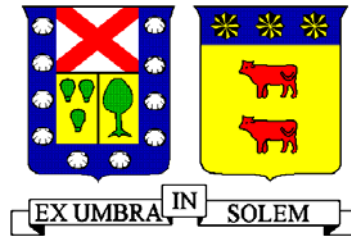


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE
VALPARAÍSO

Memoria de titulación presentada por:
HERNÁN ANDRÉS QUEZADA PEÑALOZA

Como requisito parcial para optar al Título de:
Ingeniero Civil

Profesor Guía:
Sr. Carlos Aguirre Ahumada

Agosto de 2011

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a mi profesor guía Sr. Carlos Aguirre y al profesor Maximiliano Astrosa por su colaboración respondiendo mis dudas presentadas durante todo el desarrollo de esta memoria y la guía prestada en aquellos momentos de incertidumbre.

Deseo también agradecer a Don Alessandro Rodríguez, quien me ayudo en la elaboración de un mecanismo de iteración el cual me facilitó bastante el trabajo, reduciendo considerablemente el tiempo dedicado al cálculo de las intensidades.

Quisiera también agradecer al personal del Laboratorio de Suelos, quienes me brindaron toda su cooperación y ayuda, facilitándome los informes y estudios realizados por la Universidad, respondiendo además, todas las dudas presentadas durante la realización de este estudio.

No podía dejar de lado a mis Padres y mi hermana quienes me apoyaron siempre, brindándome su apoyo en cada momento; a mis Tíos, Mauricio Pinar y María Eugenia Quezada, quienes me alojaron durante el periodo de elaboración de esta memoria tratándome igual que a un hijo; y finalmente a mis amigos de la región quienes estuvieron conmigo en cada momento brindándome su apoyo y comprensión en los momentos difíciles.

Finalmente extender este agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron de alguna u otra forma en la realización de esta Memoria.

Memoria Dedicada

A mis Padres

RESUMEN

Nuestro país, debido a la cercanía que tiene a la zona de subducción entre la Placa de Nazca y la Continental, es escenario de grandes terremotos. Por esta razón es necesaria la realización de una gran cantidad de estudios de manera de poder entender de mejor forma el comportamiento que tendrían las edificaciones de una ciudad frente a un evento de gran magnitud.

En este caso, se ha analizado la ciudad de Valparaíso utilizando dos estudios, uno que hace referencia a las Encuestas realizadas a las viviendas dañadas con el Terremoto de 1985 y otro relacionado con los Registros de Aceleración del mismo sismo.

Utilizando las Encuestas de Daños, se determinó la Intensidad resultante en diferentes sectores de la ciudad mediante la utilización de la Escala MSK, la cual tiene características semejantes a la de Mercali pero se diferencia en que considera el material de construcción de las viviendas.

En cuanto al estudio de los Registros de Aceleración, éste fue realizado por Pamela Pérez, quien determinó la amplificación sísmica existente en distintas zonas de la ciudad.

Como resultado, se obtiene la Microzonificación Sísmica de la ciudad mediante la utilización de un Análisis Cluster, el cual tiene por finalidad mezclar estos dos estudios obteniendo zonas con comportamiento sísmico de semejantes características.

ABSTRACT

Our country, due to proximity that it has to the continental drift area between the Nazca Plate and Continental Plate, is a scenario for great earthquakes. It is therefore necessary to conduct a large number of studies in order to better understand the behavior city buildings would have in the face of a major event.

In this case, the city of Valparaiso has been analyzed by means of two studies, one that refers to the Surveys regarding houses that were damaged in the 1985 earthquake, and another related to the Acceleration Report of the same earthquake.

Using the Damage Surveys, the Intensity of different areas of the city was determined by using the MSK Scale, which has characteristics similar to the Mercalli Scale but differs in that it considers the construction material of the houses.

Regarding the study of the Acceleration Reports, this was carried out by Pamela Pérez who determined the existence of seismic amplification in different parts of the city.

As a result, the Seismic Microzonification of the city is achieved using a Cluster Analysis method, which aims to mix these two studies obtaining areas with seismic behavior of similar characteristics.

GLOSARIO

Epicentro: Punto en la superficie de la tierra que está directamente encima del foco o hipocentro.

Escala MSK (MSK-64): Escala macrosísmica usada para evaluar la Intensidad de los terremotos basándose en los efectos destructivos en las construcciones humanas y el material con cual son construidas, el cambio del aspecto del terreno y la forma en que se vio afectada la población.

Escala de Mercali: Escala desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras.

Hipocentro: Punto al interior de la tierra, donde se inicia el movimiento sísmico. También corresponde al punto en el cual se produce la fractura de la corteza terrestre que genera un terremoto.

Isosístas: Curvas que poseen el mismo nivel de Intensidad.

C: Constante que depende del suelo, Anexo A.

F_{C,i}: Factor de corrección utilizado para el ajuste de las Intensidades, Capítulo 2.4.2.

G: Módulo de Corte del suelo, Capítulo 3.

G_i: Grado de daño *i* para los distintos tipos de viviendas (*i*=0,1,2,3,4,5), Capítulo 2.2.3.

G_{i,corr}: Grado de daño *i* corregido para los distintos tipos de viviendas (*i*=0,1,2,3,4,5) , Capítulo 2.4.2.

G_m: Grado medio de daño para los distintos tipos de viviendas, Capítulo 2.2.3.

- $G_{m\acute{a}x}$: M3dulo de Corte del suelo m3ximo, Cap3tulo 3.2.1.2.
- $G_{m,corr}$: Grado medio de da3o corregido para los distintos tipos de viviendas, Cap3tulo 2.4.2.
- $I_{A(i,j)}$: Intensidad MSK para las viviendas Tipo A en el nodo (i,j), Cap3tulo 2.3.3.
- $I_{B(i,j)}$: Intensidad MSK para las viviendas Tipo B en el nodo (i,j) , Cap3tulo 2.3.3..
- $I_{C(i,j)}$: Intensidad MSK para las viviendas Tipo C en el nodo (i,j) , Cap3tulo 2.3.3..
- $I_{Patr3n,i}$: Intensidad calculada por Perreta y Canales para la zona i, Cap3tulo 2.4.2.
- $I_{nodo(i,j)}$: Intensidad MSK Ponderada en el nodo (i,j) , Cap3tulo 2.3.3..
- $I_{enc,i}$: Intensidad calculada con las encuestas de da3o para la zona i, Cap3tulo 2.4.2.
- K : Par3metro en funci3n de la plasticidad del suelo, Anexo A.
- K_{θ} : Coeficiente de empuje lateral en reposo, Cap3tulo 3.2.
- $K_{2m\acute{a}x}$: Par3metro adimensional que depende s3lo del 3ndice de Vac3os, Anexo A.
- L : Largo de la falla, Cap3tulo 1.1.2.
- M_s : Magnitud de Ondas Superficiales. Se basa en la amplitud m3xima del registro medio en el grupo de ondas Rayleigh con periodos entre 18 – 22 segundos, Cap3tulo 1.
- M_0 : Momento S3smico, Cap3tulo 1.1.2.
- N : N3mero de golpes en ensayo SPT en [N3 de golpes/ft], Cap3tulo 3.2.
- $N_{A(i,j)}$: N3mero de viviendas Tipo A con Intensidad I_A en el nodo (i,j), Cap3tulo 2.3.3.

- $N_{B(i,j)}$: Número de viviendas Tipo B con Intensidad I_B en el nodo (i,j), Capítulo 2.3.3.
- $N_{C(i,j)}$: Número de viviendas Tipo C con Intensidad I_C en el nodo (i,j), Capítulo 2.3.3.
- OCR**: Relación de Preconsolidación, Anexo A.
- S_i : Grupo i del análisis cluster, $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$, Capítulo 4.2.
- Su**: Resistencia no drenada al esfuerzo de corte, Anexo A.
- V_s : Velocidad de la onda de corte en [m/s], Capítulo 3.2.2.2..
- V_p : Velocidad de Ondas de Compresión [m/s], Capítulo 3.2.2.2..
- W**: Ancho de la falla, Capítulo 1.1.2.
- W_d : Energía disipada por histéresis de un ciclo, Capítulo 3.2.2.1.
- W_s : Energía de Deformación Elástica al nivel de máximos del ciclo, Capítulo 3.2.2.1.
- Z**: Profundidad del estrato de suelo en metros, Capítulo 3.2.
- c**: Cohesión, Capítulo 3.2.
- e**: Índice de vacíos, Capítulo 3.2.1.2.
- k**: Número de grupos para el análisis cluster ($k < n$), Capítulo 4.2.
- m_b : Magnitud de Ondas de Volumen. Esta magnitud considera la relación existente entre la amplitud de las ondas P y S (ondas de volumen) y el período predominante en el registro del sismo en su componente vertical, Capítulo 1.

- \mathbf{x}_j : Vector real n-dimensional (x_1, x_2, \dots, x_n), Capítulo 4.2.
- β : Razón de Amortiguamiento, Capítulo 3.2.2.1.
- $\beta_{m\acute{a}x}$: Razón de amortiguamiento máximo para grandes deformaciones ($G=0$), Capítulo 3.2.2.2.
- γ : Deformación, Capítulo 3.2.2.1.
- γ_h : Deformación Hiperbólica, Capítulo 3.2.2.2.
- η : Viscosidad, Capítulo 3.2.2.1.
- μ : Rigidez [dinas/cm²], Capítulo 1.1.2.
- μ_i : Promedio de del grupo S_i del análisis cluster, Capítulo 4.2.
- ν : Módulo de Poisson, Capítulo 3.2.2.2.
- ρ : Densidad del Suelo en [Kg/m³], Capítulo 3.2.
- σ_o : Esfuerzo principal medio efectivo, Capítulo 3.2.1.2.
- σ_v : Esfuerzo vertical efectivo, Capítulo 3.2.
- τ : Tensión de corte generada por las fuerzas de inercia producidas por el paso de la onda a través de suelo, Capítulo 3.2.2.1.
- ω : Frecuencia de excitación, Capítulo 3.2.2.1.

ϕ : Ángulo de fricción interna, Capítulo 3.2.

Argmín $f(x)$: Valor del vector x que minimiza la función $f(x)$, Capítulo 4.2.

$\overline{\Delta D}$: Deslizamiento Medio [m], Capítulo 1.1.2.

[C]: Matriz de Amortiguamiento para los elementos ensamblados, Capítulo 3.3.2.

[M]: Matriz de Masa para los elementos ensamblados, Capítulo 3.3.2.

[K]: Matriz de Rigidez para los elementos ensamblados, Capítulo 3.3.2.

{R(t)}: Vector de Carga Sísmica, Capítulo 3.3.2.

{u}: Vector Desplazamiento Nodal (los puntos denotan diferenciación con respecto al tiempo), Capítulo 3.3.2.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I	3
1 Caracterización Sísmica de Valparaíso.....	3
1.1 Terremoto del 3 de Marzo de 1985.....	3
1.1.1 <i>Características Generales.....</i>	3
1.1.2 <i>Sismo Principal y Replicas.</i>	5
1.2 Antecedentes Geológicos y Suelos de Fundación.....	8
1.2.1 <i>Tipos de Suelo.</i>	9
1.2.2 <i>Zonificación de Suelos.</i>	14
1.3 Población y Viviendas de los Distritos de Valparaíso.....	22
1.4 Comentarios.....	25
Capítulo II.....	26
2 Análisis Macrosísmico.	26
2.1 Información Disponible, Encuestas de Daño.....	26
2.2 Escala de Daño MSK.	28
2.2.1 <i>Clasificación de Edificaciones.....</i>	28
2.2.2 <i>Grado de Daño.....</i>	29
2.2.3 <i>Cálculo del Grado de Intensidad MSK Adaptada.</i>	30
2.3 Determinación de la Intensidad de Daño.....	36
2.3.1 <i>Estadística del Daño en Edificaciones.....</i>	36
2.3.2 <i>Definición de la Red de Nodos.....</i>	38
2.3.3 <i>Asignación de Valores.</i>	43
2.4 Método de Ajuste de Intensidades.....	45
2.4.1 <i>División de la Ciudad e Intensidades MSK Utilizadas en el Ajuste de los Datos.</i>	45
2.4.2 <i>Factores de Corrección.</i>	50
2.5 Intensidades Corregidas.....	52
2.6 Comentarios.....	56

Capítulo III	59
3 Análisis de Amplificación Sísmica.	59
3.1 Características de los Registros Utilizados.	59
3.2 Características del Medio de Propagación.	62
3.2.1 Rigidez, Módulo de Corte G.....	63
3.2.2 Amortiguamiento Interno.....	68
3.2.3 Módulo de Poisson.....	74
3.3 Modelo de Amplificación Bidimensional.	76
3.3.1 Elementos Finitos.....	76
3.3.2 Procedimiento Analítico y Evaluación de la Respuesta.	77
3.3.3 Consideraciones en el Modelo.....	78
3.4 Modelación de Valparaíso y Resultados Obtenidos.....	84
3.4.1 Modelación.....	84
3.4.2 Resultados.....	85
3.5 Microzonas a partir del Modelo.....	92
3.6 Comentarios.....	93
Capítulo IV	95
4 Análisis Cluster.....	95
4.1 Generalidades.....	95
4.2 Metodología Utilizada, K-Means.....	96
4.3 Evaluación y Resultados.....	99
4.4 Comentarios.....	110
Capítulo V	112
5 Microzonificación Propuesta.....	112
5.1 Microzonificación.....	112
5.2 Comparaciones con Metodologías Anteriores.....	113
5.3 Comentarios.....	116
Capítulo VI	117
6 Conclusiones.....	117

Referencias.....	120
Anexos	124
Anexo A	124
<i>Ecuaciones para el Cálculo del Módulo de Corte Máximo.....</i>	<i>124</i>
Anexo B	129
<i>Análisis de Amplificación Sísmica del Cerro Los Placeres.....</i>	<i>129</i>
Anexo C	135
<i>Parámetros Sísmicos Calculados para Cada Nodo en el Análisis Cluster.</i>	<i>135</i>
Anexo D.....	138
<i>Distancias Calculadas para las Distintas Combinaciones.....</i>	<i>138</i>
Anexo E	148
<i>Diagrama de Flujo y Manual de Uso Planillas Excel para el Cálculo de Intensidad.....</i>	<i>148</i>

Índice Ilustraciones

Ilustración 1.1: Esquema Placa de Nazca y Placa Sudamericana.	4
Ilustración 1.2: Sismo Principal y sus Precursores.	6
Ilustración 1.3: Rumbo, Manteo y Dirección de la Falla.	7
Ilustración 1.4: Perfil Perpendicular a la Costa mostrando la ubicación de la Superficie de Ruptura en relación a la Costa y la Fosa Marina.	7
Ilustración 1.5: Evolución de Rellenos, Plan de Valparaíso.	10
Ilustración 1.6: Corte A-A, Rellenos Plan de Valparaíso.	11
Ilustración 1.7: Corte B-B, Rellenos Plan de Valparaíso.	11
Ilustración 1.8: Zonificación de Suelos del Plan de Valparaíso.	20
Ilustración 1.9: Zonificación de Suelos del Sector Alto de Valparaíso.	21
Ilustración 1.10: Profundidad del Basamento Rocoso del Plan de Valparaíso.	21
Ilustración 1.11: Distribución de la Comuna de Valparaíso, según el XV CENSO de Población y IV de Vivienda de 1982.	24
Ilustración 2.1: Gráfico N° de Viviendas vs. Tipo de Estructura.	27
Ilustración 2.2: Curvas Patrón Para Viviendas Tipo A, B y C.	33
Ilustración 2.3: Distribución Acumulada de Daño.	34
Ilustración 2.4: Representación del Grado Medio de Daño.	35
Ilustración 2.5: Grado de Daño Viviendas de Adobe.	37
Ilustración 2.6: Grado de Daño Viviendas de Tabiquería de Adobe.	37
Ilustración 2.7: Grado de Daño Viviendas de Albañilería Sin Refuerzo.	38
Ilustración 2.8: Nodos Utilizados para el Trazado de Isosístas, Viviendas Tipo A y B.	40
Ilustración 2.9: Nodos Utilizados para el Trazado de Isosístas, Viviendas Tipo A.	41
Ilustración 2.10: Nodos Utilizados para el Trazado de Isosístas, Viviendas Tipo B.	42
Ilustración 2.11: División de la Comuna de Valparaíso para el Cálculo de Intensidades.	46
Ilustración 2.12: Isosístas para las Viviendas Tipo A.	53
Ilustración 2.13: Isosístas para las Viviendas Tipo B.	54
Ilustración 2.14: Isosístas para las Viviendas Tipo A y B.	55

Ilustración 3.1: Acelerogramas del Sismo del 3 de Marzo de 1985, Valparaíso.	60
Ilustración 3.2: Espectro de Respuesta de Aceleración Absoluta, Sismo de Chile 1985, Estación UTFSM.....	61
Ilustración 3.3: Espectro de Respuesta de Aceleración Absoluta, Sismo de Chile 1985, Estación El Almendral.	62
Ilustración 3.4: Relación Esfuerzo Deformación.....	64
Ilustración 3.5: Modelo Viscoelástico.....	69
Ilustración 3.6: Ciclos de Histéresis Para Distintas Frecuencias.	70
Ilustración 3.7: Espectros de Respuesta de Aceleración Absoluta para Diferentes Estratos.....	81
Ilustración 3.8: Sección Transversal e Idealización en Elementos Finitos de un Peralte de Tierra Sobre Base Rígida.	82
Ilustración 3.9: Sección Transversal e Idealización en Elementos Finitos de un Peralte de Tierra Sobre Base Flexible.	82
Ilustración 3.10: Aceleración Máxima Superficial para los Distintos Registros.	84
Ilustración 3.11: Distribución de Modelos sobre el Plan de Valparaíso.....	85
Ilustración 3.12: Isosístas de Aceleración Máxima.....	87
Ilustración 3.13: Isosístas de Intensidad de Arias.	88
Ilustración 3.14: Isosístas de Potencial Destructivo.....	89
Ilustración 3.15: Isosístas de Razón Espectral	90
Ilustración 3.16: Isosístas de Razón Espectral $T=0,7$ [s].	91
Ilustración 3.17: Microzonificación Propuesta por Pamela Pérez.	93
Ilustración 4.1: Dendograma.....	96
Ilustración 4.2: Algoritmo de Delaunay.....	98
Ilustración 4.3: Regiones de Voronoi.....	99
Ilustración 4.4: Malla de Nodos Utilizada para el Análisis Cluster.....	100
Ilustración 4.5: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 1.	102
Ilustración 4.6: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 2.	103
Ilustración 4.7: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 3.	104
Ilustración 4.8: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 4.	105
Ilustración 4.9: Grupos Generados por el Análisis Cluster, 5.....	106
Ilustración 4.10: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 6.	107
Ilustración 4.11: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 7.	108

Ilustración 5.1: Microzonificación Propuesta.	113
Ilustración 5.2: Microzonificación Propuesta vs Perreta y Canales.....	115
Ilustración 5.3: Microzonificación Propuesta vs Pamela Pérez.....	115
Ilustración 5.4: Microzonificación Propuesta vs Tipos de Suelos.....	116
Ilustración A.1: Ubicación de los Sondajes SPT.	129
Ilustración A.2: Ubicación Malla Elementos Finitos, Cerro Los Placeres.	132
Ilustración A.3: Geometría Malla Elementos Finitos, Cerro Los Placeres.....	132
Ilustración A.4: Diagrama de Flujo Trazado de Isosístas.	148
Ilustración A.5: Elección del tamaño de la Malla.....	150
Ilustración A.6: Elección del tamaño de la Malla, Cálculo.....	151
Ilustración A.7: Elección del tamaño de la Malla, Resultados.	152
Ilustración A.8: Cálculo de Intensidad, Resultados.	154

Índice Tablas

Tabla 1-1: Población y Viviendas por Distrito.	22
Tabla 2-1: Número de Encuestas Clasificadas según el Tipo de Estructura.	27
Tabla 2-2: Clasificación de las Construcciones según la Escala M.S.K.	29
Tabla 2-3: Definiciones de Grados de Daño según la Escala MSK Adaptada.	30
Tabla 2-4: Definiciones de Grados de Intensidad MSK.	31
Tabla 2-5: Porcentajes de Viviendas Dañadas Tipo A para Intensidad VII MSK.	32
Tabla 2-6: Grados Medio de Daño Patrón, $G_{m,p}$	35
Tabla 2-7: Distancia entre Nodos.	39
Tabla 2-8: Área Contribuyente para las Mallas propuestas.	43
Tabla 2-9: Intensidades Calculadas por Perreta y Canales para la Ciudad de Valparaíso.	48
Tabla 2-10: Intensidades MSK Calculadas según el Punto 2.2.3 para las Zonas Definidas por Perreta y Canales.	49
Tabla 2-11: Factores de Corrección para Zonas Definidas por Perreta y Canales.	51
Tabla 3-1: Parámetros Sísmicos, Estación UTFSM.	61
Tabla 3-2: Parámetros Sísmicos, Estación El Almendral.	61
Tabla 3-3: Constantes para la Ecuación 3.3.	67
Tabla 3-4: Parámetros a y b según el Tipo de Suelo para el cálculo de G	68
Tabla 3-5: Parámetro a y b según el Tipo de Suelo para el cálculo de β	73
Tabla 3-6: Parámetro β_0 según el Tipo de Suelo.	73
Tabla 3-7: Velocidad de las Ondas de Corte en los Terrenos del Congreso Nacional (Ensayos Cross-Hole).	75
Tabla 3-8: Velocidad de Ondas de Corte y de Compresión en el Parque Italia (Ensayo de Refracción Sísmica).	75
Tabla 3-9: Modelo Propuesto por Verdugo para el Plan de Valparaíso.	75
Tabla 4-1: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 1.	102
Tabla 4-2: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 2.	103
Tabla 4-3: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 3.	104
Tabla 4-4: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 4.	105

Tabla 4-5: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 5.	106
Tabla 4-6: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 6.	107
Tabla 4-7: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 7.	108
Tabla 4-8: Intensidades MSK Mínimas y Máximas por Grupo y Combinación.	109
Tabla 4-9: Límites según Intensidad para los Grupos y Combinaciones Propuestas.	109
Tabla A-1: Parámetro K (Woods, 1978).	125
Tabla A-2: Evaluación de $K_{2máx}$ según Tipo de Suelo.	127
Tabla A-3: Constantes de las Ecuaciones de Enami, Ohhasashi y Hara.	128
Tabla A-4: Sondajes SPT: N_{SPT} , $G_{máx}$ y Módulo de Poisson.	129
Tabla A-5: Parámetros Instrumentales, Cerro Los Placeres.	133
Tabla A-6: Parámetros Sísmicos, Nodos Malla Análisis Cluster.	135
Tabla A-7: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 1 y Combinación 2.	138
Tabla A-8: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 3 y Combinación 4.	141
Tabla A-9: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 5 y Combinación 6.	143
Tabla A-10: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 7.	145
Tabla A-11: Ingreso de Nodos en Planilla.	149

Índice Ecuaciones

Ecuación 1.1: Momento Sísmico.	8
Ecuación 2.1: Grado Medio de Daño.	35
Ecuación 2.2: Intensidad MSK Ponderada para los Distintos Tipos de Viviendas. ...	43
Ecuación 2.3: Intensidad MSK Ponderada para Viviendas Tipo A y B.	44
Ecuación 2.4: Factor de Corrección.	50
Ecuación 2.5: Grado de Daño Corregido.	52
Ecuación 2.6: Grado Medio de Daño Corregido.	52
Ecuación 3.1: Cálculo de $G_{máx}$ en Función de la Velocidad de Onda de Corte.	65
Ecuación 3.2: Cálculo de la Velocidad de Onda de Corte.	66
Ecuación 3.3: Cálculo de $G_{máx}$ en Función del Número de Golpes en Ensayos SPT.	66
Ecuación 3.4: Cálculo de $G_{máx}$ para Arenas en la Ciudad de Valparaíso.	66
Ecuación 3.5: Cálculo de $G_{máx}$ para Suelos donde N tenga Validez en Valparaíso. ...	67
Ecuación 3.6: Módulo de Corte en Función de la Deformación.	67
Ecuación 3.7: Deformación de Corte Hiperbólica.	67
Ecuación 3.8: Deformación de Referencia.	67
Ecuación 3.9: Corte Máximo.	67
Ecuación 3.10: Modelo Viscoelástico.	69
Ecuación 3.11: Capacidad de Amortiguamiento Específico.	71
Ecuación 3.12: Viscosidad en Función de la Razón de Amortiguamiento.	71
Ecuación 3.13: Amortiguamiento Interno.	71
Ecuación 3.14: Amortiguamiento Interno en Función de la Deformación.	72
Ecuación 3.15: Razón de Amortiguamiento Máximo Producida a Grandes Deformaciones.	72
Ecuación 3.16: Módulo de Poisson en Función del Módulo de Corte Máximo ($G_{máx}$).	74
Ecuación 3.17: Módulo de Poisson en Función de las Ondas de Corte (V_s) y Ondas de Compresión (V_p).	74
Ecuación 3.18: Ecuación de Movimiento en el Dominio del Tiempo.	77
Ecuación 3.19: Resolución Ecuación de Movimiento por Métodos Numéricos.	78

Ecuación 4.1: Algoritmo K-Means.	97
Ecuación A.1: Velocidad de Onda de Corte para Arenas con Gravas Redondeadas, Hardin y Black.	124
Ecuación A.2: Módulo de Corte Máximo para Arenas con Gravas Redondeadas, Hardin y Black.	124
Ecuación A.3: Velocidad de Onda de Corte para Arenas con Gravas Angulares, Hardin y Black.	124
Ecuación A.4.	124
Ecuación A.5: Módulo de Corte Máximo Considerando Consolidación, Hardin y Black.	125
Ecuación A.6: Módulo de Corte Máximo para Arenas con Gravas Redondeadas, Kuribayashi.	126
Ecuación A.7: Módulo de Corte Máximo para Arenas con Gravas Angulares, Kuribayashi.	126
Ecuación A.8: Módulo de Corte Máximo, Iwasaki y Tatsuoka.	126
Ecuación A.9: Módulo de Corte Máximo para Arenas y Gravas, Seed e Idriss.	126
Ecuación A.10: Módulo de Corte Máximo para Arcillas, Seed e Idriss.	127
Ecuación A.11: Módulo de Corte Máximo; Enami, Ohhasashi y Hara.	128
Ecuación A.12: Resistencia No Drenada al Esfuerzo de Corte; Enami, Ohhasashi y Hara.	128
Ecuación A.13: Módulo de Corte Máximo; Enami, Ohhasashi y Hara.	128

Introducción

Chile se ubica en un contexto de subducción océano-continente presentando características de fuerte acoplamiento sísmico entre las placas de Nazca y Continental de América del sur.

Bajo este ambiente tectónico, se producen en Chile dos tipos de terremotos, el terremoto Interplaca (Thrust) y el terremoto Intraplaca, el primero con epicentros a lo largo de la costa con profundidades focales entre 15 y 50 [km], mientras que el segundo con epicentros más bien continentales, de profundidades focales intermedias entre 50 y 100 [km].

El último sismo de gran magnitud con foco en la V región fue el 3 de Marzo de 1985, el cual por su magnitud, pertenece a la serie de grandes terremotos con un período de 82 ± 6 [años], pero a diferencia de sus predecesores (1647, 1730, 1822 y 1906), presenta una magnitud menor.

Debido al hecho de que se pudieron tomar registros, este sismo toma bastante importancia para los avances en ingeniería sísmica del país. Los Registros de Aceleración se han utilizado en la elaboración de la normativa sísmica, mientras que las Encuestas de Daño realizadas, se han utilizado para evaluar el daño existente en las distintas ciudades.

Esta información, se ha utilizado para entender de mejor forma el comportamiento sísmico de la ciudad de Valparaíso. Para ello, se han realizado dos tipos de estudios, un estudio de Amplificación Sísmica, el cual utiliza los registros de aceleración determinando la amplificación existente en la ciudad; y un estudio Macrosísmico con el cual se determina la Intensidad de daño mediante la utilización de las Encuestas de Daño.

Con ambos estudios, se realiza un análisis multivariado el cual considera los aportes entregados por ambas metodologías minimizando las falencias que presentan ambos estudios para que de esta manera, se obtenga un único resultado final lo más representativo posible del comportamiento sísmico de la ciudad.

En el Capítulo 1 se presentan las características principales que afectaron el comportamiento sísmico de la ciudad de Valparaíso durante el terremoto de 1985, como son el terremoto, los antecedentes geológicos y suelos de fundación, y la cantidad de población y viviendas existentes.

En el Capítulo 2, se presenta un Análisis Macrosísmico de la ciudad, en el cual mediante la utilización de las Encuestas de Daño realizadas para el terremoto de 1985, se obtienen las Intensidades en distintas zonas de la ciudad.

En el Capítulo 3, se presenta el estudio de Amplificación Sísmica realizado por Pamela Pérez, en donde se han utilizado los Registros de Aceleración de las Estaciones Sísmicas ubicadas en la ciudad de Valparaíso y parámetros instrumentales medidos en toda la ciudad para determinar los índices de daño más importantes como son Aceleración Máxima, Intensidad de Arias, Potencial Destructivo, Razón Espectral Media y Razón Espectral para un periodo de 0,7 [s] en toda la ciudad.

En el Capítulo 4, se presenta un análisis multivariado realizado con los parámetros obtenidos en los Capítulos 2 y 3.

En el Capítulo 5, se propone una Microzonificación Sísmica para la ciudad de Valparaíso.

En el Capítulo 6, se presentan las principales conclusiones que se pueden desprender de todo el estudio realizado en esta Memoria.

Capítulo I

1 Caracterización Sísmica de Valparaíso.

Valparaíso, a lo largo de su historia, ha ido incrementado considerablemente su población. Por esta razón, se vio en la obligación de quitarle terreno al mar con la finalidad de poder contar con una mayor superficie para edificación.

Estos cambios, tanto en la topografía como en el subsuelo de la ciudad, hacen que la ciudad presente amplificaciones o mitigaciones de la onda sísmica, lo cual se traduce en daños de distinta magnitud en toda la ciudad, algunos de ellos de bastante consideración, como por ejemplo, en quebradas de cerros o en zonas con rellenos artificiales de gran profundidad.

Estos daños, no sólo dependen de la amplificación, sino que también del tipo de vivienda existente y el material utilizado para su construcción. Por ello es de gran importancia tener en consideración estos hechos al momento de realizar un análisis sísmico, para que de esta forma, el análisis sea lo más representativo posible.

A continuación se presentan las principales características que determinan el comportamiento sísmico de la ciudad de Valparaíso.

1.1 Terremoto del 3 de Marzo de 1985.

1.1.1 *Características Generales.*

El 3 de Marzo de 1985 ocurrió un terremoto de Magnitud $M_s = 7,8$ de características moderadas a fuerte. Se le considera uno de los terremotos más destructivo que ha afectado a la zona central de Chile (Ref 1.- Saragoni, R., Gonzáles, P. y Fresard, M.).

Su epicentro estuvo ubicado en el mar entre Valparaíso y Algarrobo, más precisamente en $33,24^{\circ}$ S – $71,85^{\circ}$ W y comenzó a las 22:46:56,8 GTM (Ref 2.- Kausel, E.).

Según el NEIS (National Earthquake Information Service, USA), corresponde a un terremoto del tipo Interplaca (tipo thrust), el cual se genera en la zona de subducción océano-continente con características de fuerte acoplamiento sísmico entre las placas Sudamericana y Nazca con epicentros a lo largo de la costa a profundidades focales entre 15 [km] y 50 [km].

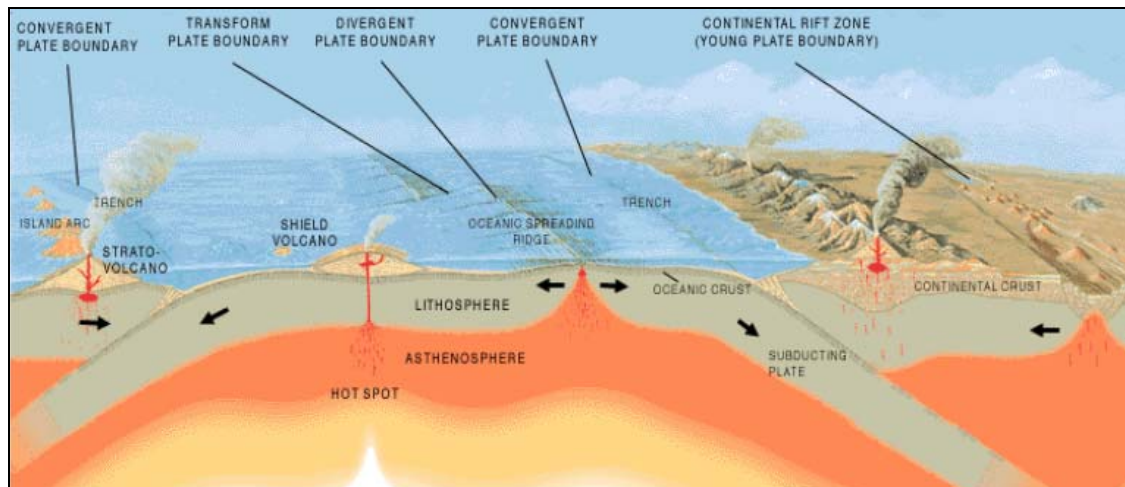


Ilustración 1.1: Esquema Placa de Nazca y Placa Sudamericana.

Este sismo en particular es de gran importancia porque pertenece a una serie de grandes terremotos que han acontecido a la zona central de nuestro país. A pesar de que presenta una magnitud inferior que la de sus antecesores ($8 \frac{1}{2}$ en 1647, $8 \frac{3}{4}$ en 1730, $8 \frac{1}{2}$ en 1822 y 8,3 en 1906 (Ref 2.- Kausel, E.)), es considerado dentro de este grupo dada sus características focales y a que coincide con la periodicidad correspondiente a este grupo, es decir, 82 ± 6 años.

1.1.2 Sismo Principal y Replicas.

Anterior a este sismo, más precisamente 10,4 [s] antes, se produjo un sismo $m_b = 5,5$ a las 22:46:56,8 GMT con epicentro $33,24^\circ\text{S} - 71,88^\circ\text{W}$, $H = 17$ [km], según el Departamento de Geología y Geofísica (Ref 1.- Saragoni, R., Gonzáles, P. y Fresard, M.).

Este sismo se situó a unos 12 [km] al Este del sismo principal, provocando un oscurecimiento en los registros dificultando la obtención del epicentro del sismo principal. Para poder obtener el valor definitivo, se calcularon los epicentros para ambos terremotos con los registros superpuestos, obteniéndose el epicentro del sismo principal pero con una cierta imprecisión del cálculo debido a esta superposición.

De los resultados, se obtienen ambos epicentros, presentando una escasa distancia entre sí, por ello es probable que los epicentros hayan coincidido (Ref 1.- Saragoni, R., Gonzáles, P. y Fresard, M.).

Para corroborar lo anterior, se analizaron algunos sismogramas de estaciones lejanas, en donde los dos eventos fueron registrados con una diferencia de tiempo casi constante en todas las Estaciones, quedando en claro, que la aproximación antes descrita es bastante válida.

En la Ilustración 1.2 se puede apreciar la ubicación del sismo principal junto con 10 precursores también determinados con datos de la red nacional local.

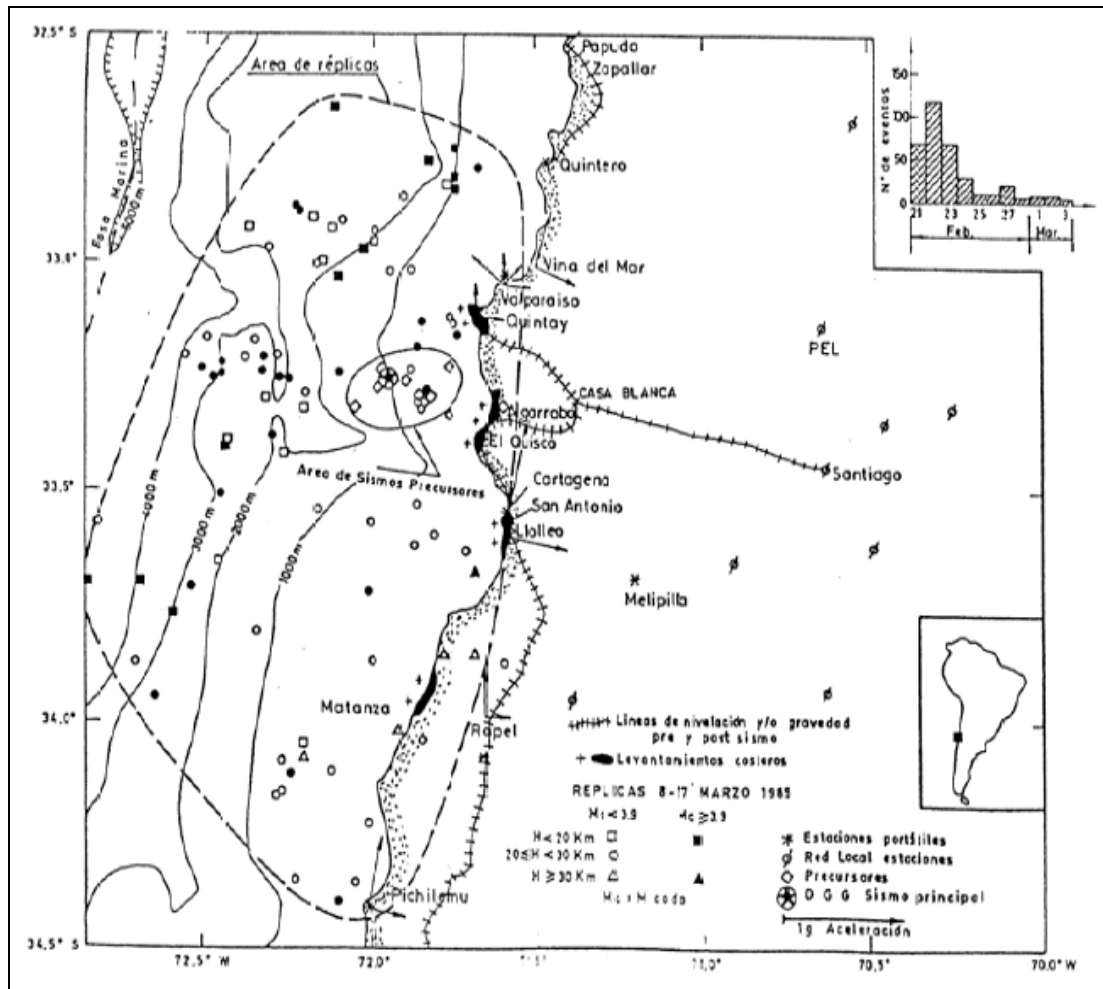


Ilustración 1.2: Sismo Principal y sus Precursores.
(Ref 2.- Kausel, E.)

En cuanto al mecanismo focal del terremoto de 1985, se podría decir que corresponde a una falla inversa de bajo manteo con rumbo N20°W, manteo 10° al E–NE con un área del plano de falla estimada de 170 [km] por 100 [km] con una pendiente de 25° hacia el Este siguiendo la inclinación de la superficie de la subducción de la Placa de Nazca por debajo del Continente (Plano de Benioff). (Ref 1.- Saragoni, R., Gonzáles, P. y Fresard, M.).

En la Ilustración 1.3 y la Ilustración 1.4, se puede apreciar con mayor claridad lo anteriormente dicho.

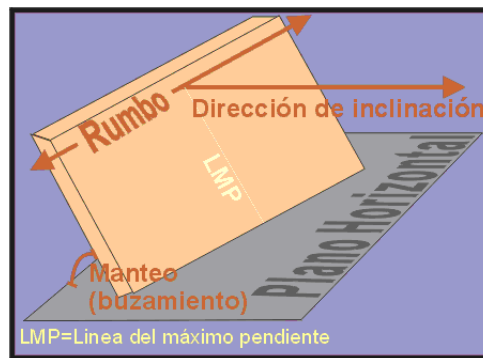


Ilustración 1.3: Rumbo, Manteo y Dirección de la Falla.

