

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA



**CLASIFICACIÓN GEOFÍSICA Y GEOTÉCNICA DE SUELOS EN LA CIUDAD DE
HUACHO (LIMA) APLICANDO LA NORMA DE CONSTRUCCIÓN
SISMORRESISTENTE E-030**

Tesis Presentada por la Bachiller en
Ciencias Geofísicas:

VILMA NINA FIGUEROA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEOFÍSICO

Asesor Interno: Dr. Jorge Soto Vásquez
Asesor Externo: Dr. Hernando Tavera H.

AREQUIPA - PERÚ

2016

Dedicatoria

A mis padres por brindarme su amor y confianza en cada momento de mi vida.

A mis hermanos por estar siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTO

Agradecer al Instituto Geofísico del Perú, por el financiamiento de mi tesis, a la Sub Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida, por brindarme la oportunidad de poder realizar la presente tesis.

De manera especial a mi asesor al Dr. Hernando Tavera H. por su valiosa enseñanza, apoyo y confianza en mí trabajo, los cuales han sido un aporte invaluable para la realización de esta tesis.

A los profesores de la Universidad Nacional de San Agustín de la facultad de Ingeniería Geofísica, por sus enseñanzas y compartir sus experiencias.

A mi familia, gracias por estar siempre allí, apoyándome, a mi Papá gracias por enseñarme, demostrarme que si se puede e incentivar siempre en mi superación; con el apoyo de ustedes todo se hizo más fácil.

Finalmente agradecer a mis amigos y compañeros de la Unidad de Sismología e Ingeniería Sísmica que de una u otra manera han contribuido con la culminación del presente trabajo, gracias por su amistad, compañerismo y su gentil colaboración.

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO

INDICE

RESUMEN	
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Ubicación del área de estudio	3
1.1.1. Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Huacho	4
1.2. Justificación	7
1.3. Formulación del Problema	7
1.4. Alcances y Limitaciones	8
1.4.1. Alcances	8
1.4.2. Limitaciones	8
1.5. Variables	8
1.5.1. Variable Independiente	8
1.5.2. Variable Dependiente	8
1.6. Objetivos	8
1.6.1. Objetivo general	8
1.6.2. Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO II	10
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL AREA URBANA DE HUACHO	10
2.1. Geología	10
2.1.1. Rocas volcánicas	12
2.1.2. Rocas intrusivas	12
2.1.3. Depósitos cuaternarios	12
2.2. Geomorfología	14
2.2.1. Unidades geomorfológicas	15
2.3. Geodinámica	18
2.3.1. Movimientos en Masa	18
2.3.2. Procesos Erosivos	22
2.4. Aspectos Geotécnicos	24
2.4.1. Calicatas	24
2.4.2. Clasificación de Suelos SUCS	27
2.4.3. Capacidad Portante	30
2.5. Resultados	33

CAPÍTULO III	34
MARCO TEÓRICO	34
3.1. Tipos de ondas elásticas	34
3.1.1. Ondas de Volumen	34
3.1.2. Ondas sísmicas superficiales	36
3.2. Sismicidad Regional	37
3.3. Vulnerabilidad	38
3.3.1. Factores	39
3.4. Diseño Sismorresistente y Dinámica de Suelos	40
3.5. Condiciones dinámicas del suelo	40
3.6. Norma Peruana Sismorresistente E-030	41
3.7. Clasificación de suelos – Norma E-030	44
3.8. Características mecánicas de suelos – Norma E-030	46
3.9. Metodologías para la Caracterización de Suelos	48
3.9.1. Geofísica	48
3.9.1.1. Microtemores	49
3.9.1.2. Análisis del Comportamiento de las Ondas Superficiales	57
3.9.1.3. Método de Resistividades	63
CAPÍTULO IV	67
TÉCNICAS GEOFÍSICAS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	67
4.1. Técnica de cociente sísmico espectral H/V	67
4.1.1. Instrumentación utilizada	69
4.1.2. Procesamiento de señales	71
4.1.3. Resultados	93
4.2. Técnica de arreglos sísmicos lineales MASW	95
4.2.1. Procesamiento de datos	98
4.2.2. Análisis de la curva de dispersión e inversión	99
4.2.3. Resultados	110
4.3. Técnica de tomografía eléctrica	112
4.3.1. Equipo requerido en la técnica de tomografía eléctrica	112
4.3.2. Procesamiento e Interpretación	113
4.3.3. Resultados	124
CAPÍTULO V	126
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	126
5.1. Análisis de resultados	126
5.2. Zonificación sísmica – Geotécnica	127

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	: Ubicación geográfica de la ciudad de Huacho, distrito de Huacho y provincia de Hualay, Departamento de Lima	4
Figura 2	: a) Zona urbana de la ciudad de Huacho en el año 1961 (círculo) y .b) En la actualidad, la zona urbana ocupa toda la llanura aluvial con crecimiento en dirección Este.	6
Figura 3	: Mapa geológico de la ciudad de Huacho.	11
Figura 4	: Traza de falla geológica de tipo inversa en estratos delgados de limolita, A.H. Atalaya	12
Figura 5	: Intercalación de limos y gravas presentes en superficies cercanas al distrito de Hualmay.	13
Figura 6	: Terraplén de 2 metros de espesor sobre el nivel natural del terreno.	14
Figura 7	: Mapa geomorfológico de la ciudad de Huacho	16
Figura 8	: Ciudad de Huacho. Colinas presentes en el extremo Este del área de estudio. Sobresalen las colinas Montero y Vispán	15
Figura 9	: Ciudad de Huacho. Acantilado Punta Viuda (lavas andesíticas) con desnivel de 30 metros. La flecha indica la ubicación del A.H. Manzanares	17
Figura 10	: Playa León Dormido. La línea de color amarillo indica el límite de esta unidad	18
Figura 11	: Mapa geodinámica para la ciudad de Huacho	19
Figura 12	: Bloques de piedras susceptibles a caer en los acantilados de Punta Viuda	20
Figura 13	: Rocas volcánicas que suprayacen a suelos sedimentarios conformando el cerro Vispán. Las flechas amarillas indican la dirección de caída de bloques inestables.	20
Figura 14	: Derrumbes en taludes conformados por depósitos aluviales. Ellos se encuentran en el límite de los distritos de Caleta Carquin y Huacho.	21
Figura 15	: Zona de alta susceptibilidad a la ocurrencia de derrumbes (flechas en amarillo). La flecha de color rojo indica la zona de apuntalamiento de viviendas.	21
Figura 16	: Erosión del litoral en la playa de Caleta Carquin	22
Figura 17	: En playa Carquin, las olas llegan hasta la Av. Industrial	22
Figura 18	: Evidencias del fracturamiento del terreno en el A.H. Atalaya debido al asentamiento del mismo.	23

Figura 19	: Mapa de ubicación de calicatas y puntos de posteo de suelos en la ciudad de Huacho	26
Figura 20	: Mapa de clasificación SUCS de suelos en la ciudad de Huacho.	29
Figura 21	: El mapa muestra la clasificación de suelos en tres rangos de capacidad portante: alto ($>3 \text{ kg/cm}^2$), medio ($2-3 \text{ kg/cm}^2$) y bajo ($1-2 \text{ kg/cm}^2$) para la ciudad de Huacho	32
Figura 22	: Esquema de propagación de la Onda P	35
Figura 23	: Esquema de propagación de la Ondas S	35
Figura 24	: Esquema de propagación de la Onda Love y dirección de propagación	36
Figura 25	: Esquema de propagación de la Onda Rayleigh	37
Figura 26	: a) Daños estructurales debido al desplazamiento de la losa de cimentación, b) Daños estructurales debido al desplazamiento de la cimentación en Concepción	39
Figura 27	: Ondas sísmicas que causan las vibraciones ambientales registradas en la superficie para obtener la relación espectral H/V	52
Figura 28	: Señal de vibración ambiental registrada en sus tres componentes EO, NS y V.	54
Figura 29	: Señales de microvibración con solape de ventanas de 10 % y 30 %.	54
Figura 30	: Ventana deslizante y registro de señal a usarse en el proceso de cálculo del espectro FFT	55
Figura 31	: Espectro FFT promediado para cada componente del registro de vibración ambiental	55
Figura 32	: Razón H/V promediada.	55
Figura 33	: a) Comparación de la técnica H/V estándar, b) H/V incorporando la función de suavizado Konno y Ohmachi.	56
Figura 34	: Velocidad de fase para distintas longitudes de ondas en un semi-espacio homogéneo (izquierda) y en un medio estratificado (derecha) (Strobbia, 2003)	58
Figura 35	: Diagrama de adquisición de datos de refracción sísmica MASW	59
Figura 36	: Organigrama de la técnica de análisis multicanal MASW	60
Figura 37	: Esquema para la adquisición de datos con la técnica MASW	61
Figura 38	: Curva de dispersión	62
Figura 39	: Inversión de la curva de dispersión	63
Figura 40	: Diferentes tipos de materiales y sus respectivas resistividades	64

Figura 41	:	La configuración multielectrodica de tomografía de resistividad eléctrica	66
Figura 42	:	Mapa de la ciudad de Huacho y distribución espacial de 370 puntos de registro de vibración ambiental	68
Figura 43	:	Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz y registradores CityShark	69
Figura 44	:	Ejemplo de selección de ventanas y cociente espectral H/V. a) se identifica una banda de frecuencias predominantes. b) no resalta ninguna frecuencia predominante. La línea gruesa negra indica el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar	70
Figura45	:	Ejemplo de la ficha H/V para el punto HCH-086 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio razón espectral H/V (en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua) y Espectrograma Abajo: resultados.	72
Figura 46	:	Mapa de la ciudad de Huacho y distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F_p < 3.0$ Hz). Los puntos rojos corresponden a ejemplos de H/V de las Figuras 51.	75
Figura 47a	:	Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos ubicados en el extremo sur (HCH-92, HCH-96) y norte (HCH-231) de la ciudad de Huacho. El rango de frecuencias predominantes es $F_p < 3.0$ Hz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante	76
Figura 47b	:	Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos HCH-128, HCH-175, HCH-208, ubicados en el extremo Este de la zona céntrica de la ciudad de Huacho. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.	77
Figura 47c	:	Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos HCH-317, HCH-329, HCH-332, ubicados en Huaura. Las líneas continuas representan la razón espectral y las líneas discontinuas es su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante	78
Figura 47d	:	Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos HCH-165, HCH-169, HCH-186, ubicados en dirección este con respecto a la plaza de Armas de la ciudad de Huacho. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.	79

Figura 48	: Distribución de frecuencias en área en recuadro, en la cual las curvas H/V no muestran frecuencias predominantes (HCH-165; HCH - 169 y HCH-186).	81
Figura 49	: HCH-92, HCH- 96 y HCH-231, ubicados los dos primeros, en dirección sur la zona de la ciudad de Huacho y el ultimo hacia el norte, muestran el predominio de frecuencias en el rango de 1.0 – 2.0Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 3 veces y en HCH-128, HCH-175 y HCH-208, ubicados en dirección Este, con respecto al centro de la ciudad de Huacho, sobresalen frecuencias en el rango de 1.0 – 2.0Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces, siendo el punto HCH-128 el que presenta mayor amplificación y dos picos de frecuencias en el rango F0 y F1 .	82
Figura 50	: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes F1 ($3.0 > F_p < 20.0$ Hz). Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango.	85
Figura 51a	: Ejemplos de razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos HCH-166, HCH-187, HCH-189, ubicados en el extremo Este de la plaza de Armas de la ciudad de Huacho, se observa que en estos puntos no sobresale ninguna frecuencia predominante. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.	86
Figura 51b	: Ejemplos de razones espectrales (H/V) de los puntos HCH-202, HCH-255, HCH-271 ubicados hacia el extremo Norte de la ciudad de Huacho, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar, las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.	87
Figura 51c	: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en los puntos HCH-69, HCH-125, HCH-179 ubicados en el extremo Sur de la ciudad de Huacho, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar, las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.	88
Figura 51d	: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en los puntos HCH-48, HCH-106, HCH-134 ubicados en el centro de la ciudad de Huacho, próximos a la línea de costa, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar, las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.	89

Figura 51e	: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en los puntos HCH-315, HCH-327, HCH-340 ubicados en Huaura, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.	90
Figura 52	: Mapa de distribución de 3 razones espectrales de los puntos HCH-166, HCH-187 y HCH-189, para rango de las frecuencias predominantes F1 ($3.0 > F_p < 20\text{Hz}$), se observa suelos compactos y no presentan frecuencias predominantes. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.	91
Figura 53	: Mapa de distribución de 12 razones espectrales (H/V) de los puntos HCH-202, HCH-255, HCH-271, HCH-69, HCH-125, HCH-179, HCH-48, HCH-106, HCH-134 presentan hasta dos picos de frecuencia, con mayores rangos de amplitudes lo cual siguieren a suelos heterogéneos; y en los puntos HCH-315, HCH-327 y HCH-340. Presentan un solo pico de frecuencia, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.	92
Figura 54	: Mapa del área de estudio (ciudad de Huacho) y distribución espacial de los valores de periodos dominantes.	94
Figura 55	: Mapa de la ciudad de Huacho y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LR01-HCH, LR08-HCH.	96
Figura 56	: Disposición del equipo de refracción sísmica y registro obtenido	97
Figura 57	: Las pendientes planas o con ligera pendiente son adecuadas para la aplicación del método MASW. La topografía interfiere con la propagación de las ondas de superficie.	98
Figura 58	: Procesamiento de datos para hallar la curva de dispersión para cada toma	98
Figura 59a	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para los arreglos LR01-HCH (ver Figura 55)	102
Figura 59b	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para los arreglos LR02-HCH (ver Figura 55)	103
Figura 59c	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03-HCH (ver Figura 55)	104
Figura 59d	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04-HCH (ver Figura 55)	105
Figura 59e	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05-HCH (ver Figura 55)	106

Figura 59f	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR06–HCH (ver Figura 55)	107
Figura 59g	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR07–HCH (ver Figura 55)	108
Figura 59h	: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR08–HCH (ver Figura 55)	109
Figura 60	: Mapa de distribución de los resultados obtenidos con Arreglo Lineal LR01-HCH al Arreglo Lineal LR08-HCH en el área de estudio.	111
Figura 61	: Mapa de distribución de las 4 líneas de tomografía eléctrica: LE01-HCH, LE02-HCH, LE03-HCH y LE04-HCH.	116
Figura 62	: Equipo de campo requerido para la adquisición de datos de resistividad	113
Figura 63	: Escala logarítmica para interpretación de resistividad.	114
Figura 64a	: Línea de Tomografía Eléctrica LE01-HCH tomada a un 1 km de la Plaza de Armas de la ciudad de Huacho (ver Figura 65).	118
Figura 64b	: Línea de Tomografía Eléctrica LE02-HCH tomada en el extremo Este de la zona céntrica de la ciudad de Huacho (ver Figura 65)	119
Figura 64c	: Línea de Tomografía Eléctrica LE03-HCH tomada en el extremo Sur de la ciudad de Huacho (ver Figura 65)	121
Figura 64d	: Línea de Tomografía Eléctrica LE04-HCH tomada en el extremo sur de la ciudad de Huacho (ver Figura 65)	123
Figura 65	: Mapa de la distribución de los resultados obtenidos de Tomografía Eléctrica LE01-HCH a LE04-HCH en el área de estudio	125
Figura 66	: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Huacho	129

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	:	Coordenadas UTM para la identificación de las calicatas	25
Tabla 2	:	Coordenadas UTM para la identificación de los puntos de posteo	25
Tabla 3	:	Clasificación SUCS de los suelos de la ciudad de Huacho	28
Tabla 4	:	Valores de capacidad portante para las calicatas elaboradas en la ciudad de Huacho	31
Tabla 5	:	Suelos Cohesivo	45
Tabla 6	:	Parámetros de suelos	45

RESUMEN

El Perú se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, expuesto a eventos sísmicos de variada magnitud y el daño que ellos causan dependerá de la calidad de los suelos y el tipo de estructura.

Entonces, es muy importante evaluar el comportamiento de los suelos de cada área urbana frente a sismos, a partir de estudios geofísicos, geológicos y geotécnicos. Se pretende conocer las características locales de los suelos, de tal manera que la información pueda ser utilizada para la toma de decisiones respecto al ordenamiento territorial y para las acciones de gestión de riesgo.

Los resultados obtenidos en la ciudad de Huacho según la Norma Peruana Sismorresistente E-030, ha permitido identificar la existencia de 3 zonas sísmicas - geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1, S2, y S4, siendo el suelo tipo S4 el más crítico y considerado de alto riesgo.

Por ultimo obtener el Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Huacho, la cual permite conocer las características dinámicas del suelo y se constituye como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelos identificados en este estudio.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra ubicado en el borde oriental del Círculo del Fuego del Pacífico, una de las zonas de mayor actividad sísmica mundial; por lo tanto, se encuentra expuesto de manera frecuente a eventos sísmicos de gran magnitud. Según su historia sísmica, el Perú ha sido afectado de manera reiterativa por sismos de gran magnitud, produciendo daños materiales y pérdidas de vidas humanas; esto debido principalmente a que el riesgo no solo depende de las características de los eventos sísmicos, sino también de los efectos de sitio y las condiciones de vulnerabilidad de las estructuras que favorecen o facilitan que se desencadene un mayor desastre cuando se presentan estos peligros. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo.

La principal fuente generadora de los eventos sísmicos que afectan al Perú viene de la interacción de la placa de Nazca y la Sudamericana, produciendo eventos de gran magnitud, a diferentes niveles de profundidad. Asimismo, la relativa proximidad de la fuente sismogénica a la costa de Perú, hace que la intensidad del movimiento sísmico sea bastante considerable. Todas las zonas urbanas ubicadas en zona costera han sido afectadas en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en cada área. Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos con la misma o mayor intensidad.

En las últimas décadas el desarrollo urbano se incrementó considerablemente en ciertas ciudades costeras dando lugar al crecimiento descontrolado y siendo cada vez más vulnerables a los diferentes peligros y entre ellos a los sismos. En este

escenario, es necesario realizar estudios a fin de identificar áreas susceptibles a riesgo, a partir de los mapas de zonificación sísmica- Geotécnica. Los resultados que se obtengan deben estar basados en el Reglamento de la Norma Peruana Sismorresistente E-030. Asimismo, debe entenderse que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo. Los estudios de zonificación de suelos permitirán a las autoridades conocer los niveles de riesgo y exposición, importante para el proceso de formulación del plan de desarrollo en las ciudades y a la vez ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de las estructuras apropiadas para cada uno de los tipos de suelo identificados en el área de estudio.

En este estudio se ha realizado la clasificación de los suelos en la ciudad de Huacho y los resultados obtenidos deben permitir corregir y seleccionar las áreas de expansión urbana. Para conocer el comportamiento dinámico de los suelos se ha aplicado diferentes metodologías como geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas, sísmicas y geofísicas. . Los resultados obtenidos son presentados en el presente estudio.

A partir del año 2012 y dentro del programa presupuestal por resultados N° 068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres” el Instituto Geofísico del Perú (IGP) con la realización de los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica, para las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo. En el año 2013, el IGP continuó con estudios similares en las ciudades de Chimbote, Huarney, Barranca y Huacho.

El presente estudio denominado “Clasificación geofísica y geotécnica en la ciudad de Huacho (Lima) aplicando la Norma de Construcción Sismorresistente E-030” analiza las características dinámicas del suelo y los riesgos ante la ocurrencia de un evento sísmico. Este estudio se divide en cinco capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I se presenta la introducción, la ubicación del área de estudio, la justificación, el planteamiento del problema, alcances, limitaciones y los objetivos.

Capítulo II se desarrolla las características geológicas, geomorfológicas, geodinámicas y geotécnicas del área urbana de Huacho.

Capítulo III se describe los conceptos de las ondas sísmicas, sismicidad regional, vulnerabilidad, Diseño Sismorresistente de la Norma Peruana E-030, metodologías para la caracterización de los suelos, los fundamentos teóricos de la técnica de cocientes espectrales H/V, técnica de arreglos lineales (MASW) y de la técnica de tomografía eléctrica.

Capítulo IV se desarrolla las técnicas geofísicas y procesamiento de datos del área urbana de Huacho, las características del comportamiento dinámico es evaluada mediante las técnicas de Cocientes espectrales H/V, arreglos sísmicos lineales (MASW) y tomografía eléctrica.

Capítulo V se realiza el análisis e interpretación de los resultados correlacionando con las características geológicas, geomorfológicas, geodinámicas y geotécnicas, con las características de los suelos, obteniendo de esa manera el mapa de zonificación sísmica – geotécnica para el área urbana de Huacho.

Finalmente se presenta las conclusiones bibliografías obtenidas en el estudio.

1.1. Ubicación del Área de Estudio

La ciudad de Huacho está ubicada en el borde occidental de la región central del Perú, capital de la provincia de Huaura, departamento Lima y a 150 km. al norte de la ciudad de Lima, próximo a la desembocadura del río Huaura. Limita por el Oeste con el Océano Pacífico, por el Norte con el Distrito de Hualmay, por el sur con la provincia de Huaral a la altura de la quebrada de Río Seco y por el Este con el distrito de Santa María (Figura 1).

