

Tabla de contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Objetivos.....	3
1.1.1.	Objetivo General.....	3
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	3
1.2.	Metodología.....	4
1.2.1.	Revisión Bibliográfica:.....	4
1.2.2.	Recopilación de una base de datos.....	4
1.2.3.	Cálculo de las razones H/V de espectro de respuesta.....	4
1.2.4.	Clasificación de suelos.....	4
1.2.5.	Efecto de Sitio.....	5
1.2.6.	Procedimiento para generar espectros de respuesta en suelo.....	5
2.	Marco teórico y empírico.....	6
2.1.	Función de transferencia.....	6
2.2.	Razón espectral H/V.....	8
2.2.1.	Teoría de la razón espectral H/V.....	8
2.2.2.	Razón espectral en la práctica.....	9
2.3.	Período predominante.....	12
2.4.	Nivel de amplificación.....	14
2.5.	Clasificación de suelos.....	14
3.	Base de Datos.....	17
3.1.	Catálogo de registros de aceleraciones.....	17
3.2.	Estructura de la compilación de la información.....	18
3.3.	Catálogo de registros base.....	19
3.4.	Procesamiento de señales.....	22
3.4.1.	Elección de frecuencia de corte del filtro pasa alto y periodo largo admisible.....	26
3.4.2.	Elección de frecuencia esquina de filtro pasa bajo.....	29
4.	Efecto de Sitio.....	31
4.1.	Calculo de HVRSR.....	31
4.2.	Clasificación de suelo.....	32
4.2.1.	Clasificación de suelo según la forma.....	32

4.2.2.	Clasificación de suelo según el período	35
4.3.	Parametrización de la forma de la razón espectral H/V.....	35
4.4.	Función de amplificación, desde sitio de referencia a suelo.....	42
4.5.	Parámetros que describen la amplificación.....	45
4.5.1.	Velocidad de onda de corte en los 30 primeros metros superficiales.....	46
4.5.2.	Técnica de Nakamura	47
5.	Validación.....	50
5.1.	Modelo con HVRSR.....	50
5.2.	Modelo con técnica de Nakamura.....	54
5.3.	Relación entre parámetros y la amplificación del HVRSR	56
5.4.	Comparación de los tres modelos	60
5.5.	Validación con curvas de atenuación.....	62
6.	Discusión	67
7.	Conclusiones y recomendaciones	69
7.1.	Conclusiones	69
7.2.	Recomendaciones	71
8.	Bibliografía.....	72
	Apéndices	74
A.	Información base de datos	74
A.1.	Catálogo de eventos sísmicos	74
A.2.	Catálogo de estaciones sísmicas	79
A.3.	Información general de los registros y procesamiento	84
B.	Razones espectrales H/V	132
C.	Utilización de la base de datos	152

Índice de tablas

Tabla 2.1: Resumen de Clasificaciones de suelos de otros autores, donde T^* es el período predominante.	16
Tabla 4.1: Descripción de las categorías de la clasificación de suelos según la forma de la razón espectral.	33
Tabla 4.2: Descripción de las categorías de la clasificación de suelos según el periodo del peak (T_p).	35
Tabla 4.3: Pares de estaciones cercanas entre la categoría I y la categoría II, con la distancia entre estas.	44
Tabla 5.1: valor de las constantes de la ecuación (5.2)	57
Tabla 5.2: Resumen de los modelos	60
Tabla 5.3: Estaciones sísmicas seleccionadas en suelo, con los parámetros necesarios para utilizar la curva de atenuación.	63
Tabla 5.4: Modelos de áreas de ruptura propuestos por <i>Idini</i> [1].....	64
Tabla A.1: Información general de los eventos sísmicos.	74
Tabla A.2: Información general de las estaciones sísmicas.	79
Tabla A.3: Estación y evento asociada a cada registro con su frecuencia de muestreo respectiva, además de las frecuencias esquinas utilizadas en la aplicación de filtros.	84