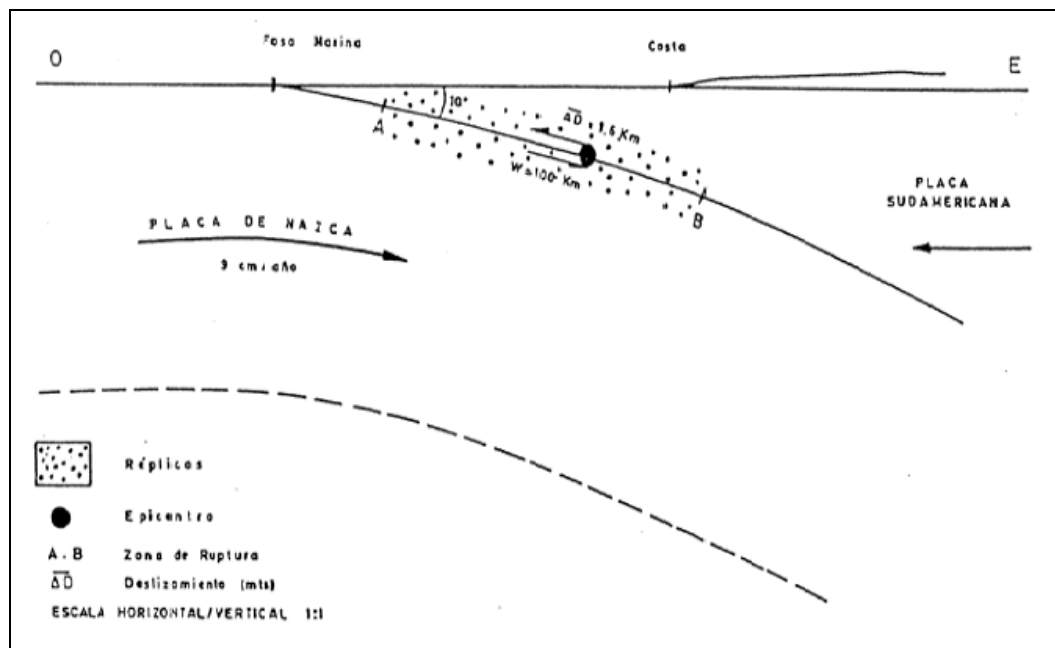


Ilustración 1.4: Perfil Perpendicular a la Costa mostrando la ubicación de la Superficie de Ruptura en relación a la Costa y la Fosa Marina. (Ref 2.- Kausel, E.)

El momento sísmico M_0 que presentó el terremoto en cuestión, es dado por diversos autores teniendo valores que varían entre 1,0 a $1,15 \times 10^{28}$ [dinas-cm], considerando que:

$$M_0 = \mu \cdot L \cdot W \cdot \overline{\Delta D} \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

En donde:

L : Largo de la falla.

W : Ancho de la falla.

$\overline{\Delta D}$: Deslizamiento Medio = 1,23 [m]

μ : Rigidez = 5×10^{11} [dinas/cm²]

Este cálculo subestima el deslizamiento medio, ya que la superficie de falla es menor que el producto LW . Aproximando el área de réplicas de la Ilustración 1.2 a una elipse, con semi ejes $\frac{1}{2} L$ y $\frac{1}{2} W$, el deslizamiento medio resulta $\overline{\Delta D}=1,6$ [m] (Ref 2.- Kausel, E.).

De lo anterior, se puede concluir que la ruptura se propagó principalmente de Norte a Sur unos 100 a 130 [km], deteniéndose al llegar a la latitud $34,4^\circ S$ aproximadamente. Considerando una velocidad de ruptura de 2,5 [km/seg] pudiéndose estimar la duración en unos 40 a 50 [s], correspondiente al tiempo en lo que se completaría la dislocación.

Dentro de las primeras 8 horas posteriores al terremoto, se registraron al menos 6 réplicas de $M_s > 6$. La réplica más grande ocurrió el 9 de Abril, $m_b = 6,3$ y $M_s = 7,2$ con epicentro $34,17^\circ S - 71,54^\circ W$ cerca de Rapel. (Ref 2.- Kausel, E.)

1.2 Antecedentes Geológicos y Suelos de Fundación.

Valparaíso se caracteriza por presentar una típica costa de regresión, siendo sus rasgos más sobresalientes las terrazas de abrasión marina y de depositación, el acantilado costero y las profundas quebradas que cortan las terrazas.

El plano de la ciudad está construido sobre una playa antigua cubierta por relleno artificial y se ha extendido considerablemente hacia quebradas y terrazas adyacentes. (Ref 3.- Grimme K. y Álvarez, L.).

La erosión marina y la erosión fluvial han actuado sobre las terrazas en diferentes niveles, es así como en el sector de Playa Ancha y Quebrada Verde se tienen 13 diferentes niveles alcanzando una altura máxima de 450 [m.s.n.m.] en el sector sur (Ref 4.- Perreta, C. y Canales C.).

En los sectores más propensos a socavación se han generado grandes quebradas que trajeron como consecuencia la división de estas plataformas encauzando, a su vez, las aguas hacia el sector plano de la ciudad.

El plan, por otro lado, se construyó en base a dos fenómenos. El primer fenómeno es de remoción en masa, el cual se produjo debido a los ramales distribuidos en las terrazas que arrastraban toda clase de materiales sueltos, los que eran depositados en las zonas que rodean a los cerros.

El segundo fenómeno corresponde a la acción antrópica la cual ocurre hasta nuestros días, consistiendo en la modificación de la topología del terreno por parte del hombre ya sea por la construcción de terraplenes o bien por cortes realizados a los cerros.

1.2.1 Tipos de Suelo.

El suelo de Valparaíso está constituido por arenas no cementadas, las cuales fueron posteriormente cubiertas por relleno artificial llegando hasta las faldas de los cerros, quebradas y terrazas adyacentes.

La extensión que abarca este relleno ha ido variando con el pasar de los años, debido a la necesidad de ir ganando terreno al mar, en especial, en el sector del Almendral. (Ref 3.- Grimme K. y Álvarez, L.).

Desde el año 1854 se han ido agregando distintos tipos de rellenos hasta lograr lo que hoy constituye la costa original. (Ref 5.- Monge, J.).

Estos rellenos son de bastante consideración, cubriendo las arenas cementadas, que son el suelo que en su mayoría existe en la ciudad. Cada uno de ellos, tiene un origen distinto, con lo que la ciudad emerge en un suelo que posee una gran variedad de elementos, lo que hace que la ciudad se comporte de manera poco uniforme en el caso de un sismo de gran intensidad.

La evolución de los tipos de suelos y los diferentes tipos de relleno se puede apreciar en las siguientes ilustraciones.

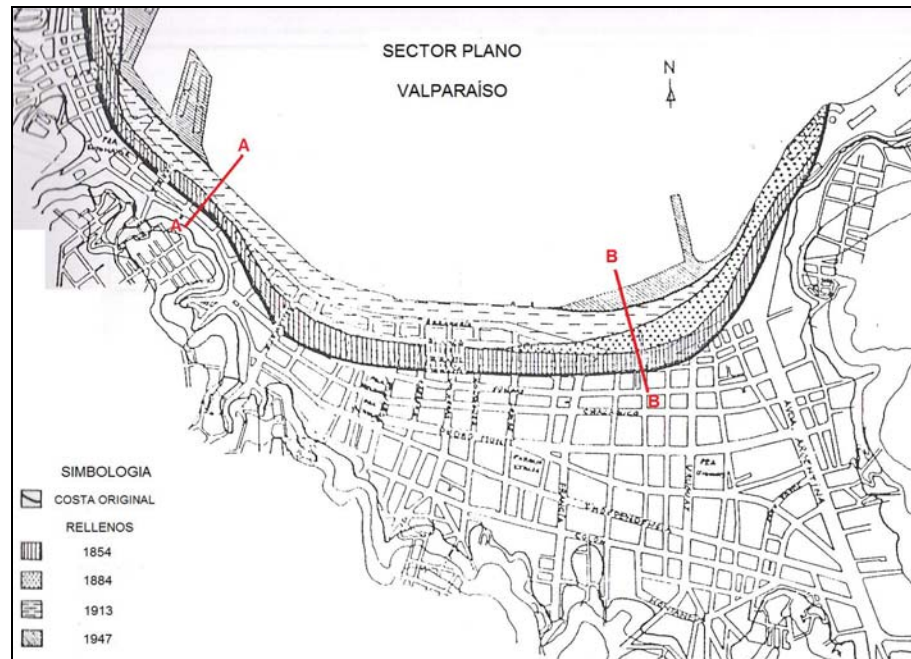


Ilustración 1.5: Evolución de Rellenos, Plan de Valparaíso.
(Ref 4.- Perreta, C. y Canales C.)

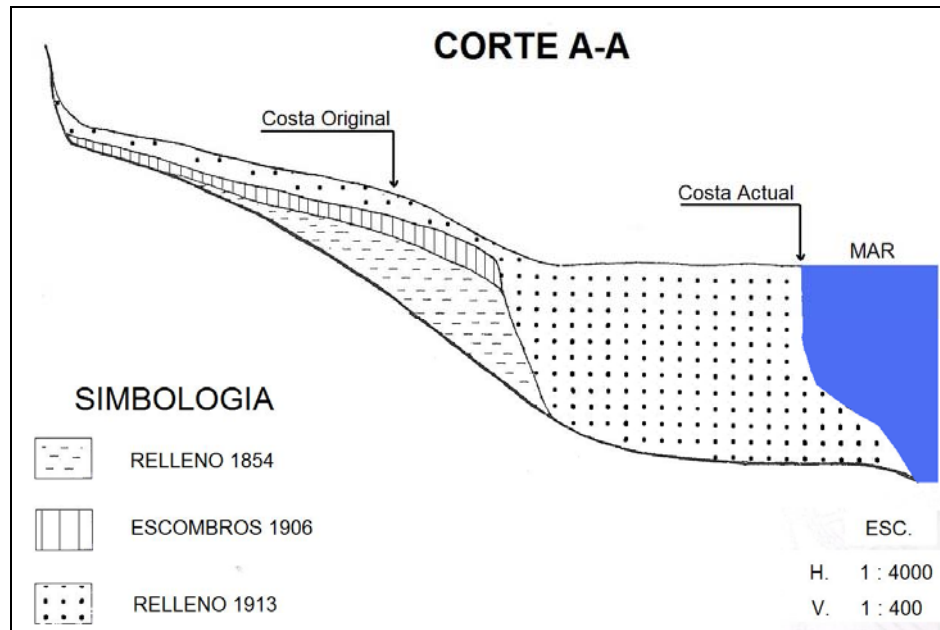


Ilustración 1.6: Corte A-A, Rellenos Plan de Valparaíso.
(Ref 4.- Perreta, C. y Canales C.)

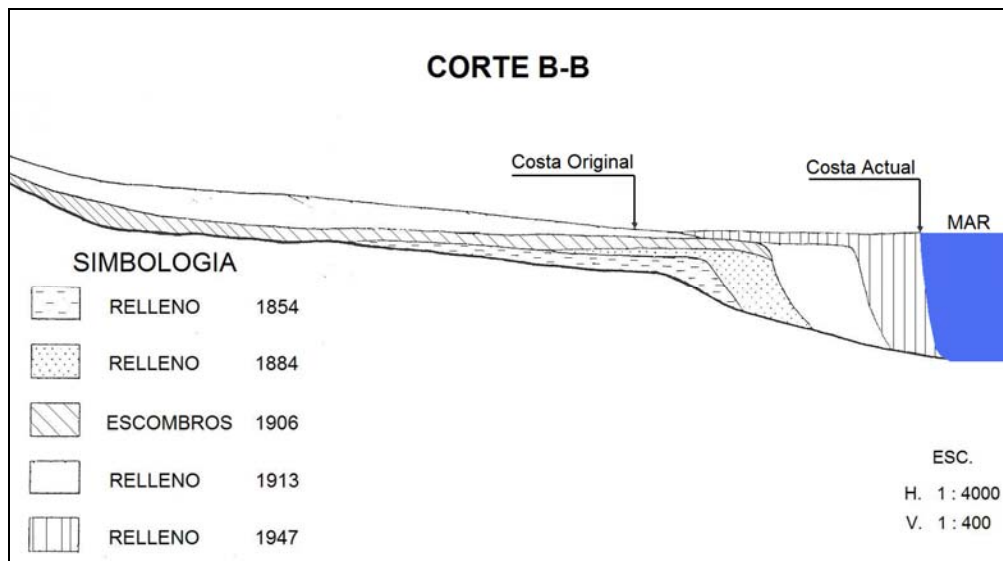


Ilustración 1.7: Corte B-B, Rellenos Plan de Valparaíso.
(Ref 4.- Perreta, C. y Canales C.)

Los diferentes tipos de rellenos utilizados en la formación del plan de la ciudad, fueron estudiados por Acevedo y Orozco (Ref 6), desprendiéndose de acá las siguientes unidades geotécnicas para la ciudad:

E1: Roca Fundamental sana y/o parcialmente fracturada.

Esta unidad, en la superficie, es bastante irregular debido a su origen arrecifal. Posee densidades y resistencia a la compresión simple altas, con porosidad y permeabilidad bajas.

Su profundidad varía entre 3 y 30 [m] en los sectores altos (cerros) y entre 6 y 50 [m] en el Plan de Valparaíso. Las mayores profundidades se encuentran en el eje de las quebradas y en el plan de la ciudad, mientras que las menores profundidades se encuentran a los pies de los acantilados y en los bordes de las quebradas.

E2: Roca fundamental parcialmente meteorizada.

El espesor de esta unidad varía entre 0,15 y 0,50 [m]. Los mayores espesores se localizan en aquellas zonas donde la roca está más superficial.

E3: Roca meteorizada (maicillo o roca meteorizada in situ).

Esta unidad presenta espesores entre 2 y 13 [m]. Este estrato, en sus mayores profundidades se ubica en zonas que poseen una menor pendiente, mientras que los de menor profundidad, en zonas con pendientes más pronunciadas.

E4: Sedimentos aluviales y coluviales (rellenos naturales).

Esta unidad esta compuesta de arenas gruesas a finas, con finos limos o arcillosos en distintas proporciones, además de gravas, y localmente bloques de rocas. Se puede observar también lentes intercalados de limo-arcilloso y limo-arenoso.

En cuanto a su compacidad, es suelta en la parte superior densificándose según aumente en profundidad llegando incluso a compacidades muy densas.

Este estrato se encuentra rodeando los cerros a partir de la cota +20 hasta la línea de costa original.

E5: Sedimentos marinos estuariales.

La composición de esta unidad es de arenas gruesas, medias y finas con distinto porcentaje de limos, observándose también, lentes de bolones o gravas dispersas con partículas micáceas y conchuelas.

Su compacidad varía de densa a muy densa llegando en algunos casos a cierto grado de cementación (Ref 5.- Monge, J.).

Esta unidad se ha formado debido a la acción abrasiva del mar sobre los macizos rocosos encontrándose principalmente en ambientes de aguas someras.

E6: Arenas de playas antiguas.

La composición de esta unidad es de arenas con porcentajes variables de gravas, granos de arena finos a gruesos, conchuelas, partículas micáceas y limos (Ref 4.- Perreta, C. y Canales C.).

Su compacidad varía de densa a muy densa.

Los espesores varían entre 10 y 23 [m] en el sector delimitado por la línea de costa original y actual, y entre 18 y 28 [m] en el resto del área en que se encuentra este estrato.

E7: Arenas de playa modernas.

La composición de esta unidad es de granos gruesos a finos con limos en diferentes porcentajes.

Su compacidad varía de suelta a media aumentando con la profundidad.

Los espesores varían entre 5 [m] en el sector del cerro Placeres y más de 21 [m] en el sector de la costa actual. No se ha podido determinar la profundidad total debido a que los sondeos existentes en la zona, no han llegado aún a la roca, con lo cual la profundidad del estrato podría ser bastante mayor.

E8: Rellenos artificiales.

La composición de esta unidad es variada, ya que ha sido producto de una serie de rellenos 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. También se pueden encontrar en menor proporción materiales orgánicos, trozos de vidrios, escoria, carboncillo, trozos de madera en descomposición, escombros, basuras y restos de embarcaciones, además de compuesto enrocado de piedras y arenas correspondientes a antiguas defensas marinas y muelles en sectores cercanos a la costa actual.

La profundidad varía de 10 a 12 [m] con un espesor variable. En el sector de la cota +20 posee un espesor de 2 [m]; en la zona de la Avda. Argentina posee un espesor de 20 [m], y en las zonas con quebradas alcanza espesores máximos de 8 a 9 [m].

1.2.2 Zonificación de Suelos.

Las condiciones geotectónicas y geológicas locales del terreno juegan un rol fundamental en las características del movimiento sísmico en superficie quedando de manifiesto en el patrón de daño observado el cual, presenta una gran variabilidad de un lugar a otro, siendo posible explicarlas mayoritariamente por las variaciones locales del tipo de suelo.

Con los diferentes estratos vistos en el Punto 1.2.1, Acevedo y Orozco (Ref 6), proponen una zonificación de los suelos de la ciudad constituida por 7 zonas. Las características de cada una de ellas, se presentan a continuación, según el ordenamiento de los estratos de menor a mayor profundidad.

Zona I (E8 / E7 / E6 / E5 / E1).

- **E8 – Relleno Artificial:**

En esta región se encuentran los mayores espesores de esta unidad variando entre 5,5 y 8,5 [m] alcanzando, en sectores del puerto, espesores de 9 a 11,5 [m]. En un perímetro de la intersección de las Avdas. Argentina y Blanco es posible detectar los espesores mínimos que oscilan entre 2 y 3 [m].

- **E7 – Arenas Modernas:**

Espesores varían entre 5,3 y 21 [m]

- **E6 – Arenas Antiguas:**

Espesor varían entre 5 y 21 [m].

- **E5 – Sedimentos Estuariales:**

Espesor no definido, ya que su separación con la capa no es claramente diferenciable.

- **E1 – Roca Fundamental:**

Se encuentra a una profundidad comprendida entre los 15 y 25 [m], presentando una superficie irregular, con un R.Q.D. que varía entre el 70 y el 75% en el sector poniente de esta zona (Ref 5.- Monge, J.).

- **Napa Freática:**

Se han observado niveles más superficiales que varían entre 0,6 y 3,5 [m] en Avda. Urriola, Avda. Carrera con Blanco y Avda. España con Argentina. En el resto de esta zona los niveles varían entre 4 y 5 [m].

Zona II (E8 / E4 / E7 / E6 / E5 / E1).

- **E8 – Relleno Artificial:**

Los mayores espesores se encuentran cerca de la línea de costa original con valores entre 4 y 5 [m], excepto en algunos cauces de quebradas en que se llega a valores de 7 [m]. Estos valores disminuyen hacia el Sur llegando incluso a espesores de 0,5 [m].

- **E4 – Sedimentos Aluviales y Coluviales:**

El espesor de esta capa aumenta hacia los cerros llegando a cifras entre 4,5 y 8 [m], y disminuye hacia la línea de la costa original (Limite Zona I) con espesores entre 4 y 2 [m] exceptuando las desembocaduras de antiguos esteros, como en Avda. Argentina, donde se alcanzan valores entre 6 y 5,5 [m] en sectores cercanos a la línea de costa original.

- **E7 – Arenas Modernas:**

Espesor aproximado entre 9 y 18 [m]. No se ha podido determinar un espesor más exacto debido a que los sondajes no han alcanzado la roca fundamental.

- **E6 – Arenas Antiguas:**

Espesor aproximado entre 9 y 18 [m], y al igual que en el estrato E7, no se ha podido determinar un espesor más exacto debido a que los sondajes no han alcanzado la roca fundamental.

- **E5 – Sedimentos Estuariales:**

Espesor entre 9 y 18 [m].

- **E1 – Roca Fundamental:**

Se detecta a profundidades mayores a 10 [m] llegando hasta los 50 [m] en el sector de la Iglesia de Los Doce Apóstoles (Avda. Argentina con Juana Ross), teniendo además, al igual que en la Zona I, una superficie irregular.

- **Napa Freática:**

Los niveles más superficiales se encuentran en las desembocaduras de las quebradas, en la Avda. Urriola y en la Avda. Argentina con niveles que varían entre 3 y 3,7 [m]. En el sector del Almendral, el nivel de la napa se encuentra entre 4 y 5 [m] llegando a una mayor profundidad en los límites de la Zona III con variaciones de 5,7 a 7 [m].

Zona III (E8 / E4 / E5 / E1).

- **E8 – Relleno Artificial:**

Los mayores espesores se detectan en los ejes de las desembocaduras de las quebradas con 9 [m]. Para el resto de los sectores, el espesor disminuye.

- **E4 – Sedimentos Aluviales y Coluviales:**

Los espesores varían entre 4 y 8,5 [m] localizándose los máximos en los ejes de quebradas donde se alcanzan los 9 [m]. Los espesores mínimos se ubican en la Zona de Avda. Uruguay con Hontaneda y son de aproximadamente 1,5 [m].

- **E5 – Sedimentos Estuariales:**

Espesor no definido.

- **E1 – Roca Fundamental:**

Estrato detectado entre los 8 y 16,7 [m] en el sector de Hontaneda con Colón. Las únicas mediciones disponibles presentan un horizonte de roca meteorizada que fluctúa entre 0,15 y 0,25 [m] de espesor. Una medición de R.Q.D. entrega valores de 58% en el área de Avda. Independencia con Edwards (Ref 5.- Monge, J.).

- **Napa Freática:**

Las menores profundidades se encuentran en las desembocaduras de las quebradas, tal y como ocurre en la Avda. Urriola con 4 [m] de profundidad. En el sector de Hontaneda y Colón los niveles llegan a los 7 [m] de profundidad.

Zona IV (E8 / E2 / E1).

- **E8 – Relleno Artificial:**
Su espesor varía entre 0,6 y 4,6 [m]. En Avda. Argentina con Brasil se encuentran espesores de 2,3 [m].
- **E2 – Roca Parcialmente Meteorizada:**
Espesor entre 0,6 y 4,6 [m].
- **E1 – Roca Fundamental:**
Este estrato, a los pies del Cerro Barón, se encuentra a una profundidad del orden de 0,8 a 1,6 [m]. En otros sondajes, en el mismo sector, se llegó a la roca descompuesta a 0,7 y 4,6 [m] de profundidad.
- **Napa Freática:**
En esta Zona, sólo se detectó la napa en Avda. España a los pies del cerro Placeres a una profundidad de 4 [m].

Zona V (E4 / E5 / E2 / E1).

- **E4 – Sedimentos Aluviales y Coluviales:**
Espesor varía entre 5 y 7 [m] siendo intercalado por un manto arcilloso de espesor variable entre 1 y 2 [m].
- **E5 – Sedimentos Estuariales:**
Estrato no definido.
- **E2 – Roca Parcialmente Meteorizada:**
Espesor de 0,5 [m] localizándose entre los 5 y los 7 [m] de profundidad.
- **E1 – Roca Fundamental:**
Es detectada a profundidades entre los 5,8 y los 8,8 [m].

- **Napa Freática:**

Sólo se detectó en el sector de Avda. Argentina con Santos Ossa a una profundidad de 5,8 [m], presentando una pendiente hacia el Oeste con profundidades entre los 5 y los 6 [m].

Zona VI (E8 / E5 / E4 / E3 / E2 / E1).

- **E8 – Relleno Artificial:**

Espesor varía de 2 a 3 [m], pudiendo ser mayor en el caso de quebradas cubiertas con rellenos naturales y/o artificiales.

- **E5 – Sedimentos Estuariales:**

Espesor varía de 2 a 3 [m], y al igual que el estrato E8, puede ser mayor en el caso de quebradas cubiertas con rellenos naturales y/o artificiales.

- **E4 – Sedimentos Aluviales y Coluviales:**

Espesor varía de 2 a 3 [m] pudiendo ser mayor en el caso de quebradas cubiertas con rellenos naturales y/o artificiales.

- **E3 – Roca Meteorizada:**

Estrato localizado a profundidades de 10 a 15 [m] con un espesor entre 8 y 9 [m].

- **E2 – Roca Fundamental Parcialmente Meteorizada:**

Estrato que viene inmediatamente a continuación del estrato E3 con un espesor no determinado.

- **E1 – Roca Fundamental:**

Estrato que viene inmediatamente a continuación del estrato E2 con un relieve variable siguiendo la topografía del terreno.

- **Napa Freática:**

No se detectan niveles de napa freática en esta zona.

Zona VII (E3 / E2 / E1).

- **E3 – Roca Meteorizada:**
Espesor entre 2 y 5 [m].
- **E2 – Roca Fundamental Parcialmente Meteorizada:**
Espesor de unos pocos a 20 [m].
- **E1 – Roca Fundamental:**
Estrato localizado a profundidades de 5,8 [m] a 8,8 [m].
- **Napa Freática:**
No se detectan niveles de napa freática en esta zona.

En la Ilustración 1.8 y la Ilustración 1.9 se detalla las zonas anteriormente descritas. En la Ilustración 1.10 se puede apreciar la morfología del basamento rocoso del Plan de la ciudad de Valparaíso (Ref 6.- Acevedo, P. y Orozco, O.).

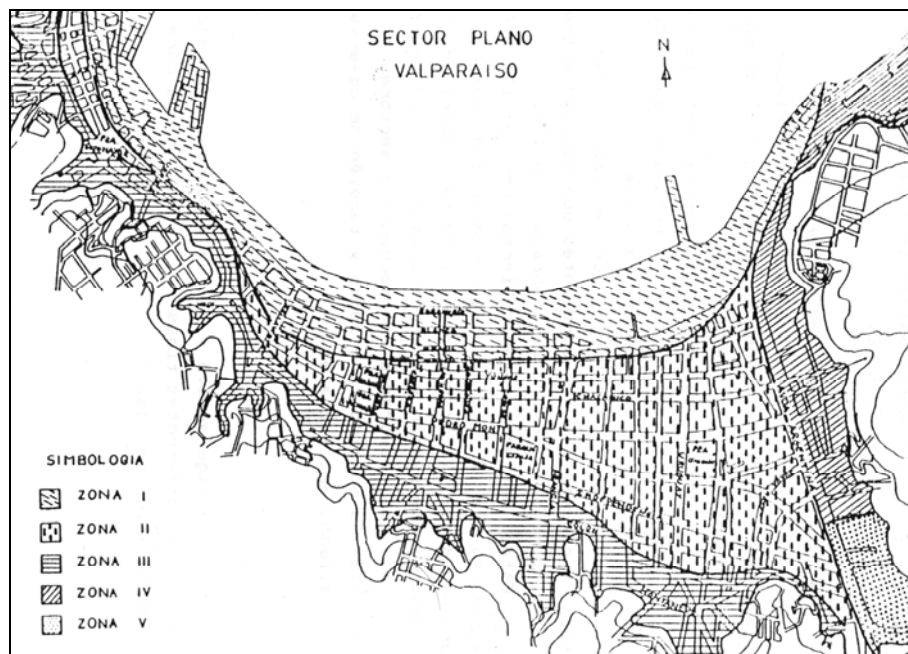


Ilustración 1.8: Zonificación de Suelos del Plan de Valparaíso.
(Ref 6.- Acevedo, P. y Orozco, O.)

1.3 Población y Viviendas de los Distritos de Valparaíso.

Durante un evento de gran magnitud, el daño percibido por la ciudad va a depender directamente de la cantidad de población afectada por el mismo viéndose reflejada en la cantidad de viviendas dañadas por el sismo.

Por esta razón, es de gran importancia conocer el número de viviendas y la cantidad de población afectada. Para ello, se cuenta con los datos obtenidos durante el XV Censo de Población y IV de Viviendas de 1982 (Ref 8.- I.N.E., Instituto Nacional de Estadísticas).

En la Tabla 1-1 y la Ilustración 1.11 se pueden apreciar las cifras obtenidas durante el Censo de 1982 y la ubicación de cada uno de los distritos descritos.

Tabla 1-1: Población y Viviendas por Distrito.

N°	Distrito	Sector	Población	Viviendas
1	Población Playa Ancha	Playa Ancha (Centro)	23.137	5.380
2	Playa Ancha	Playa Ancha (Norte)	7.981	1.788
		Cerro Artillería		
3	Santo Domingo	Cerro Santo Domingo	24.794	5.767
		Cerro Arrayán		
		Cerro Carretas		
		Cerro Perdices		
		Cerro Toro		
		Cerro Mesillas		
4	Puerto	Plano	696	178
5	Cordillera	Cerro Cordillera	16.512	3.925
		Cerro Loceras		
		Cerro Chaparro		
6	Alegre	Cerro Alegre	8.673	2.317
		Cerro Concepción		
		Cerro Miraflores		

N°	Distrito	Sector	Población	Viviendas
7	Comercio	Plano	1.413	578
8	Cárcel	Cerro Cárcel	14.430	3.454
		Cerro Panteón		
		Cerro La Loma		
		Cerro San Juan de Dios		
		Cerro Jiménez		
9	Bellavista	Cerro Bellavista	7.342	1.969
		Cerro Yungay		
10	Florida	Cerro Florida	14.030	3.583
		Cerro Mariposa		
		Cerro Monjas		
11	Plaza Victoria	Plano	2.720	913
12	Almendral	Plano	7.709	2.107
13	La Cruz	Cerro La Cruz	5.716	1.388
14	Las Cañas	Cerro Las Cañas	7.863	1.814
		Cerro El Litre		
15	La Merced	Cerro La Merced	6.170	1.445
		Cerro La Virgen		
		Cerro Santa Elena		
		Cerro Pajonal		
16	Las Ramaditas	Cerro Ramaditas	13.775	3.119
		Cerro Rocuant		
17	Waddington	Cerro Molino	16.750	4.151
		Cerro Polanco		
		Cerro Recreo		
		Cerro Rodríguez		
		Cerro Larrain		
18	Barón	Cerro Barón (Bajo)	11.285	3.181
		Cerro Lecheros		
19	Los Placeres	Cerro Placeres	33.070	7.805
		Cerro Esperanza		

N°	Distrito	Sector	Población	Viviendas
20	Las Zorras	Cerro Delicias	25.307	6.001
		Cerro San Roque		
		Cerro O'higgins		
		Cerro Las Zorras		
		Rodelillo		
21	Placilla		4.699	85
23	Quebrada Verde	Playa Ancho (Alto)	1.264	4.327
		Sectores Corvi		
TOTAL			255.336	65.275

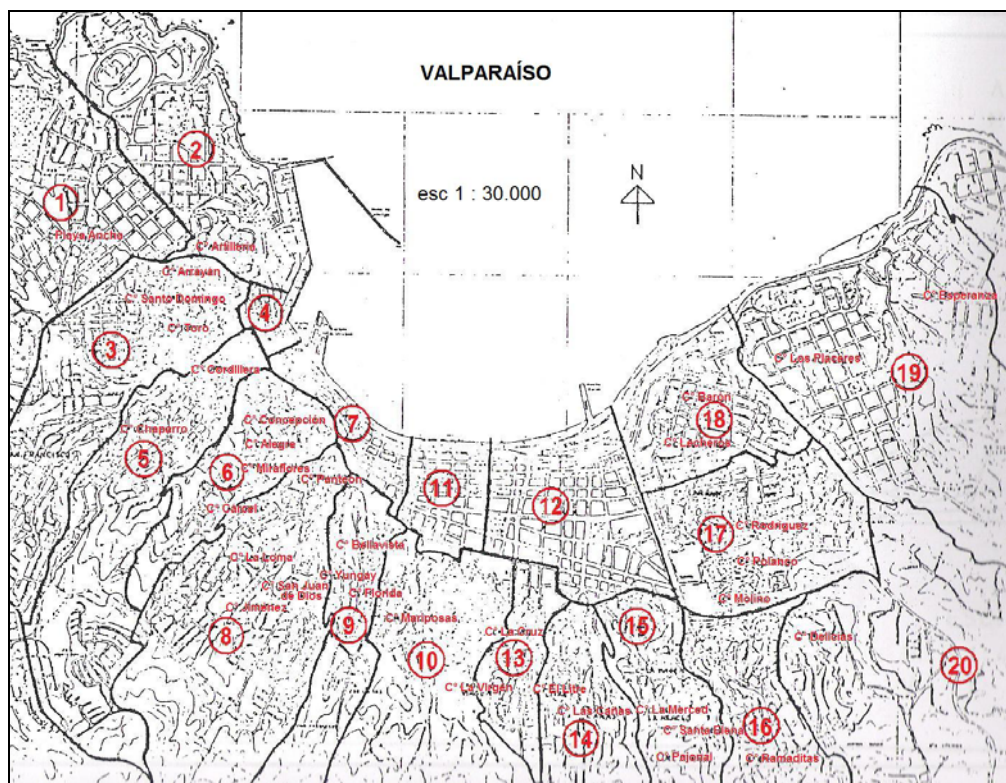


Ilustración 1.11: Distribución de la Comuna de Valparaíso, según el XV CENSO de Población y IV de Vivienda de 1982.
 (Ref 8.- I.N.E., Instituto Nacional de Estadísticas)

1.4 Comentarios.

Valparaíso debido a su configuración, presenta un comportamiento sísmico poco uniforme debido a las características que se han detallado a lo largo de este capítulo. Por esta razón es de gran importancia contar con registros sobre los cuales trabajar para poder determinar el comportamiento sísmico de la ciudad de la forma más objetiva posible.

Los datos de suelos, los registros de aceleración y los datos del Censo de 1982, permiten realizar esta labor, pero se deben tener ciertas consideraciones en lo referente a la magnitud del sismo, la amplificación producida por los distintos tipos de suelos y la ubicación y el tipo de estructuración de las viviendas.

Capítulo II

2 Análisis Macrosísmico.

La intensidad sísmica es la medida que representa la acción destructiva de un terremoto en un punto determinado de la superficie de la Tierra.

A pesar del carácter subjetivo que tiene este tipo de medición, lo práctico que resulta aplicarla, hace de ella un parámetro muy importante a nivel mundial, puesto que es el único que permite estimar o comparar los datos de la severidad de los terremotos históricos, además de brindar una mayor cobertura geográficamente hablando.

Para el análisis macrosísmico, se ha utilizado como escala de intensidad la MSK (Ref 9.- Medvedev, S., Sponheur, W. y Kárnik, V.), utilizando los informes de daño realizados por la UTFSM, I. Municipalidad de Valparaíso y la Universidad Católica de Valparaíso para su cálculo.

Dado el origen subjetivo de estos datos, es necesario ajustarlos de forma tal que sean lo más fidedignos y representativos posible. Para ello se han utilizado distintas metodologías para obtener en definitiva las Isosistas de Intensidad de la ciudad de Valparaíso.

Todo lo dicho anteriormente se detalla en el desarrollo de este capítulo.

2.1 Información Disponible, Encuestas de Daño.

Los informes de daños fueron realizadas por la I. Municipalidad de Valparaíso, la Universidad Técnica Federico Santa María y la Universidad Católica de Valparaíso, realizando aproximadamente 11.000 encuestas, de las cuales solo se han podido rescatar

3.500 debido a que durante el transcurso de los años se han perdido o su calidad se ha deteriorado con el pasar del tiempo.

El universo de encuestas con las que se cuenta, se detalla en la Tabla 2-1 y en la Ilustración 2.1, en ellas se indica el tipo de material de construcción y la cantidad de encuestas con las que se cuenta para este estudio.

Tabla 2-1: Número de Encuestas Clasificadas según el Tipo de Estructura.

Material	N° Viviendas	%
Adobe	1.181	% 33,74
Tabiquería de Adobe	573	% 16,37
Albañilería Sin Refuerzo	278	% 7,94
Material Variado	1.468	% 41,94
Total	3.500	% 100,00

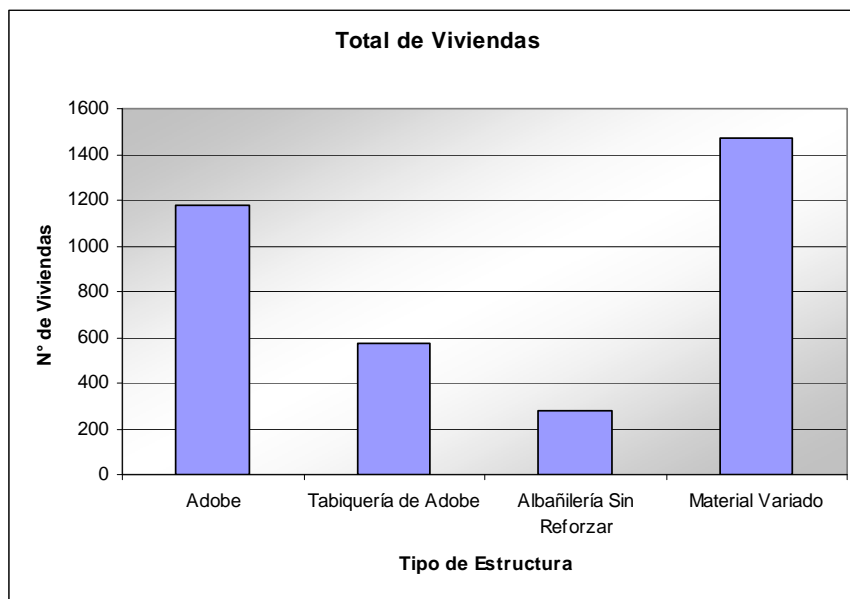


Ilustración 2.1: Gráfico N° de Viviendas vs. Tipo de Estructura.

De las 3.500 encuestas, solo son de utilidad para el desarrollo de esta Memoria las encuestas cuyas viviendas son de Adobe, Tabiquería de Adobe y Albañilería Sin Refuerzo,

esto es porque es bastante difícil clasificar las viviendas de material variado en los tipos de viviendas que se describen en el Punto 2.2.1.

2.2 Escala de Daño MSK.

La escala de intensidad MSK (Ref 9.- Medvedev, S., Sponheur, W. y Kárnik, V.) es similar a la escala de Mercali Modificada pero precisa de mejor forma los efectos de un sismo en los diferentes tipos de construcciones.

Prácticamente coincide con la escala de intensidades Mercali Modificada de 12 grados, estando las mayores diferencias en los grados del V al XI, en los cuales se describen los efectos en las construcciones hechas de distintos materiales.

Para el desarrollo de esta memoria se ha utilizado una adaptación de la Escala MSK, en la cual las definiciones de grado de daño y tipos de edificios han sido adaptadas a las características de las construcciones del país, en particular, las de Adobe y la Albañilería con y sin Refuerzo (Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.).

2.2.1 Clasificación de Edificaciones.

Para el cálculo de la intensidad se utilizan los daños presentes en tres tipos de viviendas, A, B y C, las cuales abarcan varios tipos de materiales desde Adobe hasta Albañilería Reforzada.

La clasificación de las viviendas se presenta en la Tabla 2-2, describiendo los tres tipos de viviendas clasificadas según los tipos de material.

Tabla 2-2: Clasificación de las Construcciones según la Escala M.S.K.

Tipo Vivienda	Definiciones Adaptadas
Tipo A	Edificio de adobe, edificio de mampostería de piedra unida con barro.
Tipo B	Edificios de albañilería sin refuerzo, edificios de mampostería de piedra unida con mortero de cemento.
Tipo C	Edificios de albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado.

Para el desarrollo de esta Memoria, se han considerado dos tipos de estructuras. Las viviendas construidas de Adobe y Tabiquería de Adobe, siendo clasificadas como viviendas Tipo A; y las viviendas construidas con Albañilería Sin Refuerzo, clasificadas como viviendas Tipo B.

2.2.2 Grado de Daño.

La escala MSK se define en función de 5 grados de daño y tres tipos de edificios. Para la aplicación de esta escala a edificios chilenos se ha introducido en el estudio los efectos del sismo del 3 de Marzo de 1985 mediante algunas precisiones o adaptaciones las cuales se detallan en la Tabla 2-3 (Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.).

Cabe señalar que no se ha considerado el comportamiento de la techumbre (caída de tejas, colapso parcial o total de la techumbre).en la determinación del grado de daño y que dada la dificultad al diferenciar entre un grado 0 y un grado 1 de daño sin una inspección detallada, las viviendas con grado 0 de daño se han incluido en las viviendas con grado 1 de daño.

Tabla 2-3: Definiciones de Grados de Daño según la Escala MSK Adaptada.

Daño	Definiciones Adaptadas
Grado 0	Daños menores en estucos
Grado 1	
Grado 2	Grietas horizontales en antetechos, tímpanos y chimeneas; grietas verticales en encuentros de muros, sin que aparezca separación; grietas finas en muros bajo el nivel del cielo.
Grado 3	Caída de antetechos, tímpanos o partes de chimeneas; grietas verticales en encuentros de muros con separación, indicando desaplomo; grietas diagonales en muros bajo el nivel de cielo.
Grado 4	Caída de un muro o parte de un muro bajo el nivel del cielo.
Grado 5	Caída de más de un muro bajo el nivel del cielo.