Coordenadas geográficas

Latitud: 11°06'24" S

Longitud: 77°36'18" O

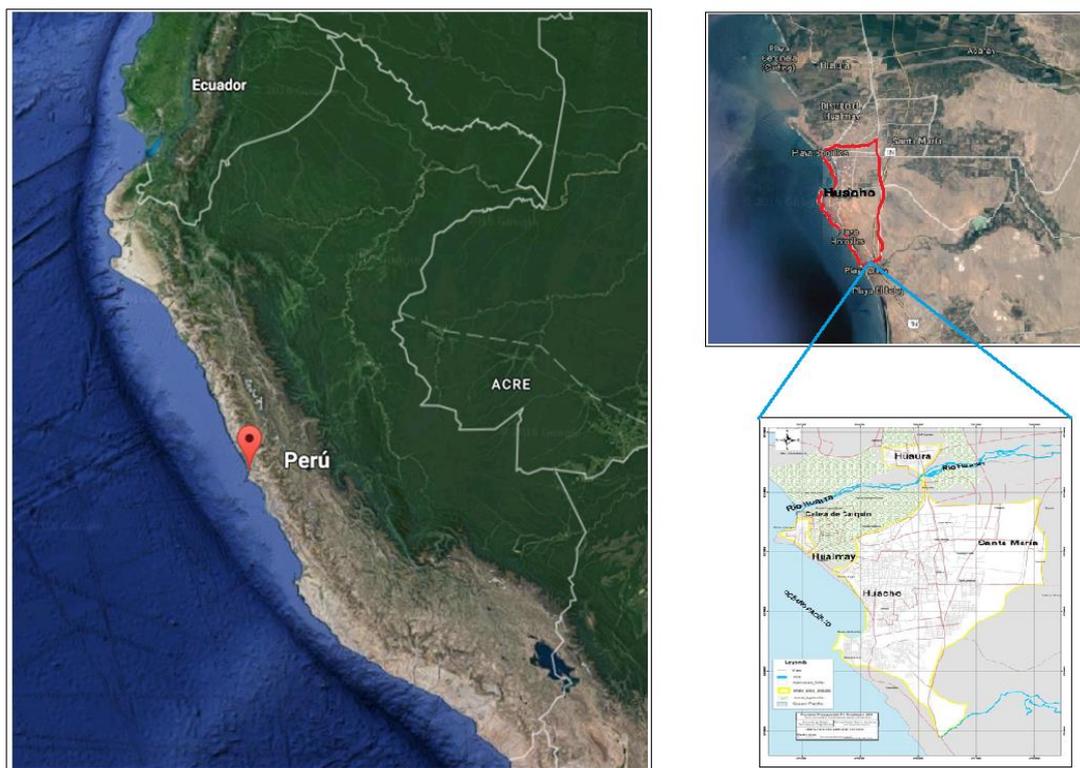


Figura 1: Ubicación geográfica de la ciudad de Huacho, distrito de Huacho y provincia de Huaura, Departamento de Lima

Su territorio es principalmente árido, con acceso al mar y elevaciones menores a 500 m.s.n.m.; es decir, es una ciudad costera con relieve prácticamente llano. Según el Instituto Nacional de estadística e informática, es la decimonovena ciudad más poblada del Perú y alberga en el año 2007, una población de 173.585 habitantes.

1.1.1. Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Huacho

El análisis multitemporal es un método que se ha utilizado para identificar, de manera visual, las zonas de expansión urbana como resultado del crecimiento del área poblada a lo largo del tiempo. Para la ciudad de Huacho, el análisis multitemporal, se realizó en base a fotografías aéreas del año 1961 (Instituto Geográfico Nacional), mapa catastral de la ciudad del año 2014 e imágenes del servidor Digital Globe (Figura 2a, 2b).

La ciudad de Huacho, entre los años 1961 y 2014 (53 años), ha tenido un crecimiento acelerado del área urbana. El año 1961, gran parte de la llanura aluvial era destinada para actividades agrícolas (90 %); mientras que, solo un 10 % lo constituía el sector urbano. Actualmente, esta relación ha cambiado drásticamente, pues se estima que un 70 % de la llanura aluvial es ocupada por el sector urbano, y el restante es destinado a la agricultura y ganadería.

La expansión urbana de la ciudad de Huacho se ha visto impulsada en dirección Este (distrito de Santa María), debido a la presencia del trayecto de la nueva Panamericana Norte, pues las viviendas se han posicionado en ambas márgenes de dicha vía. Recientemente, se observa una nueva tendencia de expansión de la ciudad en dirección Sur, con respecto a la ciudad de Huacho (Figura 2b). En este sector, en el año 1961 no se observan viviendas y en la actualidad han surgido los AA.HH Manzanares, Atalaya y Can Cun, por mencionar algunos.

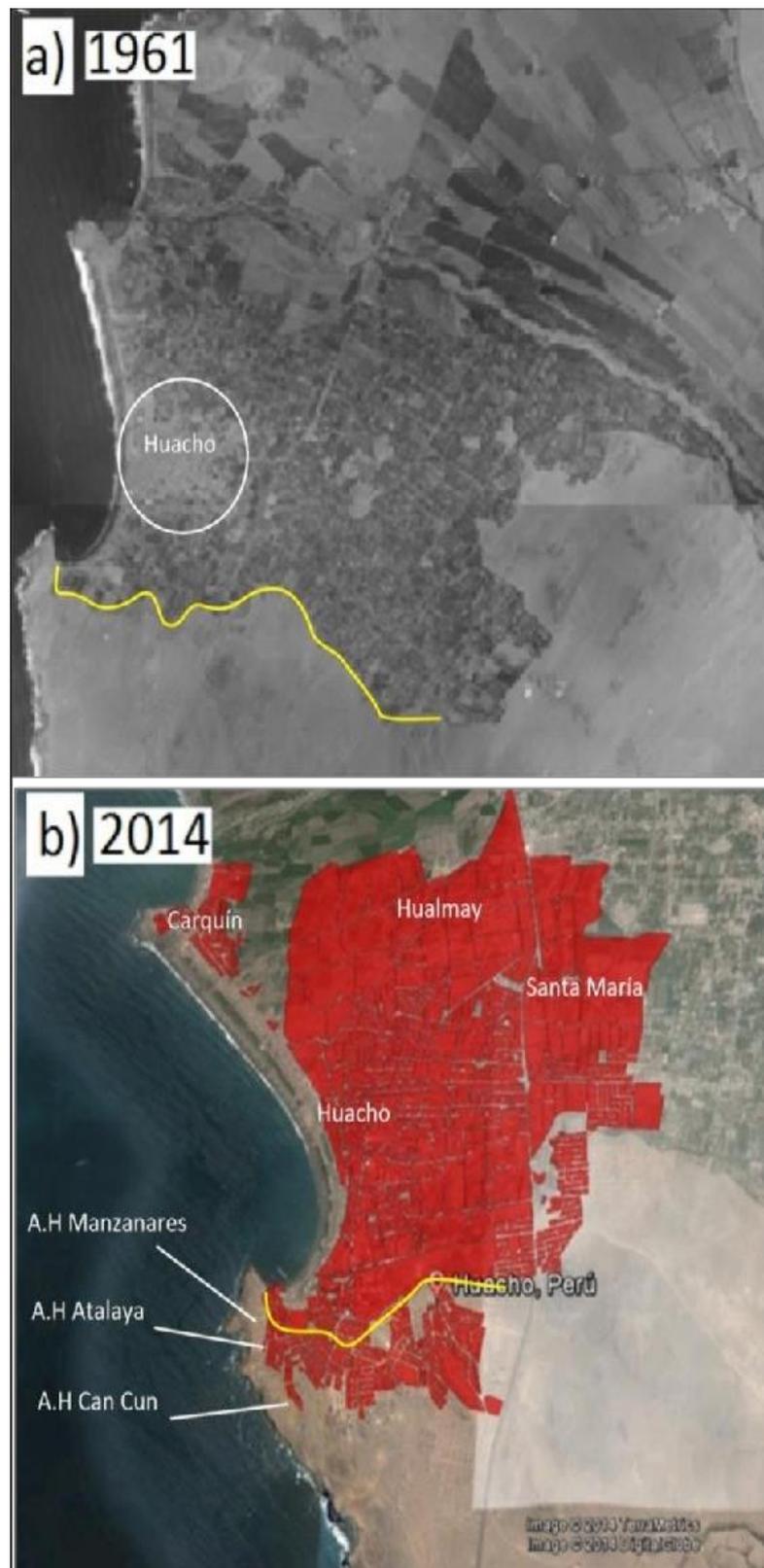


Figura 2: a) Zona urbana de la ciudad de Huacho en el año 1961 (círculo) y .b) En la actualidad, la zona urbana ocupa toda la llanura aluvial con crecimiento en dirección Este.

1.2. Justificación

La ciudad de Huacho, ubicada en una de las zonas de mayor actividad sísmica, se encuentra expuesta a peligros naturales como los sismos y tsunamis, los cuales produce efectos y daños estructurales, principalmente la pérdida de vidas humanas. Se debe entender que cuando ocurre un terremoto, este por sí mismo no produce daños, sino que simplemente sacude el suelo con mayor o menor intensidad, siendo los daños observados debido a las construcciones y a la mala calidad de los suelos; por ello se realiza estudios que permitan conocer y clasificar a los suelos a fin de proyectar obras de ingeniería y una mejor expansión urbana de las ciudades.

1.3. Formulación del Problema

El Perú por encontrarse ubicado en el Cinturón del Fuego del Pacífico, está expuesto a eventos sísmicos de gran magnitud, los cuales históricamente han producido daños en la infraestructura y pérdida de vidas humanas, lo cual provocó impactos socioeconómicos de importancia para el Perú.

En la ciudad de Huacho los sismos más trascendentales ocurrieron en los años 1940 (8.0Mw), 1966 (7.5Mw), 1970 (7.7Mw) y 1974 (7.5Mw), todos causaron altos niveles de daño en la ciudad, principalmente en construcciones precarias de adobe y quincha, además de algunos escenarios de licuación de suelos. La continua ocurrencia de sismos en el Perú ha permitido conocer que el impacto de un sismo se concentra en áreas urbanas vulnerables.

Por ejemplo, en la ciudad de Huacho se realizan obras civiles sin respaldo de estudios geofísicos y geotécnicos; por ello el área urbana se viene asentando de manera desordenada sobre terrenos agrícolas, laderas de cerros y cercanías del río Huaura y zonas de playa, sin considerar la Norma Peruana Sismorresistente E-030, lo cual ha incrementado su riesgo ante posible recurrencia de sismos. Ante esta realidad, se requiere realizar estudios para conocer la calidad de los suelos y proponer el mapa de zonificación sísmica – geotécnica para la zona urbana de Huacho.

1.4. Alcances y Limitaciones

1.4.1. Alcances

El alcance del presente estudio es analizar e identificar las características físicas y geofísicas de los suelos de la ciudad de Huacho, a fin de identificar las zonas de mayor vulnerabilidad ante peligros como los sismos.

1.4.2. Limitaciones

Las limitaciones de estudio es que provee información para el área urbana de Huacho sin considerar las zonas de futuras expansiones de la ciudad; por lo tanto este debe ser actualizado cada año.

1.5. Variables

1.5.1. Variable Independiente

Los sismos son movimientos convulsivos de la corteza y que libera energía en forma de ondas sísmicas que se propagan a través del medio solido de la tierra en el contexto. La intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente, en base a la calidad de los suelos produciendo efectos en las construcciones.

1.5.2. Variable Dependiente

Los daños que se produce en la ciudad dependen de la calidad de los suelos y de tipo de viviendas construidas; por lo tanto es importante realizar estos estudios utilizando metodologías que aseguren resultados permitidos para la clasificación de suelos.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Caracterizar los suelos de la ciudad de Huacho, a partir de la recolección y análisis de parámetros geofísicos, geológicos y geotécnicos. Los suelos son clasificados usando la Norma de Construcción Sismorresistente E-030.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Conocer el comportamiento dinámico de los suelos en la ciudad de Huacho (Lima), a partir de aplicación de métodos geológicos, sísmicos y geofísicos.
- Realizar la clasificación de los suelos SUCS y determinar su capacidad portante.
- Determinar la respuesta del suelo a partir de períodos dominantes, evaluación de la velocidad de ondas de corte y distribución de los valores resistivos en el subsuelo.
- Obtener el mapa de zonificación sísmica – geotécnica aplicando la Norma Sismorresistente E-030.

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL AREA URBANA DE HUACHO

Las técnicas geológicas y geotécnicas, se aplican para conocer la estructura y características del suelo en función de sus propiedades físicas. Para los estudios geológicos, geomorfológicos y geodinámicos del área urbana de la ciudad de Huacho, se ha hecho uso de la base topográfica digital a escala 1/100,000 adquiridos del Instituto Geográfico Militar (IGN), complementada con la topografía digital obtenida a partir del Modelo Digital de Elevación (MED) con una resolución de 30 metros (www.astergdem.com). La información es georeferenciada en el SIG considerando el sistema UTM y datum WGS 84, Zona 18-S. La geología y geotecnia del área urbana de Huacho lo realizó la unidad de geodinámica superficial de la Subdirección de Ciencias de la Tierra sólida, del Instituto Geofísico de Perú.

2.1. Geología

Como información base se consideró el Cuadrángulo Geológico de Huacho publicado por INGEMMET a escala 1/100,000 (Hoja: 23-h). En general, se observa que las rocas más antiguas corresponden a la Formación Casma, de naturaleza volcánica; mientras que, los materiales más jóvenes están conformados por depósitos fluviales ubicados en ambos márgenes del río Huaura. Además, en el área de estudio afloran rocas intrusivas (diorita), depósitos marinos, eólicos y aluviales, estos últimos cubren aproximadamente el 60% de la extensión del área de estudio (Figura 3).

2.1.1. Rocas volcánicas

Unidad formada por secuencias volcano-clásticas y sedimentarias del Cretáceo Inferior. Están constituidas por andesitas basálticas con texturas porfiríticas en matriz afanítica. Estas rocas se intercalan con limolitas bien estratificadas que afloran al Sur del área de estudio (Punta La Viuda, AA.HH Manzanares y Atalaya), en donde se ha identificado un fallamiento inverso bien definido y que habría originado el plegamiento de las estructuras rocosas (Figura 4). Afloramientos de esta unidad están presentes en el extremo Este de la ciudad de Huacho (distrito de Santa María), formando los cerros Montero y Vispán, por mencionar a los más importantes.



Figura 4: Traza de falla geológica de tipo inversa en estratos delgados de limolita, A.H. Atalaya.

2.1.2. Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas son del tipo diorita, resistentes a procesos erosivos, todas presentes en afloramientos que se encuentran en el extremo Norte de la ciudad de Huacho (distrito de Carquín). Ellas constituyen las superficies de mayor altitud presente en el área de estudio.

2.1.3. Depósitos cuaternarios

Depósitos marinos: Se encuentran presentes a lo largo de todo el litoral, especialmente en las playas Hornillos, Chorrillos y Carquín. Consisten en arenas de grano medio a fino que se encuentran como materiales no consolidados.

Depósitos Eólicos: Están constituidos por acumulaciones de arenas de grano fino y limos. Las arenas han sido transportadas y depositadas por la acción del viento. Estos depósitos están presentes en los extremos Sur y Este del área de estudio cubriendo zonas elevadas, tal es el caso de los cerros, Negritos y Colorado Grande.

Depósitos Aluviales: Se denomina así a los materiales que han sido transportados y depositados por acción del flujo del agua, pero a diferencia de los depósitos fluviales, presentan menor transporte. En el área de estudio se presentan como intercalaciones de limos y gravas y es común observar bancos de gravas con poco contenido de limos y arenas. Estos depósitos cubren gran parte del área de estudio y sobre ellos se han desarrollado diversas actividades agrícolas (Figura 5).



Figura 5: Intercalación de limos y gravas presentes en superficies cercanas al distrito de Hualmay.

Depósitos Fluviales: Corresponden a depósitos que han sido transportados y depositados por el río Huaura a lo largo de su cauce. En la margen derecha del río se muestran como terrazas altas; mientras que, en la margen izquierda conforman terrazas bajas, susceptibles a inundación. Los materiales que constituyen estos depósitos son gravas redondeadas y clasto - soportados con presencia de matriz areno- limosa.

Depósitos antrópicos: Están compuestos por materiales, en diferentes proporciones, tipo escombros de construcción y maleza con bajo grado de consolidación y condiciones geotécnicas no adecuadas para fines ingenieriles Figura 6.



Figura 6: Terraplén de 2 metros de espesor sobre el nivel natural del terreno.

2.2. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio son el resultado del modelado geológico causado por eventos tectónicos y procesos de geodinámica superficial. Para la identificación de las distintas geoformas presentes en el área de estudio se ha considerado el Modelo Digital del Terreno (MDT) y el mapa de pendientes. En base al MDT, la ciudad de Huacho se asienta sobre una superficie que tiene variantes topográficas hasta los 250 m.s.n.m, estando las zonas de menor elevación ubicada en dirección Oeste y las de mayor elevación hacia el Este, por ejemplo Cerro Colorado.

Pendientes: El mapa de pendientes permite identificar las distintas geoformas presentes en el terreno en base a la aplicación del algoritmo Spatial Analyst del software SIG, usando como archivo fuente el MDT generado para el área de estudio. La ciudad de Huacho se encuentra asentada sobre una superficie de variadas pendientes, siendo en algunos sectores muy altos e incluso próximos a la vertical, como es el caso de los acantilados de Punta Viuda.

2.2.1. Unidades geomorfológicas

El distrito y ciudad de Huacho se encuentra emplazado sobre una superficie de variada topografía al costado del mayor afluente hídrico de la zona, el río Huaura. En este escenario, es posible reconocer las siguientes unidades geomorfológicas (Figura 7).

Llanura Aluvial: Esta unidad es representada por un relieve plano (pendientes menores a 5°) que ha sido formado por la acción fluvial del río Huaura. Espacialmente, abarca toda la zona de estudio y en mayor porcentaje, en la zona central de la ciudad. Sobre esta unidad se asientan las zonas urbanas de los distritos de Huacho, Hualmay y Santa María. Asimismo, alberga a campos agrícolas debido a que está formada por suelos limosos que suprayacen a materiales gravosos.

Colinas: Corresponden a zonas cuya topografía presenta ondulaciones elevadas y formadas por estructuras rocosas soportaron los procesos de meteorización y erosión. De estos, el viento ha modelado los afloramientos volcano - sedimentarios que sobresalen entorno a la ciudad con elevaciones, que en algunos casos, llegan a 100 m.s.n.m. Actualmente, parte de estas áreas han sido ocupadas por asentamientos humanos, principalmente sobre las colinas Vispán y Montero, ubicados al Este del área de estudio, en el distrito de Santa María. (Figura 8).



Figura 8: Ciudad de Huacho. Colinas presentes en el extremo Este del área de estudio. Sobresalen las colinas Montero y Vispán

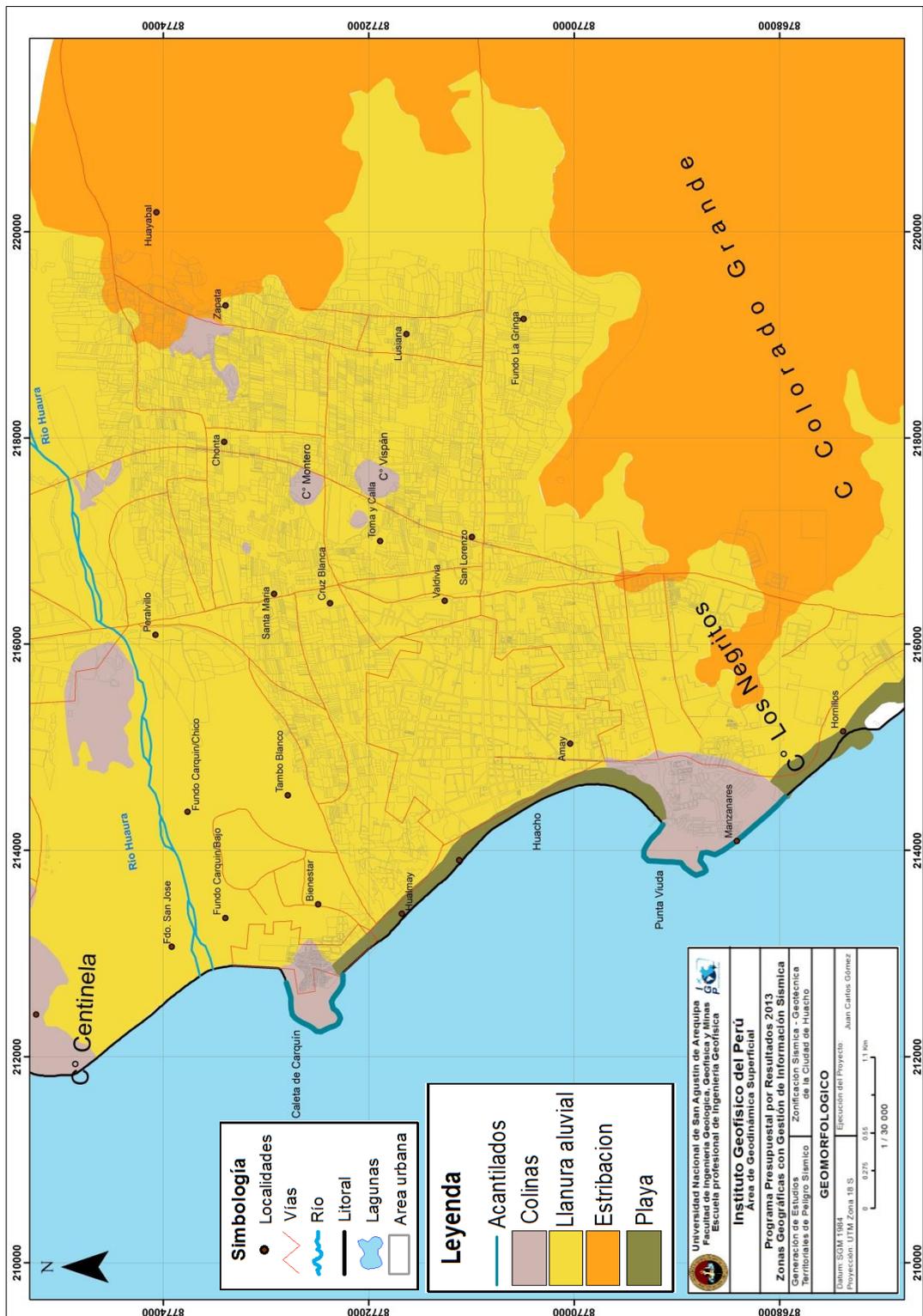


Figura 7: Mapa geomorfológico de la ciudad de Huacho

Estribaciones andinas: Son cadenas de montañas de baja altitud, que para el área de estudio representan los sectores de mayor elevación. Están presentes en los extremos Sur y Sureste de la ciudad de Huacho. En el primer sector el cerro Negritos y en el segundo, el cerro Colorado Grande.

Acantilados: Son geoformas que se caracterizan por presentar pendientes de inclinación subvertical a vertical. En el área de estudio, los acantilados se han formado como el resultado de la acción erosiva de las olas de mar sobre materiales competentes como lavas andesíticas, tal es el caso de Punta Viuda. En el extremo Norte de la ciudad, en el distrito Caleta de Carquín, también se observa la presencia de este tipo de unidad geomorfológica (Figura 9).



Figura 9: Ciudad de Huacho. Acantilado Punta Viuda (lavas andesíticas) con desnivel de 30 metros. La flecha indica la ubicación del A.H. Manzanares

Playa: Son unidades formadas por la acción erosiva de las olas y posterior acumulación o acreción de sedimentos. Estas geoformas están presentes a lo largo del litoral. En el extremo Sur de la ciudad se encuentran las playas Hornillos, Colorado, Chica y León Dormido; en el extremo Oeste (zona central), las playas Chorrillos y Huacho; en el extremo Norte, la playa Carquín (Figura 10).