Índice de figuras

Figura 2.1: Esquema simplificado para calcular la función de transferencia y las razones espectrales H/V.....	9
Figura 2.2: (a) Promedio del HVRSR para las estaciones de la categoría I, con amplificación plana constante propuesta que representa al promedio. (b) Razón entre componentes verticales para los pares de estaciones entre la categoría I y la categoría II, con el promedio de las amplificaciones y una amplificación propuesta que representa al promedio.	10
Figura 3.1: Estructura de datos de los registros, catálogo de estaciones y catálogo de eventos. Donde se muestran con el mismo nombre de las variables utilizadas en la compilación hecha para ser procesados en MATLAB.	18
Figura 3.2: Distancias al hipocentro versus PGA para diferentes rangos de magnitud M_w	21
Figura 3.3: Muestra general de los registros utilizados, en función de la distancia al hipocentro y la magnitud M_w	22
Figura 3.4: Ubicación de las estaciones sísmicas del catálogo ocupadas en este estudio, en la zona norte I.....	23
Figura 3.5: Ubicación de las estaciones sísmicas del catálogo ocupadas en este estudio, en la zona norte II.	24
Figura 3.6: Ubicación de las estaciones sísmicas del catálogo ocupadas en este estudio, en la zona centro.	25
Figura 3.7: Ubicación de las estaciones sísmicas del catálogo ocupadas en este estudio, en la zona sur.	26
Figura 3.8: Desplazamiento de la componente horizontal de un registro en la estación C26O, para distintos valores de frecuencia esquina aplicados con el filtro pasa alto.	27
Figura 3.9: Espectro de Respuesta de Desplazamiento con 5% de amortiguamiento, de la componente horizontal de un registro en la estación C26O, para distintos valores de frecuencia esquina aplicados con el filtro pasa alto.	28
Figura 3.10: Espectros de Fourier de la componente horizontal de un registro en la estación C26O, mostrando la frecuencia en dos escalas distintas para apreciar el efecto de los filtros, con escala logarítmica en el caso del filtro pasa alto (a), y escala lineal para el efecto el filtro pasa bajo (b).	29

Figura 4.1: Ejemplo de forma para cada categoría, (a) categoría I de forma plana, (b) categoría de un solo peak, (c) categoría III de múltiples peaks, (d) categoría VI de amplificación en banda ancha.	33
Figura 4.2: Desviación estándar del HVRSR de cada registro al HVRSR promedio de la estación por categoría. (a) categoría I de forma plana, (b) categoría de un solo peak, (c) categoría III de múltiples peaks, (d) categoría VI de amplificación banda ancha.	34
Figura 4.3: Parametrización general de la forma de HVRSR con los parámetros que la describen.	36
Figura 4.4: Relación entre la amplificación Aa y la amplificación del peak Ap (a), relación entre la amplificación Aa y el periodo del peak Tp (b), además se muestra una regresión lineal de los datos para cada caso.	37
Figura 4.5: La amplificación Aa en función de la amplificación del peak Ap y el período del peak Tp , con una regresión multilínea.	37
Figura 4.6: Relación entre la pendiente Ma y la amplificación del peak Ap , junto con una regresión lineal de los datos.	38
Figura 4.7: Relación entre la amplificación Ab y la amplificación del peak Ap (a), relación entre la amplificación Ab y el periodo del peak Tp (b), además se muestra una regresión lineal de los datos para cada caso.	38
Figura 4.8: La amplificación Ab en función de la amplificación del peak Ap y el período del peak Tp , con una regresión multi-línea.	38
Figura 4.9: Relación entre la pendiente Mb y la amplificación del peak Ap , junto con una regresión lineal de los datos.	39
Figura 4.10: Modelo propuesto para la forma HVRSR.	40
Figura 4.11: Comparación de la forma de la razón espectral H/V , entre el promedio del HVRSR promedio para la estación C26O y la obtenida a partir del modelo $\mu H/V$	41
Figura 4.12: Error del modelo $\mu H/V$ con respecto al promedio del HVRSR para cada estación de la categoría II y el promedio de estos errores (a), Desviación estándar del modelo $\mu H/V$ con respecto al HVRSR promedio de las estaciones (b).	41
Figura 4.13: Desviación estándar por rangos de período, equivalentes a la categorización por períodos.	42
Figura 4.14: Ubicación de los pares de estaciones cercanas, el color verde indica que es una estación sísmica de la categoría I, y el color rojo indica que es una estación sísmica de la categoría	