2.2.3 Cálculo del Grado de Intensidad MSK Adaptada.

La escala MSK describe 12 grados de intensidad. En esta adaptación se describen los grados 5 al 11, esto es porque el resto de los grados son de bastante similitud con los de la Escala de Intensidades Mercali Modificada (Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.).

En la Tabla 2-4 se indica el comportamiento estadístico típico de los edificios Tipo A, B y C. En ella se pueden apreciar los valores que originalmente trae la escala de Intensidad MSK y valores propuestos posteriormente por Karnik y Schenkova (Ref 11) los cuales complementan a los anteriores con los porcentajes de las viviendas que tienen un menor grado de daño que el especificado en la escala original para un mismo valor de Intensidad. Estos valores aparecen entre paréntesis en la misma tabla.

Tabla 2-4: Definiciones de Grados de Intensidad MSK.

Grado de Intensidad MSK	Edificios		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
5	5% Grado 1	(100% Grado 0)	(100% Grado 0)
	(95% Grado 0)		
6	5% Grado 2	5% Grado 1	(100% Grado 0)
	50% Grado 1	(95% Grado 0)	
	(45% Grado 0)		
7	5% Grado 4	50% Grado 2	50% Grado 1
	50% Grado 3		
	(35% Grado 2)	(35% Grado 1)	(50% Grado 0)
	(10% Grado 1)	(15% Grado 0)	
8	5% Grado 5	5% Grado 4	5% Grado 3
	50% Grado 4	50% Grado 3	50% Grado 2
	(35% Grado 3)	(35% Grado 2)	(35% Grado 1)
	(10% Grado 2)	(10% Grado 1)	(10% Grado 0)
9	50% Grado 5	5% Grado 5	5% Grado 4
		50% Grado 4	50% Grado 3
	(35% Grado 4)	(35% Grado 3)	(35% Grado 2)
(15% Grado 3)	(10% Grado 2)	(10% Grado 1)	
10	75% Grado 5	50% Grado 5	5% Grado 5
			50% Grado 4
		(35% Grado 4)	(35% Grado 3)
	(25% Grado 4)	(15% Grado 3)	(10% Grado 2)
11	(100% Grado 5)	(75% Grado 5)	(50% Grado 5)
		(25% Grado 4)	(50% Grado 4)

Con toda la estadística anterior, se pueden elaborar Curvas Patrón, las cuales representan los distintos valores de Intensidad obtenidos en una zona en cuestión para los distintos tipos de viviendas.

Para su elaboración, se utilizan los porcentajes acumulados de las viviendas dañadas para cada uno de los grados definidos anteriormente.

En la Tabla 2-5 se detallan los porcentajes de viviendas dañadas para la Intensidad VII MSK. Con Grado 1 de daño existe el 10% del total de las viviendas, con Grado 2, 35% haciendo un total acumulado de 45%; con Grado 3 existe el 50% del total de las viviendas dañadas, lo que conforman el 95%; y finalmente un 5% del total de las viviendas con grado 4 de daño conformando el 100% de las viviendas.

Tabla 2-5: Porcentajes de Viviendas Dañadas Tipo A para Intensidad VII MSK.

Intensidad MSK	Grado de Daño					
	0	1	2	3	4	5
VII	0%	10%	35%	50%	5%	0%

Repitiendo el procedimiento anterior para cada Intensidad y para cada tipo de vivienda, se obtienen las Curvas Patrón, las cuales se presentan en la Ilustración 2.2, en donde las líneas segmentadas representan los valores propuestos por Karnik y Schenkova, mientras que las líneas continuas, los valores originales de la escala MSK.

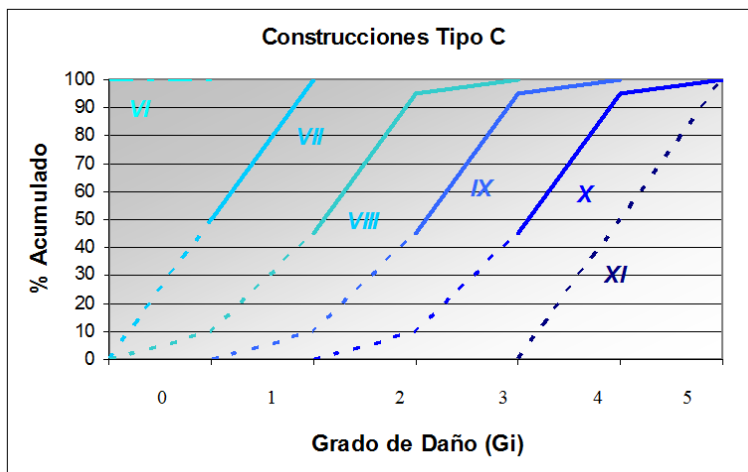
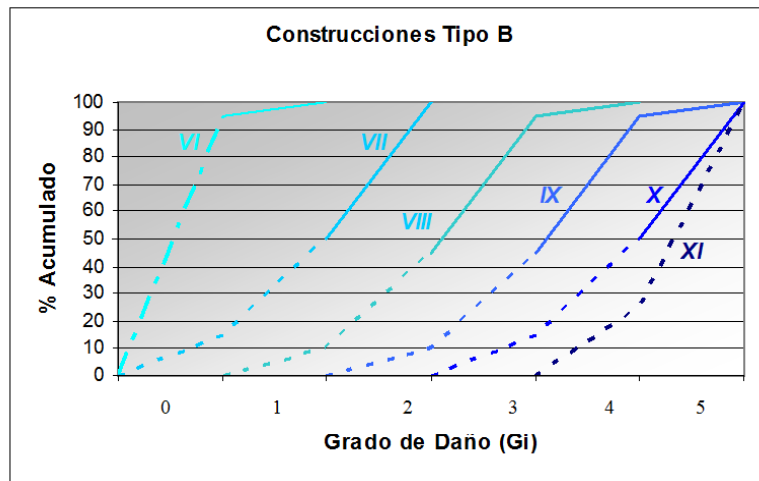
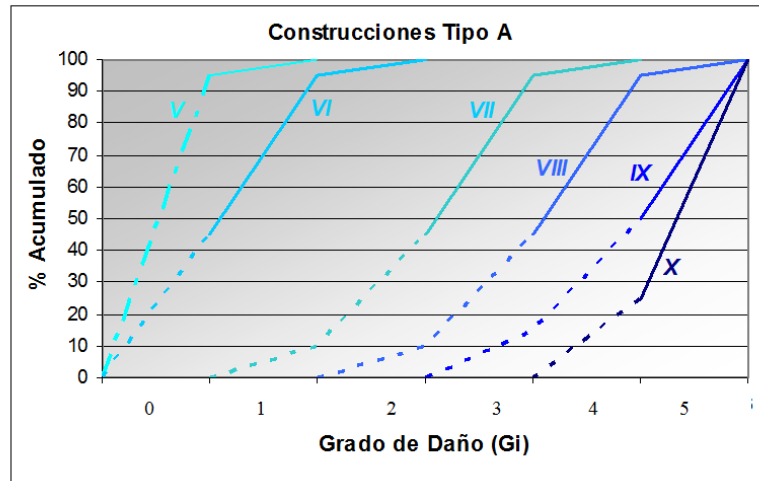


Ilustración 2.2: Curvas Patrón Para Viviendas Tipo A, B y C.
(Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.)

Para el cálculo de la intensidad, se traza la gráfica correspondiente a los datos estadísticos con que se cuenta. En las abscisas se registra el grado G_i de daños y en las ordenadas el porcentaje acumulado de edificios del mismo tipo con grados de daño iguales o menores que G_i .

Con el trazado de los datos en la curva patrón, se procede a realizar una interpolación entre las poligonales vecinas que definen los grados enteros de la escala MSK tal como se puede apreciar en la Ilustración 2.3.

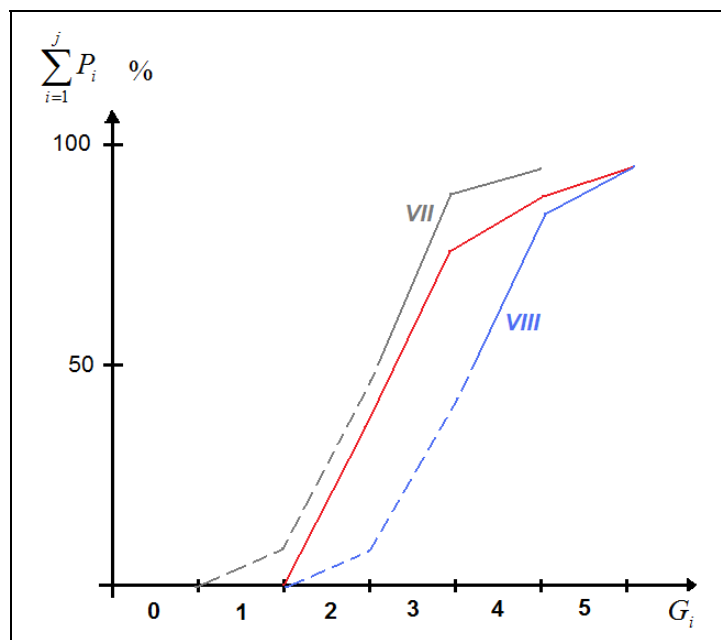


Ilustración 2.3: Distribución Acumulada de Daño.
(Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.)

Joaquín Monge y Maximiliano Astrosa han modificado el cálculo del grado de intensidad (Ref 10). Luego de un análisis a las curvas, encontraron que el área achurada en la Ilustración 2.4 corresponde exactamente al grado medio de daño del conjunto representado por la poligonal.

De acuerdo con los porcentajes de la Tabla 2-4, el grado medio de daño para cada uno de los tres tipos de edificios A, B y C, corresponden a los indicados en la Tabla 2-6.

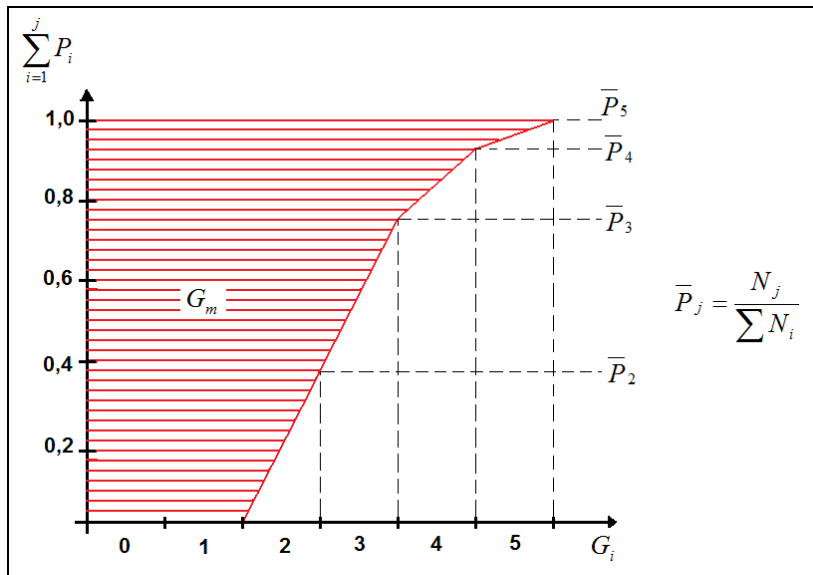


Ilustración 2.4: Representación del Grado Medio de Daño.
(Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.)

Tabla 2-6: Grados Medio de Daño Patrón, $G_{m,p}$.
(Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.)

Grado de Intensidad	Construcciones Tipo		
	A	B	C
5	0,06	0,00	0,00
6	0,60	0,05	0,00
7	2,50	1,35	0,50
8	3,50	2,50	1,50
9	4,35	3,50	2,50
10	4,75	4,35	3,50
11	5,00	4,75	4,50

Para el cálculo del Grado Medio de Daño de la muestra, se utiliza la siguiente expresión:

$$G_m = \frac{\sum (G_i \cdot N_i)}{\sum N_i} \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

En donde:

G_i : Grado de daños ($i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$).

N_i : Número de edificios de la muestra con grados de daño G_i .

Con el grado medio de daño patrón dado en la Tabla 2-6 y el grado medio de daño de la muestra obtenido mediante la Ecuación 2.1, se puede finalmente calcular la Intensidad MSK mediante una interpolación simple entre los valores patrón más cercanos al resultado obtenido de la muestra (Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.).

2.3 Determinación de la Intensidad de Daño.

Para la determinación de la Intensidad de Daño, se ha definido en primera instancia, una red de nodos sobre la ciudad cuya finalidad es representar a todas las encuestas seleccionadas para este estudio; luego, para cada uno de estos nodos, se ha calculado la Intensidad MSK, tal como se ha descrito en el Punto 2.2.3.

2.3.1 Estadística del Daño en Edificaciones.

Para poder apreciar de mejor forma el daño en los distintos tipos de viviendas, a continuación se presentan el número de viviendas y el nivel de daño sufrido por las viviendas de Adobe, Tabiquería de Adobe y Albañilería Sin Refuerzo durante el sismo del 3 de Marzo de 1985; todas ellas evaluadas de acuerdo con el Punto 2.2.2.

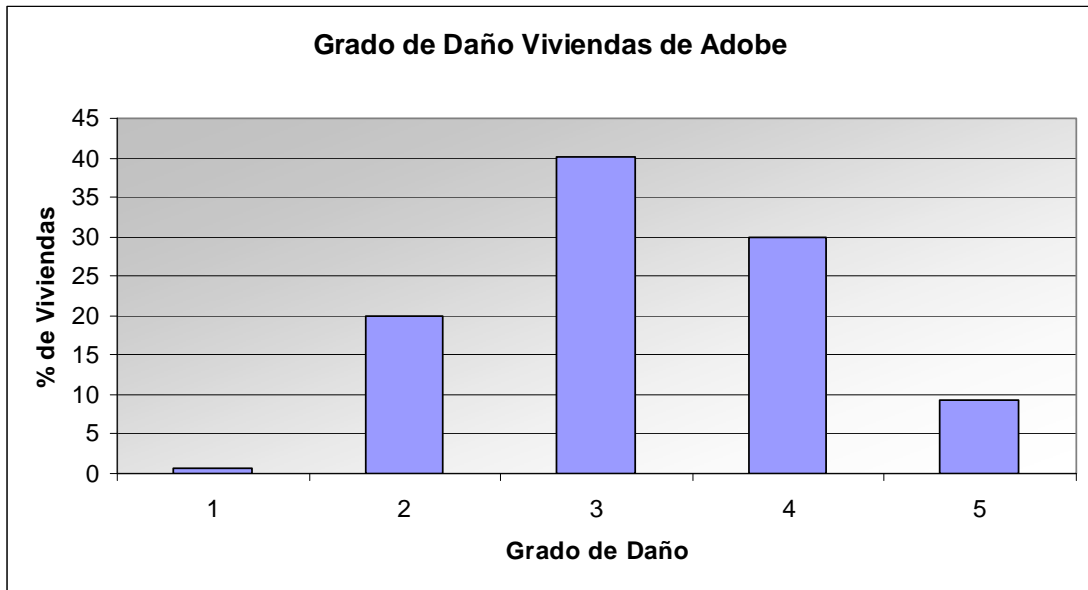


Ilustración 2.5: Grado de Daño Viviendas de Adobe.

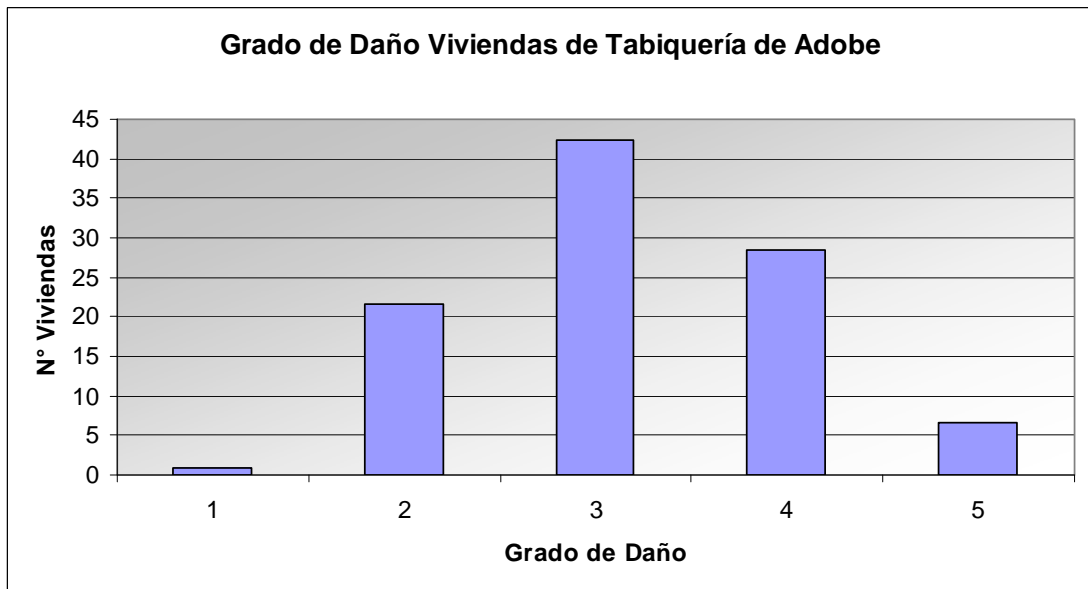


Ilustración 2.6: Grado de Daño Viviendas de Tabiquería de Adobe.

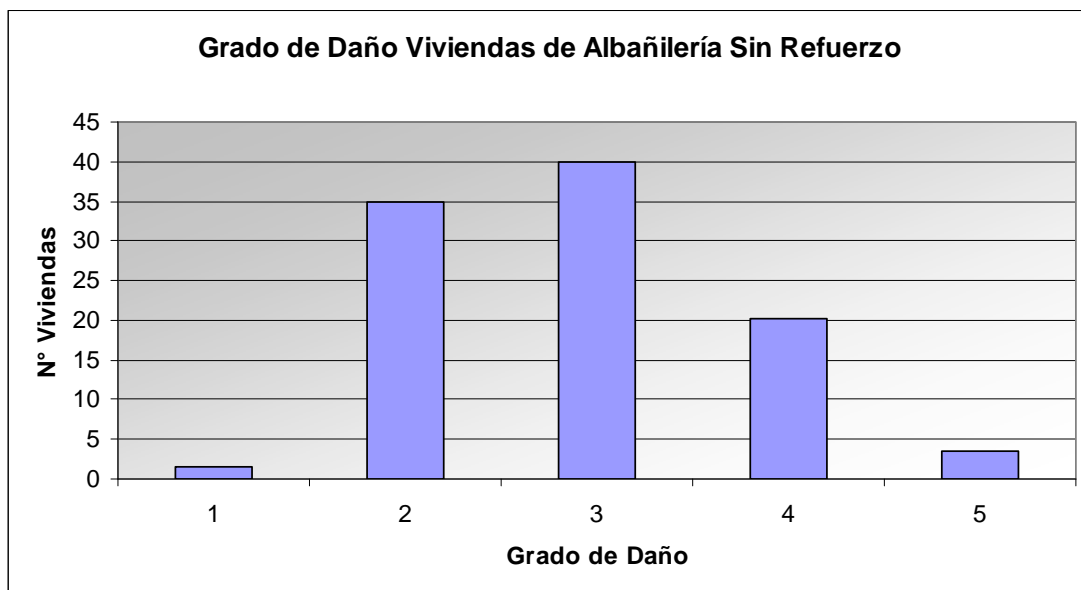


Ilustración 2.7: Grado de Daño Viviendas de Albañilería Sin Refuerzo.

Como se puede apreciar, para las viviendas cuya estructura es de Adobe o de Tabiquería de Adobe, el grado de daño predominante es el grado 3 con más del 40% de las viviendas, seguido a su vez por las viviendas con grado 4, con aproximadamente un 30%. Para el caso de las viviendas de Albañilería Sin Refuerzo, el grado predominante continúa siendo el grado 3 con casi un 40%, pero es seguido por el grado 2, con un 35 %. Con lo anterior queda claro la diferencia existente en el daño producido entre los distintos tipos de viviendas mostrando la importancia de hacer una diferencia en el cálculo de la intensidad para las viviendas construidas con distintos tipos de materiales.

2.3.2 Definición de la Red de Nodos.

La información del daño obtenida de las encuestas procesadas, es representada por una red de nodos, la cual se trazó sobre la ciudad asignándole a cada nodo un valor de Intensidad MSK calculada según el Punto 2.2.3.

Para efectos de cálculo, se han elaborado 3 tipos de redes, una para las viviendas Tipo A, otra para las Tipo B y otra para la combinación de ambos tipos de viviendas. De esta forma, se podrá visualizar las intensidades entregadas por los distintos tipos de viviendas, además del caso combinado.

Para determinar el tamaño de cada una de las redes, se ha considerado como condición primordial, que el número mínimo de viviendas que determinarán la Intensidad del nodo sea 20. Este valor es aceptable estadísticamente hablando, de contar con un número menor, solo se podría considerar como respaldo (Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.).

Luego de definir el tamaño de la red de nodos a utilizar, se les ha separado en dos, una correspondiente a los Cerros de Valparaíso y otra red al Plan. Esta división se realizó con la finalidad de hacer una diferencia entre los mecanismos a los cuales se ven afectadas las viviendas. Las pertenecientes al Plan, por las características del suelo de fundación, se encuentran frente a fenómenos de amplificación; para el caso del Cerro, estos fenómenos de amplificación también están presentes, pero en niveles más bajos.

La separación entre el Plan y el Cerro de la ciudad, fue hecha de acuerdo con la zonificación de suelos propuesta por Acevedo y Orozco (Ref 6) apreciándose en la Ilustración 1.8 y la Ilustración 1.9.

En la Tabla 2-7 se detallan las distancias existentes entre los nodos de las distintas redes.

Tabla 2-7: Distancia entre Nodos.

Tipo de Vivienda	Distancia entre Nodos	
	Sector Plano	Sector Cerro
A + B	400 m	400 m
A	400 m	400 m
B	800 m	800 m

A continuación se presentan los nodos utilizados para la obtención de las Isosístas. Cabe destacar que en cada ilustración los nodos de color rojo, representan los nodos del Plan de la ciudad; mientras que los nodos de color azul, los sectores pertenecientes al Cerro.



Ilustración 2.8: Nodos Utilizados para el Trazado de Isosístas, Viviendas Tipo A v B.

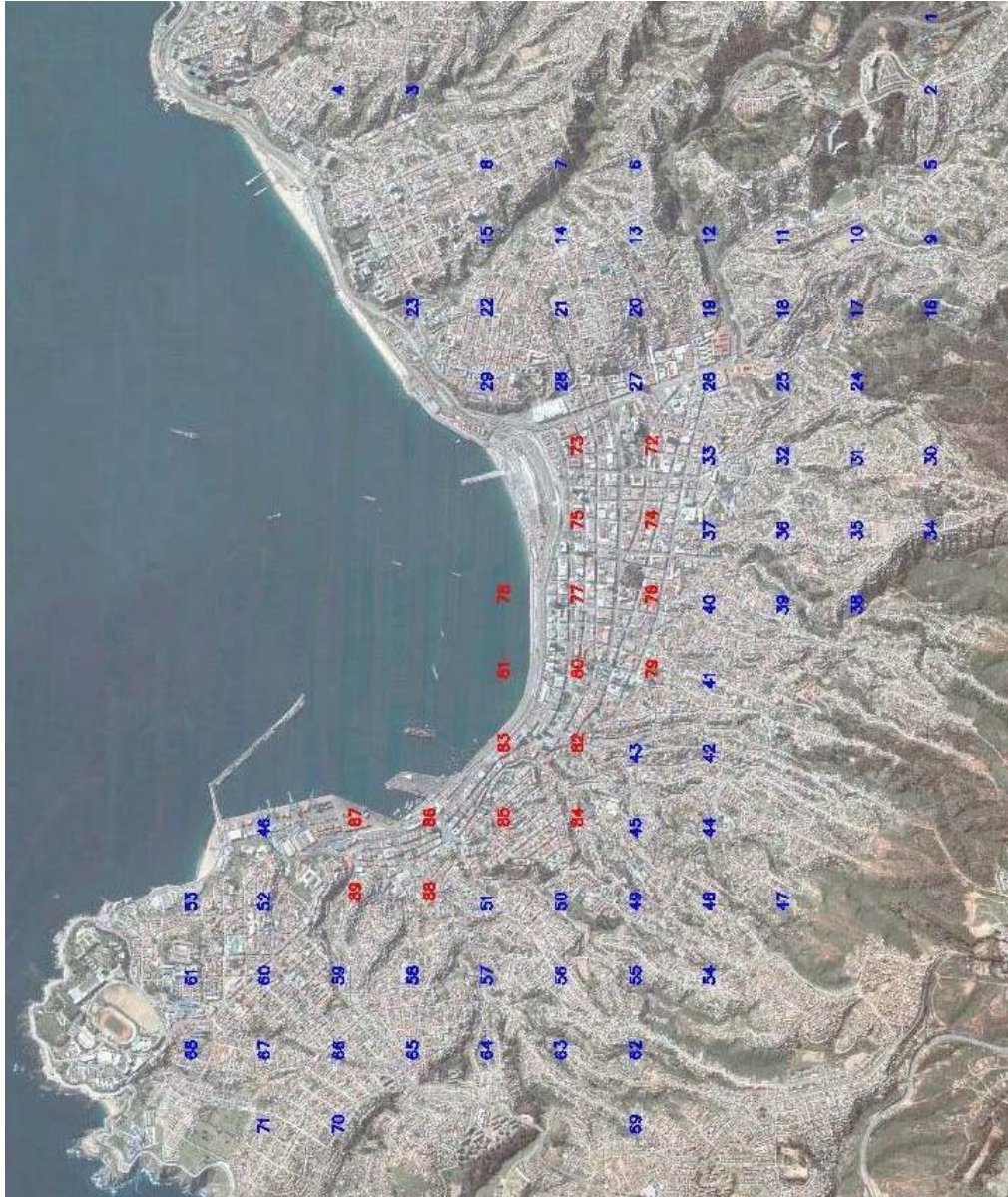


Ilustración 2.9: Nodos Utilizados para el Trazado de Isosistas, Viviendas Tipo A.

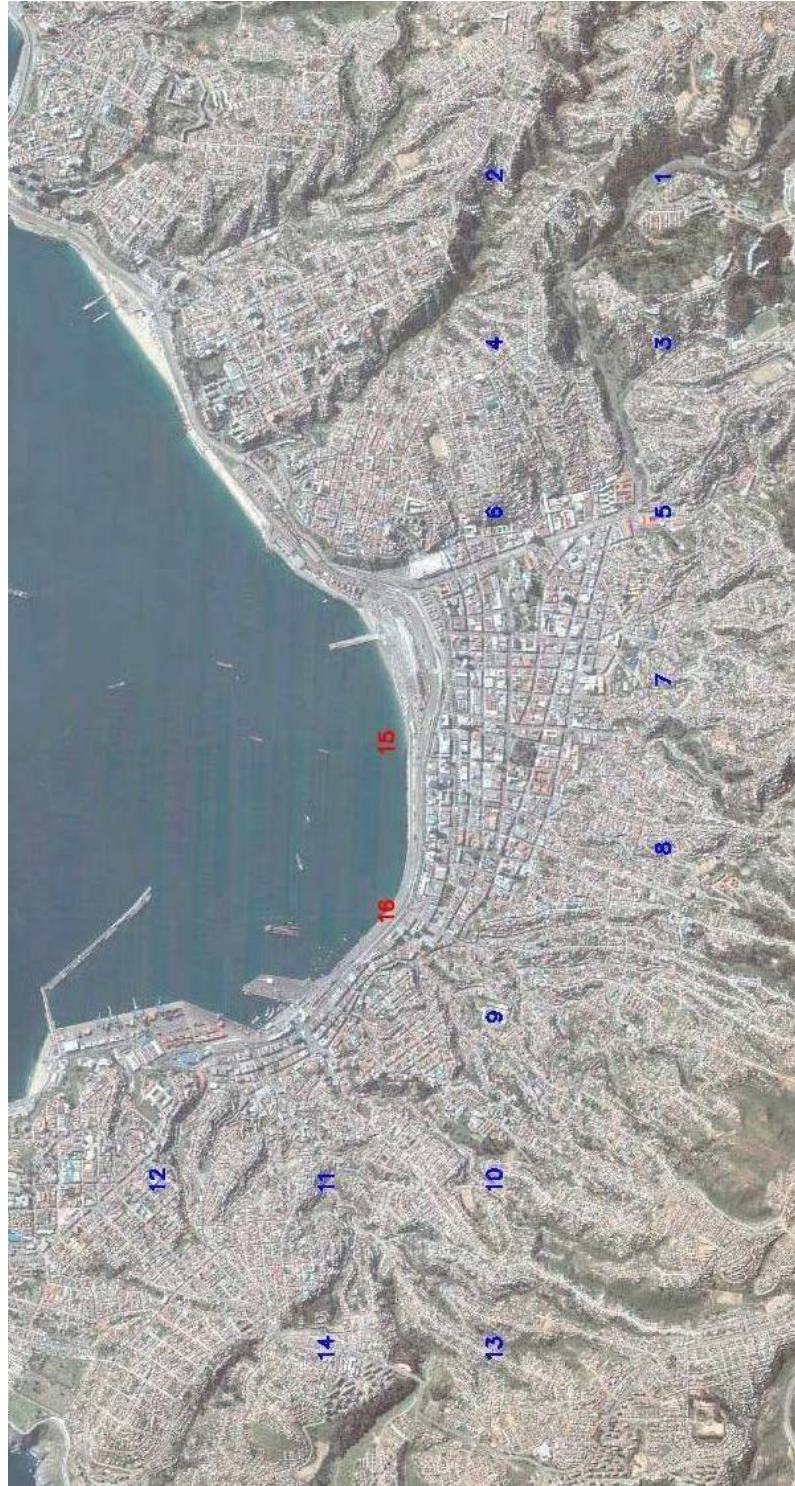


Ilustración 2.10: Nodos Utilizados para el Trazado de Isosistas, Viviendas Tipo B.

2.3.3 Asignación de Valores.

La asignación de Intensidades a los nodos de la red, se realiza mediante la técnica de Promedios Móviles Ponderados. En ella se considera como área tributaria a cada nodo de la red, los datos de las celdas adyacentes a él, con esto se produce un traslapo de la información que permite obtener valores más suavizados de Intensidades, lo que a su vez facilita el trazado de las Isosistas.

En la Tabla 2-8 se presenta el área contribuyente de cada nodo según el tipo de vivienda y el sector en el cual se encuentren.

Tabla 2-8: Área Contribuyente para las Mallas propuestas.

Tipo de Vivienda	Área Contribuyente	
	Sector Plano	Sector Cerro
A + B	0,64 km ²	0,64 km ²
A	0,64 km ²	0,64 km ²
B	2,56 km ²	2,56 km ²

Una vez asignadas las viviendas a cada uno de los nodos de las distintas redes según corresponda, se calcula la Intensidad MSK de acuerdo con el Punto 2.2.3.

Para los casos en que se considere un único tipo de vivienda, el resultado no requiere de cálculos posteriores. Para el caso combinado, es necesario calcular la Intensidad para cada tipo de vivienda según el Punto 2.2.3 y luego ponderar de acuerdo a la importancia relativa de cada vivienda asociada al vértice en cuestión. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$I_{nodo(i,j)} = \frac{N_{A(i,j)} \cdot I_{A(i,j)} + N_{B(i,j)} \cdot I_{B(i,j)} + N_{C(i,j)} \cdot I_{C(i,j)}}{N_{A(i,j)} + N_{B(i,j)} + N_{C(i,j)}} \quad \text{(Ecuación 2.2)}$$

En donde:

$I_{nodo(i,j)}$: Intensidad MSK Ponderada en el nodo (i,j).

$N_{A(i,j)}$: Número de viviendas Tipo A con Intensidad I_A en el nodo (i,j).

$I_{A(i,j)}$: Intensidad MSK según las viviendas Tipo A en el nodo (i,j).

$N_{B(i,j)}$: Número de viviendas Tipo B con Intensidad I_B en el nodo (i,j).

$I_{B(i,j)}$: Intensidad MSK según las viviendas Tipo B en el nodo (i,j).

$N_{C(i,j)}$: Número de viviendas Tipo C con Intensidad I_C en el nodo (i,j).

$I_{C(i,j)}$: Intensidad MSK según las viviendas Tipo C en el nodo (i,j).

Como se ha dicho con anterioridad, sólo se ha considerado para el cálculo de la Intensidad, las viviendas Tipo A y B; las viviendas Tipo C no son del todo confiables debido a que por la poca información que se presenta en las encuestas de daño realizadas por las distintas instituciones, la pertenencia a este grupo no es del todo asertiva pudiendo quedar mal clasificada, es decir, la información presentada en las encuestas en cuanto al tipo de material no específica con detalles el tipo de estructuración.

Para asegurar una mayor confiabilidad a los resultados, en el caso de viviendas Tipo A, sólo se han considerado estructuras de Adobe y de Tabiquería de Adobe; y para las viviendas Tipo B, se han considerado sólo las viviendas de Albañilería Sin Refuerzo, tal como se ha detallado en el Punto 2.2.1.

Teniendo presente estas consideraciones, la Ecuación 2.2 se simplifica quedando de la siguiente forma:

$$I_{nodo(i,j)} = \frac{N_{A(i,j)} \cdot I_{A(i,j)} + N_{B(i,j)} \cdot I_{B(i,j)}}{N_{A(i,j)} + N_{B(i,j)}} \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

2.4 Método de Ajuste de Intensidades.

Las encuestas de daño presentan ciertas imprecisiones. Esto se debe a que al momento de realizar las encuestas, el personal no era el más calificado y a que las personas encuestadas, solían sobreestimar los daños con la finalidad de conseguir un préstamo para la reparación de sus viviendas.

Por este motivo, lo que se detalla en las encuestas no refleja del todo la realidad de la vivienda, entregando ciertos errores tanto en el daño descrito como en el tipo de material de la vivienda.

Para hacer más confiables estos datos, los valores calculados con los métodos anteriormente descritos, son ajustados mediante la utilización de los resultados obtenidos por Perreta y Canales (Ref 4), quienes calcularon para la ciudad de Valparaíso la Intensidad MSK para una división de la ciudad de Valparaíso propuesta por ellos.

Con estos valores, se obtienen factores de corrección, los cuales son aplicados a los datos utilizados en esta memoria brindándoles una mayor confiabilidad.

2.4.1 División de la Ciudad e Intensidades MSK Utilizadas en el Ajuste de los Datos.

En el trabajo de Perreta y Canales (Ref 4), la comuna de Valparaíso se dividió en dos grandes zonas, Plan y Cerros, subdividiéndose a su vez, en sectores.

En el Plan de Valparaíso, se adoptó la división de suelos hecha por Acevedo y Orozco (Ref 6), agregándole un nuevo sector, la zona D, la cual corresponde a la zona donde se presentaron los mayores daños en la ciudad. Los detalles referentes a esta zona se presentaron en el Punto 1.2.2.

En aquellos sectores en que la superficie resultante era muy amplia, o se contaba con una gran cantidad de información, la zona en cuestión, fue subdividida para obtener cálculos más precisos.

Para el caso del sector alto de Valparaíso (Cerros), se adoptó la división hecha con motivo del censo de 1982 (Ref 8.- I.N.E., Instituto Nacional de Estadísticas).

En la Ilustración 2.11 se detalla la división propuesta anteriormente. El sector nombrado con números romanos corresponde al Plan de Valparaíso compuesto por 5 sectores con sus respectivas subdivisiones. Para el sector alto (Cerros), se dividió en 16 sectores enumeradas según lo propuesto en el Censo de 1982 (Ref 8.- I.N.E., Instituto Nacional de Estadísticas). A las divisiones anteriores se agregó el sector D por los motivos anteriormente señalados.

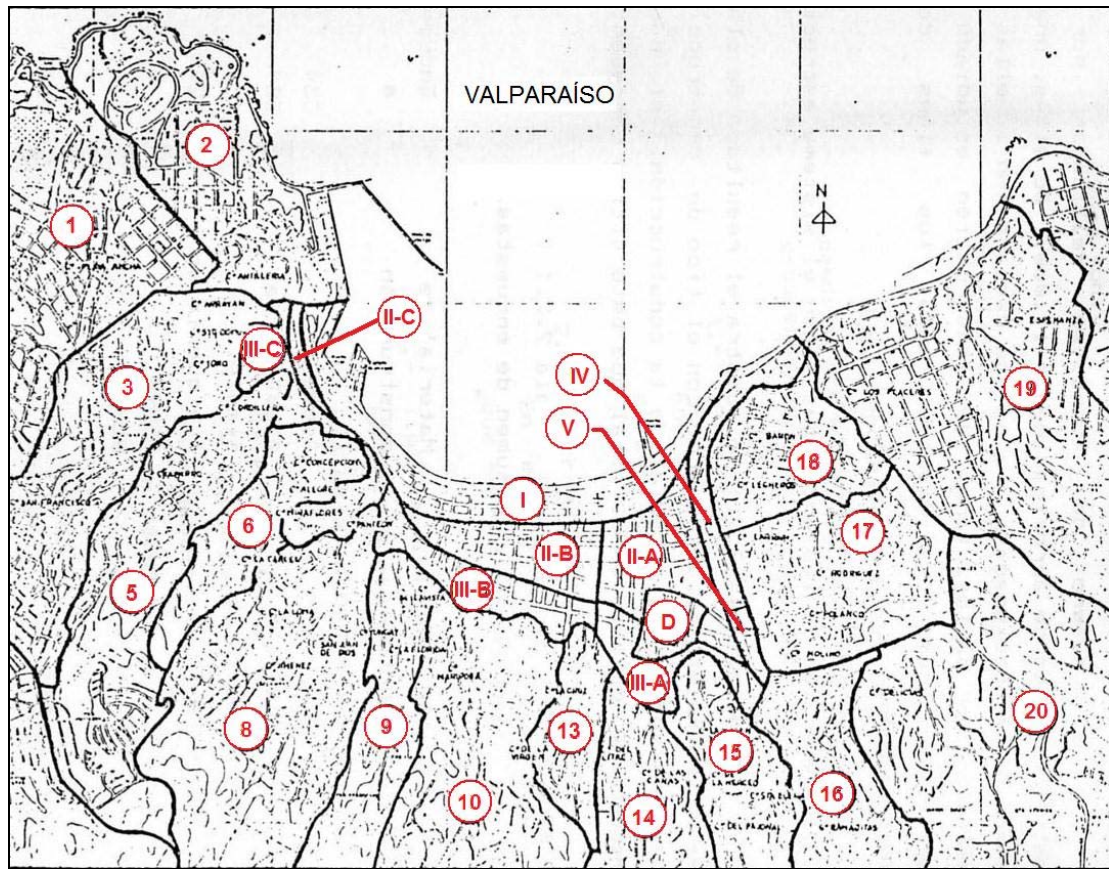


Ilustración 2.11: División de la Comuna de Valparaíso para el Cálculo de Intensidades.
(Ref 4.- Perreta, C. y Canales C.)

En la Tabla 2-9, se presentan las Intensidades MSK calculadas y corregidas por Perreta y Canales (Ref 4). En su trabajo, una vez calculada las intensidades de las distintas zonas, ajustaron cada una de ellas, mediante varias metodologías incluyendo visitas a terreno para verificar la veracidad de las viviendas con mayores grados de daños y realizando encuestas a sectores reducidos que funcionarían como zonas patrón para las zonas de mayor envergadura.

En la Tabla 2-10, se presentan las Intensidades MSK calculadas para las encuestas de daño según el Punto 2.2.3 para las zonas propuestas por Perreta y Canales.

En ambas tablas se han omitidos ciertas zonas en el cálculo, debido a que las encuestas tenían información deficiente o porque la cantidad de datos era insuficiente.

Los valores calculados para las zonas definidas por Perreta y Canales, se han utilizado para la obtención de los factores de corrección que son aplicados en las zonas analizadas. Con estos valores se ajustan las Intensidades obtenidas a partir de las encuestas, las cuales como se ha discutido en todo el desarrollo de esta memoria, presentan ciertas imprecisiones que serían corregidas mediante la utilización de estos factores.