Figura 10: Playa León Dormido. La línea de color amarillo indica el límite de esta unidad

2.3. Geodinámica

La geodinámica aborda todos los procesos que modelan el relieve de la superficie terrestre e incluye aquellos movimientos que se producen, ladera abajo, de una masa rocosa, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991), ver Figura 11. Asimismo, estudia los eventos de origen hidrometeorológico que generan cambios en la morfología del terreno, por ejemplo inundaciones.

2.3.1. Movimientos en Masa

En la ciudad de Huacho, como movimientos en masa se tiene a los procesos de caída de rocas y derrumbes; mientras que, como eventos de origen hidrometeorológicos, se encuentran las inundaciones fluviales. Asimismo, es posible considerar a los procesos de asentamientos de tierra y erosiones marinas.

En la ciudad de Huacho se distingue los siguientes tipos de movimientos de masa:

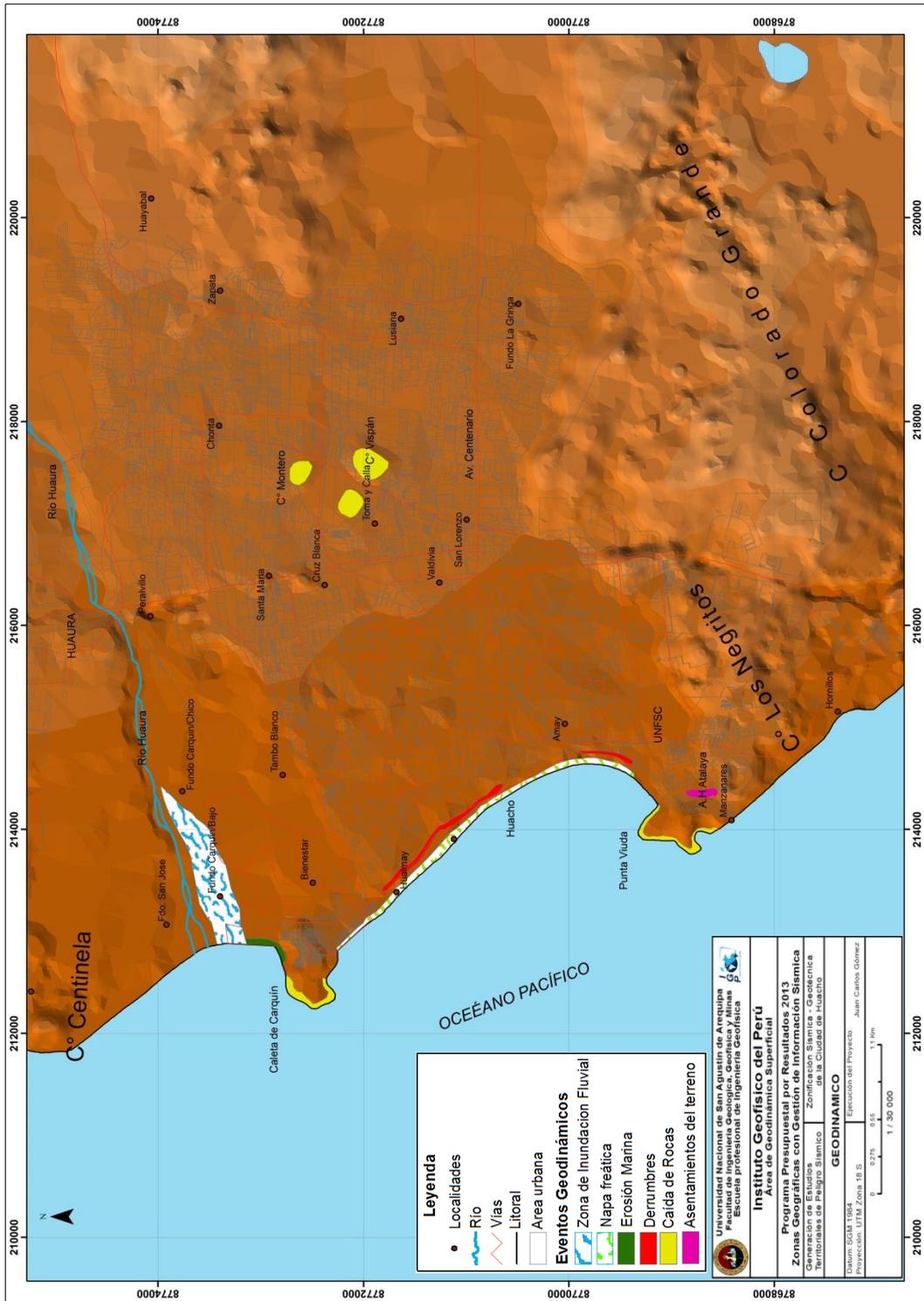


Figura 11: Mapa geodinámica para la ciudad de Huacho

Caída de rocas

Son eventos que involucran el desprendimiento de bloques de roca o tierra por efectos de la gravedad y que debido a su caída pueden rebotar produciendo el aumento o la disminución de su velocidad, situación que condiciona el grado de daño que pueden producir. Este tipo de movimientos se producen en el acantilado de Punta la Viuda, ubicado en el extremo sur de la ciudad de Huacho. La verticalidad del terreno y la meteorización que actúa sobre los materiales volcánico- sedimentarios, predisponen el desprendimiento de bloques de rocas (Figura 12). Situación similar se presenta en los acantilados ubicados en el extremo Noroeste de la ciudad de Huacho, en el distrito Caleta de Carquín, así como en los cerros Montero y Vispán, ambos ubicados en el extremo Este del área de estudio, distrito de Santa María (Figura 13).



Figura 12: Bloques de piedras susceptibles a caer en los acantilados de Punta Viuda



Figura 13: Rocas volcánicas que suprayacen a suelos sedimentarios conformando el cerro Vispán. Las flechas amarillas indican la dirección de caída de bloques inestables.

Derrumbes

Consiste en el desprendimiento súbito de una masa de roca o tierra sin presentar superficie de ruptura. A lo largo de la costa de la ciudad de Huacho, desde Punta Viuda hasta Caleta de Carquín, se observan derrumbes dispersos, en taludes conformados por depósitos aluviales, materiales que ceden debido a que se ha desestabilizado la base de los taludes (Figura 14).

En el A.H Manchurria, a 1.25 km al Sur de la ciudad de Huacho, se observan taludes inestables que presentan desprendimientos del terreno conformados por intercalaciones de arenas de grano fino color amarillento, limos y gravas. En esta zona los desprendimientos van a depender de la alta pendiente que presentan los taludes, así como por la carga de las construcciones asentadas sobre estos. Debido a esto, la zona es considerada como de alto peligro, debido a que son altamente susceptibles a colapsar ante la ocurrencia de un evento sísmico severo (Figura 15).



Figura 14: Derrumbes en taludes conformados por depósitos aluviales. Ellos se encuentran en el límite de los distritos de Caleta Carquin y Huacho.



Figura 15: Zona de alta susceptibilidad a la ocurrencia de derrumbes (flechas en amarillo). La flecha de color rojo indica la zona de apuntalamiento de viviendas.

2.3.2. Procesos Erosivos

La erosión, involucra varios procesos naturales que alteran la composición química y estructura física de las rocas que afloran sobre la superficie terrestre, ocasionando el desgaste y destrucción de las mismas.

La erosión es el resultado de la acción combinada de factores como: temperatura, agua, viento, entre otros. Es la responsable de los diferentes relieves que adopta la corteza terrestre. En la ciudad de Huacho, predomina la erosión marina por su proximidad al litoral.

Erosión marina:

Evento geodinámico se presenta a lo largo del litoral, tal es el caso de la playa Carquín ubicada en el distrito del mismo nombre (Figura 16), donde el golpeo de las olas del mar, erosiona y socava el terreno. Es frecuente que las olas alcancen distancias de aproximadamente 50 m., llegando hasta la Av. Industrial (Figura 17).



Figura 16: Erosión del litoral en la playa de Caleta Carquin



Figura 17: En playa Carquin, las olas llegan hasta la Av. Industrial

Asentamientos de terreno:

Estos eventos se presentan en el A.H Atalaya con grietas de 5 cm en superficie y profundidad no estimada. En el informe “Mapa de Peligros de Huacho” (INDECI, 2007), se infiere que estos “fracturamientos” son debidos a una falla geológica bautizada como “falla de Atalaya”. En este estudio, el trabajo de campo realizado ha permitido observar que el desnivel de terreno presenta un salto de 10 cm con una inclinación de $\sim 80^\circ$ a lo largo de 150 metros de longitud en dirección Norte-Sur 85° . Esta información permite concluir que no existen evidencias geológicas ni tectónicas suficientes para afirmar que se trata de una falla geológica, por el contrario correspondería a un asentamiento de terreno (Figura 18).



Figura 18: Evidencias del fracturamiento del terreno en el A.H. Atalaya debido al asentamiento del mismo.

2.4. Aspectos Geotécnicos

Los estudios geotécnicos tienen por finalidad analizar y cuantificar las características físicas de los suelos, siendo su comportamiento geotécnico relevante al momento de utilizarlo como elemento de medida para el soporte de una estructura determinada (cimentaciones), estos estudios de campo han consistido básicamente en una evaluación geotécnica “in situ” del suelo. En el área urbana de la ciudad de Huacho se realizaron excavaciones para 15 “calicatas” a cielo abierto, en los cuales se tomaron muestras a fin de evaluar ensayos de laboratorio para la recopilación de información, destinada a identificar las propiedades físicas-mecánicas de los suelos. Los puntos de investigación geotécnica se han ubicado estratégicamente sobre todo el área de interés tomando en cuenta la información geológica del área de estudio.

2.4.1. Calicatas

Las calicatas construidas en la ciudad de Huacho presentaron dimensiones de 1.5 m x 1.5 m de lado x 3.0 metros de profundidad máxima y su distribución se muestra en la Figura 19 y sus coordenadas en la Tabla 1. En general, la profundidad máxima de observación fue de 3 metros y la mínima de 1.1 metros en el A.H. Costa Azul. A fin de completar la información geotécnica, se procedió a realizar 15 muestreos adicionales de suelo utilizando una posteadora manual cuya distribución se muestra en la Figura 19 y sus coordenadas y profundidad en la Tabla 2, siendo en este caso, la máxima profundidad de observación de 3.75 metros y la mínima de 0.5 metros

Las muestras de suelo se obtuvieron de la capa más profunda y representativa del tipo de suelo en el sitio evaluado. De cada estrato de suelo identificado, se tomaron muestras representativas, las que convenientemente identificadas, fueron empaquetadas en bolsas de polietileno y trasladadas al laboratorio para efectuar ensayos de sus características físicas y mecánicas. Con la primera muestra de suelo obtenida se hicieron los análisis granulométricos, límites de elasticidad y contenido de humedad. Para ambos casos, el análisis en laboratorio permitió clasificar a los suelos utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 1: Coordenadas UTM para la identificación de las calicatas

CALICATA	NORTE	ESTE	COTA	PROFUNDIDAD (m)	SUCS
CH-01	8772517	213134	10	2.6	GW
CH-02	8771517	214314	30	2.65	GM con arena
CH-03	8772487	216063	77	2.6	GP-GM con arena
CH-04	8772173	217878	87	3	SM
CH-05	8771268	214954	21	2.7	GM con arena
CH-06	8771315	215900	62	2.7	GM con arena
CH-07	8771272	219149	94	2.9	ML arenoso
CH-08	8770178	214850	25	3	SM
CH-09	8770460	215910	55	2.7	GM con arena
CH-10	8770502	217120	69	3	SM
CH-11	8769720	215321	55	2.85	ML con arena
CH-12	8769076	215911	55	2.2	SP con grava
CH-13	8769685	217102	82	2.7	SP
CH-14	8768676	214344	38	2.8	SM
CH-15	8768090	215917	104	1.1	SM

Tabla 2: Coordenadas UTM para la identificación de los puntos de posteo

POSTEADORA	NORTE	ESTE	COTA	PROFUNDIDAD (m)
PH-01	8772207	214909	46	2
PH-02	8772434	213817	31	1.45
PH-03	8772149	215299	55	2.4
PH-04	9770848	214602	37	1.9
PH-05	8769959	215289	37	2.2
PH-06	8769748	216165	48	3.35
PH-07	8769020	215286	43	2.4
PH-08	8770135	216601	58	3
PH-09	8770796	218202	86	3.75
PH-10	8772464	217016	70	1.3
PH-11	8771841	218772	80	2.2
PH-12	8771490	217103	75	3.1
PH-13	8770799	215025	47	2.5
PH-14	8770756	215598	51	2
PH-15	8773564	217171	92	0.5

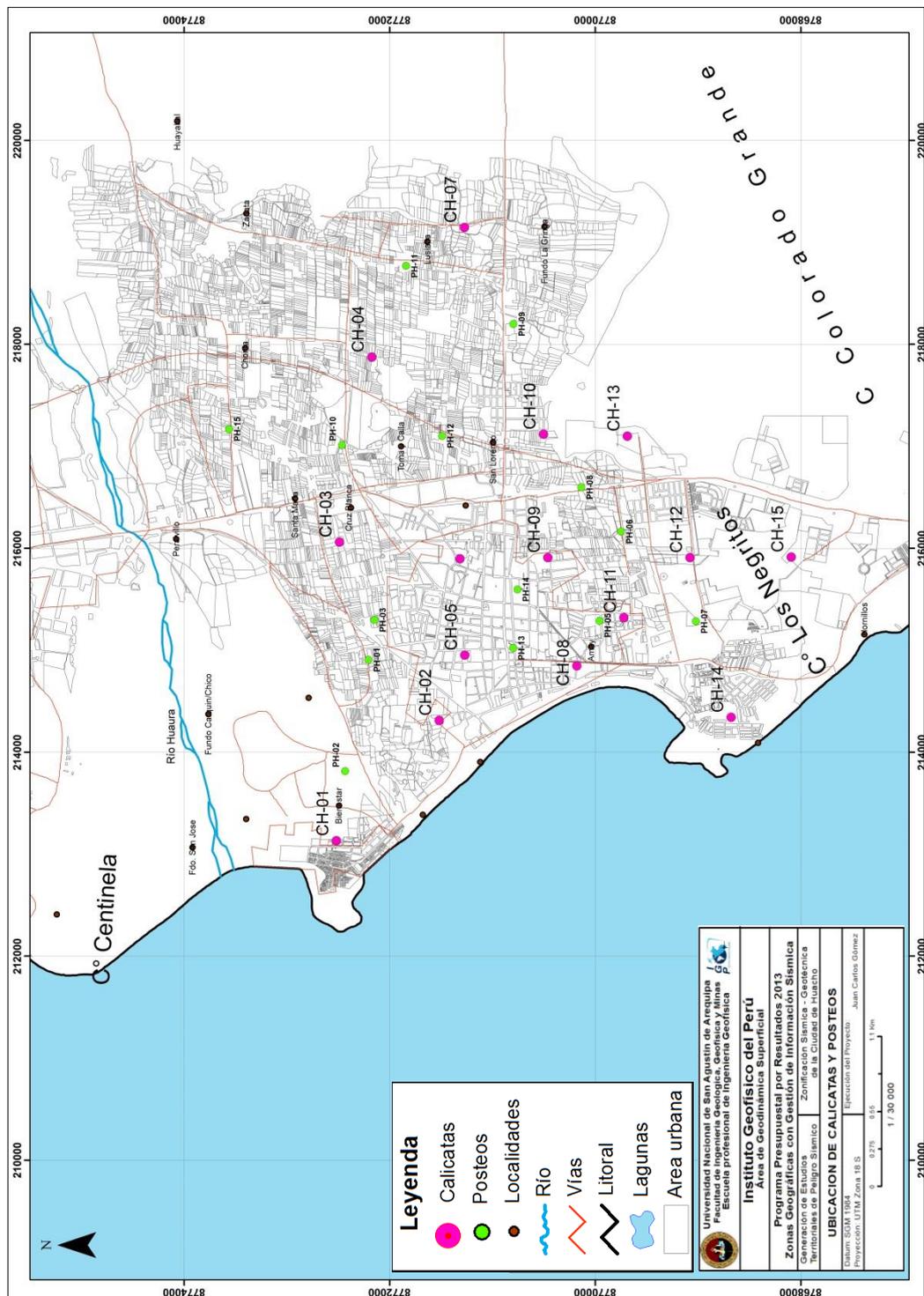


Figura 19: Mapa de ubicación de calicatas y puntos de posteo de suelos en la ciudad de Huacho

2.4.2. Clasificación de Suelos SUCS

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos y la publicada para 34 calicatas en el informe “Mapa de Peligros de la Ciudad de Huacho” (INDECI, 2006), se ha identificado, según la clasificación SUCS, la existencia de 5 tipos de suelos cuyas características se describen a continuación (Tabla 3, Figura 20):

- a) **Suelos tipo SP:** Compuestos por arenas mal gradadas de grano medio a fino, todos presentes a lo largo del litoral del área de estudio, desde el distrito de Carquín al norte, hasta Punta Viuda al sur. En el sector del A.H Fujimori (al este de la ciudad de Huacho), el suelo presenta escaso contenido de limos; sin embargo, en el sector del A.H. Agua Dulce (al sureste de la ciudad de Huacho), el suelo contiene gravas con clastos pequeños.
- b) **Suelos tipo GW:** Corresponden a gravas bien gradadas, con clastos medianos y presencia de bloques, además de arenas de grano grueso. Estos suelos se encuentran en el extremo norte del área de estudio, en la margen izquierda del río Huaura.
- c) **Suelos tipo GM:** Corresponden a suelos gravosos, desde mal gradados a bien gradados con contenido limos. Sobre estos suelos se asienta la zona urbana de la ciudad de Huacho. Dentro de este grupo se incluyen a los suelos gravo-limosos con arena (GM con arena).
- d) **Suelos tipo SM:** Corresponden a suelos areno-limosos, de grano medio a fino, los cuales se encuentran al Sur en los AA.HH Manzanares y Atalaya. Estos suelos también están presentes al Este de la ciudad, distrito de Santa María.
- e) **Suelos tipo ML:** Corresponden a suelos limosos y con contenido de arena fina (ML arenoso). Estos suelos se encuentran en dirección Este, con respecto a la zona de estudio, en el distrito de Santa María y al Sur en la Universidad Nacional Faustino Sánchez Carrión (UNFSC).

Tabla 3: Clasificación SUCS de los suelos de la ciudad de Huacho

Calicata	Profundidad (m)	Uniformidad	Curvatura	Límite Plástico (%)	Límite Líquido (%)	Contenido de Humedad (%)	Grava (>4.76mm)	Arena (>0.74mm <4.76mm)	Finos (<0.074)	SUCS	Denominación
CH-01	2.6	13.2	2.22	NT	NT	8.18	85	13	2	GW	Grava bien gradada
CH-02	2.65			NT	NT	1.38	62	24	13	GM con arena	Grava bien gradada con arena
CH-03	2.6	300.85	8.97	NT	NT	0.75	67	22	11	GP-GM con arena	Grava mal gradada - grava bien gradada con arena
CH-04	3			NT	NT	8.23	0	82	18	SM	Arena limosa
CH-05	2.7			NT	NT	6.98	64	21	15	GM con arena	Grava limosa con arena
CH-06	2.7			NT	NT	1.06	58	29	14	GM con arena	Grava limosa con arena
CH-07	2.9			NT	NT	19.62	0	37	63	ML arenoso	Limo arenoso
CH-08	3			NT	NT	8.13	0	47	43	SM	Arena limosa
CH-09	2.7			NT	NT	1.16	48	36	16	GM con arena	Grava limosa con arena
CH-10	3			NT	NT	37.73	0	50	50	SM	Arena limosa
CH-11	2.85			NT	NT	20.27	11	11	77	ML con arena	Limo con arena
CH-12	2.2			NT	NT	2.22	26	73	1	SP con grava	Arena mal gradada con grava
CH-13	2.7	1.37	0.96	NT	NT	0.7	0	99	1	SP	Arena mal gradada
CH-14	2.8			NT	NT	6.72	1	78	21	SM	Arena limosa
CH-15	1.1			NT	NT	1.24	0	55	45	SM	Arena limosa

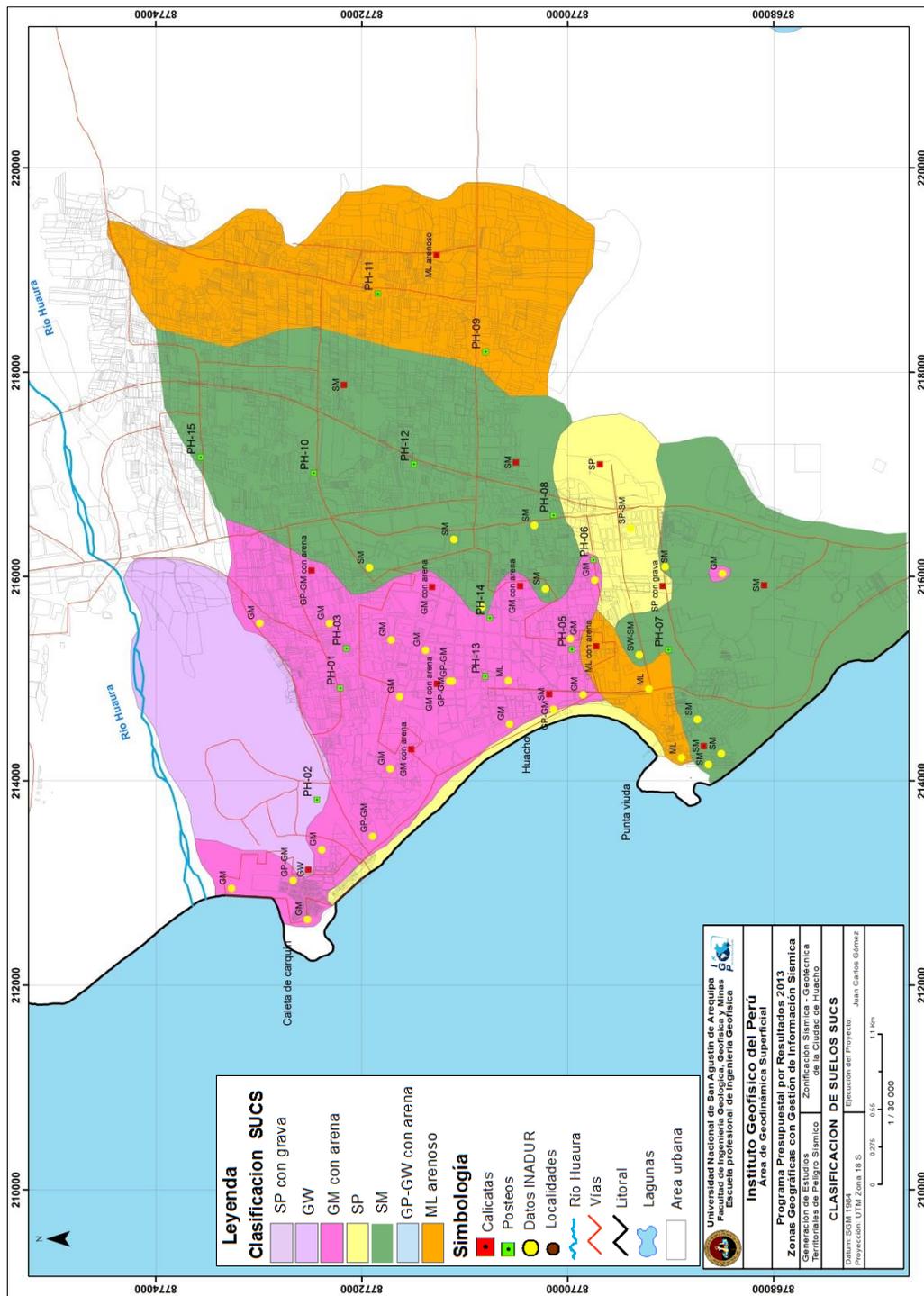


Figura 20: Mapa de clasificación SUCS de suelos en la ciudad de Huacho.

