andes Meridionales al sur del paralelo XVI, Quinta Parte: El terremoto del 16 de agosto de 1906*", Sociedad Imprenta y Litografía Barcelona, Santiago-Valparaíso, Chile.
- Moya A., 2002, "*Estudio de los daños del terremoto de Chillán de 1939*", Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- O.G.P., 2006, "*Valparaíso. Patrimonio de la Humanidad Siglo XXI*", Oficina de Gestión Patrimonial, Ilustre Municipalidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- Ojeda S., 1978, "*Zonificación del suelo de fundación del sector plano de Valparaíso*", Memoria para optar al título de Construcción Civil, Universidad de Valparaíso, Chile.

Okal E., 2005, “A re-evaluation of the great Aleutian and Chilean earthquakes of 1906 August 17”, *Geophys. J. Int.*, **161**, pp 268-282.

Ossandon, Oriana Gonzalez, Sergio Parga y Carlos Valdenegro, 1980, “*El Almendral (Puerto de Valparaíso): Las condiciones geográficas para su remodelación, a raíz del terremoto de 1906*”, *Revista Geográfica de Valparaíso (U.C.V.)*, N° **11**.

Pardo M., D. Comte and A. Eisenberg, 1986, “*Secuencia sísmica de marzo en Chile Central*”, *Proceedings 4as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica y International Seminar on the Chilean earthquake of March 3, 1985, Viña del Mar-Chile, 2-4 Abril, 1986, Tomo 1, A1-A15.*

Rodríguez A. y C. Gajardo, 1906, “*La Catástrofe del 16 de Agosto de 1906 en la Republica de Chile*”, *Imprenta y Litografía Barcelona, Santiago, Chile.*

Roque J., 2002, “*Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria*”, Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería, Universidad de Minho, Portugal.

Sáez Godoy L., 2004, “*Valparaíso: Guía Histórico-Cultural, Siglos XVI-XXI*”, Editorial Puntágeles, Santiago, Chile.

Sanhueza S., 2002, “*Estudio de los daños del terremoto de Talca de 1928*”, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Saragoni G.R. y A. Carvajal, 1989, “*Estudio comparativo de los terremotos de Valparaíso de 1906 y 1985*”, *Proceedings 5as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, 7-11 Agosto, Vol. 1, pp 345-356.*

Sarrazin M., 1986, “*Regulaciones sismorresistentes*”, Capítulo 4, El sismo del 3 de marzo 1985-Chile, Editado Acero Comercial S.A., Santiago, Chile.

Steffen H., 1907, “*Contribuciones para un estudio científico del terremoto del 16 de agosto de 1906*”, Imprenta Cervantes, Santiago, Chile.

Taller Intramuros, 2007, Departamento de Arquitectura, Universidad Técnica Federico Santa María, Segundo Semestre.

Urbina C., M. X., 2002, "*Los conventillos de Valparaíso, 1880-1920: Percepción de barrios y viviendas marginales*", Revista de Urbanismo, N° 5, Santiago de Chile, Publicación Electrónica Editada por el Departamento de Urbanismo, F.A.U. de la Universidad de Chile, enero.

Verdugo A., 1995, “*Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica de Valparaíso y Viña del Mar*”, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Verdugo R. y C. Pastén, 2007, Comunicación personal.

Zegers L., 1906, “*El terremoto del 16 de agosto de 1906*”, Imprenta Cervantes, Santiago, Chile.

Zhang J. and H. Kanamori, 1986, “*Source finiteness of large shallow earthquakes from long period surface waves*”, EOS, **67**, pp 1118