**Tabla 2-9: Intensidades Calculadas por Perreta y Canales para la Ciudad de Valparaíso.
(Ref 4)**

Sector		Tipos de Vivienda							
		Adobe		Tabiquería de Adobe		Viviendas Tipo A		Albañilería Sin Refuerzo (Viviendas Tipo B)	
		N° Viviendas	I _{MSK}	N° Viviendas	I _{MSK}	N° Viviendas	I _{MSK}	N° Viviendas	I _{MSK}
Plano	I	0	-	54	8,08	54	8,08	22	8,84
	II-A	0	-	100	8,12	100	8,12	9	8,51
	II-B	0	-	108	7,83	108	7,83	14	7,91
	III-A	14	7,74	23	7,94	37	7,86	2	-
	III-B	31	7,61	98	7,77	129	7,73	11	8,06
	III-C	42	7,53	44	7,79	86	7,66	3	-
	IV	2	-	30	7,58	32	7,58	0	-
	V	0	-	7	7,53	7	7,53	0	-
	D	9	8,59	87	8,45	96	8,46	5	-
Cerro	C-1	0	-	104	7,34	104	7,34	6	7,60
	C-2	0	-	42	7,31	42	7,31	2	-
	C-3	0	-	241	7,38	241	7,38	13	7,94
	C-5	10	7,45	295	7,59	305	7,59	19	8,20
	C-6	0	-	111	7,60	111	7,60	11	7,90
	C-8	46	7,49	61	7,65	107	7,58	2	7,97
	C-9	19	8,01	65	7,53	84	7,64	3	-
	C-10	16	7,54	52	7,63	68	7,61	13	8,21
	C-13	0	-	68	7,64	68	7,64	4	-
	C-14	17	7,73	87	7,58	104	7,60	8	-
	C-15	44	7,50	100	7,30	144	7,36	43	8,01
	C-16	0	-	259	7,56	259	7,56	39	8,11
	C-17	4	-	107	7,50	111	7,50	4	-
C-18	53	7,31	84	7,38	137	7,35	10	8,33	
C-19	0	-	192	7,43	192	7,43	16	8,14	
C-20	0	-	104	7,62	104	7,62	27	7,97	

**Tabla 2-10: Intensidades MSK Calculadas según el Punto 2.2.3 para las Zonas Definidas por Perreta y Canales.
(Ref 4)**

Sector		Tipos de Vivienda							
		Adobe		Tabiquería de Adobe		Viviendas Tipo A		Albañilería Sin Refuerzo (Viviendas Tipo B)	
		N° Viviendas	I _{MSK}	N° Viviendas	I _{MSK}	N° Viviendas	I _{MSK}	N° Viviendas	I _{MSK}
Plano	I	32	8,26	1	7,50	33	8,23	13	8,58
	II-A	59	8,11	4	7,50	63	8,07	4	8,25
	II-B	89	7,51	7	8,25	96	7,56	8	8,13
	III-A	16	8,44	23	8,33	39	8,38	5	9,35
	III-B	27	7,76	6	7,33	33	7,68	7	8,50
	III-C	55	7,72	16	7,56	71	7,68	5	8,70
	IV	4	7,25	1	6,74	5	7,10	0	-
	V	4	8,59	0	-	4	8,59	1	9,59
D	42	8,34	12	8,78	54	8,44	9	8,28	
Cerro	C-1	72	7,47	26	7,35	98	7,44	16	8,13
	C-2	41	7,33	11	6,93	52	7,23	7	7,81
	C-3	145	7,73	60	7,80	205	7,75	31	7,93
	C-5	168	7,88	73	7,62	241	7,80	12	8,42
	C-6	41	7,30	44	7,30	85	7,30	9	7,86
	C-8	52	8,00	26	7,81	78	7,94	7	8,36
	C-9	3	8,98	6	6,91	9	7,50	5	8,10
	C-10	39	7,91	2	9,38	41	7,96	11	8,50
	C-13	41	7,87	6	8,20	47	7,90	0	-
	C-14	35	7,56	22	8,21	57	7,80	2	8,50
	C-15	27	7,91	44	7,73	71	7,80	22	8,59
	C-16	58	7,71	46	7,70	104	7,70	23	8,72
C-17	50	7,90	37	7,66	87	7,80	4	8,50	
C-18	18	7,44	46	7,57	64	7,53	6	8,67	
C-19	51	7,56	6	7,50	57	7,55	15	8,37	
C-20	51	7,68	40	7,58	91	7,63	52	8,54	

2.4.2 Factores de Corrección.

Los factores de corrección para el ajuste de las Intensidades se determinan a partir de la relación entre los valores calculados con las encuestas y los obtenidos por Perreta y Canales para una misma zona. De lo anterior se obtiene lo siguiente:

$$F_{c,i} = \frac{I_{Patrón,i}}{I_{enc,i}} \quad \text{(Ecuación 2.4)}$$

En donde

$I_{Patrón,i}$: Intensidad calculada por Perreta y Canales para la zona i.

$I_{enc,i}$: Intensidad calculada con las encuestas de daño según el Punto 2.2.3 para la zona i.

Este factor de corrección es calculado para cada zona definida en el punto 2.4.1, y es aplicado a cada vivienda según la pertenencia de las mismas a alguna de las zonas definidas.

Para evitar errores estadísticos, se han considerado un mínimo de 20 viviendas por zona, tanto para la intensidad calculada por Perreta y Canales como para las calculadas con las encuestas según el Punto 2.2.3, en caso de no cumplirse la condición anterior, el grado de daño de las encuestas no será corregido o considerado dentro del análisis.

En la Tabla 2-11 se presentan los factores de corrección para las viviendas Tipo A y Tipo B. En aquellas zonas donde se cuenta con pocos datos, no se ha calculado el factor de corrección.

Tabla 2-11: Factores de Corrección para Zonas Definidas por Perreta y Canales.

Sector		Factores de Corrección	
		A	B
Plano	I	0,982	-
	II-A	1,007	-
	II-B	1,035	-
	III-A	0,939	-
	III-B	1,006	-
	III-C	0,997	-
	IV	-	-
	V	-	-
	D	1,003	-
Cerro	C-1	0,987	-
	C-2	1,011	-
	C-3	0,952	-
	C-5	0,972	-
	C-6	1,041	-
	C-8	0,955	-
	C-9	-	-
	C-10	0,955	-
	C-13	0,967	-
	C-14	0,975	-
	C-15	0,944	0,932
	C-16	0,982	0,930
	C-17	0,962	-
C-18	0,976	-	
C-19	0,984	-	
C-20	0,998	0,933	

Para corregir el grado de daño de cada vivienda (G_i), se ha utilizado el factor de corrección calculado según la Ecuación 2.4, determinándose $G_{i,corr}$, según la Ecuación 2.5.

Con $G_{i,corr}$ se puede obtener el Grado Medio de Daño Corregido ($G_{m,corr}$) de acuerdo con la Ecuación 2.6, cuyo valor es utilizado en el cálculo definitivo de la Intensidad MSK para cada nodo de la red propuesta en el Punto 2.3.2.

$$G_{i,corr} = \frac{I_{Patrón,i}}{I_{enc,i}} \cdot G_i = F_{c,i} \cdot G_i \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

$$G_{m,corr} = \frac{\sum (G_{i,corr} \cdot N_i)}{\sum N_i} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Las ecuaciones anteriores describen claramente la forma de corregir las encuestas de daño. En caso de contar con pocos datos, el factor de corrección será igual a uno, considerando de esta forma el valor directo de las encuestas. Esto se debe a que la determinación del grado de intensidad se basa en el comportamiento estadístico de la vivienda, el tamaño de la muestra para cada sector urbano es importante estimándose que un tamaño de 20 o más viviendas es aceptable (Ref 10.- Monge, J. y Astrosa, M.).

2.5 Intensidades Corregidas.

Como se ha dicho con anterioridad, para el cálculo de la Intensidad de cada uno de los nodos, se han separado las viviendas correspondientes al Plan de la ciudad de las del Cerro. Esta división, se realiza debido a que las viviendas en ambos sectores presentan distintos mecanismos de reacción frente a un sismo de gran magnitud.

Con la metodología presentada en el Punto 2.3 y las correcciones realizadas al modelo en el Punto 2.4, se han obtenido las Isosístas de la Intensidad MSK para las viviendas Tipo A, B y una combinación de ambas en la ciudad de Valparaíso. Todo esto se presenta en las siguientes ilustraciones.

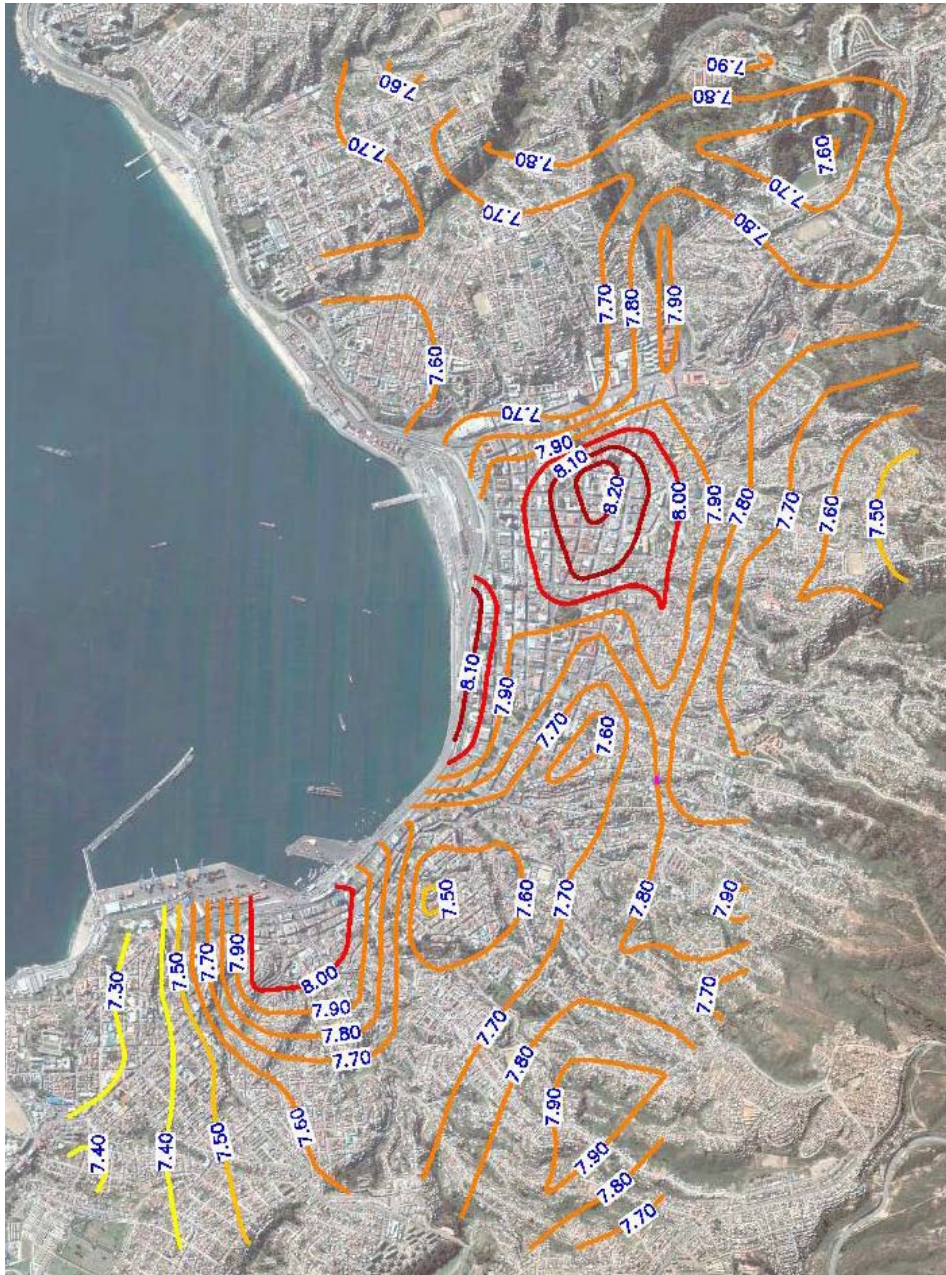


Ilustración 2.12: Isosístas para las Viviendas Tipo A.



Ilustración 2.13: Isosistas para las Viviendas Tipo B.

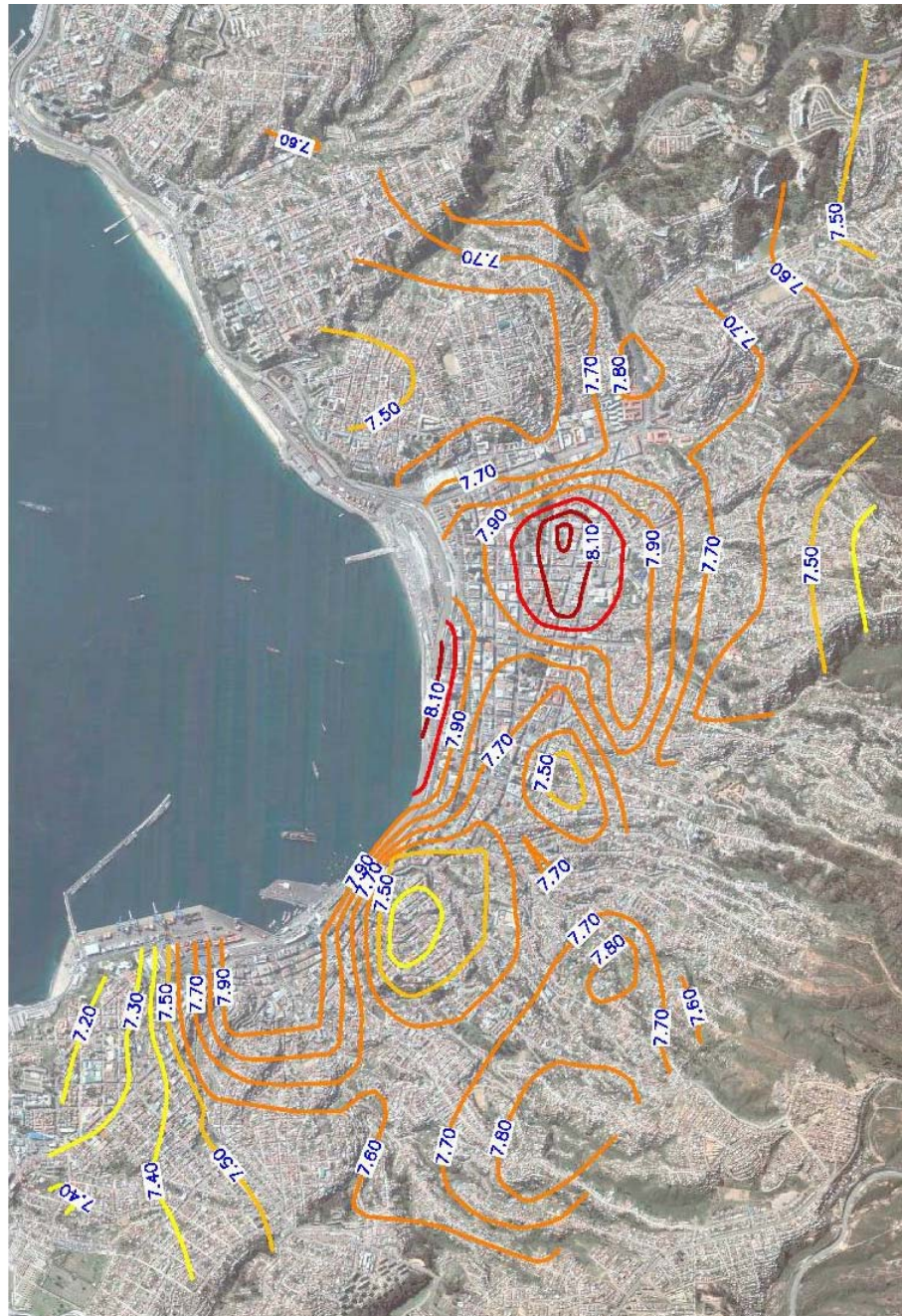


Ilustración 2.14: Isosistas para las Viviendas tipo A y B.

2.6 Comentarios.

Las Escalas de Intensidades por su naturaleza empírica son meramente descriptivas de lo que un sismo produce en personas, objetos, animales, suelo, construcciones, etc. Se pretende que ellas midan la severidad del terremoto lo cual obviamente conlleva las imprecisiones propias de la subjetividad del observador.

Para poder reducir estas imprecisiones, es necesario ajustar los datos, para ello se utilizaron los resultados de Perreta y Canales, cuyo trabajo, posee verificaciones en terreno y la utilización de sectores reducidos como zonas patrón para su ajuste. Estas correcciones hacen del trabajo de Perreta y Canales una buena base para ajustar las encuestas de esta Memoria, ya que debido al tiempo que ha transcurrido desde el terremoto, no se han podido realizar visitas a terreno para corroborar la veracidad de las encuestas ni tampoco se ha podido realizar una toma de muestra de menor tamaño que sirva de apoyo para ajustar la muestra total.

En lo referente a las Encuestas, se han tenido varios problemas, ya que por los años transcurridos, se han deteriorado bastante, con lo cual se ha dificultado la lectura de las mismas. Por este motivo, se han tenido que descartar varias de ellas debido al estado en el cual se encuentran.

Es necesario agregar que aquellas encuestas que se encontraban incompletas o los datos eran dudosos, han sido descartados, con lo que el número final de datos a considerar se vio reducido considerablemente.

Para el cálculo de la Intensidad MSK de toda la grilla, se han separado las viviendas pertenecientes al Plan de la ciudad de las pertenecientes a los Cerros. Con esta división, se puede apreciar de mejor forma la singularidad presente por fenómenos de amplificación y topográficos en aquellas zonas donde el Plan se junta con los Cerros.

La metodología utilizada tiende a suavizar las Isosístas trazadas con los nodos de la red impidiendo apreciar fenómenos singulares como el anteriormente descrito haciendo necesaria esta división.

Teniendo en cuenta que la determinación del grado de intensidad se basa en el comportamiento estadístico de las viviendas, el tamaño de la muestra para cada sector es importante. Se estima que un tamaño de 20 o más casas es aceptable; en caso de contar con muestras de menor tamaño el valor calculado con ellas sólo tiene un carácter de respaldo.

Como la fuente de información para el cálculo de la intensidad son solo encuestas, hay que tener presente que estas corresponden a personas cuyas viviendas han sufrido graves daños o necesitan de algún préstamo para repararlas. Por ello, es que no aparecen las construcciones con daños menores o las que fueron reparadas por sus dueños sin solicitar préstamos.

La metodología utilizada, tiene en consideración lo anterior. Al observar la Ilustración 2.4: Representación del Grado Medio de Daño., se puede apreciar que al incrementar los datos de los grados bajos, el área achurada aumenta en mucha menor medida que si aumentamos los datos de los grados mayores. Esto incurre en un leve error, pero dada las circunstancias en que no se cuenta con la información de todas las viviendas, éste es aceptable.

Para no incluir más errores en el cálculo de la Intensidad, es de bastante importancia que los datos con grados de daños altos sean lo más precisos posible debido a que son los más influyentes al momento de calcular la Intensidad del área en cuestión.

En cuanto a las encuestas de daño, es necesario que detallen bien el tipo de material de las viviendas al igual que el tipo de daño que tienen. La elaboración de ellas, debe ser realizada de la forma más uniforme posible, por lo cual es necesario que los criterios de todos los integrantes del equipo de trabajo, especialmente en lo relativo a la identificación del tipo de construcción y del grado de daño, sea el mismo.

De los resultados obtenidos, se pueden apreciar que no aparecen Intensidades del orden de 6 grados, esto se debe a que las encuestas, como se mencionó con anterioridad, corresponden a las viviendas con mayores daños, omitiendo las que no se encontraban dañadas o presentaba daños leves lo cual no sucedió en la realidad, hubo sectores que no presentaron daños pero dada la metodología utilizada, no aparecen representadas en las Isosístas trazadas para los distintos tipos de viviendas.

Al observar las Intensidades para las viviendas tipo A y B se puede apreciar la gran diferencia existente entre utilizar un tipo de vivienda y el otro en el cálculo de la Intensidad.

Como se puede apreciar la diferencia es del orden de $\frac{1}{2}$ grado aproximadamente con lo cual queda clara la importancia de ajustar más aún la metodología de cálculo de Intensidades, debido a que independiente del tipo de material que se este evaluando, el nivel de intensidad debería ser el mismo.

Por otro lado, es necesario incluir las viviendas Tipo B en análisis, debido a que representan un porcentaje del daño presente en la ciudad, por este motivo se cálculo la Intensidad para el caso combinado de viviendas. Este resultado, como se puede apreciar, incrementa la Intensidad calculada para las viviendas Tipo A en una décima de grado. Este aumento en la intensidad es poco notorio porque el número de viviendas consideradas para el cálculo de la Intensidad de las viviendas Tipo B es mucho menor que las utilizadas para las del Tipo A, de tener un número comparable, este valor podría incrementarse hasta en $\frac{1}{2}$ grado.

Debido a los discutido con anterioridad, se recomienda utilizar como referencia las Intensidades calculadas para las viviendas Tipo A debido a que se cuentan con una gran cantidad de datos haciendo más representativo el valor de la Intensidad calculada.

Capítulo III

3 Análisis de Amplificación Sísmica.

Durante el sismo del 3 de marzo de 1985, se tomaron registros tanto de la base rocosa de Valparaíso mediante el acelerograma ubicado en la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), como sobre el plan de la ciudad, con un acelerograma ubicado en el sector del Almendral.

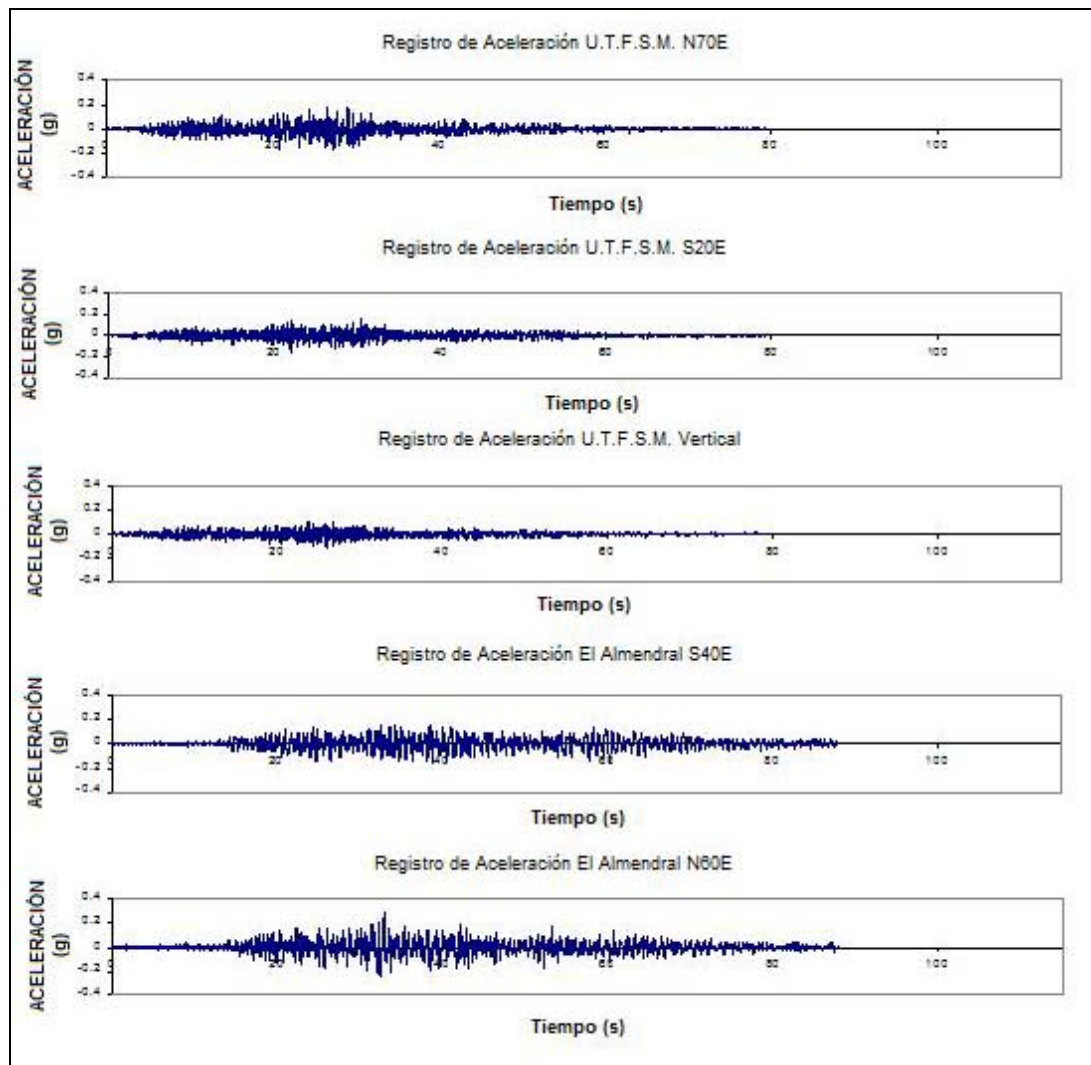
Al observar ambos registros se puede apreciar la amplificación producida en el Plan de la ciudad. Este fenómeno se debe principalmente a la influencia del subsuelo local, el cual durante un sismo de gran magnitud, presenta una amplificación o mitigación del mismo dependiendo del proceso de propagación, características de la fuente y la transmisión de la onda (Ref 12.- Faccioli, E. y Resendiz, D.).

Con lo anterior, queda clara la importancia de realizar un estudio a los registros de aceleración de la zona para que de esta forma se tenga conocimiento de las amplificaciones existentes en toda la ciudad.

3.1 Características de los Registros Utilizados.

Los registros utilizados para el cálculo de la amplificación producida en los suelos de Valparaíso, corresponden al sismo del 3 de Marzo de 1985 registrados por la estación UTFSM sobre roca, regulado en las direcciones N70°E y S20°E y por la estación ubicada en el barrio el Almendral, en la Iglesia de los Doce Apóstoles, sobre depósitos de suelo, regulado en las direcciones N50°E y S40°E.

Los Acelerogramas de todos los registros, se presentan en la Ilustración 3.1.



**Ilustración 3.1: Acelerogramas del Sismo del 3 de Marzo de 1985, Valparaíso.
(Ref 13.- Pérez, P.)**

Para poder evaluar la Intensidad y severidad del sismo, se han identificado varios parámetros instrumentales, siendo evaluados de acuerdo a espectros de respuesta de aceleración absoluta con un 5% de amortiguamiento, corregidos por la Universidad de Chile (1990), y calculados por Pamela Pérez (Ref 13).

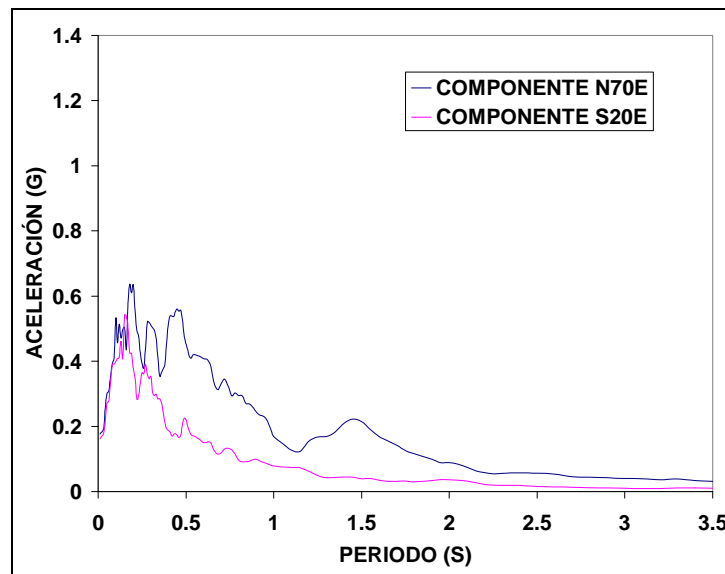
Estos resultados se presentan en las Tabla 3-1 y Tabla 3-2, además de los espectros de respuesta de aceleración absoluta detallados en la Ilustración 3.2 e Ilustración 3.3.

**Tabla 3-1: Parámetros Sísmicos, Estación UTFSM.
(Ref 13.- Pérez, P.)**

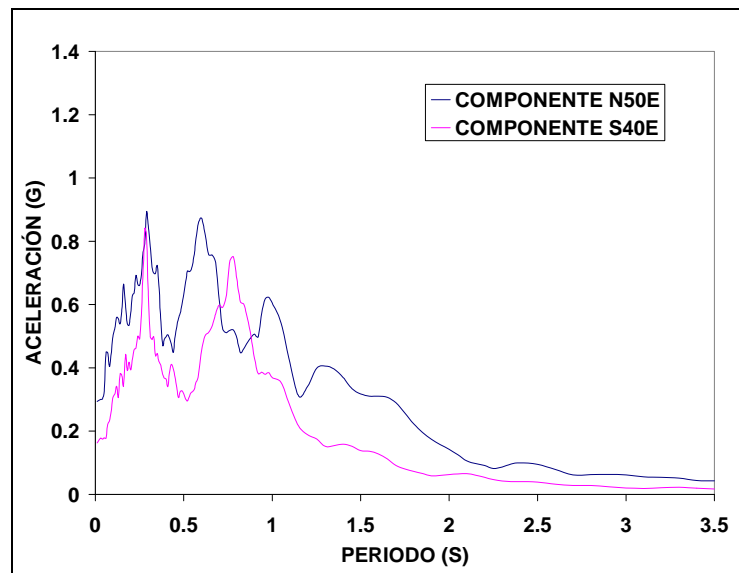
Componente	Aceleración Máxima [g]	Frecuencia [cruc/s]	Potencial Destructivo. [$10^{-3} \cdot g \cdot s^3$]	Intensidad de Arias [g·s]	Frecuencia Predominante [cruc/s]
UTFSM N70°E	0,177	14,12	5,79	1,13	4,81
UTFSM S20°E	0,163	14,98	3,26	0,72	6,67
UTFSM Vertical	0,121	18,41	1,17	0,39	8,05

**Tabla 3-2: Parámetros Sísmicos, Estación El Almendral.
(Ref 13.- Pérez, P.)**

Componente	Aceleración Máxima [g]	Frecuencia [cruc/s]	Potencial Destructivo. [$10^{-3} \cdot g \cdot s^3$]	Intensidad de Arias [g·s]	Frecuencia Predominante [cruc/s]
Almendral N50°E	0,291	8,46	46,65	3,27	3,03
Almendral S40°E	0,159	7,11	46,67	2,32	2,64



**Ilustración 3.2: Espectro de Respuesta de Aceleración Absoluta, Sismo de Chile 1985, Estación UTFSM.
(Ref 13.- Pérez, P.)**



**Ilustración 3.3: Espectro de Respuesta de Aceleración Absoluta, Sismo de Chile 1985, Estación El Almendral.
(Ref 13.- Pérez, P.)**

Dentro de las características del registro se podría decir que los obtenidos en roca, tienen amplitudes máximas inferiores, contenido de frecuencias mayores y duración menor que los obtenidos en relleno. Esto se debe principalmente a la respuesta no-lineal del suelo de relleno (Ref 1.- Saragoni, R., Gonzáles, P. y Fresard, M.).

3.2 Características del Medio de Propagación.

El medio de propagación corresponde al suelo, el cual, a rasgos generales, corresponde a un material discreto que interactúa en las zonas de contacto considerado macroscópicamente como un continuo y comportándose microscópicamente al corte como un material friccionante disminuyendo su rigidez con la deformación.

Para evaluar la Amplificación Dinámica en este medio, es necesario conocer ciertas propiedades que no son fáciles de definir debido a que los suelos sufren cambios en su estructura, siendo irreversibles e irrecuperables durante sismos de gran magnitud. Estas

propiedades son el Módulo de Corte y el Amortiguamiento, los cuales no sólo dependen de los esfuerzos soportados, sino que también del historial de esfuerzos a los cuales se vieron sometidos y a las deformaciones inmediatas y diferidas que presenta (Ref 14.- Garrido, L.).

A continuación se describen las propiedades del suelo más importantes utilizadas para calcular la amplificación producida por los suelos. La metodología utilizada para el cálculo es la de Elementos Finitos y el software utilizado es el QUAD-4 (Ref 15.- Idriss, I. M., Lysmer, J., Hwang, R. y Bolton Seed, H.), siendo este software, dependiente de estas propiedades.

3.2.1 Rigidez, Módulo de Corte G .

El Módulo de Corte G es uno de los parámetros más importantes para el análisis de la respuesta dinámica y sísmica en depósitos de suelos.

Esta propiedad nos indica la resistencia del suelo ante sollicitaciones por corte presentando cambios a distintos niveles de deformación (Ref 12.- Faccioli, E. y Resendiz, D.). Es dependiente de la amplitud de deformación por corte, el esfuerzo efectivo inicial, razón de vacío y el nivel de esfuerzos de corte.

3.2.1.1 Caracterización del Módulo.

En los distintos estratos del suelo, existe cierta degradación del módulo, la cual, para poder definirla es necesario obtener una rigidez patrón, la cual corresponde al valor máximo del modulo de corte del suelo, $G_{m\acute{a}x}$, (Ref 14.- Garrido, L.).

El máximo valor para G se presenta a pequeñas deformaciones del orden de 10^{-4} % (Ref 13.- Pérez, P.).

En la Ilustración 3.4 se puede apreciar la relación esfuerzo-deformación que presenta el suelo para cargas cíclicas, detallándose el Módulo de Corte, que corresponde al módulo secante determinado por los puntos extremos del ciclo; y el Módulo de Corte Máximo, el cual corresponde a la pendiente de la curva para pequeñas deformaciones.

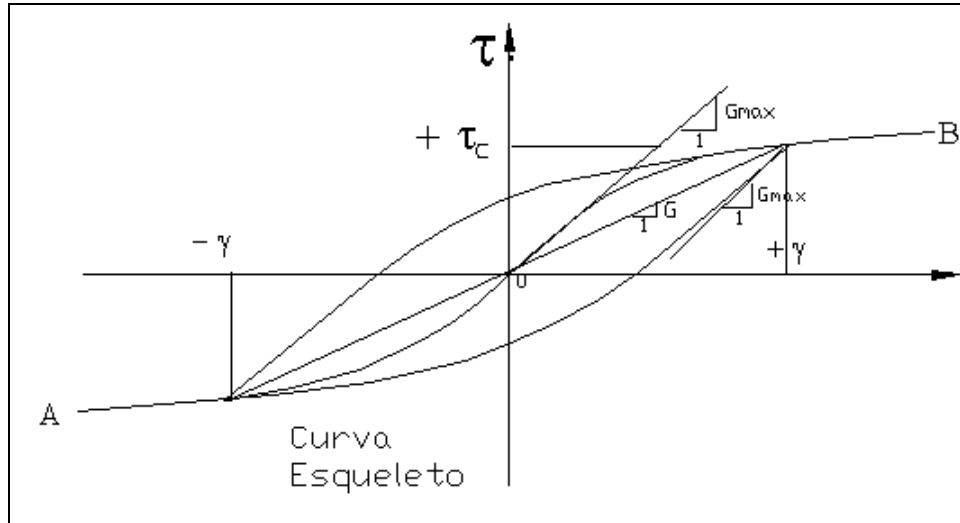


Ilustración 3.4: Relación Esfuerzo Deformación.

Al analizar una muestra de suelo, las deformaciones por corte, son prácticamente irreversibles, esto se puede apreciar en las curvas de esfuerzo-deformación, en donde durante varios ciclos de carga y descarga, éstas no coinciden. De aquí nace la importancia de obtener el Módulo de Corte Máximo el cual sirve de patrón para poder definir G a lo largo de las distintas deformaciones que presenten durante un sismo de gran magnitud.

3.2.1.2 Cálculo del Módulo de Corte Máximo.

Para obtener $G_{máx}$, se puede recurrir a varios métodos de cálculo los cuales correlacionan distintas propiedades de los suelos. Estos métodos fueron propuestos por varios autores (Ref 13.- Pérez, P.), dentro de los cuales se destacan:

- Hardin y Black (1968): derivando ecuaciones que permiten estimar los valores de $G_{m\acute{a}x}$.
- Kuribayashi (1974): encontrando para arenas limpias, que el Módulo de Corte máximo depende solo de la relación de vacíos (e) y del esfuerzo principal medio efectivo (σ_o).
- Iwasaki y Tatsuoka (1977): determinando $G_{m\acute{a}x}$ experimentalmente para arenas limpias dentro de los rangos de $0.61 < e < 0.86$, $0.2 < \sigma_o < 5$ [Kg/cm²] y una amplitud de deformaciones de 10^{-6} .
- Seed e Idriss (1970): utilizando diferentes ecuaciones para arenas, gravas y arcillas.
- Ohsaki e Iwasaki (1973): derivando ecuaciones mediante correlaciones entre los datos de velocidad otorgados por ensayos cross-hole y el número de golpes N de Ensayos de Penetración con Cuchara Normal (SPT).
- Enami, Ohhashi y Hara (1973): obteniendo relaciones entre el Módulo de Corte Máximo y la resistencia al Corte No Drenada para suelos cohesivos ($0.5 < e < 2.5$).

Las distintas ecuaciones propuestas por cada uno de estos autores, se presentan en el Anexo A.

Para el cálculo de $G_{m\acute{a}x}$ se han utilizado, dos expresiones, la primera, depende de la velocidad de la onda de corte a través de la siguiente relación:

$$G_{m\acute{a}x} = \rho \cdot V_s^2 \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

En donde:

$G_{m\acute{a}x}$: Módulo de Corte Máximo en [Kg / m²].

ρ : Densidad del Suelo en [Kg / m³].

V_s : Velocidad de la onda de corte en [m / s].

Para obtener V_s , existen varios métodos, entre los cuales están los ensayos de Down Hole y Cross Hole, pero dado que la información es escasa y no siempre están los medios para realizar estos ensayos, Verdugo, sugiere la siguiente ecuación para determinar la velocidad de la onda de corte:

$$V_s = 245 + 5.882 \cdot \sqrt{43.7 + 34 \cdot Z} \quad \text{para } Z > 5 [m] \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

En donde:

Z : Profundidad del estrato en metros.

El segundo método, corresponde a expresiones propuestas por Ohsaki e Iwasaki (Ref 16), quienes proponen la siguiente expresión:

$$G_{m\acute{a}x} = G_0 \cdot N^\alpha \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

En donde:

$G_{m\acute{a}x}$: Módulo de Corte Máximo en $[T/m^2]$

N : Número de golpes en ensayo SPT en $[N^\circ \text{ de golpes/ft}]$

Las constantes de la ecuación dependen de varios factores, los cuales se detallan en la Tabla 3-3. Para el caso particular de la ciudad de Valparaíso las constantes utilizadas son las siguientes (Ref 13.- Pérez, P.):

a) *Para el caso de Arenas, las constantes son:*

$$G_0 = 650$$

$$\alpha = 0,94$$

$$G_{m\acute{a}x} = 650 \cdot N^{0.94} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

b) Para casos en que N tenga validez, las constantes son las siguientes:

$$G_0 = 1200$$

$$\alpha = 0,8$$

$$G_{m\acute{a}x} = 1200 \cdot N^{0.8} \quad \text{(Ecuaci3n 3.5)}$$

Tabla 3-3: Constantes para la Ecuaci3n 3.3.
(Ref 13.- P3rez, P.)

CATEGORÍA		G_0 (T/M ²)	α	COEFICIENTE DE CORRELACI3N
Edades Geol3gicas	Terciario	562	0,97	0,82
	Diluvial	1.080	0,82	0,81
	Aluvial	1.460	0,61	0,79
Tipos de suelos	Arenoso	650	0,94	0,85
	Intermedio	1.180	0,76	0,74
	Cohesivo	1.400	0,71	0,92
Promedio		1.220	0,78	-
Relaci3n aproximada		1.200	0,80	-

Conocido $G_{m\acute{a}x}$, se puede determinar el M3dulo de Corte para un cierto nivel de deformaciones mediante las expresiones propuestas por Hardin y Drnevich (Ref 17):

$$\frac{G}{G_{m\acute{a}x}} = \frac{1}{1 + \gamma_h} \quad \text{(Ecuaci3n 3.6)}$$

$$\gamma_h = \frac{\gamma}{\gamma_r} \left(1 + a \cdot e^{b \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_r} \right)} \right) \quad \text{(Ecuaci3n 3.7)}$$

$$\gamma_r = \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{G_{m\acute{a}x}} \quad \text{(Ecuaci3n 3.8)}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{1 + k_o}{2} \cdot \sigma_v \cdot \text{sen } \phi + c \cdot \text{cos } \phi \right)^2 + \left(\frac{1 - k_o}{2} \cdot \sigma_v \right)^2} \quad \text{(Ecuaci3n 3.9)}$$

En donde:

K_0 : Coeficiente de empuje lateral en reposo.