2.4.3. Capacidad Portante

La capacidad del terreno para soportar cargas aplicadas sobre él es denominada como capacidad portante. Este parámetro ha sido determinado para los suelos de la ciudad de Huacho a partir de ensayos de corte directo al material muestreado en las 15 calicatas elaboradas en la ciudad. Los valores obtenidos en laboratorio corresponden a una profundidad y ancho mínimo de cimentación de 1.20 metros (Tabla 4). Los resultados obtenidos para la ciudad de Huacho han permitido clasificar a los suelos en tres rangos que definen su capacidad portante en baja, media y alta, con las siguientes características:

- **Capacidad portante baja (1-2 kg/cm²):** Dentro de esta clasificación se encuentran gran parte de los suelos del área de estudio, abarca los sectores ubicados al Oeste (litoral), Este (distrito de Santa María) y Sur (cerros Negritos y Colorado Grande). Los suelos corresponden a arenas eólicas, marinas y limos.
- **Capacidad portante media (2-3 kg/cm²):** En esta clasificación se considera los suelos que se encuentran en el sector Norte de la ciudad de Huacho (Carquín y Hualmay), aunque también están presentes en los suelos al Sur de la ciudad (A.H Manzanares). Corresponde a suelos gravosos y arenosos, con presencia de limos. Los valores de capacidad portante varían desde 2.12 kg/cm² hasta 2.32 kg/cm².
- **Capacidad portante alta (>3 kg/cm²):** Estos suelos se encuentran en el sector medio del área de estudio; es decir en todo el casco urbano de la ciudad de Huacho. Los valores de capacidad portante varían de 3.12 kg/cm² a 3.24 kg/cm² y corresponden a suelos gravosos empaquetados con limos y arenas de grano grueso.

La distribución espacial de los valores de capacidad portante obtenidos del análisis de calicatas y posteadoras, han permitido elaborar el mapa de capacidad portante del área de estudio de la ciudad de Huacho (Figura 21).

Tabla 4: Valores de capacidad portante para las calicatas elaboradas en la ciudad de Huacho

Calicata	Ángulo de fricción interna del suelo (°)	Cohesión aparente del suelo (Kg/cm2)	Capacidad de carga admisible (kg/cm2)
CH-01	29.87	0	2.23
CH-02	30.32	0	2.32
CH-03	29.95	0	2.21
CH-04	30	0	1.9
CH-05	32.43	0	3.12
CH-06	30.05	0	2.26
CH-07	29	0	1.42
CH-08	29.75	0.1	1.88
CH-09	32.74	0	3.24
CH-10	29.74	0	1.84
CH-11	29.05	0	1.69
CH-12	30.2	0	1.96
CH-13	29.7	0	1.89
CH-14	30.6	0	2.12
CH-15	29.4	0	1.82

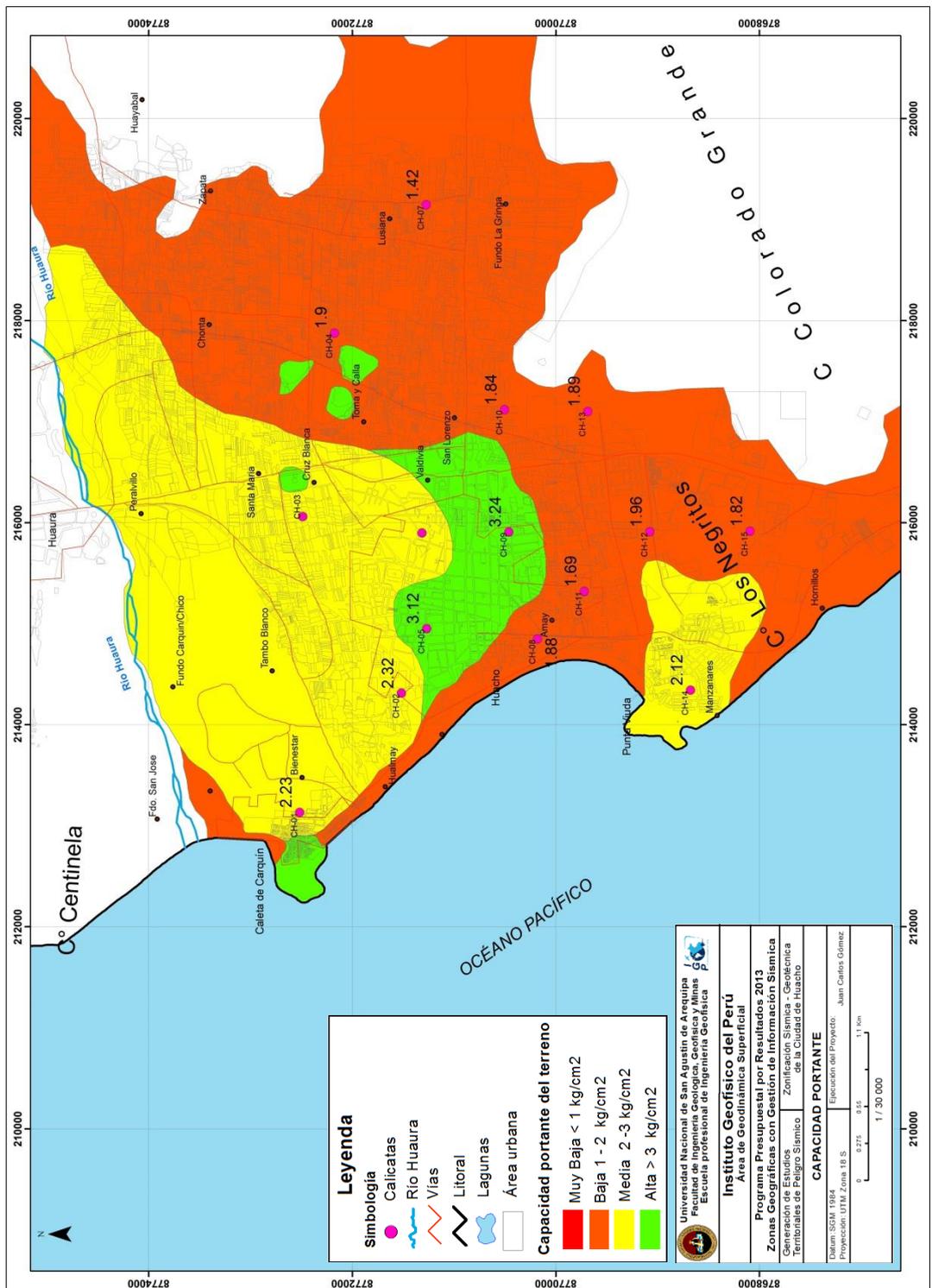


Figura 21: El mapa muestra la clasificación de suelos en tres rangos de capacidad portante: alto (>3 kg/cm²), medio (2-3 kg/cm²) y bajo (1-2 kg/cm²) para la ciudad de Huacho

2.5. Resultados

Con estos estudios se ha determinado las características geológicas, geomorfológicas, geodinámicas y geotécnicas de los suelos de la ciudad de Huacho. Esta ciudad se asienta sobre una superficie plana que tiene variantes topográficas hasta 250 m.s.n.m. En la ciudad de Huacho, el 60% de extensión del área de estudio aflora rocas intrusivas (dioritas), depósitos marinos, eólicos y aluviales. También se ha identificado eventos geodinámicos como caída de rocas, derrumbes, erosión marina y asentamientos de terreno.

El análisis de suelos (según la clasificación SUCS), ha permitido identificar hasta cinco tipos de suelos; predominando en la ciudad de Huacho suelos compuestos por gravos-limos (GM) y areno-limoso (SM), seguido en menor proporción por suelos limosos (ML). La zona urbana central, se encuentra sobre suelos compuestos por gravas limosas y gravas mal gradadas.

En la ciudad de Huacho los suelos presentan de baja a alta capacidad portante. Los suelos con alta capacidad portante están presentes en la zona media de la ciudad de Huacho (gravas limosas con arena de grano grueso). Los suelos con baja capacidad portante se encuentran a lo largo del litoral (arenas inconsolidados saturados de grano grueso); en el extremo Este de la ciudad, distrito de Santa María (limos arenosos); y en el extremo sur, cerca del cerro Negritos. En este sector, el basamento rocoso se encuentra a 1.5 metros de profundidad y los valores de capacidad portante corresponden al suelo que tapiza al basamento. Esta información es de utilidad para la construcción de cualquier obra de ingeniería.

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO

Las ondas sísmicas son vibraciones, originadas por el fracturamiento del material rocoso en el interior de la tierra propagándose en forma de ondas sísmicas y/o energía, esta energía liberada durante el sismo se propagan a través del medio solido de la tierra causando vibración y muchas veces destrucción en la superficie. Los sismólogos han determinado que conforme una onda sísmica pasa a través de un estrato del interior de la tierra, su velocidad aumenta con la profundidad debido a la variación de la densidad y la elasticidad del medio en el cual se propagan. El movimiento producido por las ondas sísmicas son registradas por los sismómetros.

3.1. Tipos de ondas elásticas

3.1.1. Ondas de Volumen

Se llaman así porque estas tienden a viajar a través del interior del planeta (adentrándose incluso a grandes profundidades) y dentro de esta categoría se encuentran las ondas Primarias y las Secundarias.

- a) **Ondas primarias o de compresión (ondas P):** Son las que se propagan a mayor velocidad, por lo que a cualquier distancia respecto a la fuente de ondas, serán las primeras en ser registradas. Estas ondas al propagarse, hacen vibrar las partículas en el mismo sentido del tren de ondas, produciendo compresión y dilatación a su paso. Son conocidas también como ondas longitudinales. Las ondas acústicas (presentes en fluidos como el agua y el aire) pertenecen a este tipo de ondas (Figura 22).

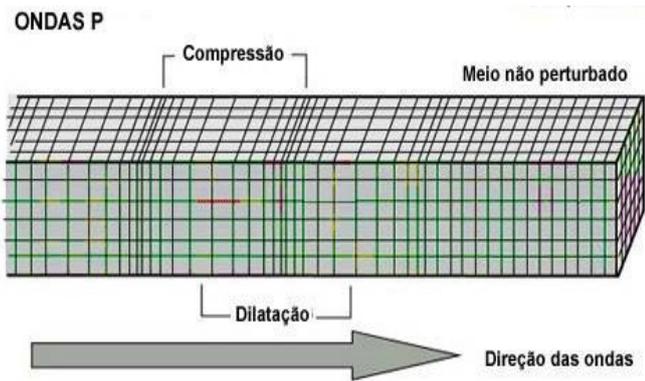


Figura 22: Esquema de propagação de la Onda P

- b) **Ondas secundarias o de cortante (ondas S):** Hacen vibrar las partículas en sentido perpendicular al tren de ondas. Su velocidad es menor respecto a la de ondas P en materiales sólidos. Si las partículas oscilan de arriba a abajo, la onda se llama SV, si lo hace en un plano horizontal se llaman SH. También son conocidas como ondas transversales (Figura 23)

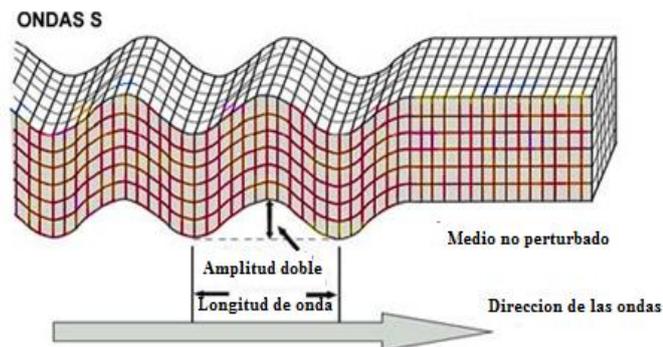


Figura 23: Esquema de propagação de la Ondas S

Las ondas S se diferencian de las ondas P, debido a que las primeras poseen una mayor amplitud que las segundas; es por ello, que las Ondas S transportan la mayor cantidad de energía generada por la fuente. Este tipo de ondas solo puede viajar en materiales que poseen esfuerzo cortante, lo que indica que no se presenta en líquidos, ni gases. La velocidad de propagación de las ondas P y S depende de la densidad y de las propiedades elásticas del medio en que se propagan.

3.1.2. Ondas sísmicas superficiales

Son ondas que se propagan a lo largo de la superficie de la tierra. Sus amplitudes en la superficie de la tierra pueden ser muy largas, sin embargo, decaen exponencialmente con la profundidad. Se propagan más lentamente que las ondas S, se generan con menor eficiencia por fuentes enterradas y tienen amplitudes que decaen más lentamente con la distancia desde la fuente, que las observadas en las ondas corporales. Dentro de esta categoría se encuentran las ondas Love y las ondas Rayleigh.

- a) **Love (ondas L):** Se propagan de forma similar que las ondas S haciendo vibrar las partículas horizontalmente en sentido perpendicular al de propagación, pero sin movimiento vertical (Figura 24).

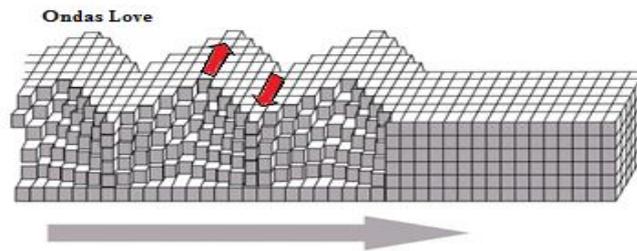


Figura 24: Esquema de propagación de la Onda Love y dirección de propagación

- b) **Rayleigh (ondas R):** viajan a lo largo de la superficie de la tierra con amplitudes que disminuyen exponencialmente con la profundidad. El movimiento de las partículas es en sentido elíptico retrogrado (en dirección de las agujas del reloj) en un plano horizontal y vertical con respecto a la superficie, como contienen componentes de corte solo viajan a través de medios sólidos. Su velocidad de propagación que se define como velocidad de fase C_r , es determinada principalmente por la velocidad V_s de los materiales. La relación entre ambas se expresa como $C_r = 0.94 V_s$.

Se considera estas ondas las principales causantes de las sacudidas sentidas durante la ocurrencia de un terremoto; por lo tanto, son las

principales responsables de los daños causados en las estructuras durante el desarrollo de estos fenómenos. El ground roll es un tipo particular de ondas Rayleigh y viaja a lo largo o cerca de la superficie del suelo (Figura 25).

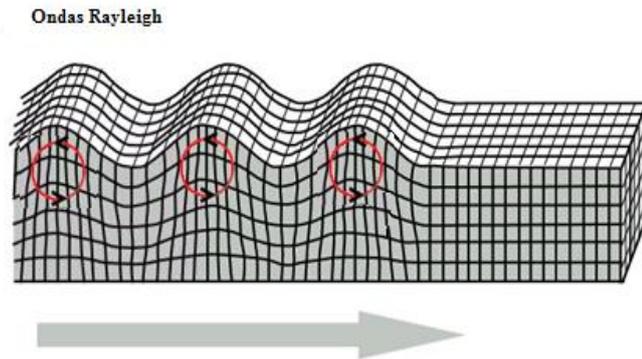


Figura 25: Esquema de propagación de la Onda Rayleigh

3.2. Sismicidad Regional

El borde occidental del Perú, se constituye como la principal fuente generadora de sismos, siendo los de mayor magnitud los que han causado grandes niveles de daños y pérdidas de vidas humanas. Dentro de este contexto, el borde occidental de la región central presenta actividad sísmica de tipo superficial (profundidad menor a 60 km) e intermedia (profundidad entre 61 y 350 km), siendo los primeros de mayor peligro debido a que frecuentemente alcanzan magnitudes elevadas y al tener sus focos cerca de la superficie, producen daños y efectos importantes en las ciudades costeras. Una de estas ciudades es Huacho y según información contenida en el catálogo sísmico del Perú, fueron los sismos de 1940 (8.0Mw), 1966 (7.5Mw), 1970 (7.7Mw) y 1974 (7.5Mw) los que causaron mayores niveles de daño en la ciudad, principalmente en construcciones precarias de adobe y quincha, además de algunos escenarios de licuación de suelos. El sismo del 24 de Mayo de 1940, fue el de mayor magnitud ocurrido en los últimos 100 años en el borde occidental de la costa central del Perú. La máxima intensidad evaluada en la ciudad de Huacho fue de VIII en la escala de Mercalli Modificada (MM). Los otros sismos importantes produjeron en la ciudad intensidades entre V y VII (MM), con daños y efectos puntuales en viviendas de adobe y quincha.

Es importante remarcar que en los años en que ocurrieron los sismos y tsunamis antes indicados, la situación geográfica y demográfica de la ciudad de Huacho fue menor y a la fecha, debido a su crecimiento acelerado, la población se ha asentado sobre terrenos agrícolas en las cercanías del río Huaura y zonas de playa, lo cual ha incrementado su riesgo ante la posible recurrencia de sismos y tsunamis.

3.3. Vulnerabilidad

Se denomina vulnerabilidad al grado de daño que sufre una estructura debido a la ocurrencia de un peligro como los sismos. Estas estructuras se pueden calificar en “más vulnerables” o menos vulnerables” ante un evento sísmico. Se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es una propiedad intrínseca de cada estructura, y además, es independiente de la peligrosidad del emplazamiento. En otras palabras, una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo sino se encuentra en un lugar en donde existe un determinado peligro. Se debe recalcar que no existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada y sometida a la acción de un sismo de determinadas características (Figura 26a y 26b).

La probabilidad de daños en estructura se puede estimar mediante la aplicación de las siguientes metodologías:

- a) **Método empírico:** Se basa en la relación de daños en estructuras producidos por sismos con la intensidad sísmica. Los diferentes diseños, viviendas y factores locales del suelo dan como resultado que la información existente tenga un valor limitado.

- b) **Método teórico:** Se basan principalmente en modelos matemáticos basados en las características dinámicas de la estructura. Estos métodos relacionan los parámetros usados en diseño sísmico con los parámetros estructurales y daños. Estos métodos son adecuados para implementar las bases de diseño de las estructuras.

3.3.1. Factores

a) Fragilidad

Se refiere al nivel o grado de resistencia y/o protección frente al impacto de un peligro; es decir las condiciones de desventaja o debilidad relativa de una unidad social o vivienda. En práctica se refiere a las formas constructivas, calidad de materiales, tecnología utilizada, entre otros.

b) Exposición

Está relacionada con decisiones y prácticas que ubican a una unidad social (personas, familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica en las zonas de influencia de un peligro. Este factor explica la vulnerabilidad porque expone a dicha unidad social al impacto negativo del peligro.

c) Resiliencia

Está asociado al nivel o grado de asimilación y/o recuperación que pueda tener la unidad social (personas, familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica, después de la ocurrencia de un peligro.



Figura 26: a) Daños estructurales debido al desplazamiento de la losa de cimentación, b) Daños estructurales debido al desplazamiento de la cimentación en Concepción

3.4. Diseño Sismorresistente y Dinámica de Suelos

Los fuertes terremotos acontecidos en las diversas regiones de nuestro país, la presencia de fallas geológicas y la acción de las placas tectónicas; son factores siempre presentes en la dinámica de suelos en nuestro país, a estos elementos se suman las características del subsuelo y la gran densidad poblacional, originando una situación de riesgo. Las enseñanzas que han dejado los terremotos en el mundo indican que por lo general, en los sitios donde se diseña de acuerdo a una buena normativa sismorresistente, el daño es menor en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias.

La Norma sismorresistente peruana de construcciones, es de gran beneficio y necesario, para que a partir de su uso, poder evitar la pérdida de vidas humanas por el colapso de estructuras, reducir el daño y el costo económico que pueda ocasionar los terremotos. La Norma, proporciona criterios y recomendaciones para construir estructuras y obras de ingeniería; sin embargo, es importante resaltar que diseñar de acuerdo a una normativa no siempre salvaguarda contra el daño producido por terremotos severos. Los códigos por si solos no pueden garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que son reglamentos que experimentan actualizaciones continuas, de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y los estudios de los efectos causados por los terremotos. Las autoridades públicas y los órganos competentes deberán complementar los criterios de la norma sismorresistente, usando información, básica sobre las observaciones de campo y la toma de data in situ, que se deberán cumplir sobre el uso del suelo y con reglamentación específicas urbanísticas y de construcciones.

3.5. Condiciones dinámicas del suelo

En la actualidad se reconoce la importancia de las condiciones dinámicas del suelo, como uno de los principales factores responsables de los daños sufridos por las edificaciones durante los sismos fuertes. La amplificación sísmica es un efecto de las condiciones locales de sitio y es fuertemente dependiente de las condiciones

geológicas, geomorfológicas, geodinámicas, geotécnicas y geofísicas de la zona de estudio.

La finalidad es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos, teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias cortas y áreas pequeñas. Diversos estudios muestran, que los suelos ante la incidencia de ondas sísmicas asociadas a movimientos débiles y/o fuertes, responden de acuerdo a sus condiciones locales, pudiendo estos modificar el contenido frecuencial de las ondas y/o generar amplificaciones de las ondas sísmicas (Hartzell, 1992; Beresnev et al., 1995; Bard 1995; Lermo y Chávez-García, 1993, 1994 a,b; Bard y Sesame, 2001; Bernal, 2002).

Para diseñar adecuadamente una estructura y/o minimizar los efectos de los sismos sobre éstas, deben conocerse las propiedades dinámicas de los suelos sobre los cuales se cimentará la estructura; los módulos de corte y los factores de amortiguamiento de los estratos de suelo resultan siendo parámetros importantes para realizar el análisis de la respuesta del sitio. El módulo de corte controla la velocidad de propagación de las ondas de corte y el amortiguamiento controla la disipación de la energía.