II. Donde los pares de estaciones están aproximadamente a la misma distancia de la fosa marina.	43
Figura 4.15: (a) A_p HVRSR en función de los V_{s30} disponibles para las estaciones de la categoría II. (b) Período del peak T_p en función de los V_{s30} disponibles para las estaciones de la categoría II.	46
Figura 4.16: (a) Amplificación del peak de la función de amplificación observada para los pares de estaciones, en función de los V_{s30} disponibles en las estaciones sísmicas en suelo. (b) Período del peak de la función de amplificación observada para los pares de estaciones, en función de los V_{s30} disponibles para las estaciones sísmicas en suelo.	47
Figura 4.17: Relación entre la amplitud del peak A_p de HVRSR comparado con la amplitud del peak de HVSR (a). Relación entre el periodo del peak T_p por HVRSR comparado con el período del peak de HVSR (b).....	48
Figura 4.18: Comparación de la forma de las razones espectrales H/V obtenidas de los espectros de respuesta, con las obtenidas por el método de Nakamura para las estaciones disponibles.	49
Figura 5.1: Comparación entre el espectro de respuesta de aceleraciones medidas en la estación sísmica ubicada en suelo, y el espectro predicho obtenido a partir de un espectro de referencia amplificado por la función de amplificación estimada, para los trece pares de estaciones sísmicas cercanas.	50
Figura 5.2: Comparación entre el espectro de respuesta de aceleraciones medidas en la estación sísmica ubicada en suelo, y el espectro predicho obtenido a partir de un espectro de referencia amplificado por la función de amplificación, para los trece pares de estaciones sísmicas cercana.	51
Figura 5.3: Comparación entre la función de amplificación observada y la función de amplificación estimada con el modelo, para los trece pares de estaciones sísmicas cercanas.	53
Figura 5.4: Comparación entre la función de amplificación promedio observada y la función de amplificación estimada con el modelo 2, usando el período y amplitud del peak de HVSR, para los siete pares de estaciones sísmicas cercanas con HVSR disponibles.	54
Figura 5.5: Comparación entre el espectro de respuesta de aceleraciones medido en la estación sísmica ubicada en suelo, y el espectro predicho obtenido a partir de un espectro de referencia amplificado por la función de amplificación del modelo 2, para los siete pares de estaciones. ...	55
Figura 5.6: Relación entre los parámetros del período y amplitud del peak de HVSR y el V_{s30} con la amplificación del peak A_p del HVRSR, con una regresión multilínea entre ellos.	57

Figura 5.7: Comparación entre la función de amplificación promedio observada y la función de amplificación estimada con el modelo 3 usando el peak de amplificación a partir de la ecuación (5.2), para los siete pares de estaciones sísmicas cercanas con HVSR y Vs30 disponibles.	58
Figura 5.8: Comparación entre el espectro de respuesta de aceleraciones medido en la estación sísmica ubicada en suelo, y el espectro predicho obtenido a partir de un espectro de referencia amplificado por la función de amplificación del modelo 3, para los siete pares de estaciones. ...	59
Figura 5.9: Desviación estándar (a) y Error (b) entre la función de amplificación promedio observada y la estimada para los tres modelos: el modelo 1 utiliza como entrada los parámetros del peak de HVRSR, el modelo 2 con el período y amplitud del peak de HVSR y modelo 3 usando la amplificación de la ecuación (5.2).....	61
Figura 5.10: Desviación estándar total para los tres modelos, a partir de la desviación estándar para cada par de estaciones.....	62
Figura 5.11: Esquema del modelo del Área de ruptura propuesto por <i>Idini</i> [1].	63
Figura 5.12: Áreas de ruptura propuestas y estaciones sísmicas seleccionas para realizar la comparación con las curvas de atenuación. En color rojizo se muestra el área de ruptura para el terremoto de Iquique 2014, en color verdoso se muestra el área de ruptura del terremoto de Illapel 2015 y en color azulado se muestra el terremoto del Maule 2010.	65
Figura 5.13: Comparación entre el espectro de respuesta de aceleraciones observado en la estación sísmica ubicada en suelo, y el espectro predicho obtenido a partir de un espectro de referencia obtenido a partir del modelo de curvas de atenuación, multiplicado por la función de amplificación estimada, para las diez estaciones sísmicas seleccionadas.	66
Figura B.1: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	132
Figura B.2: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	133

Figura B.3: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	134
Figura B.4: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	135
Figura B.5: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	136
Figura B.6: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	137
Figura B.7: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	138
Figura B.8: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	139
Figura B.9: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que	

pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II..... 140

Figura B.10: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II..... 141

Figura B.11: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II..... 142

Figura B.12: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II..... 143

Figura B.13: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II..... 144

Figura B.14: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II..... 145

Figura B.15: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se

expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	146
Figura B.16: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	147
Figura B.17: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	148
Figura B.18: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	149
Figura B.19: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	150
Figura B.20: Razones espectrales H/V de los espectros de respuesta de aceleraciones con 5% de amortiguamiento para las estaciones sísmicas con 3 o más registros. Indicando la categoría a la que pertenece la estación, junto con el periodo predominante si pertenece a la categoría II. También se expone la forma del modelo μHV para todas las estaciones solo a modo de ilustración, siendo solo válida para las estaciones de la categoría II.....	151