σ_v : Esfuerzo vertical efectivo.

c : Cohesión.

ϕ : Ángulo de fricción interna.

Los parámetros a y b que aparecen en la Ecuación 3.7 se detallan en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Parámetros a y b según el Tipo de Suelo para el cálculo de G .
(Ref 17.- Hardin, B. y Drnevich, V.)

Condición	Tipo de suelo	a	b
Drenada	Arenas limpias secas	-0.5	0.16
	Arenas limpias saturadas(*)	$-0.2 \log(N)$	0.16
	Suelos cohesivos saturados	$1+0.25 \log(N)$	1.3
No drenada	Arenas limpias saturadas	-0.5	0.16

(*) válido para $N < 50000$ ciclos de carga
 N : Número de ciclos de carga por la magnitud del sismo.

Con todas las ecuaciones anteriores, se puede definir el Módulo de Corte en función de las deformaciones, con lo cual quedaría completamente definido para cualquier instante del sismo en cuestión.

3.2.2 Amortiguamiento Interno.

La capacidad de disipación de energía del suelo, es representada por el amortiguamiento interno.

Para el caso del suelo, existen dos tipos de amortiguamiento, Viscoso e Histerético.

La disipación de energía por efectos de la velocidad del movimiento o de la deformación, es asociada al *Amortiguamiento Viscoso*, siendo fuertemente dependiente de la frecuencia del movimiento (Ref 14.- Garrido, L.).

La pérdida de energía por fricción, es asociada al *Amortiguamiento Histerético*, siendo independiente de la frecuencia, pero dependiente de la magnitud del desplazamiento y la deformación (Ref 14.- Garrido, L.).

De estos dos tipos de disipación de energía, durante cargas dinámicas, la mayor evidencia de disipación, es entregada por los loops de histéresis, en donde se puede apreciar la forma en que el suelo almacena energía en el estado de vibraciones libres para luego disiparla (Ref 12.- Faccioli, E. y Resendiz, D.).

3.2.2.1 Caracterización del Amortiguamiento.

Para poder representar de mejor manera el comportamiento histerético del suelo, Hardin (Ref 18) sugiere adoptar el sólido de Kelvin-Voigt, como modelo detallándose en la Ilustración 3.5 y expresado físicamente por la Ecuación 3.10.

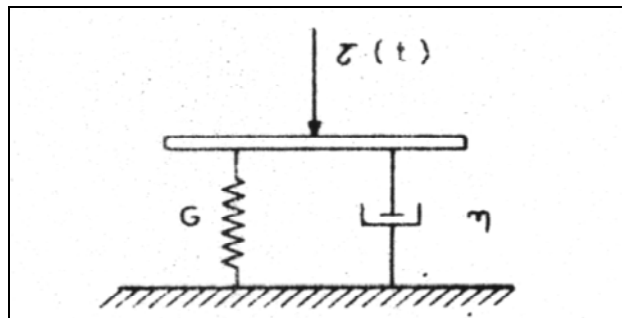


Ilustración 3.5: Modelo Viscoelástico.

$$\tau = G \cdot \gamma + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

En donde:

τ : Representa la tensión de corte generada por las fuerzas de inercia producidas por el paso de la onda a través de suelo.

G : Módulo de corte.

η : Viscosidad.

γ : Deformación.

Mediante la utilización de este modelo, el comportamiento no-lineal del suelo queda definido, en donde la Ecuación 3.10 es una buena aproximación para la representación del suelo bajo cargas cíclicas (Ref 14.- Garrido, L.).

Al observar los ciclos de histéresis durante los ciclos de carga y descarga, se puede apreciar que la disipación de energía representada por el área encerrada por la curva, se mantiene constante para distintas frecuencias (Ref 13.- Pérez, P.). Esto tiene su origen físico en la naturaleza de los suelos y en el hecho que la pérdida de energía se produce principalmente por fricción entre los granos del suelo. (Ref 27.- Dobry, R; Whitman, R. y Reosset, J.). Lo anterior se puede apreciar en la Ilustración 3.6, en donde aparece el comportamiento histérico del suelo para distintas frecuencias.

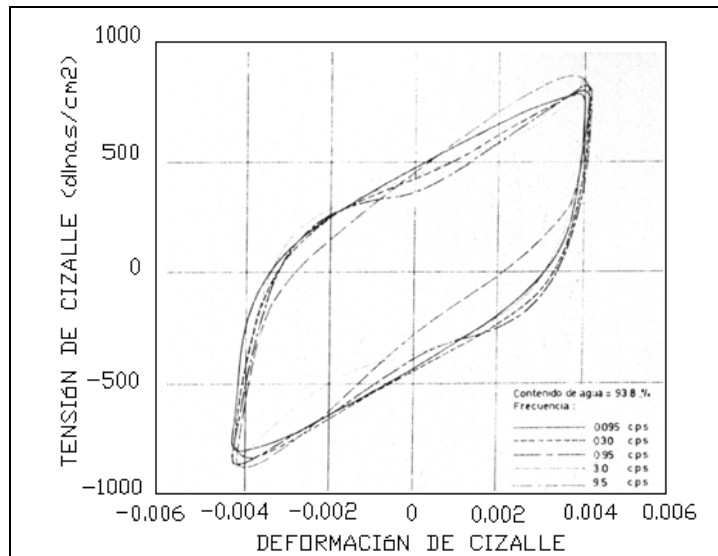


Ilustración 3.6: Ciclos de Histéresis Para Distintas Frecuencias.

El amortiguamiento presente en el sólido de Kelvin-Voigt, queda definido por la siguiente ecuación:

$$\Psi = \frac{W_d}{W_s} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\eta \cdot \omega}{G} \quad \text{(Ecuación 3.11)}$$

En donde:

W_d : Energía disipada por histéresis de un ciclo.

W_s : Energía de Deformación Elástica al nivel de máximos del ciclo.

η : Viscosidad del material.

ω : Frecuencia de excitación.

G : Módulo de Corte.

El problema que presenta esta ecuación, es que depende de la frecuencia, y como se puede apreciar en la Ilustración 3.6, no ocurre. Para eliminar esta dependencia, Hardin (Ref 18) propone definir la viscosidad en términos de una nueva constante, β , denominada Razón de Amortiguamiento.

$$\eta = \frac{2 \cdot \beta \cdot G}{\omega} \quad \text{(Ecuación 3.12)}$$

En donde:

β : Razón de Amortiguamiento.

De lo anterior, se obtiene lo siguiente:

$$\beta = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \Psi = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{W_d}{W_s} \quad \text{(Ecuación 3.13)}$$

Con la utilización de β , la capacidad de amortiguamiento queda independiente de la frecuencia, lo que se ajusta bien a los resultados experimentales (Ref 19.- Ortigosa de Pablo, P.).

3.2.2.2 Cálculo del Amortiguamiento.

Para determinar la razón de amortiguamiento se utilizan las expresiones propuestas por Hardin y Drnevich (Ref 17):

$$\frac{\beta}{\beta_{m\acute{a}x}} = \frac{\gamma_h}{1 + \gamma_h} \quad \text{(Ecuación 3.14)}$$

En donde:

γ_h : Deformación Hiperbólica según la Ecuación 3.7. Los parámetros se presentan en la Tabla 3-5.

$\beta_{m\acute{a}x}$: Razón de amortiguamiento máximo para grandes deformaciones ($G = 0$).

Para $\beta_{m\acute{a}x}$, Hardin y Drnevich (Ref 17) proponen la siguiente ecuación:

$$\beta_{m\acute{a}x} = \beta_0 - 1.5 \cdot \log(N(\%)) \quad \text{(Ecuación 3.15)}$$

En donde

β_0 : Coeficiente definido en la Tabla 3-6.

N : Número de ciclos equivalentes al sismo.

Tabla 3-5: Parámetro a y b según el Tipo de Suelo para el cálculo de β .
(Ref 17.- Hardin, B. y Drnevich, V.)

Condición	Tipo de suelo	a	b
Drenada	Arenas limpias secas	$0,6 \cdot N^{-1/6} - 1$ (*)	$1 - N^{-1/12}$ (*)
	Arenas limpias saturadas (*)	$0,54 \cdot N^{-1/6} - 0,9$	$0,65 \cdot (1 - N^{-1/12})$
	Suelos cohesivos saturados	$1 + 0,2 \cdot f^{0,5}$	$0,2 \cdot f \cdot e^{-\sigma_0} + 2,25 \cdot \sigma_0 + 0,3 \cdot \log(N)$
No drenada	Arenas limpias saturadas	-0,8	$5 - \frac{6}{1 + \log(N)} + 0,0002 \cdot (\log(N))^{4,8}$
(*) válido para $N < 50000$ ciclos de carga			

Tabla 3-6: Parámetro β_0 según el Tipo de Suelo.
(Ref 17.- Hardin, B. y Drnevich, V.)

Condición	Tipo de suelo	β_0 (%)
Drenada	Arenas limpias secas	33
	Arenas limpias saturadas	28
	Suelos cohesivos saturados	$31 - (3 + 0,03 \cdot f) \cdot \sigma_0^{0,5} + 1,5 \cdot f^{0,5} - 1,5 \cdot \log(N)$
No drenada	Arenas limpias saturadas	$30 + 0,0013 \cdot (\log(N))^{4,8}$
		<i>f: en ciclos por segundo</i>
		<i>σ_0: [Kg / cm²]</i>

3.2.3 Módulo de Poisson.

Cuando se realizan análisis de esfuerzos y deformaciones en dos dimensiones, es necesario tener en consideración el Módulo de Poisson. Este término varía con la deformación según lo afirmado por varios autores, pero dado los pocos estudios que se han realizado, no se ha podido determinar en definitiva la verdadera influencia y variación que presenta. Por esta razón, Hardin (Ref 18) supone un valor constante para este valor, lo cual resulta satisfactorio según resultados que ha obtenido.

Para determinar su valor, Ohsaki e Iwasaki (Ref 16) proponen la siguiente relación para arenas:

$$\nu = 0.2 + 0.3 \sqrt{1 - \frac{1}{16} (\log G_{\text{máx}} - 2)^2} \quad (\text{Ecuación 3.16})$$

En donde:

$G_{\text{máx}}$: Módulo de Corte Máximo en $[T/m^2]$ en el rango de $5000 < G_{\text{máx}} < 100000$.

Para niveles bajos de deformación, se propone la siguiente ecuación, la cual es dependiente de la velocidad de las ondas de corte y ondas de compresión, siendo estas últimas determinadas mediante prospecciones geofísicas.

$$\nu = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1} \quad (\text{Ecuación 3.17})$$

En donde:

V_s : Velocidad de Ondas de Corte.

V_p : Velocidad de Ondas de Compresión.

Para el caso específico de la ciudad de Valparaíso, se han determinado las velocidades de onda mediante ensayos cross-hole en los terrenos del Congreso Nacional y ensayos de refracción sísmica realizados por Verdugo (Ref 7) en el Parque Italia. Los resultados obtenidos por ambos ensayos se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 3-7: Velocidad de las Ondas de Corte en los Terrenos del Congreso Nacional (Ensayos Cross-Hole).

Profundidad [m]	V_s [m/s]
8	350
16	275
32	300
56	255

Tabla 3-8: Velocidad de Ondas de Corte y de Compresión en el Parque Italia (Ensayo de Refracción Sísmica).

Profundidad [m]	V_p [m/s]	V_s [m/s]
0 - 2,5	266	168
2,5 - 20	877	397

Tabla 3-9: Modelo Propuesto por Verdugo para el Plan de Valparaíso. (Ref 7.- Verdugo, A.)

Profundidad [m]	V_p [m/s]	V_s [m/s]
0,0 – 2,5	350	118
2,5 – 20,0	887	397
20,0 - 60,0	1.365	665
60,0 – roca	2.500	1.300
roca	4.500	2.525

3.3 Modelo de Amplificación Bidimensional.

Para obtener la amplificación generada en los suelos de Valparaíso, se ha propuesto un modelo bidimensional mediante la utilización del software QUAD-4 (Ref 15.- Idriss, I. M., Lysmer, J., Hwang, R. y Bolton Seed, H.). La finalidad de utilizar este programa, es incorporar las irregularidades de los depósitos para que de esta forma los efectos de reflexión y refracción de ondas sean consideradas en el modelo.

Para realizar este análisis, el programa utiliza el método de Elementos Finitos, en el cual, el continuo es representado por elementos triangulares y rectangulares ensamblados en sus puntos nodales. Estos elementos tienen la particularidad de que cada uno tiene su rigidez y amortiguamiento propio siendo dependientes de las deformaciones.

Para incorporar el sismo en al análisis, el programa supone una base rocosa infinitamente rígida, en donde cada nodo perteneciente a ella tiene el mismo registro de entrada, el cual puede ser horizontal y/o vertical.

3.3.1 Elementos Finitos.

El método de elementos finitos es un método de aproximación usado con respecto al espacio, siendo una extensión directa del método de Rayleigh-Ritz, diferenciándose en la forma de definir las funciones admisibles.

Para definir la región total, se utilizan formas geométricas sencillas, las cuales definen configuraciones más complicadas y representativas mediante un ensamble adecuado de cada elemento geométrico. Estos elementos a ensamblar, se les especifican funciones admisibles, en donde cada nodo que describe a la forma geométrica, influencia sólo a los nodos pertenecientes a los elementos adyacentes.

Esta metodología es una poderosa herramienta para la solución de diversos problemas en mecanismos continuos. Proporciona una técnica perfectamente general y

sistemática para generar funciones base y obtener soluciones aproximadas a problemas formulados variacionalmente (Ref 14.- Garrido, L.).

3.3.2 Procedimiento Analítico y Evaluación de la Respuesta.

En cada elemento, para el método descrito, es necesario evaluar la respuesta dinámica. Para ello es necesario resolver la siguiente expresión (Ref 15.- Idriss, I. M., Lysmer, J., Hwang, R. y Bolton Seed, H.):

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [C] \cdot \{\dot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = \{R(t)\} \quad (\text{Ecuación 3.18})$$

En donde:

[M]: Matriz de Masa para los elementos ensamblados.

[C]: Matriz de Amortiguamiento para los elementos ensamblados.

[K]: Matriz de Rigidez para los elementos ensamblados.

{u}: Vector Desplazamiento Nodal (los puntos denotan diferenciación con respecto al tiempo).

{R(t)}: Vector de Carga Sísmica.

Se pueden utilizar varios métodos para resolver la Ecuación 3.18 dentro de los cuales se pueden nombrar la *Superposición Modal*, *Integración Directa*, y por *Métodos Numéricos*. Todas estas metodologías se encuentran descritas en gran detalle por Anil K. Chopra (Ref 20).

La metodología utilizada para resolver la ecuación en cada elemento finito es el de *Métodos Numéricos* mediante la utilización del software QUAD-4, el cual asume una variación lineal de aceleración con incremento en el tiempo de integración Δt , quedando de esta forma independiente del tiempo.

Las expresiones utilizadas para la resolución de la ecuación son las siguientes (Ref 21.-Chopra, A.):

$$\{u\}_t = [\bar{K}]^{-1} \cdot \{\bar{R}\}_t \quad (3.19a)$$

$$[\bar{K}] = [K] + 6 \cdot \frac{[M]}{\Delta t^2} + 3 \cdot \frac{[C]}{\Delta t} \quad (3.19b)$$

$$\{\bar{R}\}_t = \{R\}_t + \{A\}_t^T \cdot [M] + \{B\}_t^T \cdot [C] \quad (3.19c)$$

$$\{A\}_t = \frac{6}{\Delta t^2} \cdot \{u\}_{t-\Delta t} + \frac{6}{\Delta t} \cdot \{\dot{u}\}_{t-\Delta t} + 2 \cdot \{\ddot{u}\}_{t-\Delta t} \quad (3.19d)$$

$$\{B\}_t = \frac{3}{\Delta t} \cdot \{u\}_{t-\Delta t} + 2 \cdot \{\dot{u}\}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t}{2} \cdot \{\ddot{u}\}_{t-\Delta t} \quad (3.19e)$$

$$\{\dot{u}\}_t = \frac{3}{\Delta t} \cdot \{u\}_t - \{B\}_t \quad (3.19f)$$

$$\{\ddot{u}\}_t = \frac{6}{\Delta t^2} \cdot \{u\}_t - \{A\}_t \quad (3.19g)$$

El uso de un valor inapropiado de Δt , el considerar cierto tipo de combinaciones de materiales o una malla con configuración de elementos inadecuada, pueden generar inestabilidades numéricas en los resultados. Para brindar estabilidad a la solución, es necesario tener ciertas consideraciones las cuales son vistas en el Punto 3.3.3.

3.3.3 Consideraciones en el Modelo.

Para representar el suelo, se han trazado cortes verticales sobre los depósitos mediante mallas de elementos finitos que representan los distintos perfiles transversales que tienen los depósitos de suelo a lo largo de toda la ciudad.

Al caracterizar de esta forma los suelos, es necesario tener en consideración ciertos puntos tanto por el software utilizado como para la determinación del tamaño y longitud de la malla a utilizar.

3.3.3.1 Programa Utilizado, QUAD-4.

Debido a que el programa QUAD-4 no representa de forma adecuada el contenido de frecuencias, este parámetro no constituye un buen elemento para el análisis.

El programa es bidimensional, supone que la sección se mantiene constante a través del eje normal a la orientación del modelo teniendo una total dependencia de la topografía (Ref 13.- Pérez, P.).

Para el caso del valor de Δt , el software determina internamente el valor más adecuado para evitar inestabilidades numéricas.

3.3.3.2 Dimensión de los Elementos.

Para la modelación bidimensional se utilizan elementos triangulares o rectangulares en donde la relación entre el ancho y la altura no debe ser mayor que 5 en el caso de presas de tierra (Ref 22.- Idriss, I.).

Para el caso específico de la ciudad de Valparaíso, después de una calibración previa, se utilizaron mallas de elementos finitos de 30 [m] x 10 [m] en los primeros 20 [m] seguido por elementos de 30 [m] x 9 [m] hasta la roca base (Ref 13.- Pérez, P.).

3.3.3.3 Extensión de los Modelos.

La extensión mínima que se debe considerar en el modelo de un peralte de tierra es de aproximadamente 10 veces la altura de éste cuando la base es rígida (Ref 22.- Idriss, I.).

3.3.3.4 Efectos del Número de Subcapas.

En los estudios realizados por I. M. Idriss (Ref 22) se pudo demostrar que los resultados mejoran de forma considerable cuando se aumenta el número de subcapas de 1 a 2 o 3 y mejora en una menor proporción si el aumento es de 3 a 4 subcapas.

3.3.3.5 Consideración de un estrato intermedio de Baja rigidez.

La existencia de un estrato con estas características, provoca en el modelo la atenuación de la respuesta, obteniendo como resultado un menor nivel de vibraciones y frecuencias del movimiento desarrollado en superficie, y un aumento considerable del período desarrollado por el suelo durante el sismo.

Para el caso particular de la ciudad de Valparaíso, no se han encontrado aún, estratos de estas características, pero en el caso de existir dentro de la ciudad, es necesario la obtención de datos precisos, debido a que como se puede apreciar en el trabajo de Pamela Pérez (Ref 13) la incidencia de un estrato fangoso (baja rigidez) cambia de forma considerable la respuesta dinámica. Esto se puede apreciar en la Ilustración 3.7.

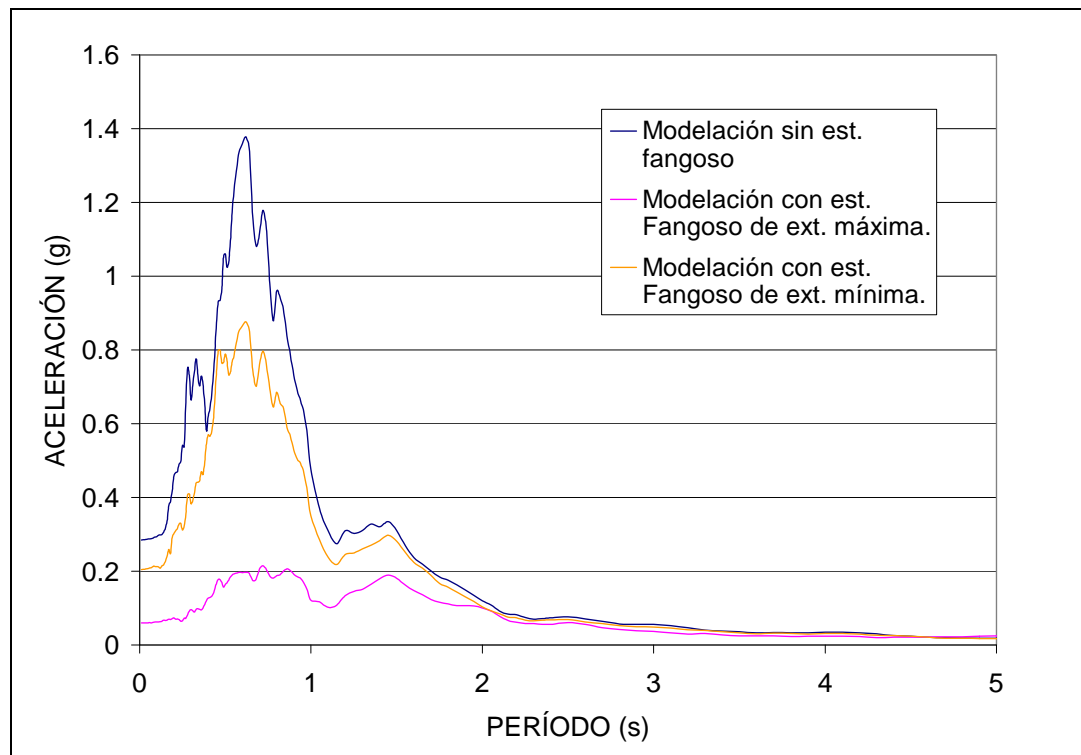


Ilustración 3.7: Espectros de Respuesta de Aceleración Absoluta para Diferentes Estratos. (Ref 13.- Pérez, P.)

3.3.3.6 Rigidez de la Base.

Las consideraciones van a depender del tipo de base utilizada en la modelación, ya sea una Base Rígida o bien una Base Flexible. Ambos casos fueron estudiados en el trabajo de Livio Garrido (Ref 14), quien después de un análisis de sensibilidad variando el tamaño y el tipo de malla utilizado determinó lo siguiente:

Para el caso de una *Base Rígida*, es necesario determinar los efectos provocados por la ubicación de los bordes del peralte.

Se puede demostrar que los efectos de borde influyen en el sector plano del modelo, por ello se recomienda que el largo L_2 sea de 10 a 12 veces el alto del peralte para

que de esta forma, la parte plana del modelo considere en su totalidad los efectos de borde producidos por la cuesta del cerro.

En la Ilustración 3.8 se puede apreciar una Malla de Elementos Finitos en la cual se pueden apreciar estas consideraciones.

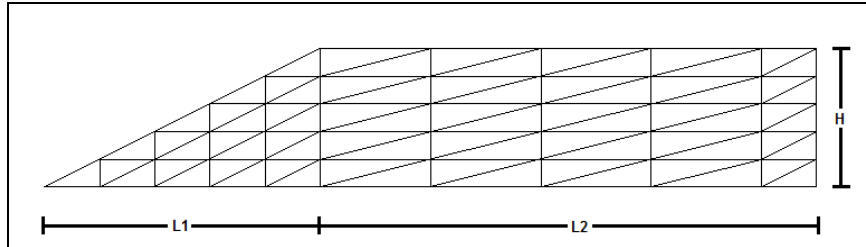


Ilustración 3.8: Sección Transversal e Idealización en Elementos Finitos de un Peralte de Tierra Sobre Base Rígida.

Para el análisis de la *Base Flexible*, luego de trazar varias Mallas de Elementos Finitos semejantes a la Ilustración 3.9, se desprende que la zona de peralte de tierra alejada de la cima y de las faldas del cerro, debe tener una cierta longitud para poder considerar en su totalidad los efectos de bordes producidos por la cuesta del cerro. Se recomienda, para el caso de $L2$ una longitud de al menos $8H$ más 4 veces la suma de $(H+e)$; y para el caso de $L3$, la longitud no debe ser menor de 10 a 12 veces la profundidad e .

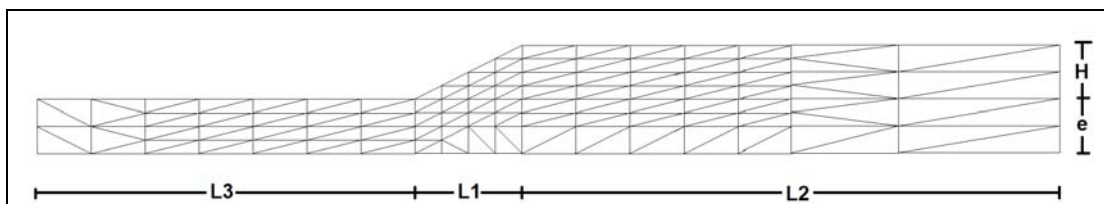


Ilustración 3.9: Sección Transversal e Idealización en Elementos Finitos de un Peralte de Tierra Sobre Base Flexible.

3.3.3.7 Registro Base.

En el trabajo de Pamela Pérez (Ref 13), se ha evaluado un depósito en la ciudad de Valparaíso utilizando los distintos registros de aceleración obtenidos en la estación UTFSM. De este análisis se desprende que al evaluar las aceleraciones máximas y frecuencias predominantes en la superficie del depósito estos difieren debido a la sensibilidad que presenta el suelo frente a las distintas excitaciones.

Por lo general, en la modelación se debe utilizar el registro más desfavorable. Para este caso en particular, corresponde el registro UTFSM N70°E que no considera la componente vertical.

A pesar de ello, no se utiliza este registro en la modelación, debido a que al dejar de lado la componente vertical del sismo, los efectos de las ondas superficiales se estarían omitiendo (Ref 13.- Pérez, P.).

En definitiva, el registro utilizado en el modelo corresponde al UTFSM N70°E que considera tanto el registro horizontal como el vertical.

El efecto de la componente vertical se puede apreciar en la Ilustración 3.10, en donde, al considerar la componente vertical, disminuye la amplitud de la aceleración sobre todo para el registro basal UTFSM N70°E.

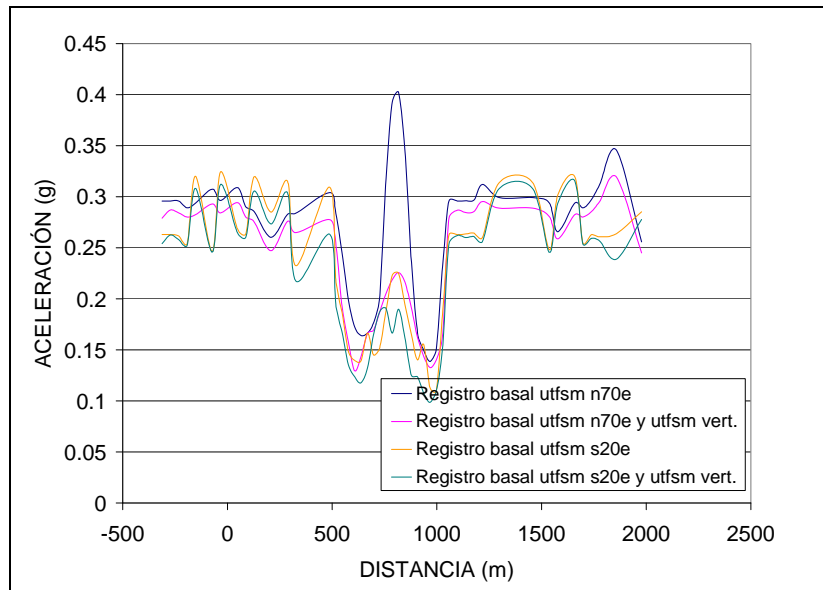


Ilustración 3.10: Aceleración Máxima Superficial para los Distintos Registros. (Ref 13.- Pérez, P.)

3.4 Modelación de Valparaíso y Resultados Obtenidos.

La modelación y los resultados se han realizado en base al obtenido en el trabajo de Pamela Pérez (Ref 13). El Plan de Valparaíso se ha modelado mediante la utilización del programa QUAD 4, el cual mediante elementos finitos, es capaz de describir perfiles longitudinales calculando amplificaciones existentes en los suelos del perfil.

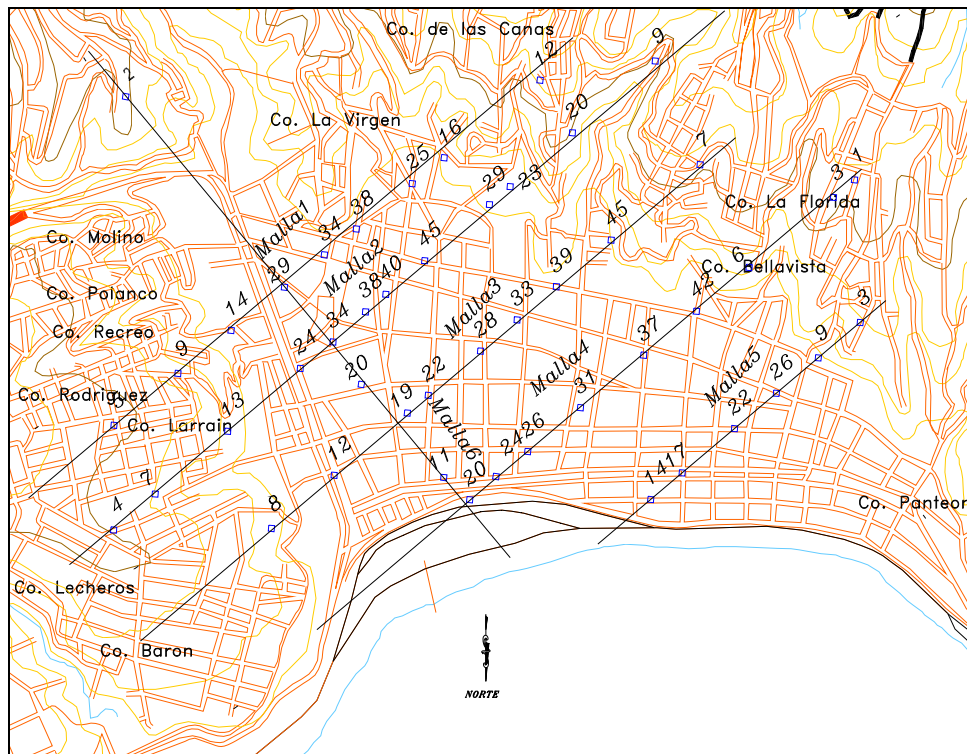
3.4.1 Modelación.

La modelación de la ciudad, fue realizada en el trabajo de Pamela Pérez (Ref 13), quien calibró su modelo realizando un análisis de sensibilidad haciendo variar parámetros geométricos, rigideces del suelo y profundidades de los estratos.

El modelo calibrado para el Plan de la ciudad, queda definido por un depósito que posee una profundidad máxima de 190 [m] en el centro, siendo configurado por elementos de

30 [m] x 10 [m] en los primeros 20 [m] seguido por elementos de 30 [m] x 9 [m] hasta la base rocosa.

En la Ilustración 3.11 se puede apreciar las Mallas utilizadas por Pamela Pérez en la modelación del Plan.



**Ilustración 3.11: Distribución de Modelos sobre el Plan de Valparaíso.
(Ref 13.- Pérez, P.)**

3.4.2 Resultados.

Con los modelos de elementos finitos ya calibrados y con los registros de UTFSM N70°E Horizontal y Vertical aplicados a la base del modelo, se determinaron los parámetros instrumentales de los nodos superficiales. Estos parámetros son los siguientes:

- Aceleración Máxima
- Intensidad de Arias.
- Potencial Destructivo.
- Razón Media de Espectros de Aceleración (0,1-1,0 [s])
- Razón Espectral para $T = 0,7$ [s]

Para representar de mejor forma los resultados obtenidos para el Plan de la ciudad, Pamela Pérez trazó Isosístas a todo el Plan con cada uno de estos parámetros, estos se presentan en la Ilustración 3.12, Ilustración 3.13, Ilustración 3.14 y la Ilustración 3.15.

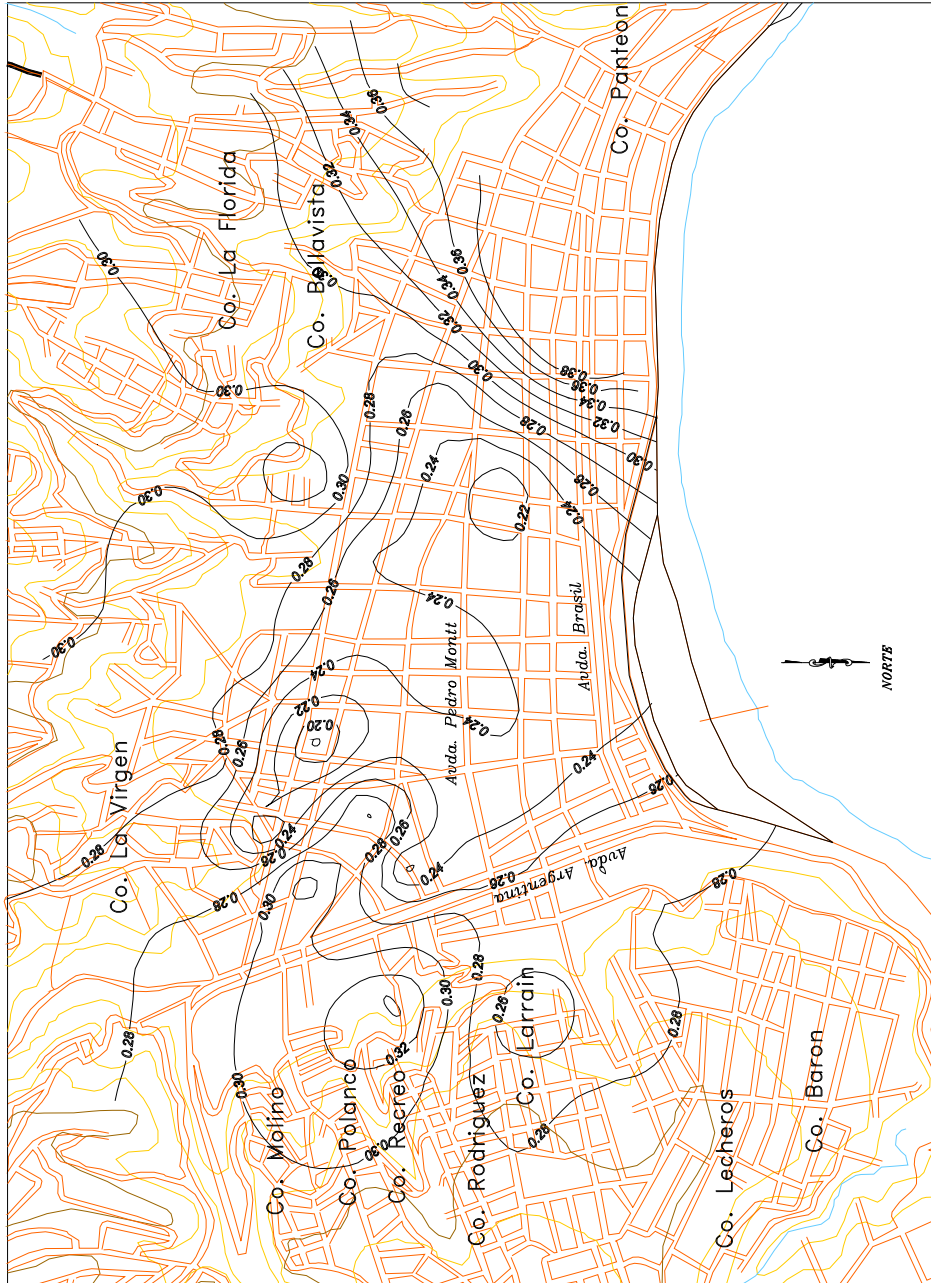


Ilustración 3.12: Isosistas de Aceleración Máxima.
(Ref 13.- Pérez, P.)

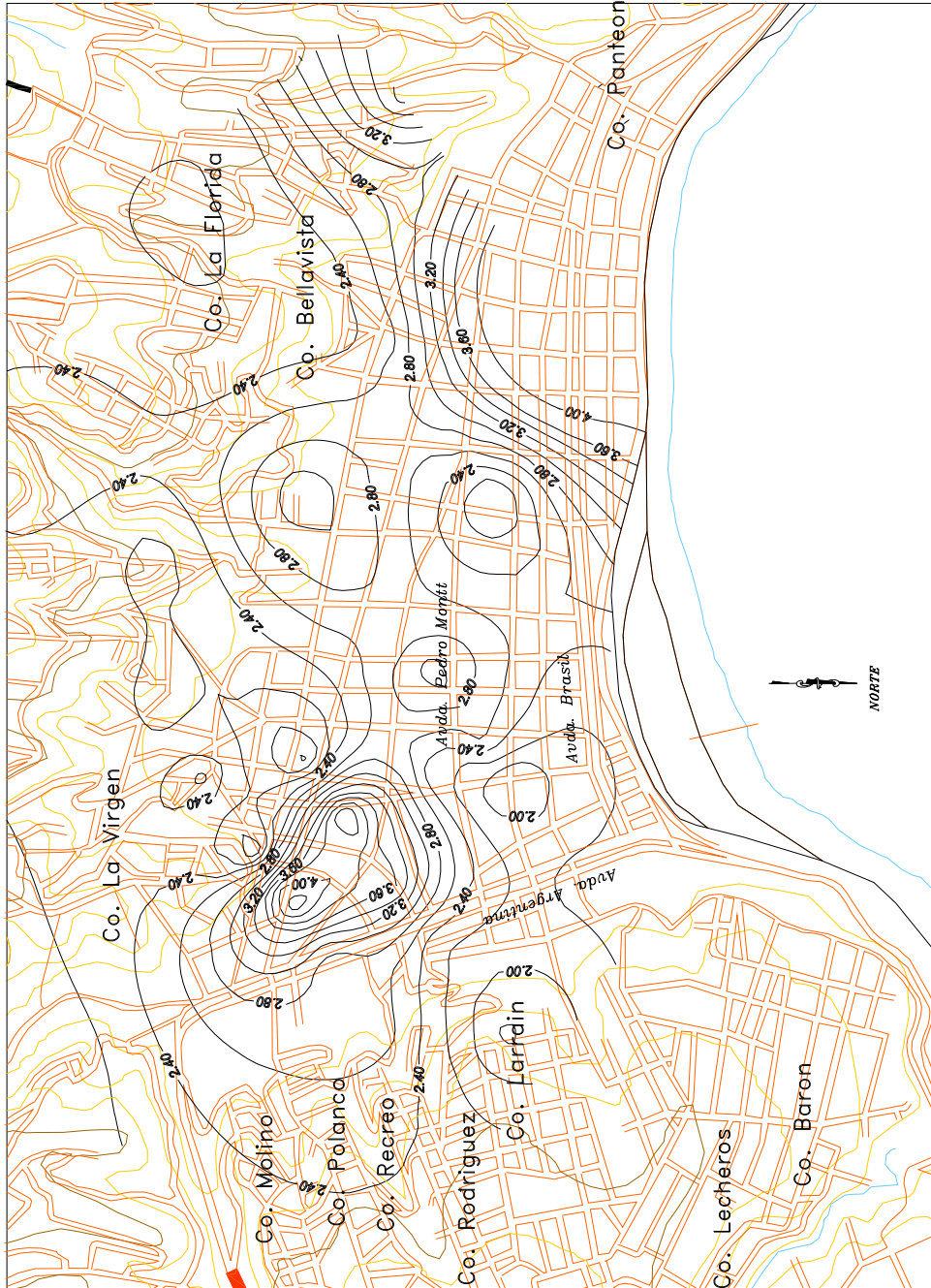


Ilustración 3.13: Isosistas de Intensidad de Arias.
(Ref 13.- Pérez, P.)