3.6. Norma Peruana Sismorresistente E-030

La Norma Peruana Sismorresistente, ha variado con el transcurso del tiempo, debido a que el territorio peruano se encuentra en una zona altamente sísmica dando lugar a la generación de sismos de gran magnitud, estos procesos ocasionan daños materiales, pérdidas de vidas humanas y efectos de sitio importantes. Entonces los reglamentos son actualizados continuamente de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y los estudios de los efectos causados por los terremotos, que ocurren en el pasado.

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas, según sus requerimientos, tengan un comportamiento sísmico acorde con niveles de sacudimiento de suelo. En el Perú, la Norma se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, obras civiles de cualquier envergadura y al reforzamiento de

las existentes, así como a la reparación de las que resultasen dañadas por la acción de los sismos. Los pasos a seguir están contenidas en el Reglamento Nacional de Construcción Norma E-030 - 2014.

Para el caso de estructuras especiales, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento difiera de las edificaciones, se requieren consideraciones adicionales que complementen las exigencias aplicables en la presente Norma. De manera complementaria se deberá tomar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamientos masivos de tierras u otros.

A continuación, un brevemente resumen de la evolución de la Norma Sismorresistente:

- 1970, primer proyecto de la Norma Peruana basada en la determinación de la fuerza sísmica lateral.

$$H = U K C P$$

H = Fuerza sísmica lateral

U = Coeficiente sísmico según la regionalización y uso de la edificación

K = Tipo de estructura (Sistema estructural)

C = Factor de % de carga permanente más carga viva (función del periodo de la estructura)

P = Peso de la edificación

- 1977, segunda Norma Peruana, se incorpora la norma básica de diseño al reglamento nacional de construcciones; la cual reemplaza a la norma anterior.

$$H = \frac{ZUSCP}{R_d}$$

H = Fuerza cortante sísmica basal

Z = Factor debido a la zona

U = Factor debido al uso de la edificación

S = Factor debido al tipo de suelo

C = coeficiente sísmico

P = peso de la edificación

- 1997, tercera Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030. Debido al sismo de Nazca del año 1996 que produjo daños de deformación lateral en las edificaciones mayores que los propuestos con los coeficientes de la norma anterior, se procedió a cambiar la Norma, principalmente en los valores de desplazamientos laterales de entrepiso “R” (estructuras más rígidas) Ahora serán multiplicados por 2.5.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P \quad \frac{C}{R} \geq 0,1 \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)^{1,25}$$

- 2003: actualización de la tercera Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030, considerando las experiencias de sismo de Arequipa del 2001. En esta oportunidad se amplifican las fuerzas sísmicas por 1.25, de tal manera que también se amplifica las cargas últimas, lo que implicaba modificar los factores de reducción sísmica “R”

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P \quad \frac{C}{R} \geq 0,125 \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right); C \leq 2,5$$

En general, el factor de Amplificación Sísmica (C) en un punto determinado, corresponde al coeficiente se define la amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración en el suelo:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P \quad \frac{C}{R} \geq 0,125 \quad \begin{array}{l} T < T_p \quad C = 2,5 \\ T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right) \\ T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right) \end{array}$$

S = Factor de suelo

T_p = Periodo que define la plataforma del espectro

T_L = Periodo que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante.

T = Periodo fundamental de la estructura para el análisis estático o periodo de un modo en el análisis dinámico.

3.7. Clasificación de suelos – Norma E-030

En la actualidad la construcción de obras civiles de cualquier envergadura se basa en la Norma sismorresistente E-030 (2014), la cual clasifica a los suelos en función de sus propiedades mecánicas, espesor de estrato, período fundamental de vibración y velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s). Según esta Norma, los suelos son clasificados en:

a) Suelos Tipo S_1 : suelos muy rígidos

A este tipo de suelos corresponde las rocas y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de la onda de corte similar al de una roca, en los que el periodo fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede de 0,25 s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa. (5 kg/cm^2).
- Grava arenosa densa.
- Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte en condiciones no drenadas superior a 100 kPa (1 kg/cm^2), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.
- Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con $N > 30$ sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.

b) Suelos Tipo S₂: Suelos intermedios

Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicaciones para los perfiles S₁ y S₃.

c) Suelo Tipo S₃: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor

Corresponden los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que el periodo fundamental, para vibraciones de baja amplitud es mayor que 0.6 s, incluyéndose los casos en los que el espesor del estrato de suelo excede los valores definidos en la Tabla 5.

Tabla 5: Suelos Cohesivo

Suelos cohesivos	Resistencia al corte típica en condiciones no drenada (KPa)	Espesor del estrato (m) (*)
Blandos	<25	20
Medianamente compactos	25 - 50	25
Compactos	50 - 100	40
Muy compactos	100 - 200	60
Suelos granulares	Valores N típicos en ensayos de penetración estándar (SPT)	Espesor del estrato (m) (*)
Sueltos	4 - 10	40
Medianamente densos	10 - 30	45
Densos	Mayor que 30	100

d) Suelo tipo S₄: condiciones excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables. Se debe considerar el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores de T_p (periodo que define la plataforma del espectro), y S (factor de amplificación del suelo), dados en la Tabla 6. En los sitios donde las propiedades del suelo sean poco conocidas se podrán usar los valores correspondientes al perfil tipo S₃. Solo será necesario considerar un perfil tipo S₄ cuando los estudios geotécnicos así lo determinen.

Tabla 6: Parámetros de suelos

Parámetros del Suelo			
Tipo	Descripción	T_p (s)	S
S ₁	Roca de suelos muy rígidos	0,4	1,0
S ₂	Suelos intermedios	0,6	1,2
S ₃	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S ₄	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

3.8. Características mecánicas de suelos – Norma E-030

En la actualidad, es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio es uno de los principales factores responsables de los daños que se producen en cualquier tipo de edificación durante la ocurrencia de sismos. En todo estudio a realizarse se deberá considerar el tipo de suelo que mejor describa las condiciones locales de cada zona de interés.

Según la Norma E-030, la zonificación de suelos se realiza en función de sus características mecánicas y dinámicas en el terreno de cimentación del área de estudio y de las consideraciones dadas por el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones Norma E-30 (2014). En tal sentido, se establece la existencia de 5 zonas cuyas características son:

ZONA I:

Esta zona conformada por estratos de grava coluvial – eluvial, afloramiento que se encuentra a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s. para la evaluación del peligro sísmico a nivel de superficie del terreno corresponden a suelos Tipo S1 de la Norma Sismo resistente Peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) varía entre 500 y 1500 m/s.

ZONA II:

En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por un estrato superficial de suelos granulares finos y suelos arcillosos, cuyos espesores varían entre 3.0 y 10.0 m. Subyaciendo a estos estratos se encuentra la grava aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de microtrepidaciones, en la zona varían entre 0.3 y 0.5 s. Se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo corresponde a un suelo tipo – S2 de la Norma Sismorresistente Peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) varían entre 180 y 500 m/s.

ZONA III:

Conformada, en su mayor parte por los depósitos de suelos finos y arenas de espesores mayores, que se encuentran en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.8 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo tipo - S3 de la Norma Sismorresistente Peruana. En la zona la velocidad de las ondas de corte (V_s) son menores a 180 m/s.

ZONA IV:

Conformada por depósitos de arena eólicas de gran espesor y sueltas, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos son mayores a 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo tipo S4 de la Norma Sismorresistente Peruana, (según la Norma E-30, es un caso especial o condiciones excepcionales).

ZONA V:

Está constituida por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos correspondientes a desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado, con espesores entre 5 y 15 m. En esta zona se incluyen también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y en la actualidad han sido urbanizados. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto lo cual requiere un estudio específico.

En la actualidad, todo estudio que se realiza sobre las características dinámicas de los suelos, hacen uso de esta zonificación y para ello deben aplicarse técnicas geofísicas y geotécnicas.

3.9. METODOLOGÍAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Para el estudio de suelos y su posterior zonificación usando la Norma E-030, es necesario la aplicación de métodos y técnicas geofísicas, ya que cada uno aporta información relevante que ayuda a la correcta clasificación de suelos.

3.9.1. Geofísica

A partir de la década de los años 1960, se ha ido incorporando gradualmente diversas pruebas geofísicas, principalmente las de tipo sísmico y eléctrico para el estudio de suelos. La técnica geofísica es definida como una metodología para la deducción de las condiciones y características del subsuelo a través de la observación de fenómenos físicos (naturales o artificiales), bien sean directa o indirectamente relacionados con la estructura geológica del subsuelo. Originalmente, fue desarrollada como un método efectivo para la prospección del petróleo y otros depósitos de minerales. Después de la segunda guerra mundial se empezó a utilizar para el estudio de terrenos en zonas montañosas para la construcción de represas y túneles. Posteriormente, en la década 1970, se utilizó para el estudio de suelos blandos, en áreas con suelos de origen aluvial y sedimentario. Actualmente, es empleada en investigaciones para la determinación de la estructura geológica superficial de los suelos.

Estos estudios orientados a la identificación de estos efectos de sitio, son importantes y obligatoriamente exigidos en la Normativa de Diseños Sismorresistentes. Existen numerosas técnicas geofísicas para conocer las propiedades del suelo y en este estudio, se va a considerar del cociente sísmico espectral H/V, la técnica de arreglos sísmicos lineales MASW y la de resistividad del subsuelo (tomografía eléctrica).

3.9.1.1. Microtremores

A finales de los años cincuenta, en Japón se publicaron numerosos trabajos sobre vibración ambiental; es decir, el registro de ondas cuyo contenido frecuencial permitía caracterizar a cada suelo. *Kanai y Tanaka (1961)* observaron que con el análisis de microtremores era posible identificar los periodos predominantes del suelo, similares a los observados con movimientos sísmicos fuertes. Con sus resultados se procedió a establecer las condiciones del suelo en un sitio, usando para ello solamente registros de microtremores. La medición y el análisis de microtremores se hizo muy popular en México después de ocurrido el terremoto de 1985, logrando conocer satisfactoriamente la condición del suelo en las áreas afectadas de la ciudad de México (*Seo, 1995*).

Los microtremores son vibraciones generadas por eventos artificiales producto de la actividad humana tales como tráfico, maquinaria, etc. cuya principal ventaja es su estabilidad. Están compuestos principalmente por ondas del tipo Rayleigh y de corte (S). Los microtremores ocurren en el intervalo de frecuencias de 0.01 a 30 Hz; sin embargo, en la exploración geofísica solo interesa la banda de 0.1 a 10 Hz, ya que en esta banda, parte de la energía se transmite como ondas Rayleigh, cuyos modos y velocidades de propagación se puede estimar y medir a partir de información obtenida con arreglos instrumentales que se caracterizan de acuerdo a las necesidades del estudio.

Las principales fuentes que producen los microtremores son:

- Las bajas frecuencias (por debajo de 0.3 hasta 0.5 Hz.), son causada por olas oceánicas que ocurren a grandes distancias. Asimismo, encontrar buena correlación en los microtremores y las condiciones meteorológicas de gran escala.
- Las frecuencias intermedias (entre 0.3 - 0,5 Hz y 1 Hz.), son generadas por el oleaje que rompe en las costas, por lo que su estabilidad es significativamente menor.

- Las altas frecuencias (mayores a 1 Hz.) están ligadas a la actividad humana, por lo que reflejan sus ciclos y se manifiestan por cambios en la amplitud de sus registros.

Siempre que se utilicen registros de microtemores en la estimación de las características o efectos de sitio, se debe recordar que se suponen trayectorias de las ondas simples y similares; esto implica, que no existe dispersión tridimensional y que las trayectorias pueden ser aproximadas por la dispersión geométrica elemental y por la atenuación inelástica.

Técnica de cocientes espectrales H/V:

El método desarrollado por Nakamura en 1989, propone estimar el período fundamental y, en algunos casos, una buena aproximación del factor de amplificación de un depósito de suelo a partir de mediciones de vibraciones ambientales, verticales y horizontales, en superficie.

Es posible señalar que los depósitos de los suelos están generalmente expuestos a vibraciones inducidas por fuerzas naturales, como mareas, vientos y a fuerzas antropogénicas provenientes de maquinarias en funcionamiento, automóviles, trenes, etc. Puede considerarse que en suma, estas fuentes generadoras de vibraciones producen una excitación dinámica aleatoria, que permite a un depósito de suelos vibrar preponderantemente de acuerdo a su período fundamental. Teniendo en consideración, que al realizar mediciones de vibraciones en afloramientos rocosos o en suelos muy rígidos se presentan respuestas similares en las componentes horizontal y vertical, se puede decir que no existe una dirección predominante del movimiento en estos casos, y que cualquier amplificación del movimiento en la superficie de suelos más blandos debe ser producida por las capas de depósitos de sedimentos blandos.

Un microtemor resulta de la suma de muchos tipos de ondas y bajo esta suposición Bard, (1999) explica que muchos investigadores comparten las siguientes dos aseveraciones:

- En primer lugar, la relación H/V está básicamente relacionada a la elipticidad de las ondas Rayleigh debido a su predominancia en la componente vertical.
- En segundo lugar, la elipticidad es dependiente de la frecuencia y exhibe forma de pico alrededor de la frecuencia fundamental para sitios que contienen un alto contraste de impedancia entre la superficie y los materiales más profundos.

Esta aproximación, proviene simplemente de la similitud en las formas del espectro de microtemores y la relación H/V del modo fundamental de ondas del tipo Rayleigh. La metodología de Nakamura (1989) está basada en la suposición que el cociente espectral entre las componente horizontal y vertical de las vibraciones ambientales (microtrenes), es una aproximación de la función de transferencia de los suelos (Figura 27). Para llegar a esta hipótesis, Nakamura se basó a su vez en las siguientes suposiciones:

1. Las vibraciones ambientales se propagan principalmente como trenes de ondas Rayleigh.
2. El efecto de las ondas tipo Rayleigh en superficie es igual para las componentes horizontales y verticales.
3. El ruido artificial se propaga principalmente como ondas Rayleigh.
4. Las componentes vertical y horizontal de las vibraciones ambientales (en su origen) se consideran similares.
5. Estas vibraciones ambientales son amplificadas por las capas superficiales blandas de suelo acumuladas sobre un sustrato duro.
6. Se puede considerar que la componente horizontal de las vibraciones ambientales es amplificada por la multireflexión de la onda S y la componente vertical por multireflexión de la onda P.
7. La componente vertical de las vibraciones ambientales no es amplificada por las capas horizontales.

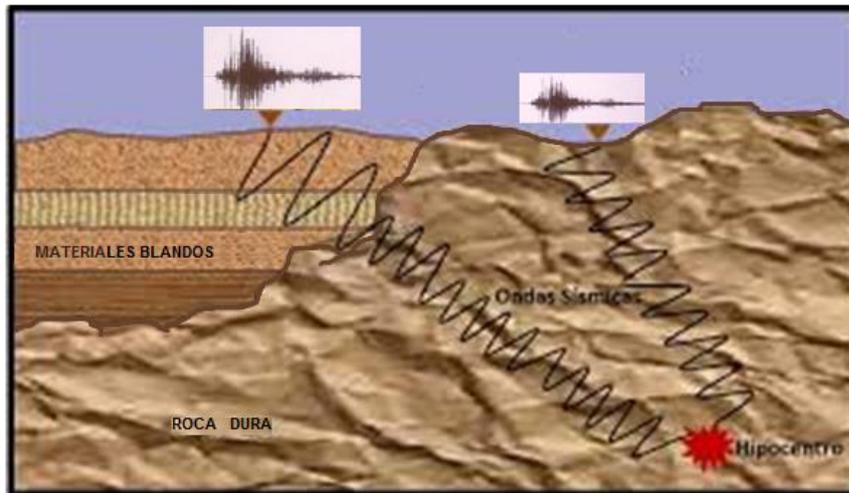


Figura 27: Ondas sísmicas que causan las vibraciones ambientales registradas en la superficie para obtener la relación espectral H/V

La metodología propuesta busca básicamente eliminar el efecto de las ondas Rayleigh para describir la función de transferencia en función de las ondas internas. Usualmente, la función de las capas superficiales ha sido definida como la relación entre el espectro de la onda horizontal de los microtremores en superficie (H_s) y el espectro de la onda horizontal en el basamento (H_b), siendo su relación la siguiente:

$$SE(w) = \frac{H_s(w)}{H_b(w)}$$

Dónde:

$SE(w)$: representa el espectro de los efectos de sitio,

$H_s(w)$: el espectro de la onda horizontal en superficie y

$H_b(w)$: el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento.

Nakamura, asume que el efecto de las ondas Rayleigh (A_s), está incluido en el espectro de ondas verticales y superficiales (V_s) y no en la base del movimiento (V_b) y consecuentemente puede ser definido como:

$$AS(w) = \frac{V_s(w)}{V_b(w)}$$

Removiendo el efecto de las ondas Rayleigh, el espectro de sitio modificado queda definido por:

$$SM(w) = \frac{SE(w)}{As(w)} \frac{\frac{Hs(w)}{Hb(w)}}{\frac{Vs(w)}{Vb(w)}}$$

Usando registro de microtremores, Nakamura demostró experimentalmente que:

$$\frac{Vb(w)}{Hb(w)} \approx 1$$

Sustituyendo, la ecuación 4 en 3 resulta la siguiente relación:

$$SM(w) \approx \frac{Hs(w)}{Vs(w)}$$

Por lo tanto, la respuesta sísmica del sitio SM puede ser expresada como el cociente espectral de las componentes horizontal y vertical del ruido ambiental en superficie. Resumiendo, esta descripción teórica implica que, un estimado práctico de la respuesta del sitio puede ser obtenido registrando el ruido ambiental con un registrador sísmico de 3 componentes.

Metodología de H/V Nakamura:

La metodología de H/V Nakamura ha ganado popularidad en los últimos años por ser un procedimiento práctico y confiable, obteniéndose a partir de éste los valores de frecuencia y período fundamental de un sitio, parámetros claves a la hora de realizar una caracterización de sitio. El uso extensivo del método permite el mapeo rápido y detallado de estas frecuencias en áreas urbanas.

Combinando informaciones sobre la respuesta de suelo y vulnerabilidad, se puede anticipar los efectos potenciales de un sismo a edificios y estructuras civiles. La teoría y las hipótesis del método no han sido aceptadas

unánimemente por la comunidad científica, pero las comparaciones con otras técnicas han comprobado en diversos estudios recientes la validez y la eficiencia del método (Lermo y Chávez - García, 1994).

La estimación del proceso de cociente espectral de Nakamura se desarrolla de la siguiente manera:

- La Figura 28, muestra el tipo de señal correspondiente a vibraciones ambientales, en sus tres componentes (E-O, N-S, y Vertical) de registro. La señal puede ser filtrada o no, siendo el objetivo eliminar los ruidos de baja y alta frecuencia.

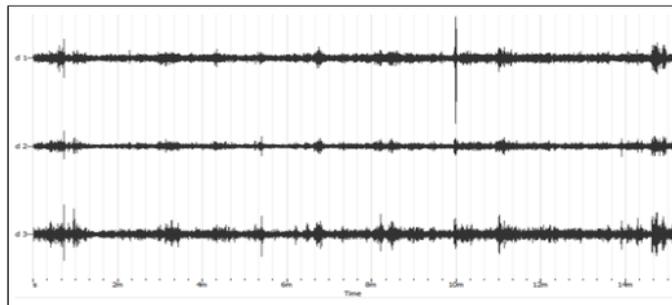


Figura 28: Señal de vibración ambiental registrada en una estación de tres componentes EO, NS y V.

Luego del filtrado, la señal es separada en intervalos de tiempo o ventanas, tal como se observa en la Figura 29.

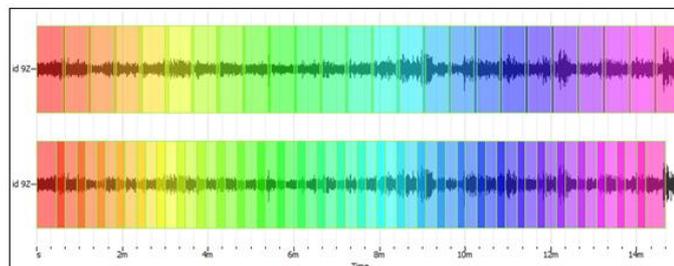


Figura 29: Señales de microvibración con solape de ventanas de 10% y 30%.

Los registros con los que se cuenta tienen una duración de 15 minutos. En la Figura 30, se muestra la selección de ventanas para el procesamiento de cálculo de la FFT.

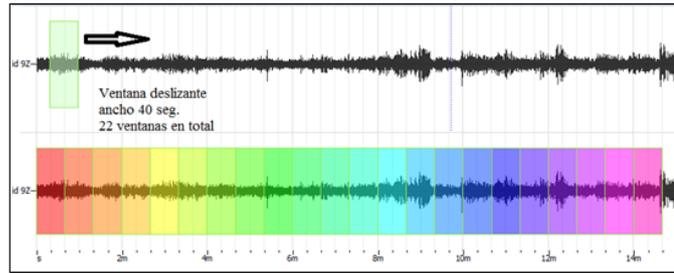


Figura 30: Ventana deslizante y registro de señal a usarse en el proceso de cálculo del espectro FFT.

En la Figura 31, se aprecian los espectros promediados de la FFT para cada una de las componentes de la señal, (E-O, N-S, y Vertical).

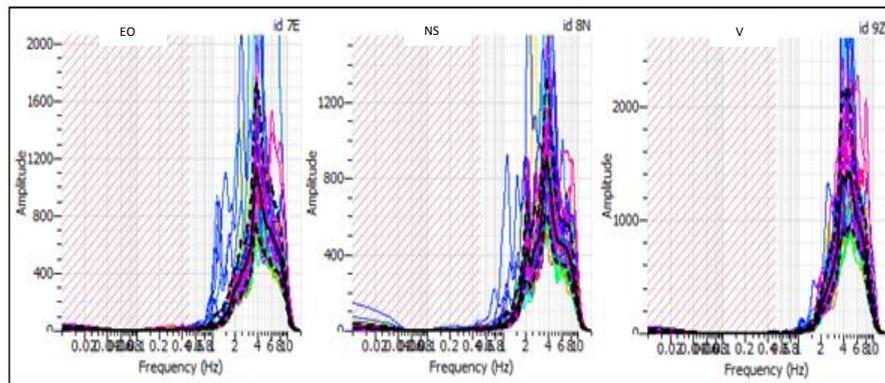


Figura 31: Espectro FFT promediado para cada componente del registro de vibración ambiental.