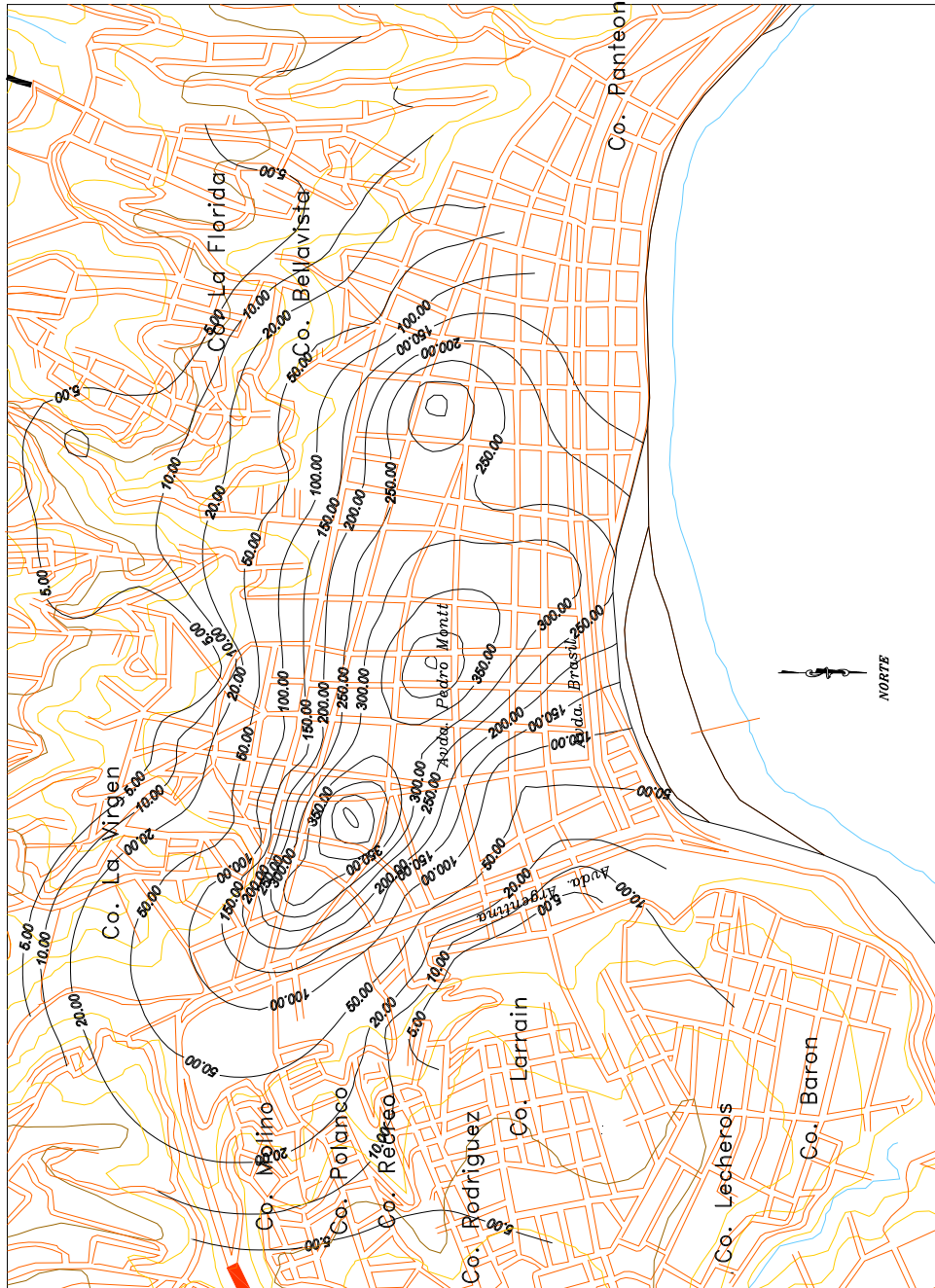


Ilustración 3.14: Isosistas de Potencial Destructivo.
(Ref 13.- Pérez, P.)

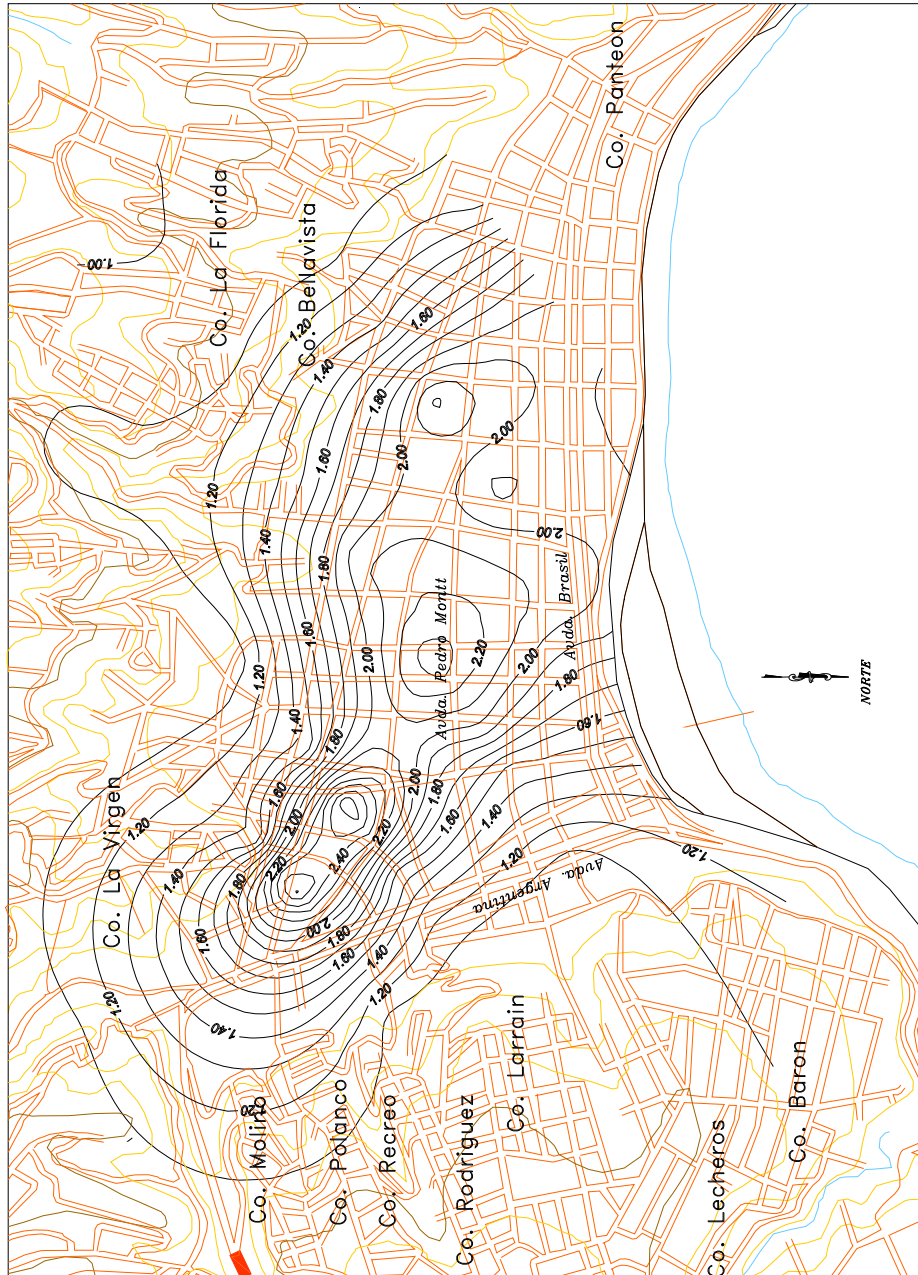


Ilustración 3.15: Isosistas de Razón Espectral Media.
(Ref 13.- Pérez, P.)

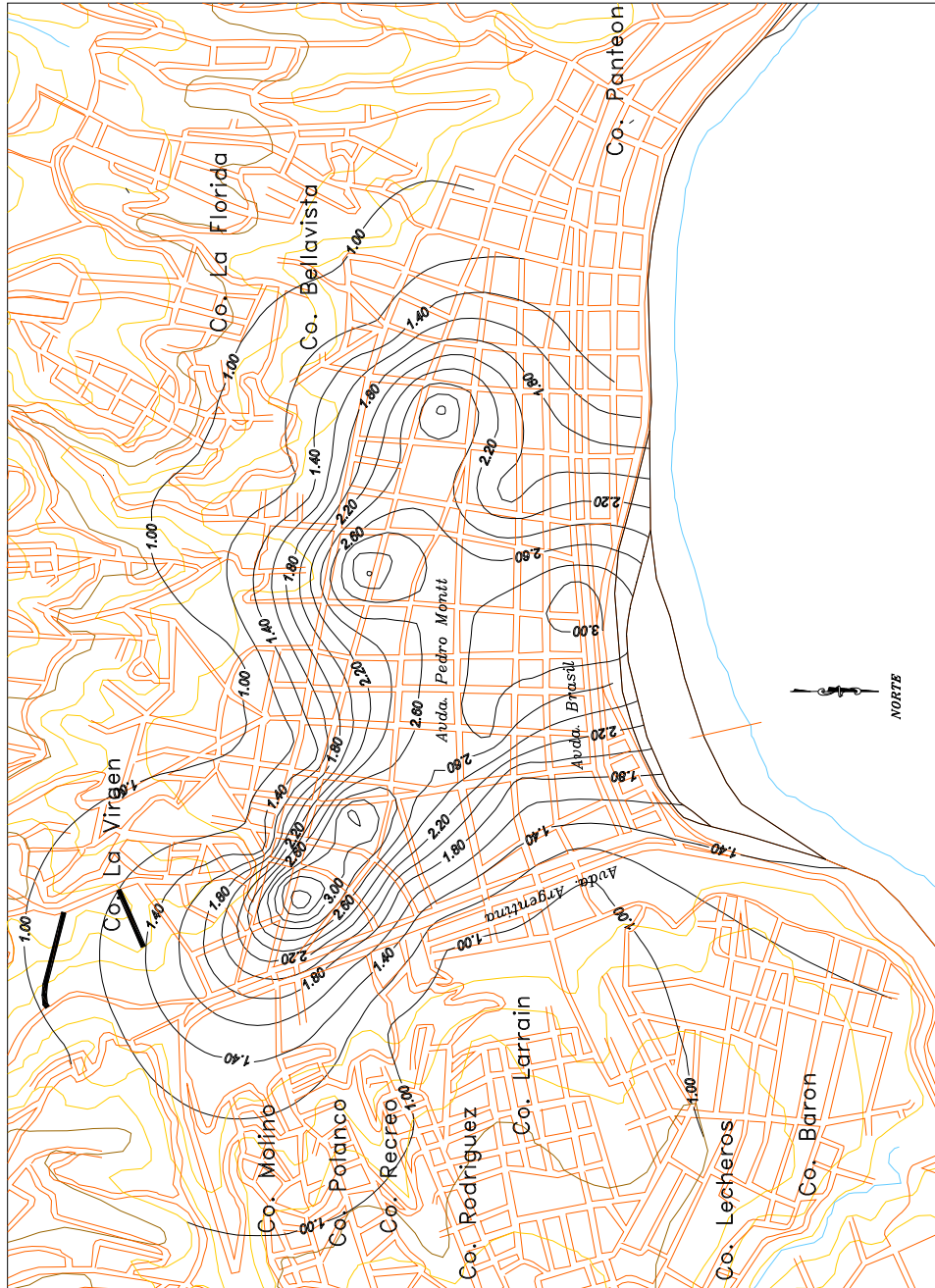


Ilustración 3.16: Isosistas de Razón Espectral T=0,7 [s].
(Ref 13.- Pérez, P.)

3.5 Microzonas a partir del Modelo.

Entre todos los parámetros calculados, el Potencial Destructivo y la Razón Espectral Media son los que muestran la mayor correlación con el daño observado en la ciudad.

El Potencial Destructivo al haber sido distorsionado por el modelo, no es recomendable utilizarlo para proponer una Microzonificación ya que como se puede apreciar en las isosístas obtenidas, las zonas de alta intensidad son extremadamente sobreestimadas con respecto a las de menor nivel.

En cuanto a la Razón Espectral Media, ha sido calculada para un rango amplio de períodos, 0,1 a 1,0 [s], atenuando su configuración, subvalorando la amplificación en algunos subrangos, mientras que los sobrestima en otros. A pesar de lo anterior, representa a la generalidad de las edificaciones existentes, por lo cual Pamela Pérez, propone la Microzonificación del Plan de la ciudad en base a la Razón Espectral Media (Ilustración 3.17).

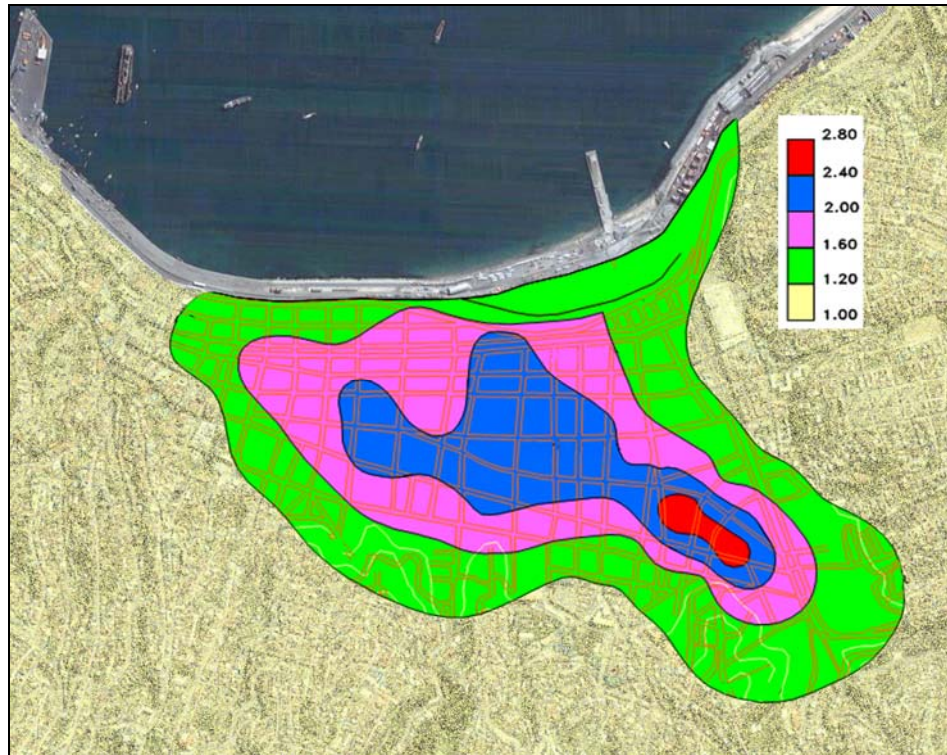


Ilustración 3.17: Microzonificación Propuesta por Pamela Pérez.
(Ref 13.- Pérez, P.)

3.6 Comentarios.

Al observar los resultados obtenidos para los distintos parámetros, se puede apreciar que todos ellos describen una singularidad en el plan de la ciudad ubicada en la zona del Almendral, teniendo en su vecindad los máximos valores de los parámetros instrumentales.

El Potencial Destructivo y la Razón Espectral Media son los que muestran una mejor correlación con el daño observado.

Con lo dicho en los puntos anteriores, queda claro que en la ciudad, el comportamiento sísmico es poco uniforme, sobre todo en el Plan de la ciudad. Este fenómeno

se debe principalmente a los rellenos utilizados, los cuales producen la amplificación de la onda sísmica lo que se traduce en el daño causado por el sismo.

Debido a la escasez de sondajes, el sector alto de la ciudad, no ha sido considerado en el análisis. Con los datos existentes, en el Anexo B, se ha realizado un Análisis Instrumental al Cerro Placeres.

Este estudio, debido a no abarcar una gran superficie, no ha sido considerado en el estudio principal. A pesar de ello es necesario a futuro tomar en cuenta estos resultados. La topografía del sector alto de la ciudad posee ciertas singularidades que generan amplificaciones semejantes a las del plan de la ciudad. Esto se puede apreciar en la Tabla A-5: Parámetros Instrumentales, Cerro Los Placeres.

Capítulo IV

4 Análisis Cluster.

En esta Memoria, se han analizado dos metodologías las cuales tienen distintos orígenes, uno se basa en las Encuestas de Daño del sismo del 3 de Marzo de 1985, y el otro método a los Registros de Aceleración. Ambas realizadas con la finalidad de poder describir de la mejor forma el comportamiento sísmico de la ciudad.

Con estos dos estudios, se realiza un Análisis Multivariado (Análisis Cluster) en el cual se espera obtener un resultado definitivo en donde se tomen los elementos de los análisis ya realizados complementándolos entre si.

4.1 Generalidades.

Esta metodología, es una técnica exploratoria que ayuda a entender estructuras de aglutinación en los datos de distinta naturaleza.

La situación común cuando se analiza una gran cantidad de datos de datos, es que éstos no están uniformemente distribuidos a través de n-dimensiones del espacio, sino que forman grupos, áreas localmente densas o agrupamientos.

Al observar este comportamiento de los datos, durante la década del 70, empieza a tomar fuerza el método de Análisis Multivariado (Ref 23.-Mardia, K., Kent, J., y Bibby J.), el cual consiste en el agrupamiento de clases homogéneas de datos que comparten parámetros similares.

Para poder entender y apreciar de mejor manera la forma en que se van estableciendo los grupos, se traza un árbol denominado Dendograma, el cual parte con el

mayor nivel de asociación compuesto por aquellos elementos que siempre permanecen juntos, luego se sigue agrupándolos en conjuntos mayores hasta llegar al universo de datos.

Lo anterior se puede apreciar en la Ilustración 4.1 en donde aparece un Dendograma para 10 elementos los cuales se van agrupando entre sí, reduciendo los grupos homogéneos hasta crear un grupo, el cual corresponde a la raíz de nuestro árbol conteniendo a todo el universo de datos.

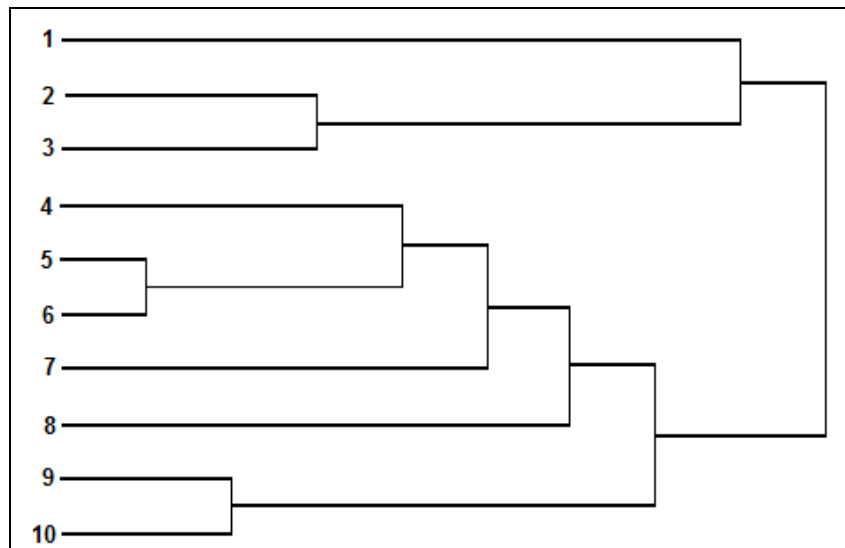


Ilustración 4.1: Dendograma.

4.2 Metodología Utilizada, K-Means.

K-Means es un método de análisis de agrupamiento el cual busca la partición de n -observaciones en k -grupos en que cada observación pertenece al grupo cuyo centro se encuentre más cercano al dato en cuestión.

Para el desarrollo de esta metodología, se ha utilizado el software JMP Versión 6.0 (Ref 24.- SAS Institute Inc.), programa que es capaz de realizar un Análisis Multivariado de

elementos, estableciendo una diferencia numérica entre los datos, la cual, es utilizada para el agrupamiento.

En el primer paso, el software predice semillas para los grupos que se deseen formar asignando a cada grupo las observaciones más cercanas. Luego se inicia un proceso de iteración con los datos asignados a cada grupo utilizándolos para calcular el nuevo centro el cual corresponde a la media del grupo. Posterior a esto, se asignan las observaciones más cercanas a los nuevos centros. El proceso continua hasta que los grupos permanezcan inalterables.

Lo anterior se resume con el siguiente algoritmo:

$$\arg \min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

En donde:

- $\text{Argmin } f(x)$: Valor del vector x que minimiza la función $f(x)$.
 x_j : Vector real d -dimensional (x_1, x_2, \dots, x_n) .
 k : Número de grupos ($k < n$)
 S_i : Grupo i , $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$
 μ_i : Promedio de S_i .

Para resolver la Ecuación 4.1, el software utiliza el Algoritmo de Delaunay y las Regiones de Voronoi, gracias a las cuales, el software es capaz de iterar n -veces hasta encontrar el óptimo en que cada grupo generado, contiene los elementos más cercanos a su centro o media de grupo.

El *Algoritmo de Delaunay* parte con el trazado de triángulos entre 3 nodos semillas propuestos por el programa. Posterior a ello, se trazan circunferencias entre los vértices de los

triángulos formados con la restricción de que no contenga a ningún otro nodo semilla en su interior. Lo anterior se puede apreciar de mejor forma en la Ilustración 4.2.

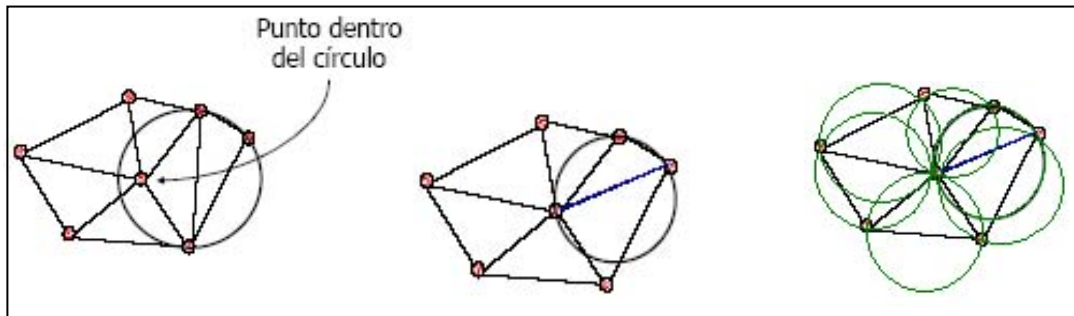


Ilustración 4.2: Algoritmo de Delaunay.

Para llegar a esta solución, el programa itera n -veces hasta que todas las circunferencias trazadas cumplan con la restricción.

El procedimiento descrito anteriormente se ha definido para nodos de 2 dimensiones. De querer trabajar con nodos de 3 dimensiones, es necesario formar pirámides y trazar esferas. Para el caso de n -dimensiones, el algoritmo sigue siendo el mismo pero en vez de utilizar un triángulo o una pirámide se utiliza el Espacio Euclidiano y para la restricción se utiliza una Hiperesfera.

El siguiente paso es definir las regiones más cercanas a cada nodo semilla, estas regiones reciben el nombre de *Regiones de Voronoi*.

Para lograr definir las, es necesario trazar líneas perpendiculares desde el centro de la circunferencia a cada uno de los lados del triángulo formado con el *Algoritmo de Delaunay*.

En la Ilustración 4.3 se puede apreciar como se realiza el trazado de las regiones.

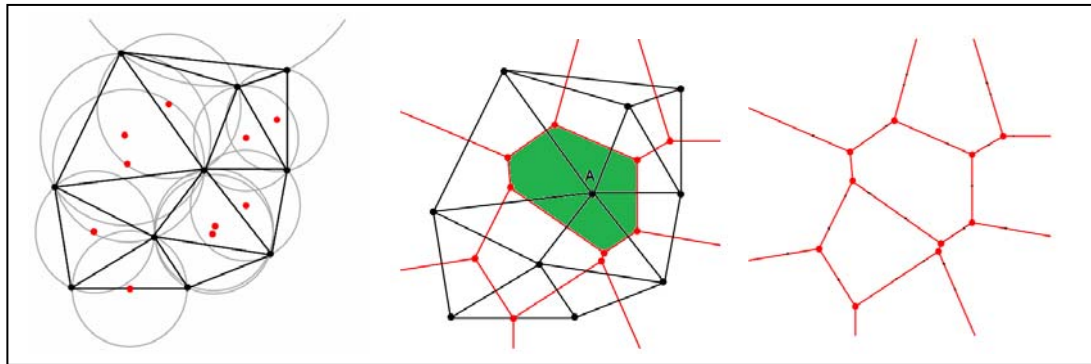


Ilustración 4.3: Regiones de Voronoi.

Al observar la imagen central en la Ilustración 4.3, se puede apreciar la región verde, en donde cada dato perteneciente a esta región, está más cerca al punto A (semilla propuesta por el programa) que a cualquier otro.

En definitiva lo que el software realiza, es definir las Regiones de Voronoi las cuales conforman el plano más cercano a un conjunto de puntos, posterior a esto, se realizan n-iterando con distintas Regiones de Voronoi hasta lograr que la sumatoria de todas las distancias al centro propuesto sea la mínima.

De utilizar centros al azar, el número de iteraciones sería demasiado grande. Para evitar esto, el programa utiliza la media de los datos pertenecientes a cada región como nuevo centro en cada iteración.

4.3 Evaluación y Resultados.

Para poder caracterizar a la ciudad, se ha trazado una nueva Malla mucho más densa que las propuestas para el trazado de Isosistas de intensidad. Esto se debe a que los nodos utilizados para las intensidades no son lo bastante representativos para efectos de caracterizar los distintos parámetros instrumentales utilizados.

En la Ilustración 4.4, se puede apreciar la Malla utilizada para el análisis. En ella se representa el Plan de la ciudad, no considerando las zonas altas debido a que no se tienen valores de todos los parámetros sísmicos evaluados.



Ilustración 4.4: Malla de Nodos Utilizada para el Análisis Cluster.

Para el Análisis Cluster, se ha calculado en cada nodo de la nueva malla, los siguientes parámetros:

- Intensidad MSK para viviendas Tipo A. (I_{MSK}).
- Aceleración Máxima (Ac. Máx).
- Intensidad de Arias (I.A.).
- Potencial Destructivo (P.D.).
- Razón Espectral Media (R.E.M.).
- Razón Espectral $T=0,7$ [s] (R.E. $T=0,7$).

Para obtener los valores de estos parámetros en cada nodo, se ha realizado una interpolación lineal entre las Isosístas más cercanas a cada nodo, para ello se superpuso la malla propuesta para realizar el Análisis Cluster en los distintos mapas de Isosístas.

Con los parámetros a utilizar ya definidos, lo restante por hacer es elegir las distintas combinaciones a utilizar entre los parámetros de cada uno de los nodos.

Se han propuesto 7 combinaciones, las cuales se han elegido luego de una calibración en la cual se variaron los parámetros sísmicos utilizados en cada una de las combinaciones.

Los resultados se encuentran desde la Ilustración 4.5 a la Ilustración 4.11 donde se detallan 3 zonas las cuales representan el grado de Intensidad para cada una de las distintas combinaciones; la zona roja, representa la con mayor intensidad, la amarilla, representa una intensidad media, y la verde representa una intensidad baja.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que independiente de la combinación utilizada, la forma y el grado de intensidad de cada una de las zonas son semejantes.

Las combinaciones propuestas son las siguientes:

- Combinación 1: I_{MSK} .
- Combinación 2: $I_{MSK} - R.E.M.$
- Combinación 3: $I_{MSK} - P.D.$
- Combinación 4: $I_{MSK} - Ac. Máx. - R.E. T=0,7.$
- Combinación 5: $I_{MSK} - I.A. - P.D.$
- Combinación 6: $I_{MSK} - P.D. - R.E.M.$
- Combinación 7: $I_{MSK} - Ac. Máx. - I.A. - P.D. - R.E.M. - R.E. T=0,7.$

Para poder establecer el nivel de asociación entre los distintos nodos, se han calculados las distancias de cada nodo al centro de cada grupo según el método descrito en el Punto 4.2. Los valores para las distancias calculadas se presentan en el Anexo D.

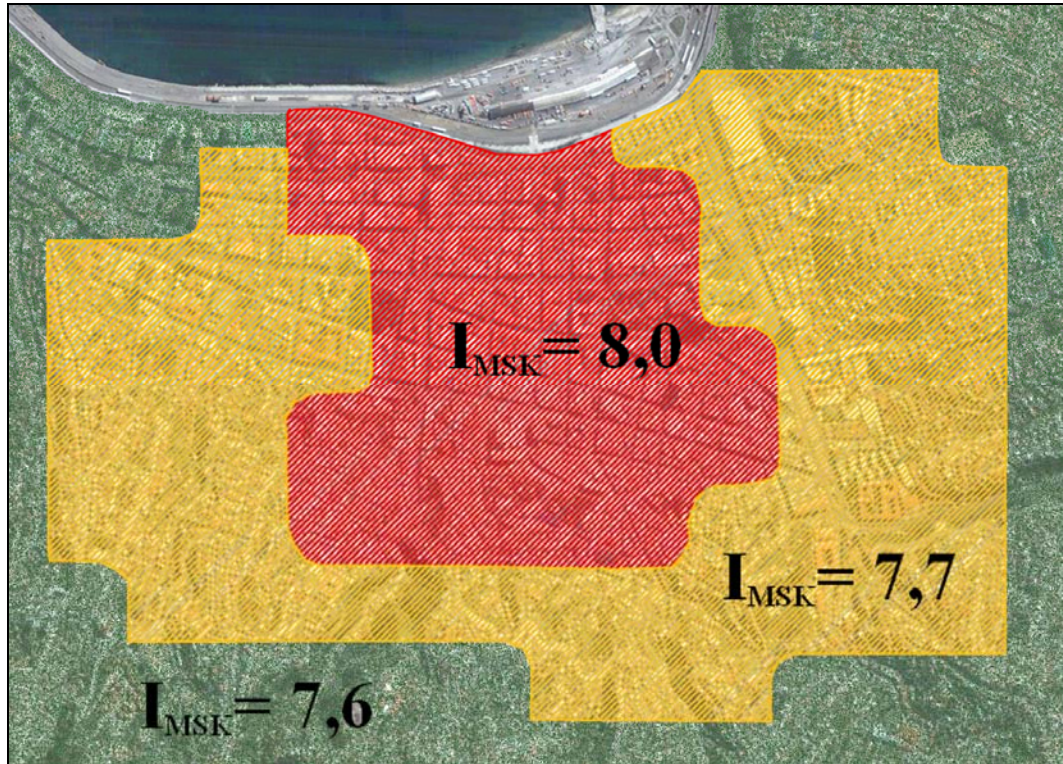


Ilustración 4.5: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 1.

Tabla 4-1: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 1.

Grupo	I_{MSK}	
	Promedio	Desviación Estándar
1	7,958	0,1039
2	7,684	0,0820
3	7,559	0,1705

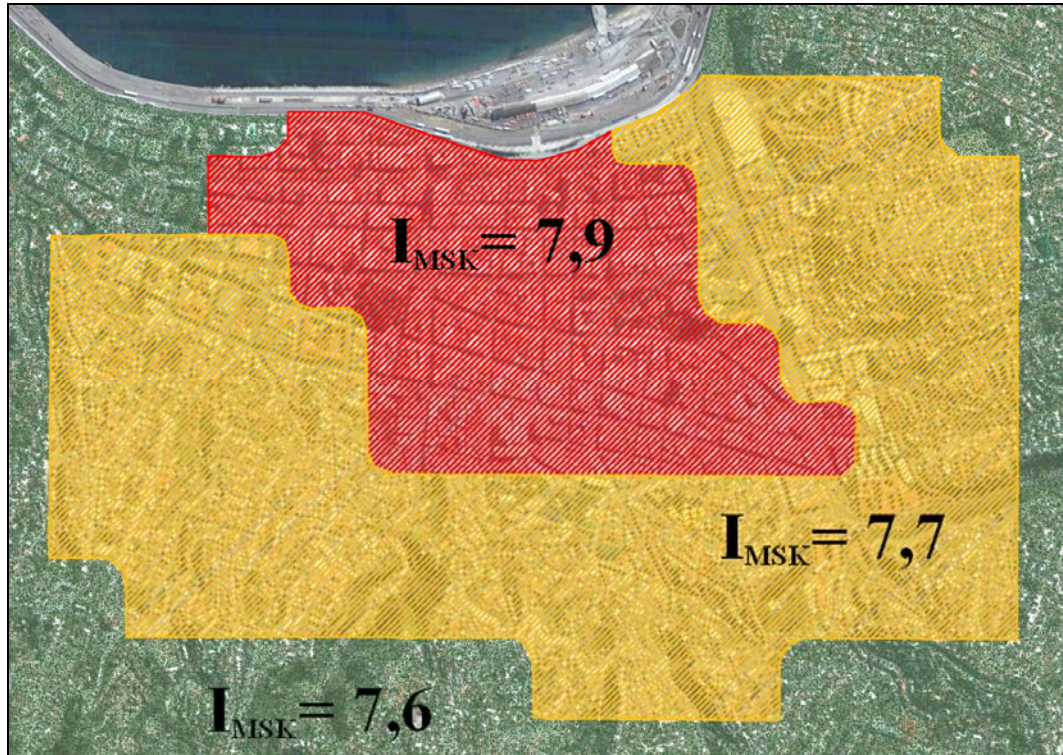


Ilustración 4.6: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 2.

Tabla 4-2: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 2.

Grupo	I_{MSK}		R.E.M.	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
1	7,945	0,1305	1,877	0,2714
2	7,705	0,1058	1,174	0,1590
3	7,559	0,1705		

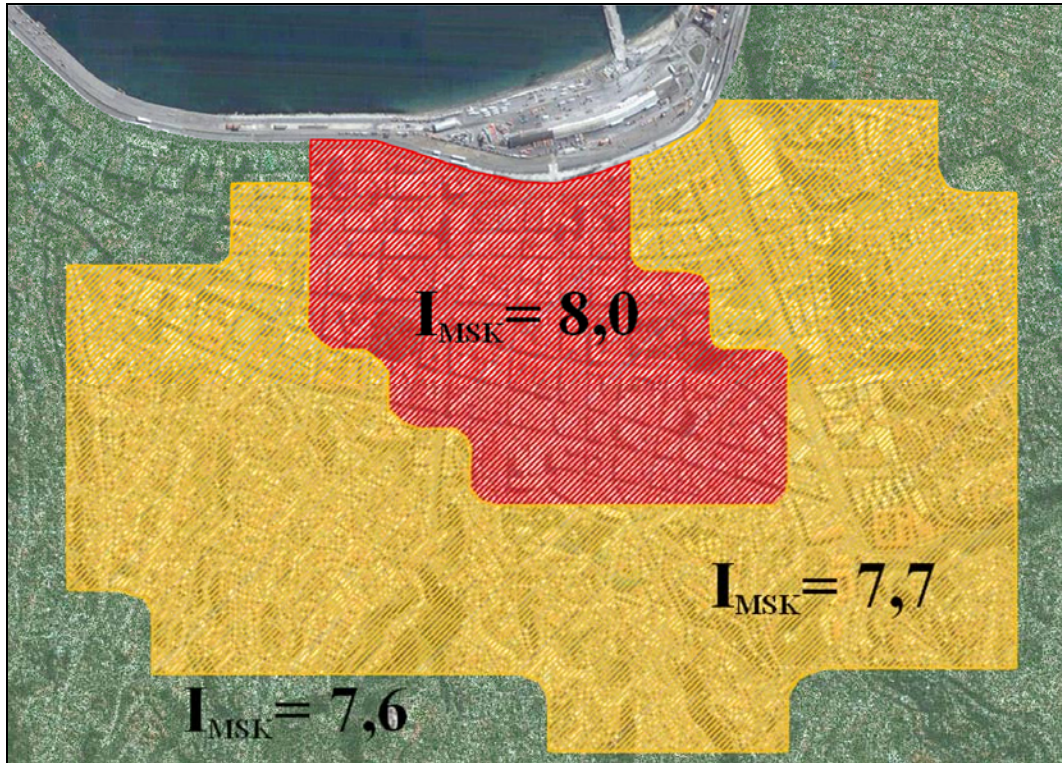


Ilustración 4.7: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 3.

Tabla 4-3: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 3.

Grupo	I _{MSK}		P.D.	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
1	7,967	0,1241	240,626	91,2477
2	7,713	0,1089	32,097	44,1081
3	7,559	0,1705		

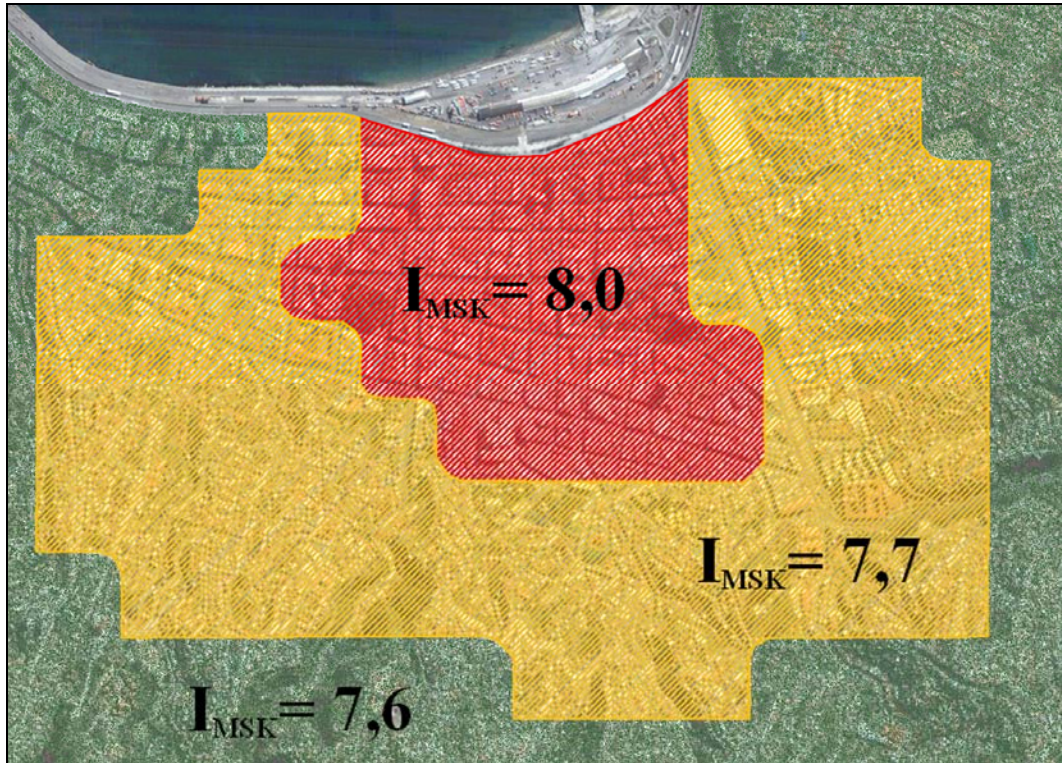


Ilustración 4.8: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 4.

Tabla 4-4: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 4.

Grupo	I _{MSK}		Ac. Máx.		R.E. T=0,7	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
1	7,955	0,1268	0,248	0,0201	2,317	0,4948
2	7,718	0,1173	0,299	0,0276	1,156	0,2574
3	7,559	0,1705				

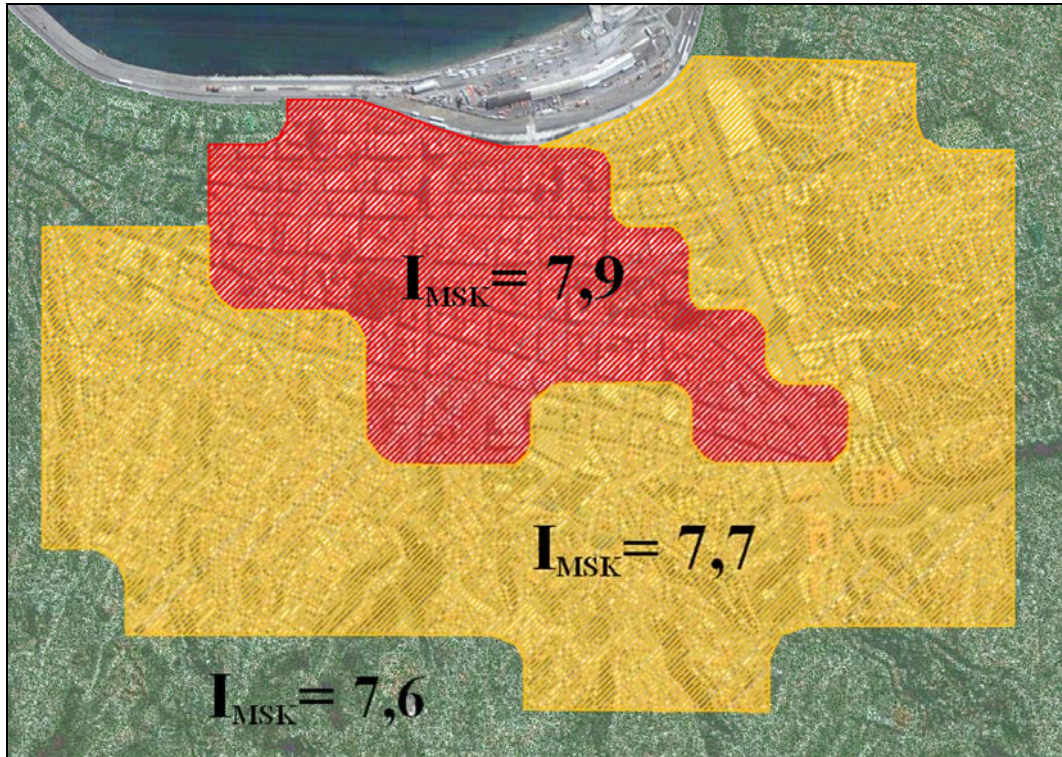


Ilustración 4.9: Grupos Generados por el Análisis Cluster, 5.

Tabla 4-5: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 5.

Grupo	I_{MSK}		I.A.		P.D.	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
1	7,931	0,1443	2,959	0,4935	237,238	92,3218
2	7,723	0,1236	2,376	0,2653	29,805	39,3435
3	7,559	0,1705				

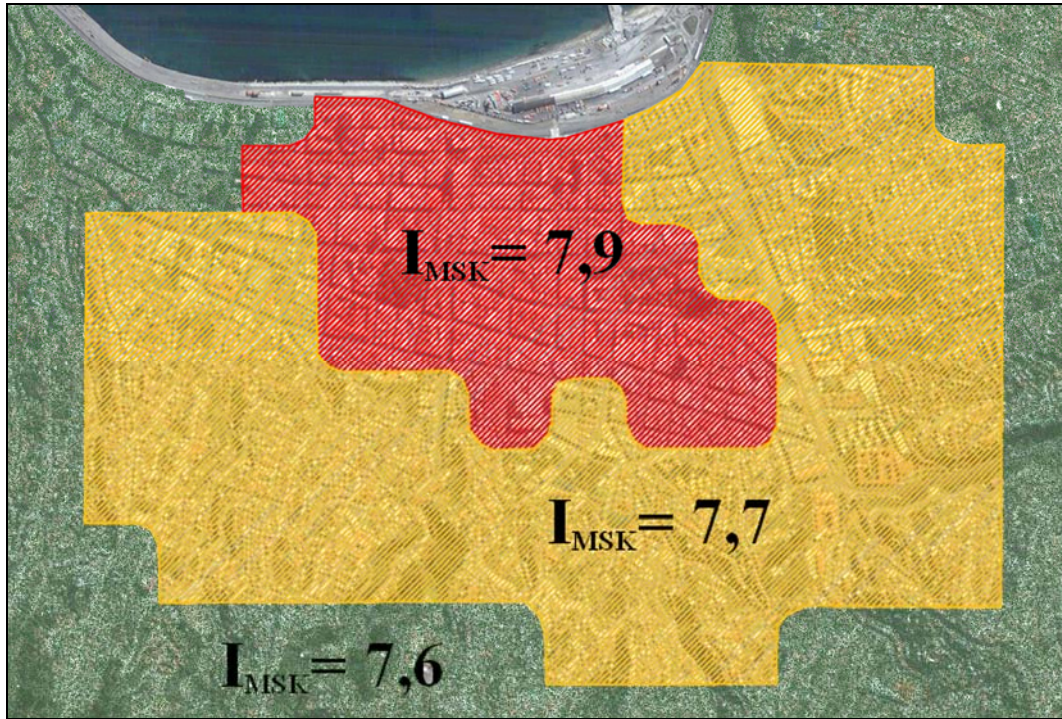


Ilustración 4.10: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 6.

Tabla 4-6: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 6.

Grupo	I _{MSK}		P.D.		R.E.M.	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
1	7,933	0,1425	238,080	85,5128	1,933	0,2124
2	7,719	0,1193	25,740	31,2345	1,175	0,1466
3	7,559	0,1705				

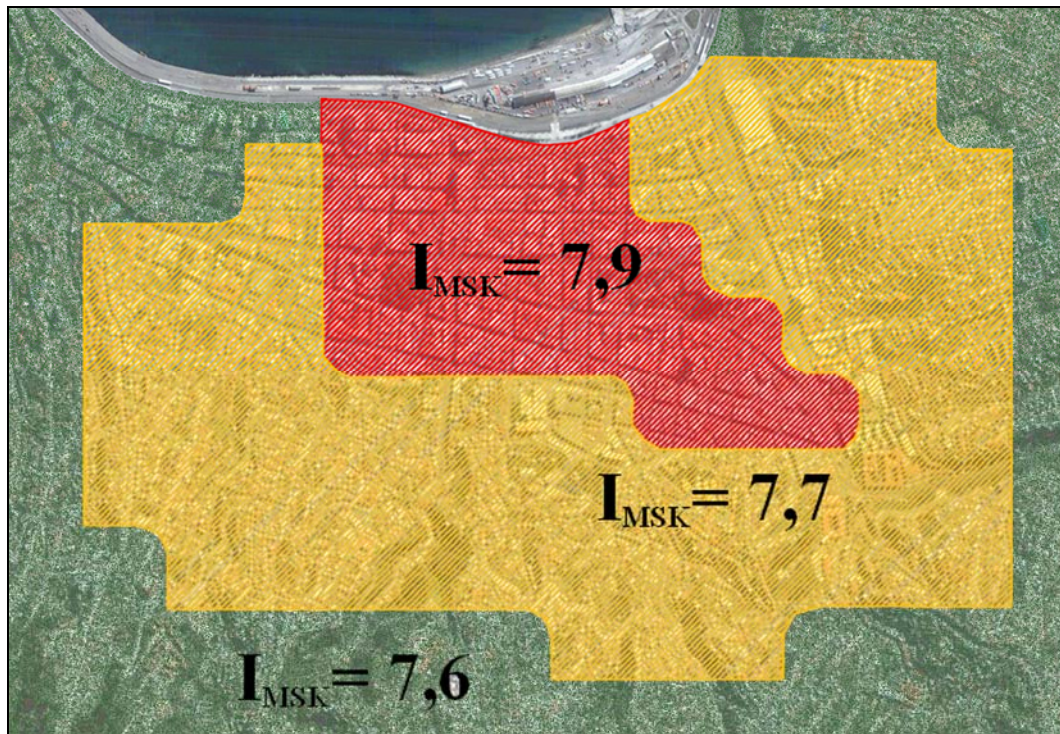


Ilustración 4.11: Grupos Generados por el Análisis Cluster, Combinación 7.

Tabla 4-7: Promedios y Desviaciones Estándar Combinación 7.

Grupo	I _{MSK}		Ac. Max.		I.A.	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
1	7,936	0,144	0,259	0,0364	2,835	0,4840
2	7,725	0,124	0,295	0,0281	2,434	0,3598
3	7,559	0,1705				

Grupo	P.D.		R.E.M.		R.E. T=0,7	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
1	249,365	79,846	1,957	0,1916	2,359	0,4373
2	28,782	34,885	1,192	0,1763	1,140	0,2172

A continuación se presentan las Intensidades MSK máximas y mínimas de las zonas con Intensidad alta y media para cada una de las combinaciones:

Tabla 4-8: Intensidades MSK Mínimas y Máximas por Grupo y Combinación.

Combinación	I _{MSK}			
	1		2	
	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos
1	8,20	7,83	7,82	7,50
2	8,20	7,70	7,92	7,50
3	8,20	7,74	7,93	7,50
4	8,20	7,74	8,07	7,50
5	8,20	7,68	8,05	7,50
6	8,20	7,70	8,05	7,50
7	8,20	7,70	8,05	7,50

Como se puede apreciar, entre el máximo del Grupo 2 y el mínimo del Grupo 1, existe un cierto traslapo. Por esta razón, se utiliza el promedio de ambos como límite entre las dos zonas. El resto de la ciudad tendrá todas aquellas viviendas con Intensidades menores a 7,50.

La siguiente tabla muestra los límites definitivos propuestos para cada combinación y cada grupo.

Tabla 4-9: Límites según Intensidad para los Grupos y Combinaciones Propuestas.

Combinación	I _{MSK}		
	1	2	
	Superior	Limite	Inferior
1	8,20	7,82	7,50
2	8,20	7,81	7,50
3	8,20	7,83	7,50
4	8,20	7,90	7,50
5	8,20	7,87	7,50
6	8,20	7,88	7,50
7	8,20	7,88	7,50

En las tablas anteriores, se presentan límites hechos en base a las Intensidades MSK, esto se debe a la facilidad que presenta al ser evaluada y a que puede ser cuantificada por la población, lo cual en definitiva, es el factor preponderante al momento de evaluar un sismo.

El hecho de utilizar el promedio como límite entre los dos grupos, se hizo pensando en las viviendas que estarían en la zona de traslapo entre el máximo del Grupo 2 y el mínimo del Grupo 1. Este rango aparece al incluir los parámetros instrumentales en el análisis indicando zonas que debido a su intensidad no necesariamente tendrían que pertenecer a uno u otro grupo, es decir, es una zona ambigua, donde es apropiada la utilización de la media como límite entre las 2 zonas.

4.4 Comentarios.

El método de Análisis Cluster es una herramienta bastante útil al momento de querer obtener resultados provenientes de parámetros de distinta naturaleza. Para nuestro caso, los parámetros utilizados son de un origen variado, con lo cual se estarían complementando resultados provenientes de los Registros de Aceleración del sismo con las Encuestas de Daños; siendo estas últimas, el reflejo del daño provocado teniendo un carácter subjetivo a diferencia de los parámetros obtenidos de los registros de aceleración. Por esta razón, toma bastante importancia este método porque complementa ambos análisis obteniendo un único resultado con lo cual las falencias de uno se ven compensadas con el otro.

El problema de usar este método es la elección de los parámetros a utilizar en el análisis, ya que la eficiencia de esta metodología depende directamente de la calidad y cantidad de las variables que intervienen.

Se han considerado, a excepción de la combinación 7, un máximo de 3 parámetros por combinación incluyendo siempre en cada una de ellas la Intensidad MSK.

El considerar la Intensidad MSK en cada una de las combinaciones se debe a que se quiere tener en consideración ambos efectos en el análisis cluster, tanto los observados en las encuestas de daño, como los obtenidos a partir de los registros de aceleración.

En cuanto a los resultados obtenidos, para cada una de las combinaciones, la forma y el valor de Intensidad MSK obtenido para cada grupo, son semejantes, lo cual reflejaría la correlación existente entre los distintos parámetros sísmicos.

Al observar los resultados finales, es necesario no perder de vista el objetivo principal que es la de proponer intensidades para los grupos propuestos, no teniendo sentido grupos con una leve diferencia en cuanto a su Intensidad.

Para futuros trabajos sobre el tema, sería interesante considerar otro parámetro con un origen distinto. Dentro de ellos se podrían nombrar el daño en instalaciones de alcantarillado y agua potable, daños al sistema de suministro eléctrico o simplemente la percepción de la población frente al sismo.

Capítulo V

5 Microzonificación Propuesta.

5.1 Microzonificación.

En los capítulos anteriores, se ha analizado la ciudad de Valparaíso desde dos puntos de vistas distintos, uno que utiliza las Encuestas de Daño realizadas a las viviendas dañadas en la ciudad y otro que utiliza los registros de aceleración.

Con anterioridad, ambos métodos se han utilizado para realizar Microzonificaciones a distintas ciudades del país, incluyendo la ciudad de Valparaíso, pero siempre de forma independiente.

La Microzonificación propuesta se obtiene a partir del Análisis Cluster realizado en el capítulo anterior. De todas las combinaciones utilizadas en el análisis, la realizada con los parámetros de Intensidad MSK y Razón Espectral Media, es la que en definitiva, se utilizará como Microzonificación Sísmica de la ciudad de Valparaíso. Esto se debe a que la Razón Espectral Media, a pesar de subvalorar algunas intensidades en algunos rangos de períodos y sobrevalorar en otros, representa la generalidad de las edificaciones existentes teniendo una de las mejores correlaciones con el daño observado (Ref 13.- Pérez, P.).

En la Ilustración 5.1 aparecen 3 zonas propuestas para la Microzonificación con una diferencia entre ellas de $\frac{1}{2}$ grado de Intensidad MSK. La Zona I+1 (color rojo) representa la zona más dañada, la Zona I+0,5 (color amarillo) con intensidad media y la Zona I (color verde) con el menor daño.

A pesar de no existir sondajes de suelos en la Zona I, es necesario tenerla en consideración para los efectos de esta microzonificación, ya que representa a aquellas viviendas con menor daño de las zonas estudiadas.

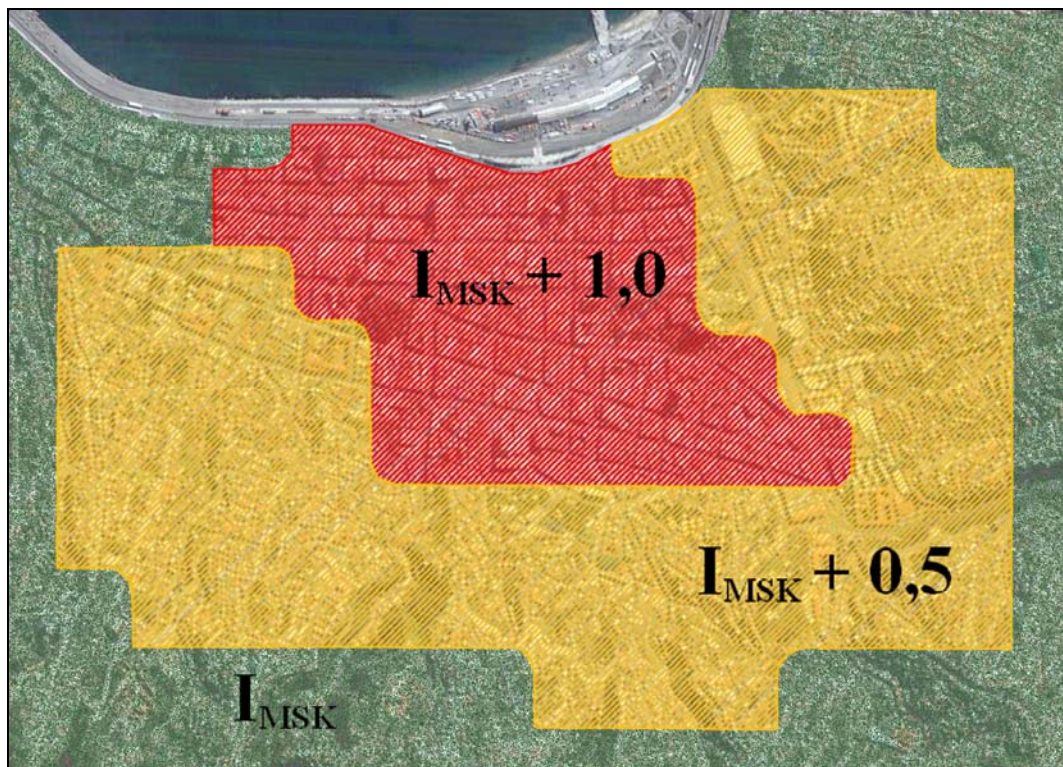


Ilustración 5.1: Microzonificación Propuesta.

5.2 Comparaciones con Metodologías Anteriores.

Para el caso de la Microzonificación mediante la utilización de los Registros de Aceleración, Pamela Pérez (Ref 13), propone la Microzonificación para el Plan de la ciudad presentada en la Ilustración 3.17.

Con la utilización de las Encuestas de Daño, Perreta y Canales (Ref 4), proponen la Microzonificación presentada en la Ilustración 2.11.

Y finalmente, también hay una Zonificación de Suelos, la cual es presentada en la Ilustración 1.8 y la Ilustración 1.9.

Como se puede apreciar, la Zona *I+I* (Roja) es la que se espera tenga una mayor Intensidad, conteniendo a las Zonas más críticas propuestas por Perreta y Canales y por

Pamela Pérez. Además, según lo visto en la Zonificación de suelos, contiene suelos con rellenos artificiales de gran profundidad de no muy buena calidad. Este último punto deja en claro el efecto que tienen los suelos en el daño presente en la ciudad. Todo esto queda en evidencia en las Ilustración 5.2, Ilustración 5.3 y la Ilustración 5.4.

Comparando la *Zona I+0,5* (Amarilla) con el estudio de Pamela Pérez, se asemeja a lo que en su Microzonificación es de color Amarillo, zona que no presenta amplificación.

Comparándola con el trabajo de Perreta y Canales, comprende parte del sector alto de su Microzonificación, y al igual que en el caso de Pamela Pérez, es el sector donde se presenta una disminución en las intensidades.

Al compararla con los tipos de suelos existentes, contiene a las Zonas III y VI, las cuales tienen rellenos artificiales pero con mucho menos espesor que la *Zona I+I* (roja). Lo anterior se ve reflejado en el daño observado (Ilustración 5.4).

En cuanto a la *Zona I* (Verde), esta coincide con las zonas propuestas por Perreta y Canales para el sector alto de la ciudad, zona en la cual se presentan los menores niveles de Intensidad. Lo mismo sucede con la Zonificación de suelos, en donde coincide con zonas en donde los suelos son de mejor calidad y los rellenos son de poca profundidad.

En definitiva, la Microzonificación propuesta, coincide en gran medida con los estudios realizados anteriormente diferenciándose principalmente en los límites entre las distintas zonas.

El hecho de que las otras Microzonificaciones dividan a la ciudad en más Zonas, es compensado en que las 3 Zonas propuestas presentan una diferencia de $\frac{1}{2}$ grado de Intensidad, con lo cual, la diferencia existente en las distintas zonas propuestas, puede ser percibida por la población.

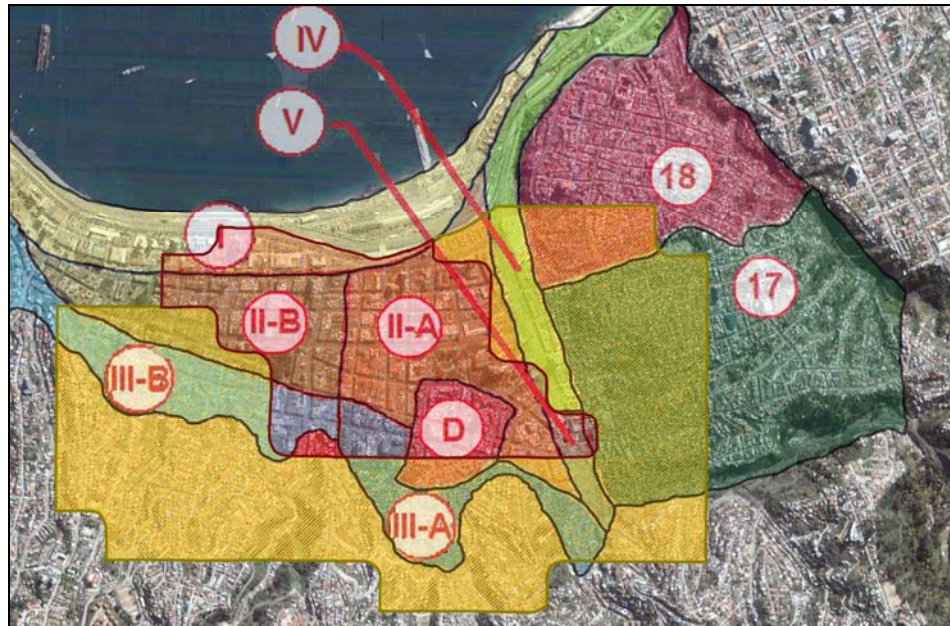


Ilustración 5.2: Microzonificación Propuesta vs Perreta y Canales.

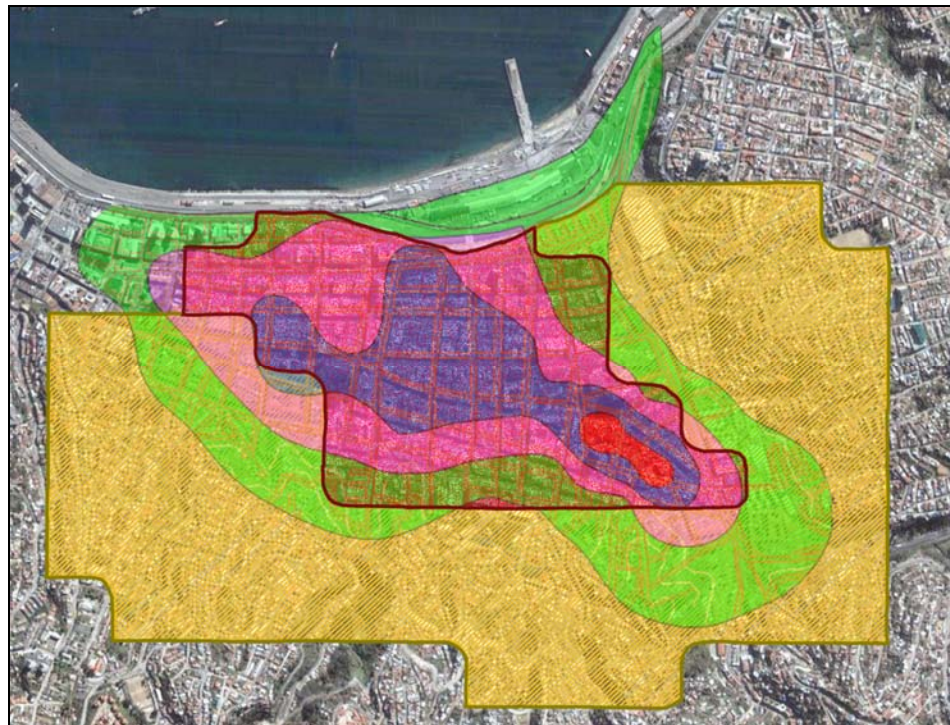


Ilustración 5.3: Microzonificación Propuesta vs Pamela Pérez.

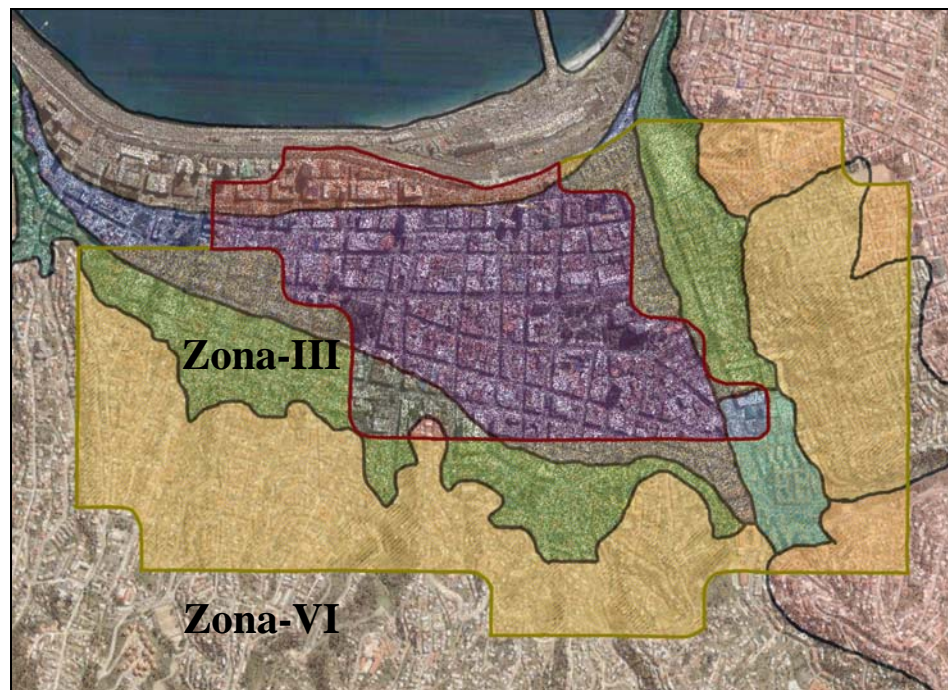


Ilustración 5.4: Microzonificación Propuesta vs Tipos de Suelos.

5.3 Comentarios.

La microzonificación propuesta trata de ser lo más representativa posible del verdadero comportamiento de la ciudad frente a un sismo de gran magnitud.

Comparando los resultados obtenidos con los trabajos anteriores, se puede apreciar el parecido en la forma y en los resultados obtenidos, diferenciándose principalmente, en los límites entre las distintas zonas.

Con lo anterior queda clara la importancia de seguir trabajando en el tema, debido a que en las zonas que no han sido estudiadas por falta de datos, pueden presentar singularidades las cuales no han podido ser analizadas en este estudio. Por ello es de gran importancia ampliar la zona de estudio mediante la realización de sondajes en los Cerros de la ciudad para que estas singularidades queden expuestas y puedan ser consideradas en el análisis estructural de las viviendas que se construyan en esa zona.

Capítulo VI

6 Conclusiones.

En toda la extensión de la ciudad, se ha podido apreciar las diferentes características que presenta, lo que se traduce en el comportamiento poco uniforme que tiene. Por esta razón toma bastante importancia el estudio de los datos con los que se cuenta, en este caso, las encuestas de daño y los registros de aceleración.

Las Encuestas de daño han sido utilizadas para desarrollar un mapa de Isosístas con Intensidades MSK. Esta escala, por su naturaleza empírica, es meramente descriptiva de lo que un sismo produce en personas, objetos y construcciones. Este carácter subjetivo, trae como consecuencia imprecisiones propias del análisis, principalmente debido al hecho de que el personal que realizó las encuestas no era el más calificado, y a que los propietarios tendían a exagerar los daños para conseguir un préstamo mayor con el cual repararían sus viviendas.

De lo anterior nace la necesidad de ajustar los resultados, lo cual para efectos de esta Memoria, no se ha podido realizar de la mejor forma. El no contar con la verificación en terreno de la validez de las encuestas afecta considerablemente los resultados. Por esta razón, para estudios posteriores, se recomienda utilizar alguna metodología de ajuste en la cual se utilicen verificaciones en terreno.

Es importante agregar el hecho de que el evaluar una zona con viviendas Tipo A o Tipo B no debería haber diferencia en el nivel de intensidad calculado, es por ello que es de gran importancia realizar ciertos ajustes al mecanismo de evaluación debido a que independiente del tipo de vivienda que se utilice para evaluar una zona, ésta debe presentar el mismo nivel de intensidad.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar claramente que el Plan de la ciudad resulta seriamente dañado coincidiendo con todos los estudios realizados por otros autores. En el sector del Almendral se obtuvieron Intensidades MSK de 8.2 para viviendas de adobe.

En cuanto a los cerros, estos concuerdan con los estudios realizados por otros autores, donde en general, se presentan menores Intensidades que en el Plan, a excepción de las zonas cercanas a quebradas y de altas pendientes.

Del Análisis de Amplificación Sísmica de la ciudad, se puede concluir que los tipos de suelos con mayor amplificación sísmica son aquellos en los cuales se presenta el estrato artificial el cual, dependiendo de la compacidad y su espesor, incrementa los niveles de Intensidad.

La amplificación sísmica de la ciudad sirve para encontrar las singularidades existentes en la ciudad encontrando las zonas que presentan las mayores amplificaciones sísmicas, siendo estas, de un alto riesgo sísmico. Con lo anterior, no se puede determinar por completo, el comportamiento sísmico de la ciudad, principalmente porque no se está considerando en ninguna instancia, las características de la estructura, lo cual es uno de los factores que interesan al momento de caracterizar a la ciudad.

Como se ha podido apreciar en los dos estudios realizados a la ciudad, ambas metodologías presentan ciertas falencias, por un lado, se tiene la subjetividad que presentan las Encuestas de Daños y por otro lado, la no consideración de las características de la estructuración de la vivienda por parte del Estudio de Amplificación. Por esta razón es de gran importancia la utilización del Análisis Cluster, el cual permite en forma simple, incorporar información diversa que dice relación con las Microzonas, en este caso, ambos estudios sísmicos realizados.

En cuanto a los resultados obtenidos del Análisis Cluster, estos podrían mejorar considerablemente al incorporar nuevos elementos debido a que la calidad de los resultados depende directamente de los parámetros considerados en el análisis. Elementos como el daño en las instalaciones de alcantarillado y agua potable, y los daños al sistema de suministro eléctrico serían excelentes parámetros que se podrían considerar para estudios posteriores.

En resumen, el resultado final obtenido a partir del Análisis Cluster, los Estudios de las Encuestas de Daño y de Amplificación, tratan de ser lo más representativo posible del

comportamiento sísmico de la ciudad proponiendo zonas con un comportamiento similar sísmicamente hablando.

A pesar de todos los estudios realizados, es de gran importancia mejorar la cantidad y calidad de los datos recopilados hasta el momento debido a la variabilidad que presentan la estructuración de las viviendas, los tipos de suelos y la topografía de la ciudad afectan en gran medida el nivel de Intensidad existente. Por ello se recomienda para estudios futuros, realizar una actualización de los datos recopilados en esta memoria, principalmente, los pertenecientes a los cerros de la ciudad.

Referencias

1.- Saragoni, R., Gonzáles, P. y Fresard, M.

“Análisis de los Acelerogramas del Terremoto del 3 de Marzo de 1985”, En: El Sismo del 3 de Marzo de 1985-Chile, ACERO COMERCIAL S. A., 1985, Capítulo N°3.

2.- Kausel, E.

“Proceso Sísmico, Parámetros Focales y Replicas del Sismo del 3 de Marzo de 1985”, En: El Sismo del 3 de Marzo de 1985, ACERO COMERCIAL S. A., 1985, Capítulo N°2.

3.- Grimme K. y Álvarez, L.

“El Suelo de Fundación de Valparaíso y Viña del Mar. Geología del Área Valparaíso – Viña del Mar”, Investigaciones Geológicas de Chile, Boletín N° 16, 1964, 58 p.

4.- Perreta, C. y Canales C.

“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, Universidad de Chile, 1988.

5.- Monge, J.

“El Sismo de Marzo de 1985 Chile”, Universidad de Chile, 1985, 264 p.

6.- Acevedo, P. y Orozco, O.

“Antecedentes Generales del Subsuelo en los Sectores más Densamente Poblados de Valparaíso y San Antonio”, En: El sismo del 3 de Marzo de 1985, ACERO COMERCIAL S.A., 1985, Capítulo N°10.

7.- Verdugo, A.

“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, U. de Chile, 1995.

8.- I.N.E., Instituto Nacional de Estadísticas.

“XV Censo Nacional de Población y IV de Vivienda Localidades Pobladas”, 1985

9.- Medvedev, S., Sponheur, W. y Kárnik, V.

“Neue Seismische Skala”, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Heft 77, Akademie Verlag, 1964.

10.- Monge, J. y Astrosa, M.

“Metodología para Determinar el Grado de Daño de Intensidad a partir de los Daños”, En: Jornada Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (5^a, 1989, Santiago) Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. 1989, pp.483 – 491.

11.- Kárnik, V. y Shenkova, Z.

“Vulnerability and the MSK Scale”, Engineering Geology, vol. 20 (N° ½), Marzo 1984.

12.- Faccioli, E. y Resendiz, D.

“Soil Dynamic: Behavior including liquefaction”, Elsevier Scientific, Amsterdam, Holland, 1975, p. 75.

13.- Pérez, P.

“Amplificación Sísmica en Suelos y Microzonificación de los Sectores Planos de Viña del Mar y Valparaíso”, Memoria para optar la título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, 2000.

14.- Garrido, L.

“Estudio de Amplificación de Ondas Sísmicas en Suelos. Análisis Unidimensional y Formulación Tridimensional en Elementos Finitos”, Memoria para optar la título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, 1988.

15.- Idriss, I. M., Lysmer, J., Hwang, R. y Bolton Seed, H.

“QUAD-4, A Computer Program For Evaluating The Seismic Response of Soil Structures By Variable Damping Finite Element Procedures”, Earthquake Engineering Research Center, 1973, Report N° EERC 73-16.

16.- Ohsaki, Y. e Iwasaki, R.

“On dynamic shear Moduli and Poisson’s Ratio of Soil Deposit, Soils and Foundations”, vol 13, N°4, 1973, pp. 61-73.

17.- Hardin, B. y Drnevich, V.

“Shear Modules and Damping in Soils: Measurement and Parameter Effects”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 1972, pp. 603-623.

18.- Hardin, B.

“The Nature of Damping in Sands”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 1965, vol. 91.

19.- Ortigosa de Pablo, P.

“Curso Corto de Dinámica de Suelos”, Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, 1991.

20.-Chopra, A.

“Dynamics of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering”, Segunda Edición, Englewood Cliffs, NJ, USA, 2000, pp. 3-61.

21.-Chopra, A.

“Dynamics of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering”, Segunda Edición, Englewood Cliffs, NJ, USA, 2000, pp. 155-187.

22.- Idriss, I.

“Finite Element for the Seismic Response of Earth Banks”, Journal of the soil mechanics and foundation division. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, 1968.

23.-Mardia, K., Kent, J., y Bibby J.

“Multivariate Analysis”, Academic Press, New York S. Fco. London, 1979, pp. 360-386.

24.- SAS Institute Inc.

“JMP Introductory Guide, Release 6”, Cary, NC, USA, 2005.

25.- Bernal, I.

“Las Escalas de Magnitud y el Terremoto de Piso del 15/08/07”, Instituto Geofísico del Perú, 2007, Volumen Especial IGP.

26.- Carvajal, Á.

“Estudio Comparativo de los Terremotos de Valparaíso de 1906 y 3 de Marzo de 1985”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1989.

27.- Dobry, R; Whitman, R. y Reosset, J.

“Las Propiedades de Histéresis de los Suelos y Aproximación Lineal”, Revista del IDIEM-U Chile, vol. 13 (Nº 1), 1974.

28.- Flores, R.

“Ingeniería Sísmica, El Caso del Sismo del 3 de Marzo de 1985”, II Centenario Ingenieros de Chile, Hachette, 1993, p 429.

29.- Haase, L.

“Zonificación de Suelos de Fundación del Plan de Valparaíso”, Memoria para optar la título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, 1979.

30.- Pérez, L.

“Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Viña del Mar”, Memoria para optar la título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, 1988.

Anexos

Anexo A

Ecuaciones para el Cálculo del Módulo de Corte Máximo.

Hardin y Black (1968):

Estas ecuaciones fueron obtenidas después de numerosos estudios y pruebas desarrolladas en arenas, arcillas y limos, mediante el método de columna resonante.

Arenas con Gravas Redondeadas:

$$V_s = (170 - (78,2) \cdot e) \cdot (\sigma_o)^{0,25} \quad \text{(Ecuación A.1)}$$

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{2630 \cdot (2,17 - e)^2 \cdot (\sigma_o)^{0,5}}{(1 + e)} \quad \text{(Ecuación A.2)}$$

Arenas con Gravas Angulares:

$$V_s = (159 - (53,5) \cdot e) \cdot (\sigma_o)^{0,25} \quad \text{(Ecuación A.3)}$$

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{1230 \cdot (2,97 - e)^2 \cdot (\sigma_o)^{0,5}}{(1 + e)} \quad \text{(Ecuación A.4)}$$

Donde:

$G_{m\acute{a}x}$: M3dulo de Corte M3ximo en [Lb/in²].

V_s : Velocidad de Propagaci3n de Onda de Corte en [ft/s].

σ_0 : Esfuerzo Principal Medio Efectivo en [Lb/ft²] en las Ecuaci3n A.1 y Ecuaci3n A.2.

En la Ecuaci3n A.3 y Ecuaci3n A.4 en [Lb/in²]

e : 3ndice de Vac3o.

Para considerar los efectos de consolidaci3n, proponen la siguiente ecuaci3n:

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{1230 \cdot (2,97 - e)^2 \cdot (OCR)^K \cdot (\sigma_0)^{0,5}}{(1 + e)} \quad \text{(Ecuaci3n A.5)}$$

Donde:

$G_{m\acute{a}x}$, σ_0 en [Lb/in²].

e : 3ndice de Vac3o.

OCR : Relaci3n de Preconsolidaci3n.

K : Par3metro en funci3n de la plasticidad del suelo, Tabla A-1.

Tabla A-1: Par3metro K (Woods, 1978).

PI	K
0	0
20	0,18
40	0,30
60	0,41
80	0,48
≥ 100	0,50

Kuribayashi (1974):

Las expresiones propuestas son establecidas para deformaciones de corte menores a 10^{-4} .

Arenas con Gravas Redondeadas ($e < 0,8$):

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{700(2.17 - e)^2 (\sigma_o)^{0.5}}{1 + e} \quad \text{(Ecuaci3n A.6)}$$

Arenas con Gravas Angulares:

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{326 \cdot (2,97 - e)^2 \cdot (\sigma_o)^{0.5}}{1 + e} \quad \text{(Ecuaci3n A.7)}$$

Donde:

$G_{m\acute{a}x}$, σ_o en [Kg/cm²]

Iwasaki y Tatsuoka (1977):

La expresi3n propuesta es la siguiente:

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{900 \cdot (2,17 - e)^2 \cdot (\sigma_o)^{0.5}}{1 + e} \quad \text{(Ecuaci3n A.8)}$$

Donde:

$G_{m\acute{a}x}$, σ_o en [Kg/cm²].

Seed e Idriss (1977):

Arenas y Gravas:

$$G_{m\acute{a}x} = 1000 \cdot K_{2m\acute{a}x} \cdot \sigma_o^{0.5} \quad \text{(Ecuaci3n A.9)}$$

Donde:

$K_{2m\acute{a}x}$: es adimensional y depende s3lo del 3ndice de Vac3os.

$G_{m\acute{a}x}$, σ_o en [Lb/ft²].

Los valores de K_{2max} fueron originalmente obtenidos por ajustes de la ecuación propuesta con los datos de laboratorio, varía de 30 a 70 dependiendo de la densidad relativa en el caso de la arena.

Los valores para este factor se presentan en la siguiente tabla:

Tabla A-2: Evaluación de $K_{2m\acute{a}x}$ según Tipo de Suelo.

Suelo	Localización	Profundidad [ft]	K_{2max}
Arena húmeda de baja densidad	Minnesota	10	34
Arena densa drenada	Washington	10	44
Arena densa saturada	S. California	50	58
Arena densa saturada	Georgia	200	60
Arena limosa densa saturada	Georgia	60	65
Arena densa saturada	S. California	300	72
Arena limosa densa saturada	S. California	125	86
Arena drenada densa (levemente cementada)	Washington	65	166
Arena arcillosa húmeda	Georgia	30	119
Arena, grava con poca arcilla	Caracas	200	90
Arena y grava densa	Washington	150	122
Arena, grava y con poca arcilla	Caracas	255	123
Arena densa y grava arenosa	So. California	175	188

Arcillas:

$$G_{m\acute{a}x} = C \cdot Su \quad (\text{Ecuación A.10})$$

Donde:

Su : Resistencia no drenada al esfuerzo de corte

C : Constante que depende del suelo.

De estudios realizados en laboratorio, se ha establecido que el rango de la constante varía de 1000 a 3000.

Enami, Ohhasashi y Hara (1973):

Las expresiones propuestas son las siguientes:

$$G_{m\acute{a}x} = 158 \cdot N^{0,668} \quad \text{(Ecuaci3n A.11)}$$

$$Su = 0,297 \cdot N^{0,72} \quad \text{(Ecuaci3n A.12)}$$

$$G_{m\acute{a}x} = G_0 \cdot Su^\alpha \quad \text{(Ecuaci3n A.13)}$$

Donde:

$G_{m\acute{a}x}$, Su : En [Kg/cm²] en la Ecuaci3n A.11 y Ecuaci3n A.12.