El espectro de la razón H/V, se obtiene con el promedio de cada una de las ventanas. En la Figura 32, se aprecia en distintos colores, el espectro H/V de cada ventana, la línea negra continua corresponde al espectro promedio; mientras que, las líneas negras punteadas comprenden la desviación estándar.

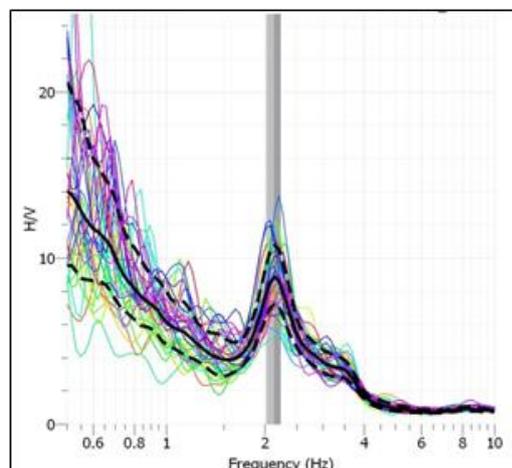


Figura 32: Razón H/V promediada.

Actualmente, para mejorar la técnica H/V se ha introducido técnicas de suavizado para una mejor estimación del periodo fundamental de sitio y del factor de amplificación, tal como lo propone Konno y Ohmachi (1998). Este proceso puede ser muy recomendable para el análisis de las frecuencias y la identificación del periodo dominante de sitio (Figura 33).

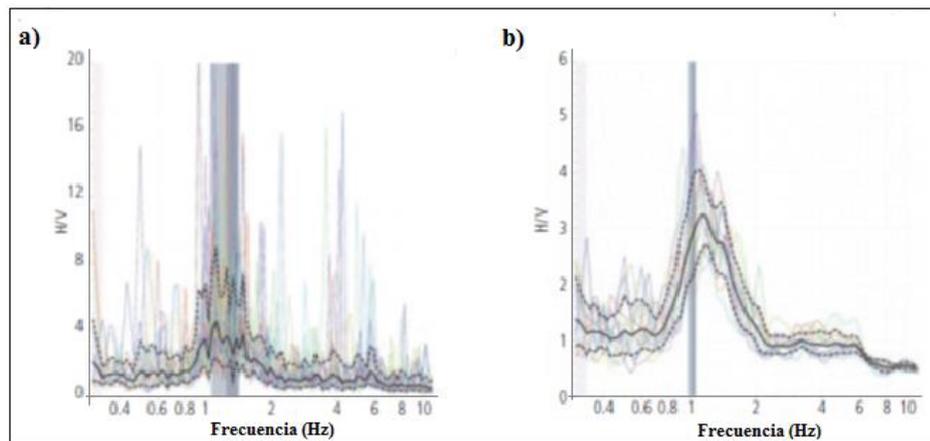


Figura 33: a) Comparación de la técnica H/V estándar, b) H/V incorporando la función de suavizado Konno y Ohmachi.

Finalmente, para definir la frecuencia predominante se consideraron tres criterios (Lermo y Chávez-García -1994 a.b; Lachet y Bard, 1994): primero debe estar presente en un rango de interés que fluctúa entre 0.5 a 30 Hz; segundo debe presentar amplificaciones relativas de al menos 2 veces (se considera la amplitud de “1” como punto de referencia) y por último, se considera el pico/rango de frecuencias más representativos para cada punto de medida. Para el análisis de la información se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Las frecuencias predominantes menores a 1Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos).
- 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debido a la presencia de depósitos profundos.
- 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debido a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (Bernal, 2006).

3.9.1.2. Análisis del Comportamiento de Ondas Superficiales

Una fuente activa genera varios tipos de ondas entre ellas las ondas superficiales que se propagan en la superficie conformada con distintas capas de diferentes espesores y velocidades, llegando las ondas a dispersarse con variadas longitudes de onda. Cuando se golpea en la superficie de un depósito de suelos, se genera ondas elásticas, tanto de cuerpo (compresión y corte) como de superficie (principalmente tipo Rayleigh): el 67% de la energía aplicada se propaga como ondas Rayleigh, el 27% como ondas de corte y el 7% como ondas de compresión. Esto se conocía desde hacía tiempo, pero no había tecnología suficiente para monitorear y analizar las ondas de superficie, por lo que durante muchos años los métodos geofísicos sísmicos estuvieron enfocados únicamente al registro y análisis de ondas de compresión y corte.

En un depósito de suelos perfectamente homogéneos, la onda Rayleigh viaja a una velocidad que es independiente de su longitud de onda. Sin embargo, si en un medio (por ejemplo depósitos de suelo) hay estratos con rigideces, densidades o relaciones de Poisson variables, entonces la velocidad de la onda Rayleigh dependerá de su longitud de onda. Cuando la velocidad y la frecuencia (o longitud de onda) de una onda son dependientes entre sí, se dice que la onda es dispersiva. De esta manera, las frecuencias bajas permiten caracterizar estratos de suelo profundos, mientras que las frecuencias altas permiten caracterizar los estratos de suelos superficiales.

Dispersión de Ondas Superficiales:

En un semi-espacio homogéneo, la velocidad de propagación (velocidad de fase) de las ondas Rayleigh será siempre la misma; mientras que, en medios heterogéneos es dependiente de su frecuencia o longitud de onda. Los métodos geofísicos basados en el análisis de ondas superficiales, recurren a esta propiedad dispersiva para caracterizar los suelos (Tokimatsu, 1997), ya que ésta dependerá de su estratigrafía y en particular, del perfil de velocidades de ondas de corte.

Considerando que las ondas Rayleigh movilizan al suelo hasta una profundidad que depende de su longitud de onda (Figura 34), cuando es pequeña, la velocidad de fase dependerá de las propiedades de las capas superficiales; y cuando es mayor, la velocidad dependerá en mayor medida de los estratos más profundos (Strobbia, 2003).

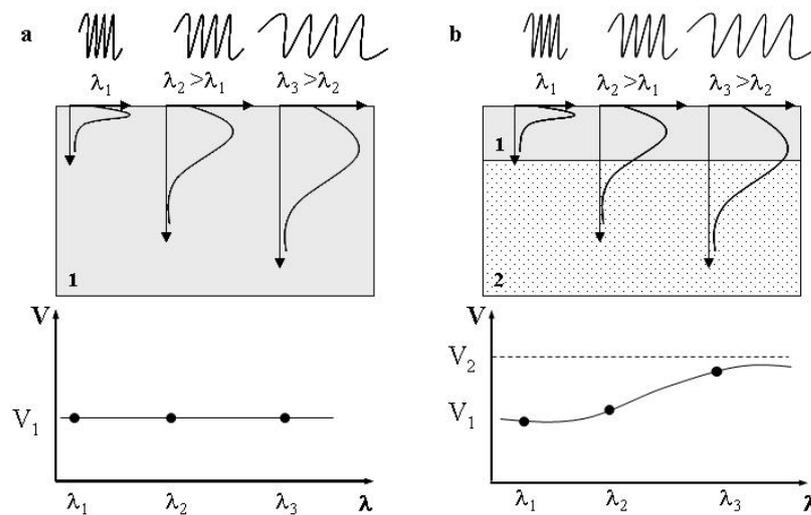


Figura 34: Velocidad de fase para distintas longitudes de ondas en un semi-espacio homogéneo (izquierda) y en un medio estratificado (derecha) (Strobbia, 2003)

Para la caracterización de suelos, desde el punto de vista sísmico, es importante conocer los perfiles de velocidad (V_s) de las capas superficiales que subyacen en el terreno hasta una profundidad de al menos 30 metros. Conocer el perfil de velocidades en los primeros 30 metros de profundidad resulta necesario para:

- Evaluar la respuesta sísmica del terreno donde se va a realizar una construcción.
- Evaluar la presencia de probables procesos de licuación de suelos en terrenos con presencia de arenas.
- Evaluar la transmisión de vibraciones generadas por explosiones, máquinas u otros elementos en superficie o profundidad.

- Utilizando el perfil de velocidad de onda de corte V_s , es posible determinar la velocidad equivalente V_{s30} .

El Método de Refracción (MASW):

A principios de los años 2000, el método MASW (Multichannel Análisis de Ondas Superficiales) se hizo popular entre los ingenieros geotécnicos, principalmente después de la publicación hecha por Park et al. (1999). Sin embargo, el método de enfoque multicanal para el análisis de ondas superficiales se remonta a principios de los 80, cuando investigadores Holandeses utilizan un sistema de adquisición de 24 canales (Figura 35) para deducir, la estructura de velocidad de ondas de corte en planicies (Gabriels et al., 1987).

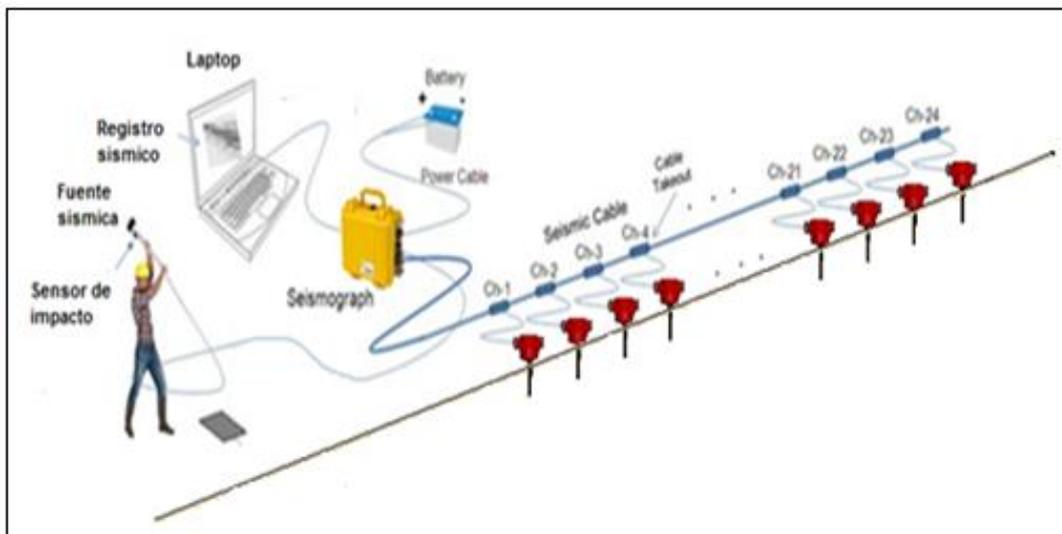


Figura 35: Diagrama de adquisición de datos de refracción sísmica MASW.

Técnica de Arreglos Lineales

El método sísmico MASW, es no destructivo y permite evaluar las condiciones, propiedades y espesores de los suelos, así como los módulos elásticos (rigidez) lineales que caracterizan a los materiales que componen el subsuelo. Este método analiza las propiedades de dispersión de las ondas superficiales (modos fundamentales de ondas Rayleigh), los cuales se propagan horizontalmente a lo largo de la superficie, desde el punto de impacto hasta los receptores (Figura 36).

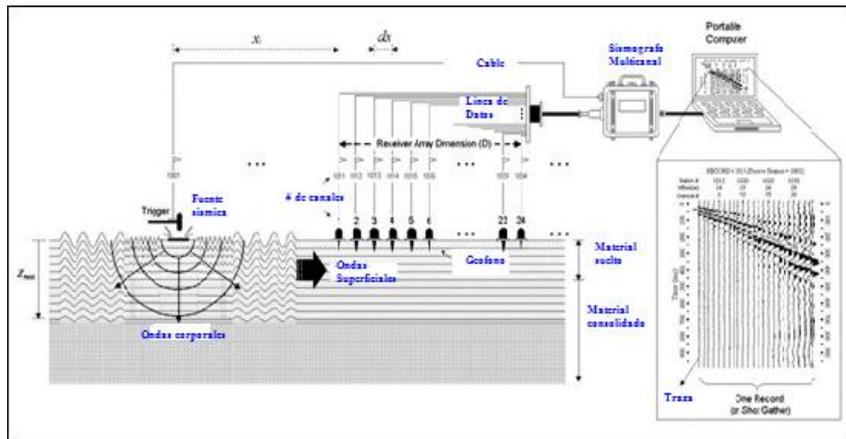


Figura 36: Organigrama de la técnica de análisis multicanal MASW

Básicamente, la técnica de análisis de ondas sísmicas, en la ingeniería sísmica utiliza un sistema de adquisición multicanal (12, 24 o más geófonos) y arreglos que van en longitud, desde unos pocos metros hasta unos cientos de metros, además de una adecuada fuente impulsiva o vibratoria, proporcionando datos de calidad, para medir la velocidad de fase de las ondas superficiales. La técnica de análisis multicanal de ondas superficiales permite reconstruir la curva de dispersión en un punto, mediante la transformación de las frecuencias y números de onda que caracterizan a las señales sísmicas.

Para el método MASW se aplican dos tipos de fuentes de energía: El primero denominado activo y requiere para generar ondas, el golpe de un martillo, la caída libre de un peso o con explosivos. El segundo es denominado pasivos y se basa en la medición de vibraciones ambientales del suelo generadas por el tráfico, corrientes oceánicas o microsismos que ocurren día a día (Bonney – Claudet, 2006).

En la adquisición de datos, el método multicanal consiste en registrar las ondas superficiales generadas por golpes en el terreno con un martillo o una fuente vibratoria (Figura 37). El adecuado almacenamiento de los datos y su posterior procesamiento de la información permiten determinar las características físicas del subsuelo, de manera indirecta, basándose en el cambio de las propiedades físicas de los materiales que la conforman y que condicionan al tipo de registro, permitiendo de este modo, definir el perfil de velocidades de las ondas de corte (V_s), a lo largo de los estratos existentes en el subsuelo.

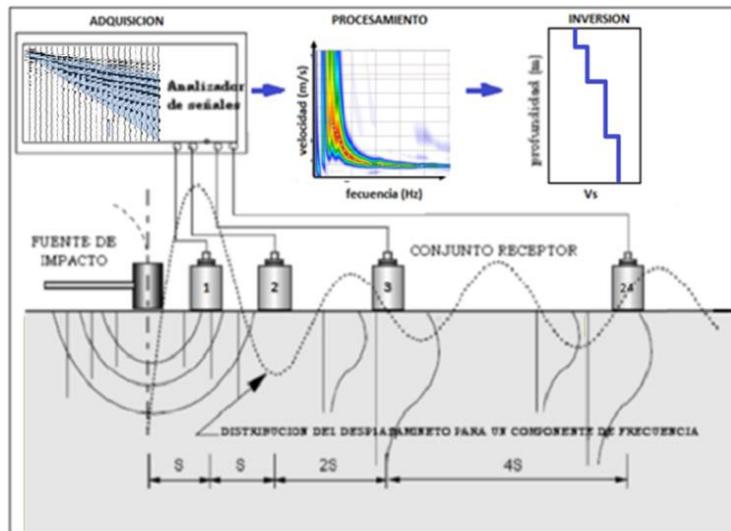


Figura 37: Esquema para la adquisición de datos con la técnica MASW

Todo esto es posible debido a que por lo general, las ondas superficiales producidas en este caso por un martillo, toman alrededor del 70 % de la energía sísmica total. Estas ondas se atenúan con la profundidad y se propagan dispersivamente cuando hay variación de la velocidad en los medios de propagación, es por esto que las grandes longitudes de las ondas penetran a mayor profundidad y las pequeñas longitudes, a profundidades superficiales.

Curva de Dispersión

La generación de una curva de dispersión es uno de los pasos más críticos para generar un perfil de velocidad de ondas de cizalla. Las curvas de dispersión se muestran, generalmente, como la velocidad de fase versus la frecuencia, filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que estas son las que predominan en el grupo de ondas. Esta relación se puede establecer calculando la velocidad de fase a partir de la pendiente lineal de cada componente del registro de frecuencia de barrido. La precisión de una curva de dispersión se puede aumentar haciendo el análisis y remoción del ruido sobre los datos del ground roll (Park et al, 1999).

Para determinar la curva de dispersión, el procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Se realiza la transformada rápida de Fourier (FFT) de la señal del dominio de tiempo al dominio de frecuencias con la siguiente ecuación.

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt$$

Esta función es dependiente de la posición y la frecuencia, (Figura 38) y se denomina componente de fase de cada señal. Luego se procede a la determinación de la curva de dispersión, para obtener la velocidad de fase para cada Δx . En la Figura 38, se puede ver la curva de dispersión tanto para el modo fundamental como el modo superior de la onda Rayleigh:

$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x, \omega) \cdot e^{i\omega \frac{x}{c}} dx$$

Donde la velocidad de fase es:

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta \phi_f(\omega)}$$

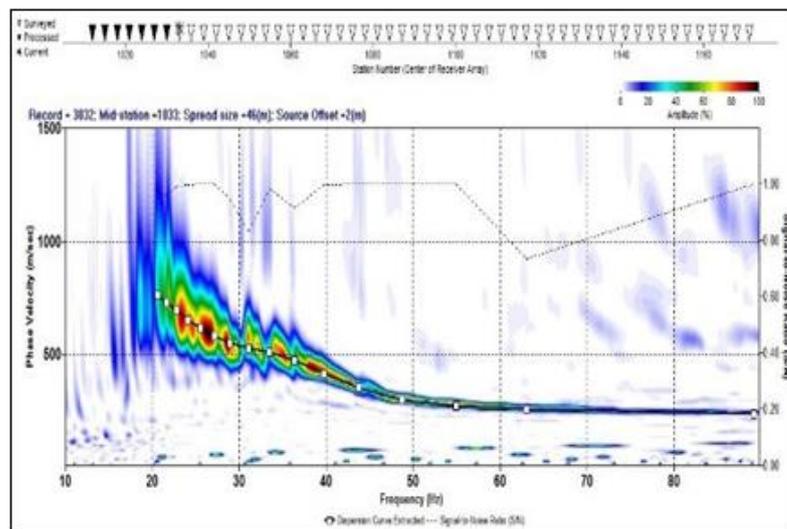


Figura 38: Curva de dispersión

Inversión de la curva de dispersión

La construcción del perfil de ondas de corte (V_s) a partir de la inversión de la curva de dispersión, con los siguientes pasos: primero se crea un modelo inicial introduciendo al programa, el número de capas y sus espesores. Luego se realiza el ajuste por medio de mínimos cuadrados, considerando la velocidad de la onda S con respecto a la profundidad y así obtener la curva de dispersión y su respectivo perfil de velocidades en base a la velocidad de las ondas y niveles de profundidad (Figura 39).

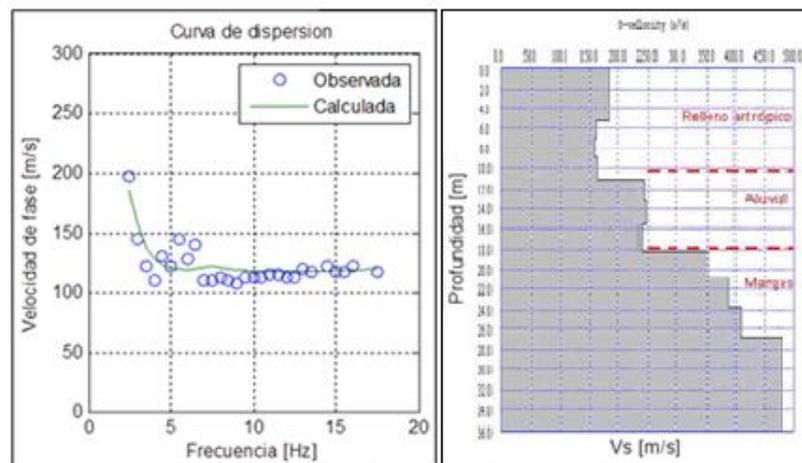


Figura 39: Inversión de la curva de dispersión

3.9.1.3. Método de Resistividad

La teoría de los métodos eléctricos estudia las respuestas del terreno al paso de la corriente eléctrica; es decir, la resistividad del subsuelo. Este parámetro está relacionado con otros de interés geológico como, tipo de roca y el grado de saturación del agua. Este método investiga los potenciales eléctricos naturales y propiedades eléctricas intrínsecas de los materiales como son: conductividad, permeabilidad y permitividad.

El método de resistividad consiste en introducir corriente eléctrica continua en el terreno por medio de un par de electrodos y posteriormente, medir la diferencia de potencial entre otro par de electrodos. La relación entre estas dos magnitudes, es lo que se conoce como resistividad aparente. El método puede

aplicarse en la detección de reservas geotérmicas, localización de restos arqueológicos y exploración de agua subterránea.

Teoría de Resistividad:

Las investigaciones de resistividad dan una imagen de la distribución de la resistividad del subsuelo. Para convertir esa imagen en una estructura geológica, es muy importante y necesario conocer como varía este parámetro en los diferentes tipos de materiales que constituyen el subsuelo y en las estructuras geológicas del área de estudio, ver en la Figura 40.

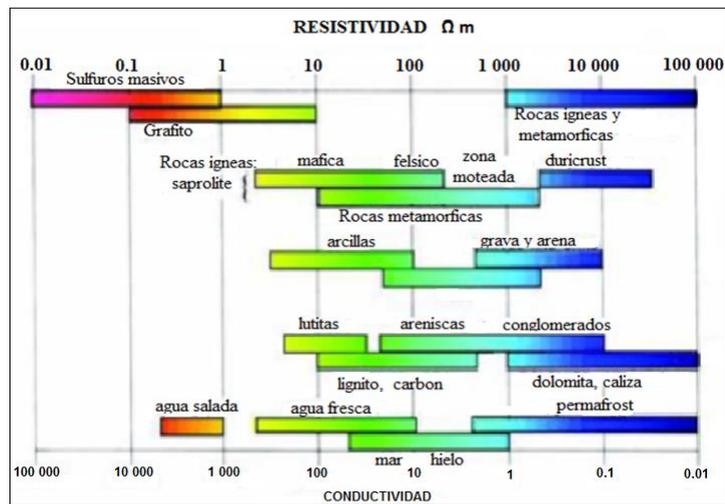


Figura 40: Diferentes tipos de materiales y sus respectivas resistividades

Las rocas ígneas y metamórficas generalmente presentan valores altos de resistividad y las sedimentarias, al ser más porosas tienen un alto contenido de agua y por lo tanto presentan valores de resistividad bajos. Los suelos arcillosos presentan valores de resistividad más bajos que los suelos arenosos. En general, se puede observar que los valores de resistividades asociados a cada elemento varían en diversas órdenes de magnitud, ya este parámetro depende de un número de factores tales como la porosidad, el grado de saturación de agua y la concentración de sales disueltas. La resistividad del agua del terreno varía desde 10 a 100 ohm.m. dependiendo de la concentración de sales disueltas. El bajo valor (alrededor de los 0.2 ohm.m) en el agua de mar se debe al alto contenido de sal, esto hace que los

métodos de resistividad sean técnicas ideales para la planimetría de la interface de estructuras con contenido de agua fresca y salina. El cálculo de la profundidad de investigación la que se sitúa espacialmente cada medida de resistividad, es un tema de cierta ambigüedad, dado que esta no solo depende de la disposición de los electrodos (más espaciados mayor profundidad), sino también de la distribución de las resistividades del medio.

Técnica de Tomografía Eléctrica:

En su sentido más amplio, la tomografía eléctrica es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución del parámetro físico de resistividad característico del suelo en un ámbito espacial limitado y para ello se requiere analizar un número elevado de medidas desde la superficie del terreno. En la Figura 41, se muestra la configuración multielectrónica seguida por los estudios de tomografía eléctrica es, sin duda, una de las herramientas de carácter no destructivo, que resulta ser eficaz para el estudio y caracterización de posibles discontinuidades del subsuelo en el rango, de algunos metros, hasta centenares de metros de profundidad.

Para la adquisición de datos, en primer lugar se procede a colocar los electrodos en la superficie de forma equiespaciada, intentando siempre que formen una línea recta. Se debe definir cuál es el origen y final del perfil a fin de no tener problemas en la fase de interpretación. Se intentará además que la topografía del terreno sea lo más plana posible para evitar tener fenómenos anómalos en las medidas de resistividad. Los electrodos se clavarán en el terreno lo suficiente como para garantizar un buen contacto electrodo-suelo (resistencia de contacto baja).

Ahora, a través de una computadora portátil o con el propio resistivímetro se configuran todas las variables para construir el perfil: tipo de dispositivo, número de electrodos, abertura entre electrodos, número de niveles. Concluida la configuración, si se realizó a través de la computadora, se transfieren las

especificaciones al resistivímetro a fin de realizar automáticamente la secuencia de mediciones prefijadas.

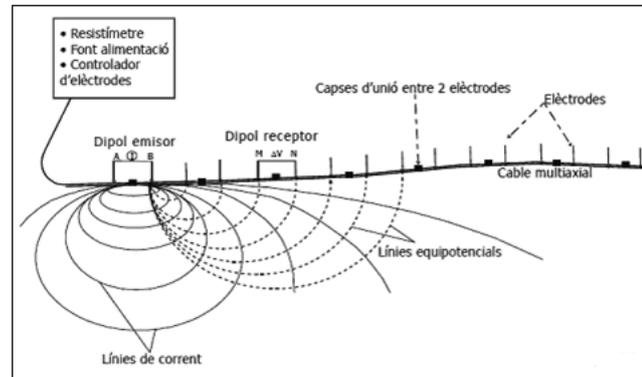


Figura 41: La configuración multielectrodica de tomografía de resistividad eléctrica.

Sin embargo, antes de iniciar las mediciones, se procede a verificar que todas las conexiones (electrodos-cable) funcionen correctamente, y que la resistencia de contacto entre electrodo-suelo sean suficientemente bajas (<100 ohm-m) para garantizar buenos resultados. En el caso de tener valores superiores, entre 500 y 1000 ohm- m, basta con clavar un poco más los electrodos o humedecer el terreno para mejorar la conductividad.

El resultado final para este tipo de estudio, es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos.

CAPÍTULO IV

TÉCNICAS GEOFÍSICAS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

A fin de realizar la evaluación de las características físicas de los suelos en la ciudad de Huacho y estimar el comportamiento dinámico de estas ante la sollicitación sísmica, se procedió a realizar estudios geofísicos, con la técnica de razones espectrales (H/V), análisis multicanal (MASW) y tomografía eléctrica.

4.1. Técnica de cociente sísmico espectral H/V

Con la finalidad de aplicar esta técnica, en la zona urbana de Huacho se obtuvieron registros de datos de vibración ambiental, usando como referencia el mapa catastral de la ciudad y teniendo en cuenta la topografía, la información geológica y geomorfológica del área de estudio, para el fácil acceso y distribución de los diferentes puntos de medición en la zona de estudio. De acuerdo a esto, se tomaron un total de 370 puntos de vibración ambiental, en diferentes lugares del área de estudio y para cada uno se ha considerado el registro de 20 minutos de señal, lo cual permite disponer de buena información, para su posterior análisis. En la Figura 42, se muestra la distribución de los puntos de medida, observándose que ellos cubren completamente el área en estudio.

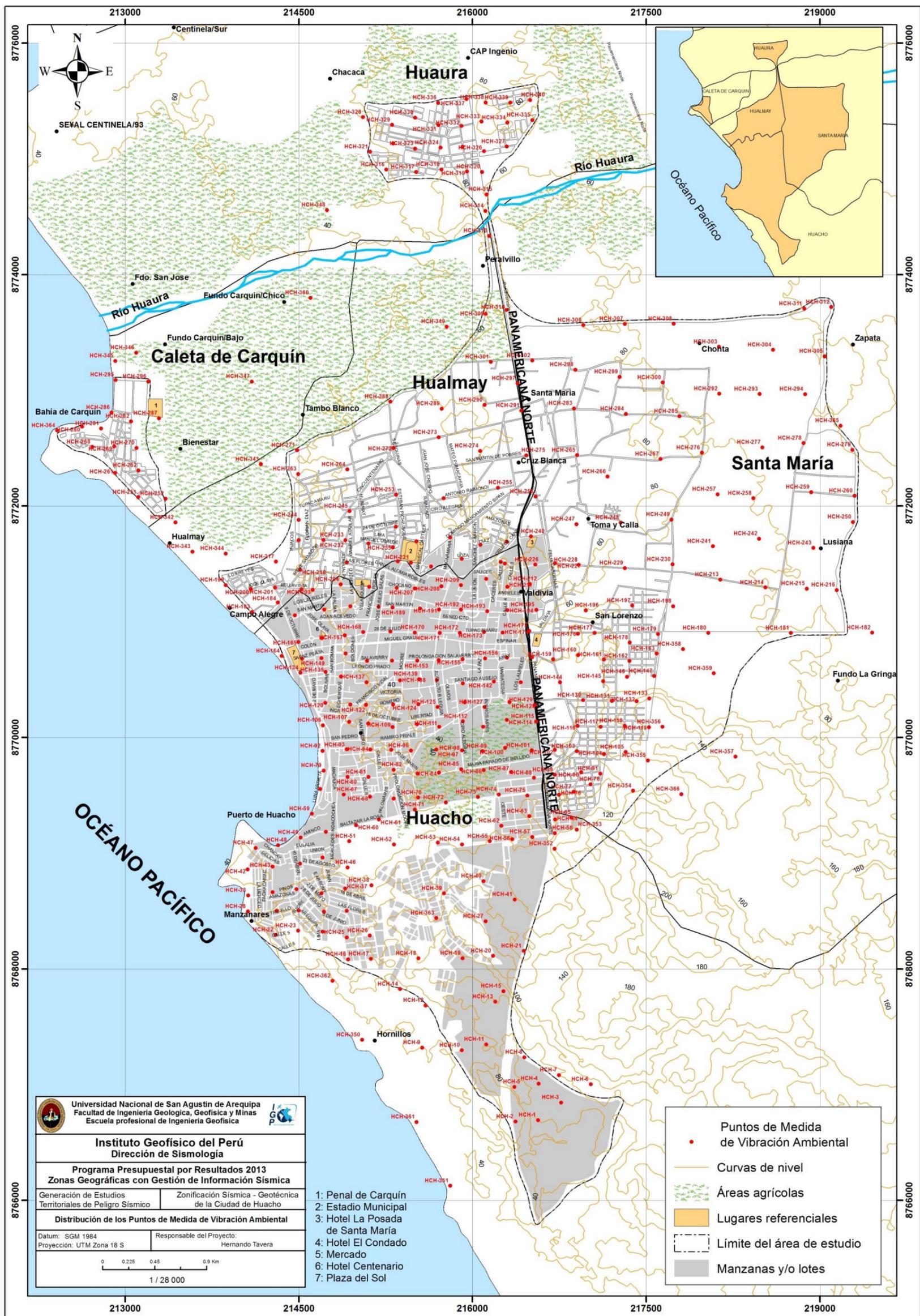


Figura 42: Mapa de la ciudad de Huacho y distribución espacial de 370 puntos de registro de vibración ambiental

4.1.1. Instrumentación utilizada

Para la recolección de datos, el equipo utilizado consistió en:

- Dos sismógrafos de tres componentes ortogonales (vertical, Norte-Sur, Este-Oeste) marca Lenartz con un rango dinámico de 140 db y de banda de frecuencias entre 0.2 y 40 Hz.
- El registrador es de marca Leas modelo CityShark II que registra una frecuencia de muestreo de 200 Hz en un rango de ganancias de 1024 dB permitiendo disponer de distintas ganancias para cambiar la resolución y el valor de la saturación de la vibración ambiental (Figura 43).
- GPS, empleado para la obtención de coordenadas geográficas.
- Brújulas, utilizadas para la orientación del sensor con el norte magnético.
- Fichas de campo en las cuales se registra parámetros característicos e información complementaria en cada punto de medida (coordenadas de ubicación y observaciones).



Figura 43: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales: sensores Lennartz y registradores CityShark

Para la adquisición de los datos de campo se coloca el sensor sobre la superficie ya seleccionada, evitando estructuras, postes o cualquier otro factor que pueda perturbar el registro de la señal. Con la ayuda de la brújula, cuidando de que no esté cerca de cualquier fuente magnética, se orienta el sensor respecto al norte magnético, para luego nivelar el sensor de manera horizontal sobre la superficie; luego de ajustar correctamente el sensor, este se conecta a la estación portátil y se da un tiempo de aproximadamente 1 minuto para estabilización del sensor.

Luego se proceden a grabar la señal de vibración ambiental para ser almacenada en el disco interno del equipo.

Con la información disponible se procede a descargar la data para ser procesada y obtener las razones espectrales H/V. Con la finalidad de identificar las frecuencias predominantes y amplificaciones asociadas a contrastes de impedancia de los estratos del subsuelo, presentes en el área de estudio. Por ejemplo, en la Figura 44 se muestra la señal registrada en el punto HCH-90 (con mayor ruido) y su razón espectral presenta una banda de secciones, sobresalientes un pico a 1.5 Hz. Estas secciones correspondería mayor amplitud, a suelos blandos heterogéneos; mientras que, para el punto HCH-22 (señal con menor ruido) el cociente espectral no presenta un pico relevante; por lo que, se trataría de suelos compactos o rocas.

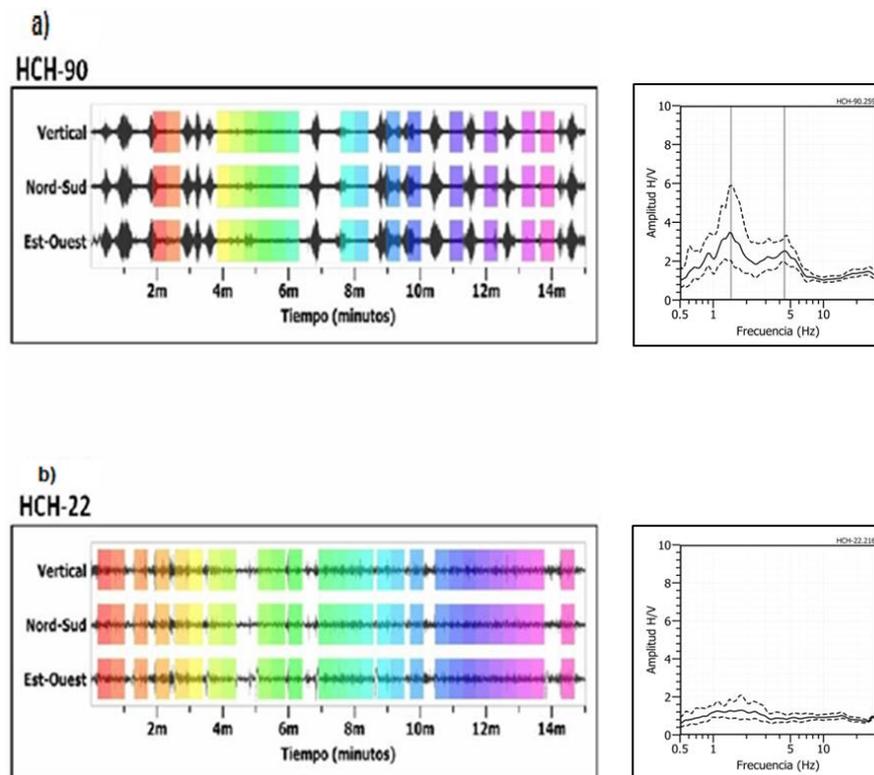


Figura 44: Ejemplo de selección de ventanas y cociente espectral H/V. **a)** se identifica una banda de frecuencias predominantes. **b)** no resalta ninguna frecuencia predominante. La línea gruesa negra indica el promedio de las curvas de razones espectrales y las líneas discontinuas su desviación estándar.

4.1.2. Procesamiento de señales

Hoy en día el análisis de cocientes espectrales está bastante avanzado; sin embargo, el procedimiento seguido es casi estándar y debe considerarse lo siguiente:

- Preferentemente no se aplica filtros a la señal para tener respuesta real del suelo.
- Separación en intervalos de tiempo (ventanas) para cada una de las componentes (NS, EO, y V). No hay uniformidad en el largo del intervalo de tiempo, ni tampoco para el solape entre las distintas ventanas. Generalmente, se considera ventanas de 20 segundos a 1 minuto con solapes de hasta un 10 %.
- Se procede al cálculo de la transformada de Fourier para cada una de las ventanas.
- Finalmente, el promedio de las razones espectrales, permite obtener el cociente espectral e identificar la frecuencia predominante y su amplitud máxima relativa.

Los resultados obtenidos para cada punto de medida son detallados en una ficha como la que se muestra en la Figura 45. La ficha para el punto HCH-086 presenta en su extremo superior el registro de vibración ambiental (15 minutos) analizado en ventanas de 20 segundos; en el extremo inferior izquierdo, la curva promedio de H/V con su respectiva desviación estándar y picos de frecuencias a 1.3 Hz, 5.8 Hz y 18.6 Hz con amplificaciones relativas de 4 veces respectivamente. Hacia el extremo inferior derecho se muestra la variación azimutal de amplitud de la energía inducida al medio (espectrograma). En ella se deduce que a frecuencia de 1.3 Hz, la energía se irradia en todas las direcciones, la frecuencia de 5.8 Hz se irradia principalmente en dirección NS y la frecuencia de 18.6 Hz en dirección EO. Este procedimiento de análisis se aplica al total de la información obtenida en campo.

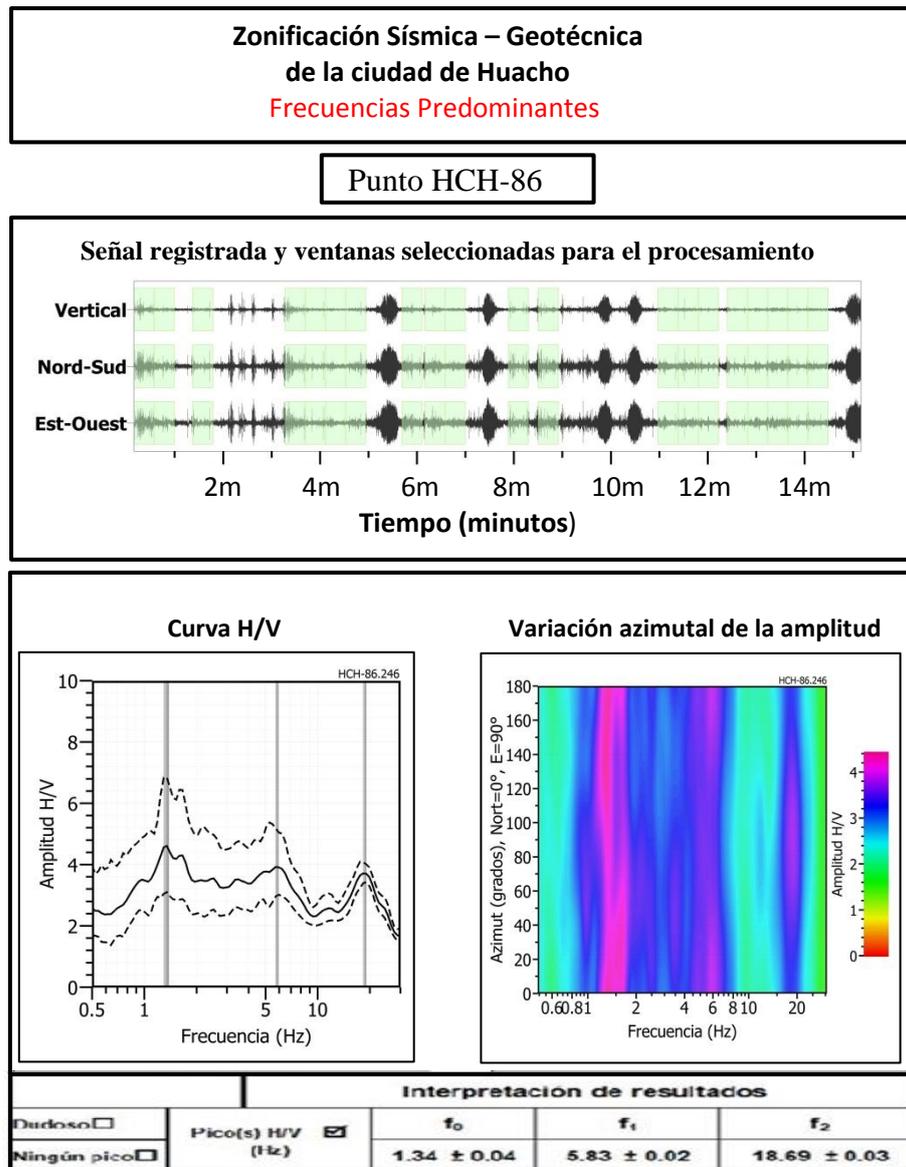


Figura 45: Ejemplo de la ficha H/V para el punto HCH-086 en la cual se recopila la información registrada y analizada. Arriba, señal registrada; Medio razón espectral H/V (en línea gruesa y su desviación estándar en línea discontinua) y Espectrograma Abajo: resultados.

Frecuencias predominantes

La determinación de las frecuencias predominantes se realizó mediante el análisis de los cocientes espectrales para el total de los registros de ruido ambiental obtenidos para el área urbana de Huacho. Los valores obtenidos fueron clasificados en dos rangos: **F0** ($F_p < 3.0\text{Hz}$) y **F1** ($3.0 > F_p < 20\text{Hz}$).

Esta clasificación se realiza en razón, que en varios puntos de medición, sobresalen dos y hasta tres picos de frecuencias con amplificaciones próximas. Proyectadas en el mapa catastral el total de las curvas H/V obtenidas, se observa importantes variaciones en los valores de frecuencias predominantes, los cuales se deberían a la profundidad del basamento o cambios de los materiales que forman el suelo en donde se obtuvieron registros de vibración ambiental.

a) Rango de frecuencia predominante de F0 ($F_p < 3.0\text{Hz}$):

En la Figura 46, se presenta la distribución espacial de frecuencias predominantes menores a 3.0 Hz, los mismos que se distribuyen sobre todo el área de estudio, a excepción del área en recuadro, en la cual las curvas H/V no muestran frecuencias predominantes (HCH-165; HCH - 169 y HCH-186) lo cual sugiere que se trata de suelos compactados. En la misma figura se resalta los puntos para los cuales se presenta ejemplos de H/V.

En la Figura 47 se presenta como ejemplo, los resultados obtenidos para los cocientes espectrales con dos picos de rango de frecuencias entre 1.0 a 3.0 Hz. Las frecuencias muestran amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces lo cual sugiere la presencia de suelos heterogéneos. Los puntos HCH-165, HCH-169 y HCH- 186, presentan bajas amplificaciones, lo cual definiría a suelos compactos.

A continuación se muestra algunos ejemplos de H/V:

- **HCH-92, HCH- 96 y HCH-231:** Las razones espectrales obtenidas para estos puntos ubicados, los dos primeros en dirección sur con respecto a la zona céntrica de la ciudad de Huacho y el ultimo hacia el norte, muestran el predominio de frecuencias en el rango de 1.0 a 2.0Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 3 veces (Figura 47a).
- **HCH-128, HCH-175 y HCH-208** las razones H/V obtenidas para estos puntos ubicados en dirección Este, con respecto al centro de la ciudad de

Huacho, presentan frecuencias en el rango de 1.0 a 2.0Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces. El punto HCH-128 presenta mayor amplificación y dos picos de frecuencias en el rango de **F0** y **F1**, con la misma amplificación máxima relativa. Esta característica ha sido observada en diversos puntos ubicados en esta zona de estudio (Figura 47b).

- **HCH-317, HCH-329 y HCH-332:** para estos puntos ubicados en el extremo norte de la ciudad, las razones espectrales H/V presentan frecuencias predominantes entre 1.0 y 2.0 Hz, con amplificaciones de 6.2 y 4.5 veces. Para el punto HCH-317, se observa mayores amplitudes y menores frecuencias (Figura 47c).
- **HCH-165, HCH-169 y HCH- 186:** para estos puntos la señal de cocientes espectrales no presenta picos relevantes como se observa en la Figura 47d, lo cual evidenciaría que dicha zona está conformada de suelos compactos (afloramientos rocosos).