$G_{m\acute{a}x}$, Su : En [T/m²] en la Ecuaci3n A.13.

Las constantes para estas ecuaciones, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla A-3: Constantes de las Ecuaciones de Enami, Ohhasashi y Hara.

	G_0	α	Coefficiente de Correlaci3n
	502	1,01	0,95
Relaci3n Aproximada	500	1,00	

Anexo B

Análisis de Amplificación Sísmica del Cerro Los Placeres.

a) Sondajes Utilizados.

En la Tabla A-4 se detalla los sondajes utilizados con sus respectivos $G_{m\acute{a}x}$, Módulo de Poisson y N_{SPT} , mientras que en la Ilustración A.1 su ubicación.



Ilustración A.1: Ubicación de los Sondajes SPT.

Tabla A-4: Sondajes SPT: N_{SPT} , $G_{m\acute{a}x}$ y Módulo de Poisson.

SPT N°	Ubicación	Profundidad	N_{SPT}	$G_{m\acute{a}x}$ [ksf]	Módulo de Poisson
1-1	Av España/San Luis Ed T	-	-	-	-
1-2	Av España/San Luis Ed T	-	-	-	-
1-3	Av España/San Luis Ed T	2,73	15	1697,475	0,46
		3,78	18	2014,808	0,46
		4,83	22	2433,071	0,46
1-4	Av España/San Luis Ed T	-	-	-	-
1-5'	Av España/San Luis Ed T	1,23	25	2743,729	0,45
		2,33	33	3561,891	0,45
		3,80	-		

SPT N°	Ubicación	Profundidad	N _{SPT}	G _{máx} [ksf]	Módulo de Poisson
1-6	Av España/San Luis Ed T	1,03	19	2119,854	0,46
		2,23	22	2433,071	0,46
1-7	Av España/San Luis Ed T	-	-		
2-1	Puente Acceso Av España San Luis	1,73	18	2014,808	0,46
		2,83	33	3561,891	0,45
		3,93	35	3764,450	0,45
		5,03	43	4568,124	0,44
		6,23	46	4867,096	0,44
		7,00	-		
		7,83	38	4067,000	0,45
		8,58	>125		
		9,83	60	6247,981	0,44
		10,93	48	5065,756	0,44
		11,93	49	5164,899	0,44
		13,73	40	4267,897	0,44
		15,23	48	5065,756	0,44
2-2	Puente Acceso Av España San Luis	2,33	10	1159,518	0,47
		3,43	15	1697,475	0,46
		4,43	18	2014,808	0,46
		5,83	18	2014,808	0,46
		6,80	-		
		7,93	52	5461,610	0,44
		8,60	-		
		9,43	68	7028,067	0,43
		10,63	42	4468,192	0,44
		11,73	64	6638,756	0,43
		13,73	49	5164,899	0,44
		15,23	60	6247,981	0,44
		16,73	75	7706,109	0,43
18,33	73	7512,786	0,43		
3-1	Ex Davis Autos UTFSM	2,23	78	7995,515	0,43
		3,23	86	8764,075	0,43
		4,15	99	10004,022	0,42

SPT N°	Ubicación	Profundidad	N _{SPT}	G _{máx} [ksf]	Módulo de Poisson
3-2	Ex Davis Autos UTFSM	1,23	86	8764,075	0,43
		2,15	100	10098,981	0,42
		3,15	113	11328,471	0,42
		4,15	120	11986,928	0,42
3-3	Ex Davis Autos UTFSM	1,23	32	3460,338	0,45
		3,23	70	7222,203	0,43
		4,23	102	10288,728	0,42
3-4	Ex Davis Autos UTFSM	1,23	44	4667,916	0,44
		2,23	63	6541,203	0,43
		3,23	88	8955,529	0,43
		4,15	92	9337,661	0,42
3-5	Ex Davis Autos UTFSM	5,23	52	5461,610	0,44
		6,23	59	6150,047	0,44
		7,23	68	7028,067	0,43
		8,23	77	7899,122	0,43
3-6	Ex Davis Autos UTFSM	4,23	83	8476,390	0,43
		5,23	94	9528,350	0,42
		6,23	113	11328,471	0,42
		7,15	106	10667,559	0,42
		8,15	119	11893,007	0,42
3-7	Ex Davis Autos UTFSM	1,23	55	5757,295	0,44
		2,25	97	9813,930	0,42
		3,25	107	10762,131	0,42

Complementando los resultados obtenidos por Pamela Pérez, se ha realizado un estudio de Amplificación Sísmica al Cerro Placeres mediante la utilización de los sondajes descritos anteriormente.

Debido a su tamaño reducido, no ha sido considerado en el Análisis Cluster. A pesar de ello, es importante tener presente estos resultados, ya que en ellos se puede apreciar los efectos que tiene la topografía en la amplificación de la onda sísmica en los cerros y las quebradas de la ciudad.

b) Modelación

Para la elaboración de la Malla de Elementos Finitos, se ha tenido en consideración las mismas utilizadas en el trabajo por Pamela Pérez.

Esta nueva Malla tiene una profundidad máxima de 20 [m] en la quebrada del cerro. Los elementos utilizados para su configuración son de 30 [m] x 10 [m]. La ubicación de ésta, se encuentra especificada en la Ilustración A.2, mientras que la geometría de la misma en la Ilustración A.3.



Ilustración A.2: Ubicación Malla Elementos Finitos, Cerro Los Placeres.

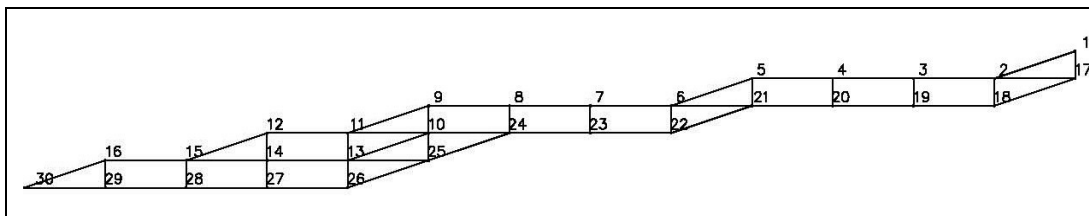


Ilustración A.3: Geometría Malla Elementos Finitos, Cerro Los Placeres.

c) Resultados

Con los modelos de elementos finitos ya calibrados, lo restante es utilizar los registros de UTFSM N70°E Horizontal y Vertical a la base del modelo, y calcular los parámetros instrumentales de los nodos superficiales. Estos parámetros son los siguientes:

- Aceleración Máxima
- Intensidad de Arias (I.A.).
- Potencial Destructivo (P.D.).
- Razón Media de Espectros de Aceleración (0,1-1,0 [s]) (R.E.M.)

Los resultados obtenidos de todos los nodos superficiales para la nueva Malla se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla A-5: Parámetros Instrumentales, Cerro Los Placeres.

Nodo	Acel. Máx. [g]	I.A. [gs]	P.D. [g]	R. E.M.
1	0,2767	2,1887	0,0090	1,071
2	0,3420	3,7564	0,0272	1,267
3	0,2966	2,5148	0,0117	1,143
4	0,4181	4,9375	0,0268	1,304
5	0,3305	2,9333	0,0153	1,175
6	0,3719	3,5542	0,0187	1,252
7	0,3522	3,7487	0,0218	1,243
8	0,3143	2,5557	0,0204	1,252
9	0,3497	3,7063	0,0513	1,614
11	0,4665	5,4397	0,1308	2,015
12	0,4554	5,3617	0,1320	1,985
15	0,2647	2,3302	0,0409	1,390
16	0,3456	3,4305	0,0489	1,400

Al analizar esta malla de elementos finitos se pueden apreciar varios fenómenos, los cuales hacen referencia al comportamiento poco uniforme que tiene el suelo.

En primer lugar, los sectores con mayor profundidad ubicados en la quebrada del cerro, presentan los mayores valores para los parámetros instrumentales estudiados, esto se debe a que las rigideces de los distintos estratos son bajas, variando a diferentes profundidades. Este fenómeno de variación produce un incremento en la frecuencia fundamental del suelo lo cual se traduce en los resultados obtenidos para los distintos parámetros calculados.

Debido a la configuración que presenta este sector, a la amplificación producida por efectos de suelos, hay que agregar la producida por efectos topográficos, siendo ambos efectos los causantes de las grandes amplificaciones presentes en esta zona.

Para el caso del sector alto, esto no ocurre, ya que sus suelos son de mejor calidad con uniformidad en su profundidad.

Con lo dicho anteriormente, queda clara la importancia de realizar un análisis más detallado a todos los cerros de la ciudad, los cuales a pesar de no tener grandes amplificaciones en casi toda su extensión, presentan valores semejantes al plan, en ciertas singularidades como son las quebradas y zonas de altas pendientes.

Anexo C

Parámetros Sísmicos Calculados para Cada Nodo en el Análisis Cluster.

A continuación se presentan los valores de los parámetros sísmicos para cada uno de los nodos de la Malla utilizada durante el Análisis Cluster.

Tabla A-6: Parámetros Sísmicos, Nodos Malla Análisis Cluster.

Nodo	MSK	Aceleración Máxima	Intensidad de Arias	Potencial Destructivo	Razón Espectral Media	Razón Espectral T=0,7
1	7,55	0,280	2,200	5,000	1,100	1,000
2	7,58	0,287	2,306	7,347	1,100	1,000
3	7,62	0,303	2,476	12,783	1,100	1,058
4	7,75	0,301	2,461	26,333	1,164	1,139
5	7,80	0,291	2,320	25,654	1,146	1,110
6	7,77	0,280	2,200	10,000	1,100	1,000
7	7,55	0,275	2,200	5,000	1,100	1,000
8	7,55	0,260	1,906	5,000	1,100	1,000
9	7,58	0,287	2,148	5,000	1,100	1,000
10	7,61	0,327	2,625	20,000	1,157	1,098
11	7,73	0,310	2,649	67,986	1,379	1,400
12	7,79	0,291	2,480	57,792	1,313	1,340
13	7,76	0,280	2,200	23,429	1,117	1,079
14	7,60	0,276	2,200	5,000	1,100	1,000
15	7,64	0,268	2,034	5,000	1,100	1,000
16	7,62	0,290	2,163	5,962	1,100	1,000
17	7,64	0,300	2,735	93,548	1,529	1,509
18	7,70	0,305	3,128	186,538	1,900	2,175
19	7,75	0,288	2,644	96,970	1,512	1,630
20	7,71	0,280	2,290	33,111	1,200	1,181
21	7,70	0,271	2,200	17,407	1,129	1,173
22	7,73	0,262	2,169	16,667	1,130	1,139
23	7,74	0,245	2,586	92,424	1,400	1,564

Nodo	MSK	Aceleración Máxima	Intensidad de Arias	Potencial Destructivo	Razón Espectral Media	Razón Espectral T=0,7
24	7,84	0,277	3,746	334,783	2,180	2,658
25	7,87	0,272	3,200	247,368	2,044	2,455
26	7,81	0,266	2,365	55,696	1,382	1,386
27	7,75	0,280	2,311	15,500	1,171	1,120
28	7,66	0,283	2,200	5,000	1,100	1,000
29	7,77	0,253	2,200	64,074	1,392	1,769
30	7,88	0,238	2,000	67,442	1,453	1,800
31	8,01	0,231	2,200	200,000	1,765	2,447
32	8,20	0,245	3,131	379,167	2,200	2,600
33	8,04	0,216	2,126	123,684	1,440	1,276
34	7,91	0,282	2,544	14,179	1,169	1,028
35	7,78	0,287	2,326	5,000	1,100	1,000
36	7,66	0,292	2,223	5,000	1,100	1,000
37	7,85	0,237	2,400	145,872	1,713	2,492
38	7,89	0,232	2,367	213,830	1,884	2,706
39	8,03	0,245	2,912	400,000	2,261	2,768
40	8,18	0,233	2,600	306,098	1,959	2,200
41	8,05	0,260	2,200	85,577	1,287	1,233
42	7,92	0,285	2,200	5,000	1,100	1,000
43	7,78	0,295	2,328	5,000	1,100	1,000
44	7,66	0,300	2,292	5,000	1,100	1,000
45	7,97	0,240	2,800	231,818	1,900	2,736
46	7,90	0,225	2,483	320,455	2,075	2,948
47	7,98	0,234	2,579	350,000	2,178	2,711
48	8,11	0,247	2,749	269,333	2,046	2,910
49	8,02	0,285	2,585	95,455	1,430	1,639
50	7,91	0,290	2,246	10,000	1,100	1,042
51	7,75	0,300	2,286	6,841	1,100	1,000
52	8,10	0,283	3,200	200,000	1,900	2,160
53	7,87	0,238	2,517	244,800	1,962	2,145
54	7,83	0,225	2,268	277,339	2,000	2,377
55	7,89	0,276	2,845	210,870	1,890	2,316
56	7,93	0,320	2,971	48,837	1,400	1,200

Nodo	MSK	Aceleración Máxima	Intensidad de Arias	Potencial Destructivo	Razón Espectral Media	Razón Espectral T=0,7
57	7,91	0,301	2,412	14,576	1,158	1,057
58	7,73	0,300	2,368	7,560	1,109	1,000
59	8,07	0,357	3,800	125,984	1,900	1,517
60	7,83	0,333	3,655	197,191	1,981	1,800
61	7,74	0,260	2,967	334,167	2,161	2,600
62	7,70	0,280	2,667	186,735	1,715	1,869
63	7,88	0,303	2,614	47,404	1,283	1,164
64	7,90	0,300	2,429	8,663	1,094	1,000
65	7,68	0,300	2,400	7,000	1,096	1,000
66	7,78	0,380	3,800	132,450	1,913	1,400
67	7,68	0,343	3,543	150,000	1,694	1,558
68	7,60	0,298	2,455	45,321	1,308	1,171
69	7,79	0,288	2,321	18,095	1,115	1,032
70	7,82	0,294	2,268	5,000	1,048	1,000
71	7,64	0,300	2,328	5,000	1,032	1,000
72	7,61	0,368	3,483	35,698	1,238	1,095
73	7,50	0,328	2,633	14,805	1,106	1,000
74	7,67	0,300	2,322	5,000	1,056	1,000
75	7,70	0,300	2,200	5,000	1,010	1,000
76	7,70	0,300	2,245	5,000	1,000	1,000
77	7,62	0,380	3,000	11,885	1,092	1,000
78	7,53	0,353	3,086	8,397	1,065	1,000
79	7,60	0,307	2,517	6,494	1,038	1,000
80	7,70	0,300	2,262	5,000	1,011	1,000

Anexo D

Distancias Calculadas para las Distintas Combinaciones.

Las combinaciones utilizadas en el Análisis Cluster son las siguientes:

- Combinación 1: I_{MSK} .
- Combinación 2: $I_{MSK} - R.E.M.$
- Combinación 3: $I_{MSK} - P.D.$
- Combinación 4: $I_{MSK} - Ac. Máx. - R.E. T=0.7.$
- Combinación 5: $I_{MSK} - I.A. - P.D.$
- Combinación 6: $I_{MSK} - P.D. - R.E.M.$
- Combinación 7: $I_{MSK} - Ac. Máx. - I.A. - P.D. - R.E.M. - R.E. T=0,7.$

En las siguientes Tablas se presentan las distancias calculadas para el Análisis Cluster según lo descrito en el Punto 4.2 para cada una de las combinaciones nombradas anteriormente.

Cada tabla presenta la distancia existente entre el nodo en cuestión y su centro, el cual corresponde a la media de cada grupo.

Tabla A-7: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 1 y Combinación 2.

Combinación 1			Combinación 2		
Nodo	Cluster	Distancia	Nodo	Cluster	Distancia
1	2	0,837	1	2	0,989
2	2	0,649	2	2	0,806
3	2	0,399	3	2	0,566
4	2	0,413	4	2	0,281
5	2	0,725	5	2	0,594
6	2	0,538	6	2	0,446
7	2	0,837	7	2	0,989
8	2	0,837	8	2	0,989

Combinación 1		
Nodo	Cluster	Distancia
9	2	0,649
10	2	0,462
11	2	0,288
12	2	0,663
13	2	0,475
14	2	0,524
15	2	0,274
16	2	0,399
17	2	0,274
18	2	0,100
19	2	0,413
20	2	0,163
21	2	0,100
22	2	0,288
23	2	0,350
24	1	0,735
25	1	0,547
26	2	0,788
27	2	0,413
28	2	0,149
29	2	0,538
30	1	0,485
31	1	0,328
32	1	1,515
33	1	0,515
34	1	0,297
35	2	0,600
36	2	0,149
37	1	0,672
38	1	0,422
39	1	0,453
40	1	1,390
41	1	0,578
42	1	0,235
43	2	0,600
44	2	0,149
45	1	0,078
46	1	0,360
47	1	0,140

Combinación 2		
Nodo	Cluster	Distancia
9	2	0,806
10	2	0,597
11	2	0,554
12	2	0,635
13	2	0,368
14	2	0,685
15	2	0,450
16	2	0,566
17	2	1,006
18	1	1,530
19	2	0,912
20	2	0,074
21	2	0,117
22	2	0,190
23	2	0,623
24	1	1,018
25	1	0,627
26	2	0,843
27	2	0,279
28	2	0,341
29	2	0,689
30	1	1,174
31	1	0,508
32	1	1,800
33	1	1,276
34	2	1,279
35	2	0,503
36	2	0,341
37	1	0,732
38	1	0,341
39	1	1,122
40	1	1,486
41	1	1,652
42	2	1,355
43	2	0,503
44	2	0,341
45	1	0,169
46	1	0,592
47	1	0,811

Combinación 1		
Nodo	Cluster	Distancia
48	1	0,952
49	1	0,390
50	1	0,297
51	2	0,413
52	1	0,890
53	1	0,547
54	1	0,797
55	1	0,422
56	1	0,172
57	1	0,297
58	2	0,288
59	1	0,702
60	1	0,797
61	2	0,350
62	2	0,100
63	1	0,485
64	1	0,360
65	2	0,025
66	2	0,600
67	2	0,025
68	2	0,524
69	2	0,663
70	2	0,850
71	2	0,274
72	2	0,462
73	2	1,149
74	2	0,087
75	2	0,100
76	2	0,100
77	2	0,399
78	2	0,962
79	2	0,524
80	2	0,100

Combinación 2		
Nodo	Cluster	Distancia
48	1	1,125
49	1	1,246
50	2	1,293
51	2	0,337
52	1	0,973
53	1	0,513
54	1	0,783
55	1	0,343
56	1	1,234
57	2	1,279
58	2	0,225
59	1	0,786
60	1	0,764
61	1	1,472
62	2	1,410
63	2	1,125
64	2	1,235
65	2	0,247
66	1	1,032
67	2	1,342
68	2	0,747
69	2	0,554
70	2	0,784
71	2	0,551
72	2	0,620
73	2	1,294
74	2	0,367
75	2	0,423
76	2	0,449
77	2	0,575
78	2	1,128
79	2	0,743
80	2	0,423

Tabla A-8: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 3 y Combinación 4.

Combinación 3			Combinación 4		
Nodo	Cluster	Distancia	Nodo	Cluster	Distancia
1	2	1,050	1	2	1,213
2	2	0,863	2	2	0,961
3	2	0,609	3	2	0,639
4	2	0,234	4	2	0,213
5	2	0,544	5	2	0,575
6	2	0,405	6	2	0,692
7	2	1,050	7	2	1,286
8	2	1,050	8	2	1,566
9	2	0,869	9	2	0,966
10	2	0,656	10	2	1,059
11	2	0,339	11	2	0,509
12	2	0,531	12	2	0,588
13	2	0,301	13	2	0,628
14	2	0,750	14	2	1,022
15	2	0,520	15	2	1,066
16	2	0,629	16	2	0,707
17	2	0,718	17	2	0,750
18	2	1,390	18	2	1,662
19	2	0,626	19	2	0,860
20	2	0,023	20	2	0,559
21	2	0,156	21	2	0,833
22	2	0,173	22	2	1,089
23	2	0,567	23	2	1,700
24	1	1,159	24	1	1,235
25	1	0,608	25	1	0,901
26	2	0,640	26	2	1,178
27	2	0,273	27	2	0,594
28	2	0,413	28	2	0,635
29	2	0,455	29	1	1,462
30	2	1,088	30	1	1,000
31	1	0,454	31	1	0,631
32	1	1,916	32	1	1,597
33	1	1,146	33	1	1,979
34	2	1,239	34	2	1,317
35	2	0,482	35	2	0,586
36	2	0,413	36	2	0,484
37	1	1,121	37	1	0,776
38	1	0,537	38	1	0,887

Combinación 3		
Nodo	Cluster	Distancia
39	1	1,485
40	1	1,456
41	1	1,486
42	2	1,314
43	2	0,482
44	2	0,413
45	1	0,082
46	1	0,830
47	1	0,986
48	1	0,931
49	1	1,346
50	2	1,244
51	2	0,322
52	1	0,909
53	1	0,606
54	1	0,916
55	1	0,549
56	2	1,362
57	2	1,238
58	2	0,243
59	1	1,215
60	1	0,940
61	1	1,648
62	2	1,391
63	2	1,050
64	2	1,185
65	2	0,307
66	2	0,993
67	2	1,079
68	2	0,719
69	2	0,495
70	2	0,709
71	2	0,520
72	2	0,647
73	2	1,343
74	2	0,365
75	2	0,257
76	2	0,257
77	2	0,612

Combinación 4		
Nodo	Cluster	Distancia
39	1	0,869
40	1	1,478
41	1	1,882
42	2	1,349
43	2	0,477
44	2	0,441
45	1	0,724
46	1	1,262
47	1	0,769
48	1	1,359
49	1	1,587
50	2	1,242
51	2	0,323
52	1	1,380
53	1	0,665
54	1	1,036
55	1	0,920
56	2	1,459
57	2	1,213
58	2	0,264
59	2	2,833
60	2	1,589
61	1	1,465
62	2	1,285
63	2	1,021
64	2	1,167
65	2	0,346
66	2	2,407
67	2	1,449
68	2	0,737
69	2	0,595
70	2	0,702
71	2	0,548
72	2	2,107
73	2	1,611
74	2	0,391
75	2	0,276
76	2	0,276
77	2	2,434

Combinación 3		
Nodo	Cluster	Distancia
78	2	1,166
79	2	0,745
80	2	0,257

Combinación 4		
Nodo	Cluster	Distancia
78	2	1,971
79	2	0,813
80	2	0,276

Tabla A-9: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 5 y Combinación 6.

Comb 5 Imsk-I.A.-P.D.		
Nodo	Cluster	Distancia
1	2	1,178
2	2	0,931
3	2	0,705
4	2	0,257
5	2	0,498
6	2	0,531
7	2	1,178
8	2	1,543
9	2	1,060
10	2	0,908
11	2	0,719
12	2	0,542
13	2	0,470
14	2	0,900
15	2	0,979
16	2	0,844
17	2	1,141
18	1	1,566
19	2	0,872
20	2	0,218
21	2	0,446
22	2	0,492
23	2	0,755
24	1	2,102
25	1	0,681
26	2	0,591
27	2	0,260
28	2	0,610
29	2	0,588
30	2	1,351

Comb 6 Imsk-P.D.-R.E.M.		
Nodo	Cluster	Distancia
1	2	1,088
2	2	0,904
3	2	0,657
4	2	0,199
5	2	0,512
6	2	0,400
7	2	1,088
8	2	1,088
9	2	0,908
10	2	0,683
11	2	0,655
12	2	0,635
13	2	0,295
14	2	0,789
15	2	0,560
16	2	0,671
17	2	1,205
18	1	1,532
19	2	1,093
20	2	0,108
21	2	0,181
22	2	0,158
23	2	0,845
24	1	1,225
25	1	0,490
26	2	0,823
27	2	0,216
28	2	0,455
29	2	0,727
30	2	1,288

Comb 5 Imsk-I.A.-P.D.		
Nodo	Cluster	Distancia
31	1	1,849
32	1	2,145
33	2	2,225
34	2	1,234
35	2	0,432
36	2	0,580
37	2	1,310
38	1	1,398
39	1	1,591
40	1	1,866
41	2	2,141
42	2	1,314
43	2	0,432
44	2	0,496
45	1	0,442
46	1	1,348
47	1	1,372
48	1	1,250
49	1	1,629
50	2	1,216
51	2	0,332
52	1	1,238
53	1	1,085
54	1	1,748
55	1	0,445
56	1	1,692
57	2	1,177
58	2	0,205
59	1	2,347
60	1	1,772
61	1	1,479
62	2	1,570
63	2	1,128
64	2	1,127
65	2	0,344
66	1	2,353
67	1	2,208
68	2	0,801
69	2	0,449

Comb 6 Imsk-P.D.-R.E.M.		
Nodo	Cluster	Distancia
31	1	0,739
32	1	2,204
33	1	1,765
34	2	1,200
35	2	0,467
36	2	0,455
37	1	1,135
38	1	0,373
39	1	1,787
40	1	1,660
41	2	2,159
42	2	1,286
43	2	0,467
44	2	0,455
45	1	0,251
46	1	0,857
47	1	1,225
48	1	1,178
49	1	1,902
50	2	1,219
51	2	0,323
52	1	1,100
53	1	0,406
54	1	0,756
55	1	0,381
56	2	1,457
57	2	1,200
58	2	0,244
59	1	1,323
60	1	0,753
61	1	1,596
62	1	1,625
63	2	1,062
64	2	1,164
65	2	0,352
66	1	1,350
67	2	1,752
68	2	0,839
69	2	0,481

Comb 5 Imsk-I.A.-P.D.			Comb 6 Imsk-P.D.-R.E.M.		
Nodo	Cluster	Distancia	Nodo	Cluster	Distancia
70	2	0,689	70	2	0,734
71	2	0,576	71	2	0,645
72	2	2,641	72	2	0,706
73	2	1,519	73	2	1,381
74	2	0,422	74	2	0,464
75	2	0,486	75	2	0,479
76	2	0,395	76	2	0,502
77	2	1,584	77	2	0,666
78	2	2,050	78	2	1,220
79	2	0,864	79	2	0,838
80	2	0,378	80	2	0,479

Tabla A-10: Distancias desde los Nodos a los Centros de Cada Cluster, Combinación 7.

Comb 7 Todos Los Parámetros		
Nodo	Cluster	Distancia
1	2	1,353
2	2	1,047
3	2	0,766
4	2	0,263
5	2	0,565
6	2	0,834
7	2	1,406
8	2	1,959
9	2	1,208
10	2	1,260
11	2	0,986
12	2	0,673
13	2	0,758
14	2	1,161
15	2	1,391
16	2	0,998
17	2	1,502
18	1	2,204
19	2	1,404
20	2	0,561
21	2	0,923
22	2	1,159

Comb 7 Todos Los Parámetros		
Nodo	Cluster	Distancia
23	2	1,817
24	1	2,499
25	1	1,045
26	2	1,211
27	2	0,561
28	2	0,850
29	2	1,812
30	2	2,527
31	1	1,863
32	1	2,287
33	1	3,264
34	2	1,262
35	2	0,621
36	2	0,753
37	1	1,729
38	1	1,517
39	1	1,845
40	1	1,867
41	2	2,407
42	2	1,417
43	2	0,573
44	2	0,669
45	1	0,875
46	1	1,756
47	1	1,553
48	1	1,483
49	2	2,236
50	2	1,283
51	2	0,548
52	1	1,601
53	1	1,087
54	1	1,784
55	1	0,704
56	2	2,006
57	2	1,188
58	2	0,418
59	1	4,112
60	1	3,119
61	1	1,616

Comb 7 Todos Los Parámetros		
Nodo	Cluster	Distancia
62	1	2,003
63	2	1,115
64	2	1,170
65	2	0,501
66	2	4,536
67	2	3,438
68	2	0,859
69	2	0,603
70	2	0,852
71	2	0,794
72	2	3,291
73	2	1,784
74	2	0,648
75	2	0,808
76	2	0,752
77	2	2,888
78	2	2,606
79	2	1,010
80	2	0,723

Anexo E

Diagrama de Flujo y Manual de Uso Planillas Excel para el Cálculo de Intensidad.

El diagrama de flujo presentado en la Ilustración A.4 muestra la forma en que se debe calcular las intensidades para un tipo de vivienda en particular o la combinación de alguna de ellas.

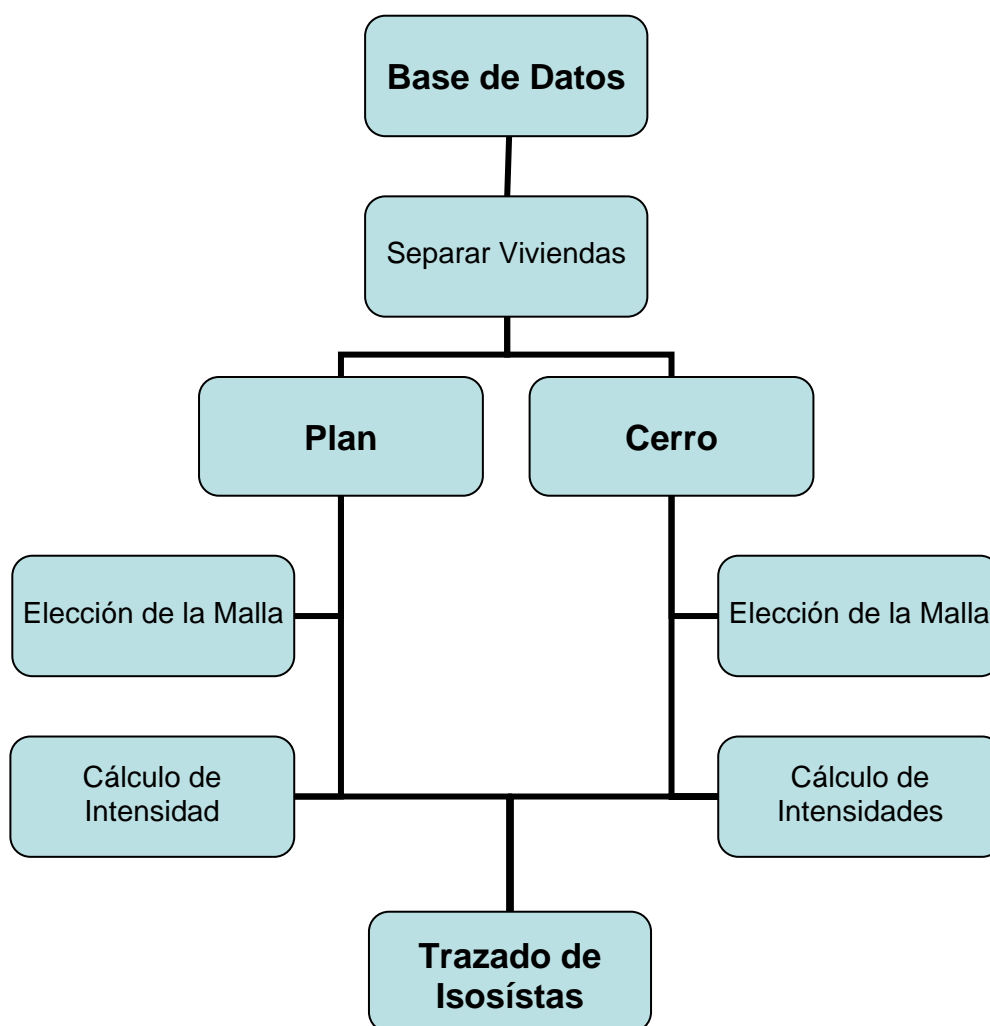


Ilustración A.4: Diagrama de Flujo Trazado de Isosístas.

En primera instancia, es necesario tener ubicadas las viviendas en algún plano de la ciudad analizada. Posterior a esto, es necesario asignar el grado de daño y asignar el tipo de vivienda según corresponda.

Con estos, ya es posible la utilización de las Planillas Excel.

El primer paso a seguir es separar las viviendas según la pertenencia al cerro o al plan de la ciudad evaluada. El trato a cada una de ellas es el mismo, por esta razón solo se detalla el modo de utilización de las planillas para las viviendas pertenecientes al plan de la ciudad en cuestión.

Para obtener el resultado final es necesaria la utilización de 2 planillas. La primera relacionada con la elección de la malla y la otra con el cálculo de la intensidad.

En la planilla “Elección Malla”, existen 7 pestañas de las cuales 4 sirven para el cálculo y las otras 3 para guardar los resultados.

El primer paso es pegar en la pestaña “Plan” las coordenadas de las viviendas con su respectivo grado de daño y clasificación del tipo de vivienda. En la Tabla A-11 se puede apreciar la forma en que deben ser ingresados los nodos.

Tabla A-11: Ingreso de Nodos en Planilla.

N°	X	Y	Grados de Daño	Tipo de Edificio
1	534514	197433	3	A
2	536401	191260	3	A
3	539831	180035	3	A
4	539945	179661	4	A
5	540774	176949	4	A
6	540860	176668	4	A

La planilla tiene una capacidad máxima de 410 viviendas, de querer utilizar un número mayor, es necesario variar el rango de la base de datos utilizada en la fila 7 en el comando BDCONTAR.

El siguiente paso es elegir el tamaño de las aristas de cada cuadrado perteneciente a la Malla, para ello es necesario variar la celda B10 teniendo en consideración no superar el número máximo de filas y columnas. Lo anterior se puede apreciar en la Ilustración A.5.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Max X	588576		Max Y	357067		
2	Min X	296157		Min Y	137569		
3							
4							
5	Tamaño Malla				Unidad para la densidad	1 m2	
6	X	292419			3	2 Km2	
7	Y	219498			Correcto	3 Ha	
8							
9							
10	Arista Cuadrado	10000			Area Malla	4 Ha	
11	Nº Filas	21 y		Max 25			
12	Nº Columnas	29 x (fijo)		Max 38			
13		609					
14							
15	Malla						
16	Nº	X	Y	Nº de Casas	Densidad		
17	1	296157	357067	34	8,500	1	
18	2	296157	347067	35	8,750	2	
19	3	296157	337067	6	1,500	3	
20	4	296157	327067	9	2,250	4	
21	5	296157	317067	5	1,250	5	
22	6	296157	307067	0	0,000	6	
23	7	296157	297067	0	0,000	7	
24	8	296157	287067	0	0,000	8	
25	9	296157	277067	0	0,000	9	
26	10	296157	267067	0	0,000	10	
27	11	296157	257067	0	0,000	11	
28	12	296157	247067	0	0,000	12	
29	13	296157	237067	0	0,000	13	
30	14	296157	227067	0	0,000	14	
31	15	296157	217067	0	0,000	15	
32	16	296157	207067	0	0,000	16	

Ilustración A.5: Elección del tamaño de la Malla.

El siguiente paso es presionar el botón “Calcular” en la pestaña “Malla Densidad”, esperar el procesamiento de datos y luego observar los resultados en la pestaña “Malla Final”. En ella, aparecen el número de viviendas que serían consideradas en el cálculo de la intensidad.

Para poder apreciar de mejor forma estos resultados, en las celdas B39 y B40 de la pestaña “Malla Final” se pueden variar los límites de tal manera de hacer cambiar los colores y tener una apreciación gráfica de la cantidad de viviendas consideradas por cada nodo. Todo lo anterior se puede apreciar de mejor forma en las siguientes ilustraciones.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				x	y			Calcular		
2		nudo	950	0	0					
3										
4										
5				Verificación de Pertenencia al Cuadrante						
6	X	Y	Grados de Daño	Tipo de Edificio	Verf X	Verf Y	Control	Tipo de Edificio	Grados de Daño	Claves Tipo de edificio
7	534514	197433	3,01	A	0	0	0	A	3,01	1
8	536401	191260	3,01	A	0	0	0	A	3,01	1
9	539831	180035	3,01	A	0	0	0	A	3,01	1
10	539945	179661	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
11	540774	176949	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
12	540860	176668	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
13	541460	174704	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
14	541575	174330	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
15	541775	173675	2,01	A	0	0	0	A	2,01	1
16	542032	172833	3,01	A	0	0	0	A	3,01	1
17	535873	177846	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
18	536861	177638	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
19	538344	177325	2,01	A	0	0	0	A	2,01	1
20	546110	175689	2,01	A	0	0	0	A	2,01	1
21	546251	175659	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
22	546463	175614	1,00	A	0	0	0	A	1,00	1
23	546886	175525	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
24	547098	175480	2,01	A	0	0	0	A	2,01	1
25	549711	174930	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
26	550911	174677	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
27	545972	175848	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
28	545705	173982	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
29	545305	171184	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
30	522752	190692	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
31	531420	188272	5,02	A	0	0	0	A	5,02	1
32	531948	188125	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1
33	532160	188066	4,01	A	0	0	0	A	4,01	1

Ilustración A.6: Elección del tamaño de la Malla, Cálculo.

Microsoft Excel - 1.- Elección Malla - Plano - Vív A

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? Adobe

Arial 10 N K S

H38

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											

	X	1	2	3	4	5	6	7	8
1		34	34	1					
2		35	35	1					
3		6	33	40	29	22	8	6	
4		9	43	58	64	79	62	35	
5		5	12	18	43	77	105	129	
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									

Malla Densidad Plano Densidad **Malla Final** 16 Ha 64 Ha 256 Ha

Dibujo Autoformas

Ilustración A.7: Elección del tamaño de la Malla, Resultados.

En caso de estar conforme con el resultado, se recomienda pegarlo en alguna de las pestañas rojas.

Una vez elegida la Malla a utilizar se procede a utilizar la planilla “Cálculo MSK Nodos”.

Los procedimientos son semejantes a los descritos anteriormente, el primer paso es pegar las viviendas a analizar en la pestaña “Plan”, tal y como se realizó para la Planilla Elección de la Malla. El número máximo de viviendas a considerar se puede variar de la misma forma que en la otra planilla cambiando los límites de la base de datos en la fila 7 en los comandos BDCONTAR y BDPROMEDIO.

En segundo lugar, es necesario ingresar el tamaño de la arista del cuadrado de la Malla en la Celda B10. Este valor es elegido según lo obtenido en la Planilla Elección de la Malla.

El paso final, es presionar el botón “Calcular”, esperar el procesamiento de datos y observar los resultados finales en la pestaña “Malla Final”.

En la Ilustración A.8, las celdas destacadas corresponden a los nodos con sus respectivas Intensidades. En la celda B14 se debe colocar el número mínimo de viviendas a considerar en el cálculo, el cual en caso de que el nodo contenga un número menor de viviendas, arroja el resultado “Pocas Casas”.

Finalmente para el trazado de las Isosístas, se recomienda la utilización del programa Civilcad (Autocad), el cual reconoce archivos de texto (Bloc de Notas) en donde pueden pegarse las coordenadas de los nodos con sus respectivas Intensidades. No es necesario excluir las viviendas que tienen pocas casas, el programa no reconoce el texto, omitiendo estos nodos.

Con los datos ya almacenados, lo restante sería importarlos al programa y realizar el trazado de las Isosístas.

Microsoft Excel - 2.- Cálculo MSK Nodos - Plano - Viv A

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? Adobe PDF

Arial 10

A15 f Malla

	A	B	C	D	E	F	G
1	Max X	588576		Max Y	357067		
2	Min X	296157		Min Y	137569		
3							
4							
5	Tamaño Malla				Unidad para la densidad	1 m2	
6	X	292419				3	2 Km2
7	Y	219498			Correcto		3 Ha
8							
9							
10	Arista Cuadrado	40000			Area Malla	64 Ha	
11	Nº Filas		5 y				
12	Nº Columnas		7 x				
13			35				
14	Minimos de Casas		20				
15	Malla						
16	Nº	X	Y	Indice MSK	Nº de Casas		
17	1	296157	357067	7,96	34		
18	2	296157	317067	7,92	35		
19	3	296157	277067	Pocas Casas	6		
20	4	296157	237067	Pocas Casas	9		
21	5	296157	197067	Pocas Casas	5		
22	6	296157			No Hay Casas		
23	7	296157			No Hay Casas		
24	8	296157			No Hay Casas		
25	9	296157			No Hay Casas		
26	10	296157			No Hay Casas		
27	11	296157			No Hay Casas		
28	12	296157			No Hay Casas		

Indice MSK Plano Malla Final

Dibujo Autoformas

Ilustración A.8: Cálculo de Intensidad, Resultados.