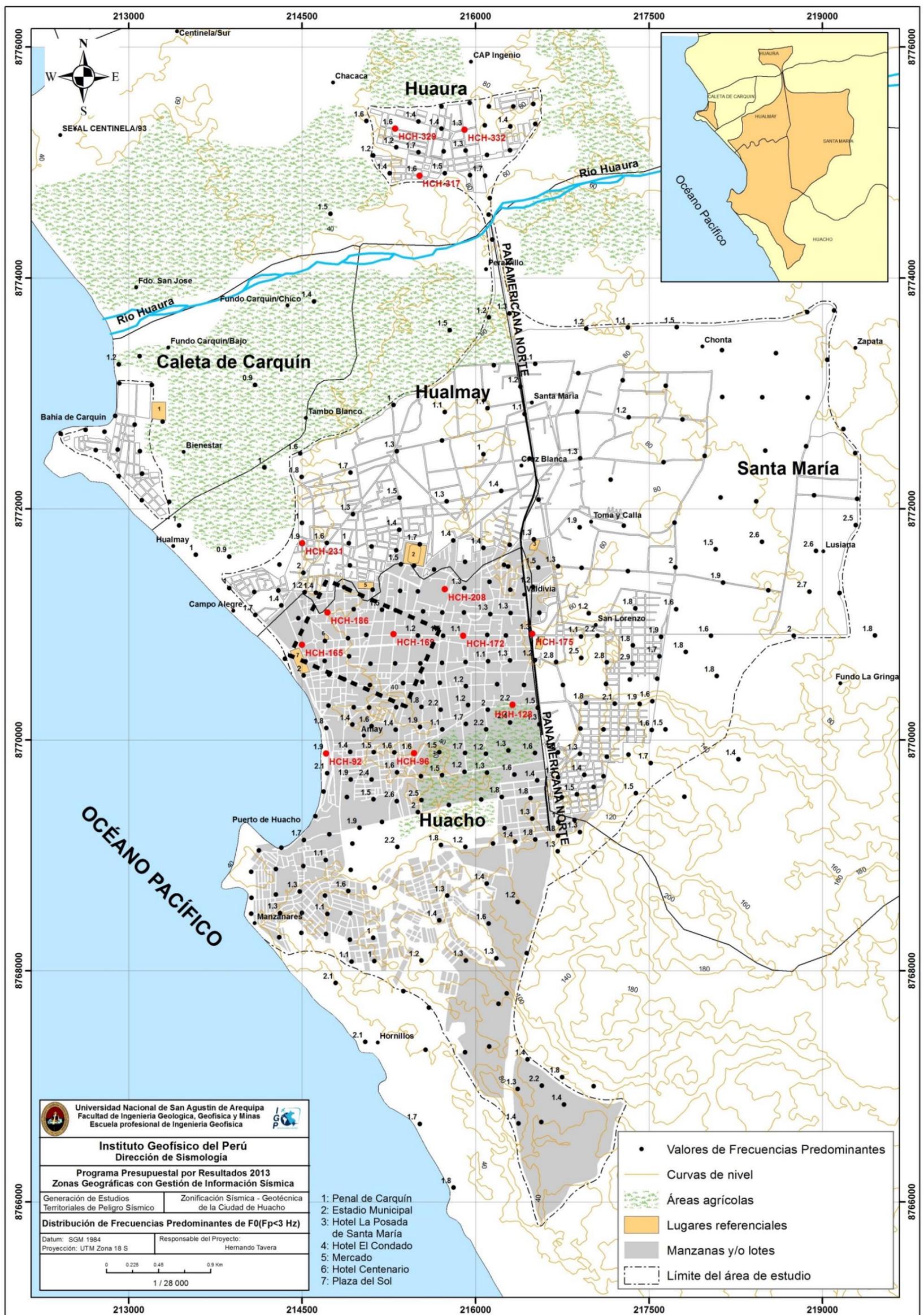


Figura 46: Mapa de la ciudad de Huacho y distribución espacial de las frecuencias predominantes F_0 ($F_p < 3.0$ Hz). Los puntos rojos corresponden a ejemplos de H/V de las (Figuras 47).

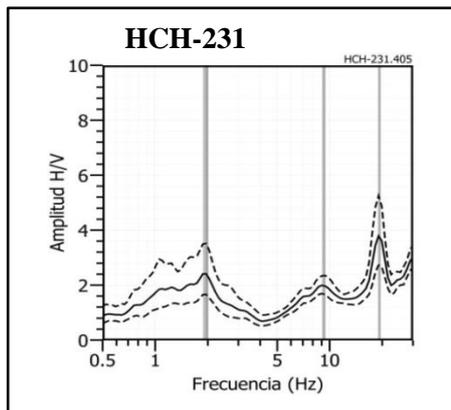
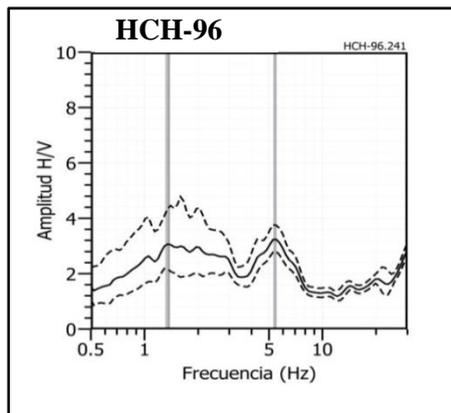
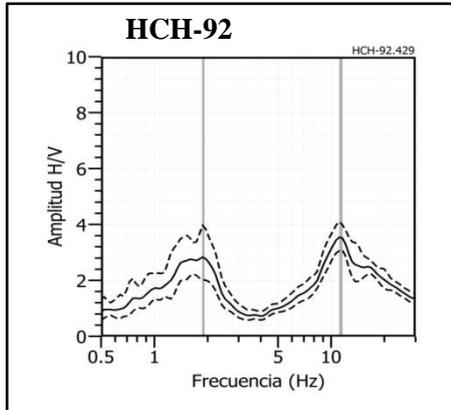


Figura 47a: Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos ubicados en el extremo sur (HCH-92, HCH-96) y norte (HCH-231) de la ciudad de Huacho. El rango de frecuencias predominantes es $F_p < 3.0$ Hz. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

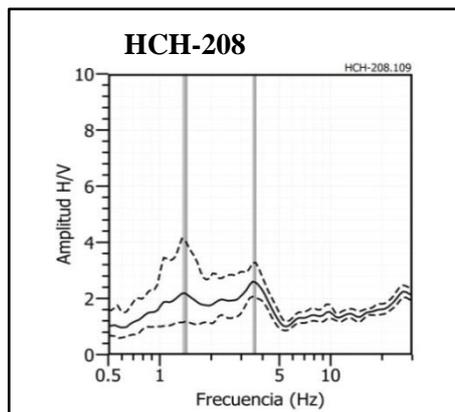
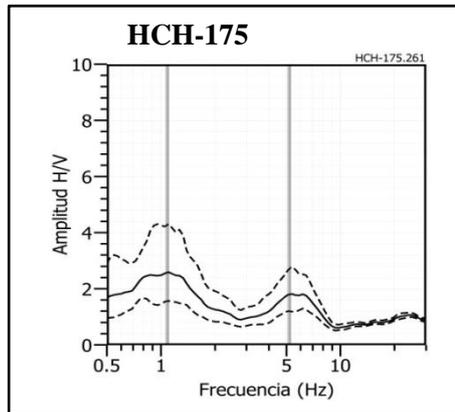
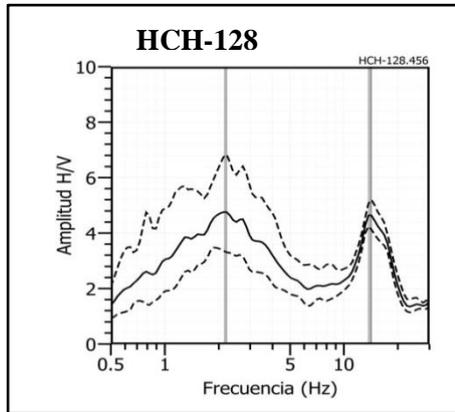


Figura 47b: Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos HCH-128, HCH-175, HCH-208, ubicados en el extremo Este de la zona céntrica de la ciudad de Huacho. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

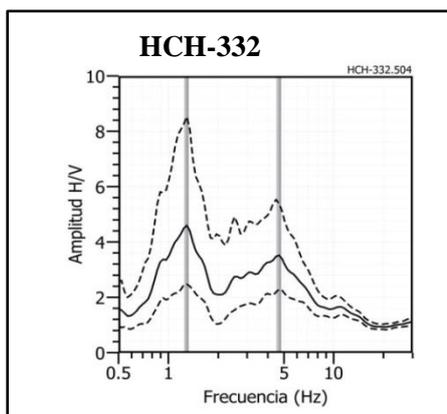
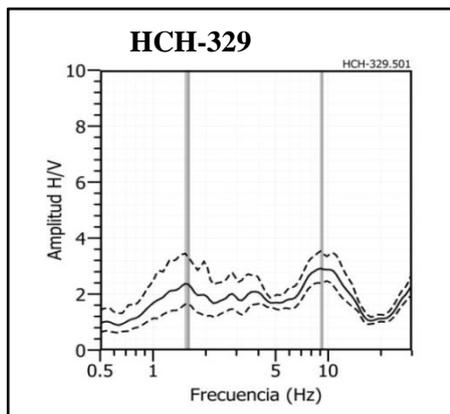
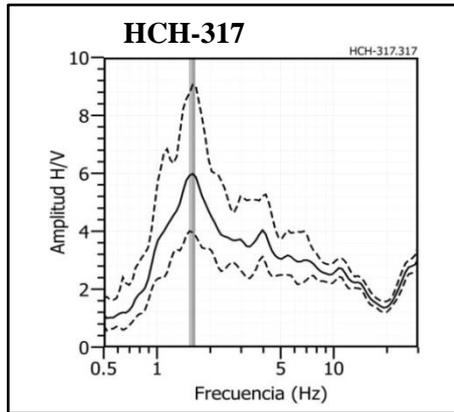


Figura 47c: Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos HCH-317, HCH-329, HCH-332, ubicados en Huaura. Las líneas continuas representan la razón espectral y las líneas discontinuas es su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

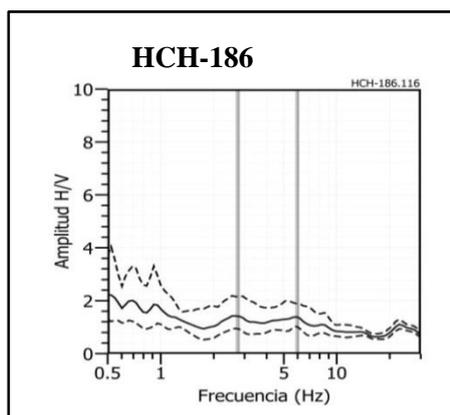
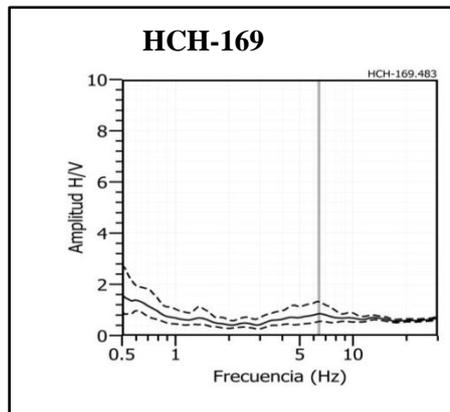
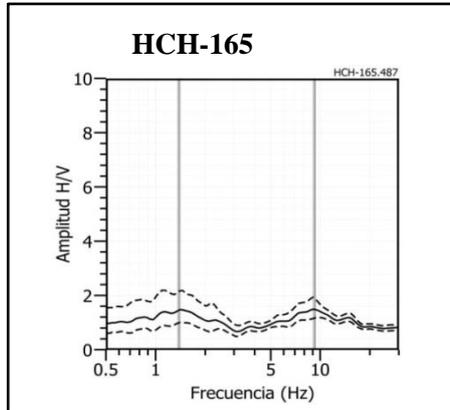


Figura 47d: Ejemplos de razones espectrales (H/V) para puntos HCH-165, HCH-169, HCH-186, ubicados en dirección este con respecto a la plaza de Armas de la ciudad de Huacho. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

En la Figura 48, se presenta la distribución espacial de tres razones de frecuencias predominantes. Primero, en el recuadro en el cual las curvas de razones espectrales no presentan frecuencias predominantes, tal como se observa en los puntos HCH-165, HCH-169 y HCH-186. Estas características sugieren que en el área de estudio existen formaciones rocosas y/o suelos compactos. Segundo (Figura 49), las razones espectrales para los puntos HCH-92, HCH-96 ubicados, los dos primeros en dirección sur de la zona de la ciudad de Huacho y el punto HCH-231 hacia el extremo norte de la ciudad de Huacho, muestran el predominio de frecuencias en el rango de 1.0 a 2.0Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 3 veces. Tercero, las razones espectrales obtenidas para los puntos HCH-128, HCH-175 y HCH-208, ubicados en dirección Este, con respecto al centro de la ciudad de Huacho, presentan frecuencias en el rango de 1.0 a 2.0Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces, siendo el punto HCH-128 el que presenta mayor amplificación y dos picos de frecuencias en el rango **F0** y **F1**, con la misma amplificación máxima relativa. Esta característica ha sido observada en diversos puntos ubicados en esta zona de estudio.

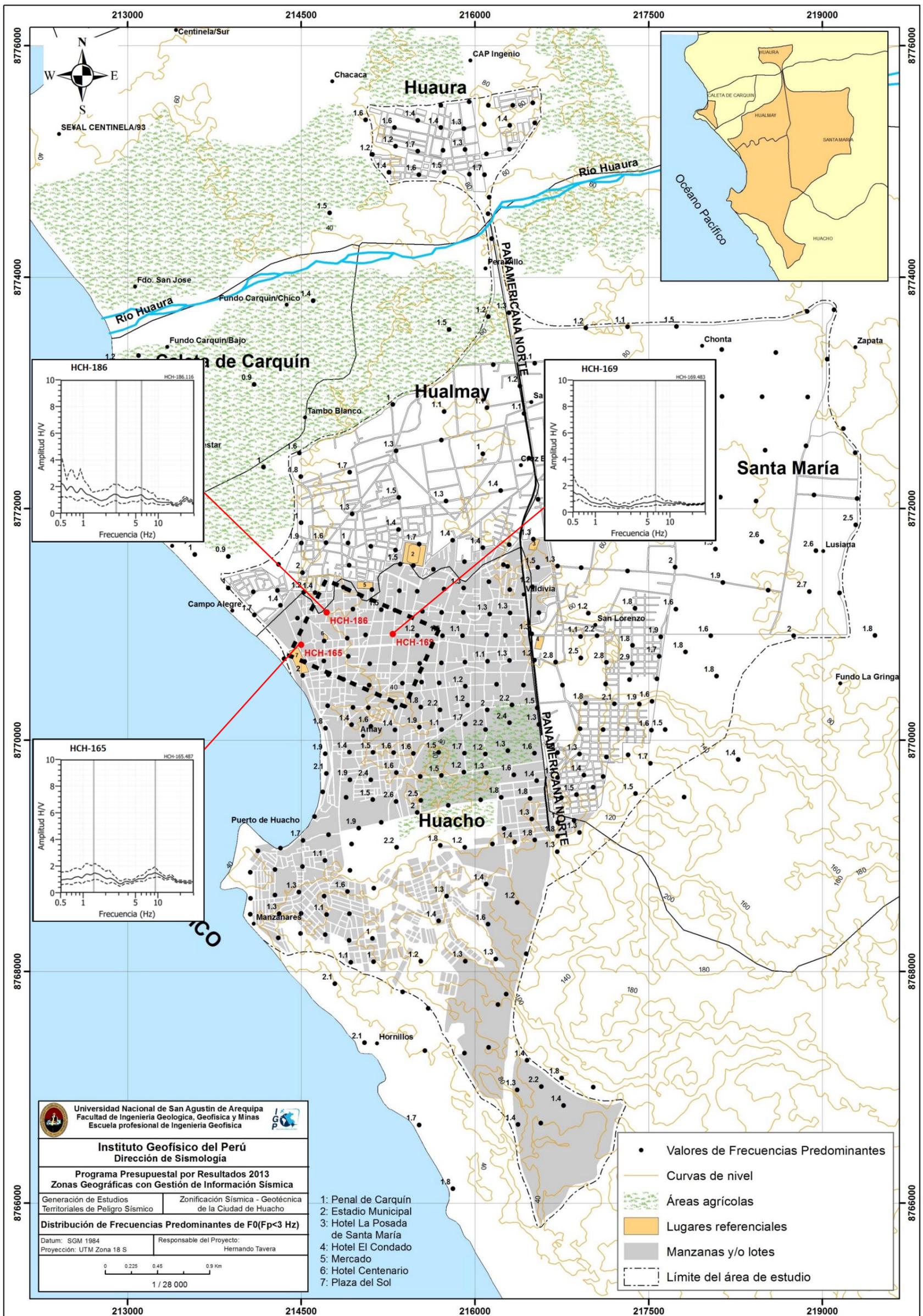


Figura 48: Distribución de frecuencias en área en recuadro, en la cual las curvas H/V no muestran frecuencias predominantes (HCH-165; HCH - 169 y HCH-186).

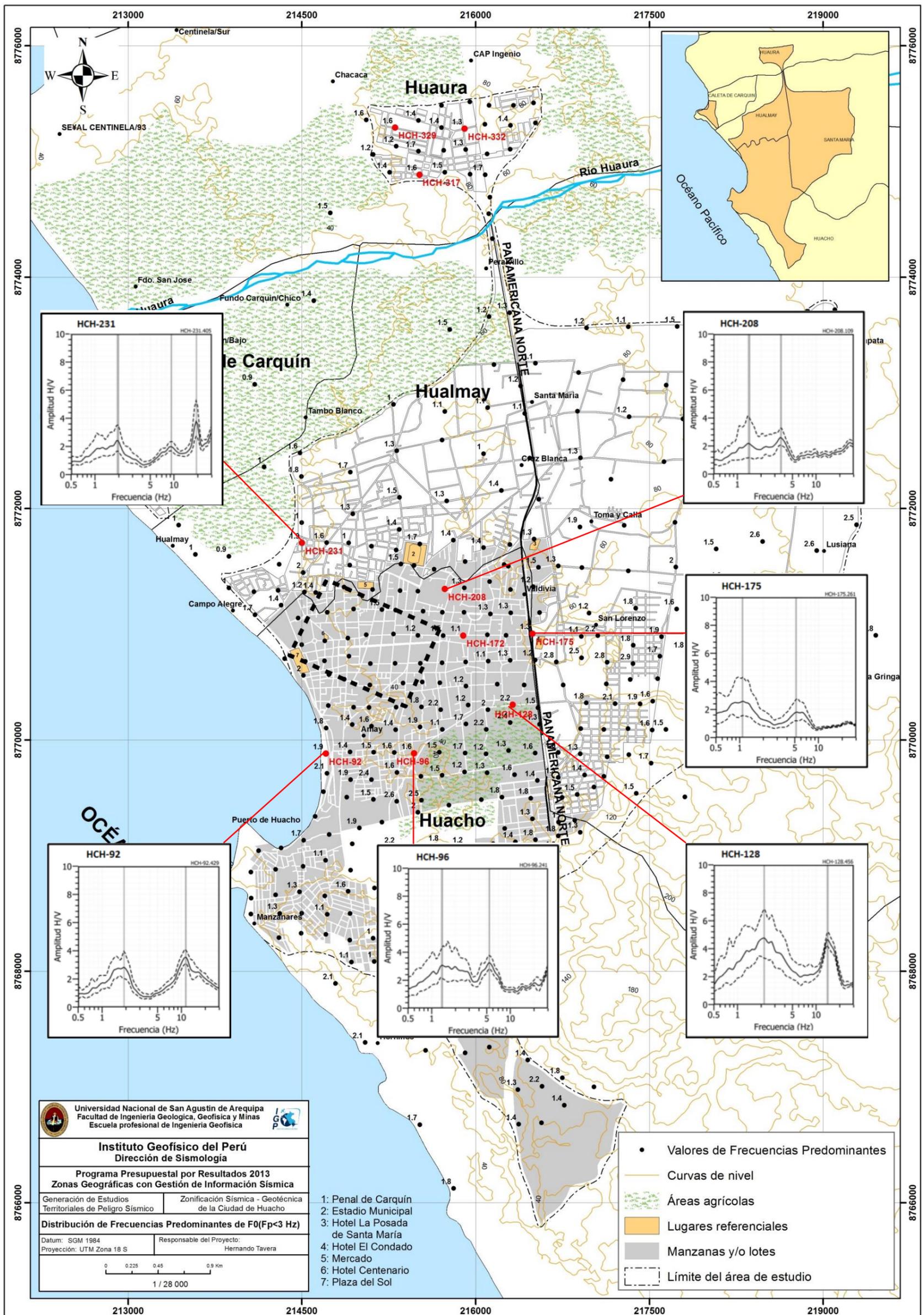


Figura 49: HCH-92, HCH- 96 y HCH-231, ubicados los dos primeros, en dirección sur la zona de la ciudad de Huacho y el último hacia el norte, muestran el predominio de frecuencias en el rango de 1.0 – 2.0Hz, con amplificaciones máximas relativas de hasta 3 veces y en HCH-128, HCH-172, HCH-175 y HCH-208, ubicados en dirección Este, con respecto al centro de la ciudad de Huacho, sobresalen frecuencias en el rango de 1.0 – 2.0Hz con amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces, siendo el punto HCH-128 el que presenta mayor amplificación y dos picos de frecuencias en el rango F_0 y F_1 .

b) Rango de frecuencia predominante F1 ($3.0 > F_p < 20\text{Hz}$):

La Figura 50 muestra la distribución espacial de los valores de H/V en el rango de frecuencia de $3.0 > F_p < 20\text{Hz}$. Estos valores están presentes en toda el área de estudio, menos en el área comprendida entre la Av. Ramiro Prialet y la Av. San Martín. (Área de recuadro). Algunos ejemplos de razones espectrales H/V obtenidos para este rango de frecuencias son:

- **HCH-166, HCH-187 y HCH-189:** Las razones espectrales obtenidas para los puntos ubicados en el extremo este de la Plaza de Armas de la ciudad de Huacho, no presenta frecuencias predominantes, corresponderían a suelos compactos (Figura 51a).
- **HCH-202, HCH-255 y HCH-271:** Las razones espectrales en estos puntos, ubicados en el extremo norte de la zona céntrica de la ciudad, presentan frecuencias que fluctúan entre 6 y 8 Hz con amplificaciones máximas relativas de 2 a 5 veces (Figura 51b).
- **HCH-69, HCH-125 y HCH-179:** Las razones espectrales en estos puntos, ubicados en el extremo sur de la zona céntrica de la ciudad, presentan las siguientes características: punto HCH-69, frecuencia de 2.8 Hz y amplificación de 4 veces, punto HCH-125 frecuencias de 2.2 Hz y amplificación de 4.5 veces y 5 Hz (amplificación de 2.5 veces); y en el punto HCH-179 frecuencias de 2 Hz y 4.8Hz con amplificaciones de 3 veces en ambos casos (Figura 51c).
- **HCH-48, HCH-106 y HCH-134:** En estos puntos, ubicados en la zona central de la ciudad de Huacho, próximos a la línea de costa, presenta frecuencias entre 5 y 10 Hz. En el punto HCH-048, ubicado al sur de área de estudio (zona del Muelle de Huacho) presenta frecuencia de 6.2 Hz con amplificaciones máximas de 4.5 veces. En los puntos HCH-106 y HCH-134 ubicados al sur de la Plaza Grau y al Norte de Plaza Reyes Butrón, presenta frecuencias entre 8 y 9 Hz con amplificaciones de 3 veces (Figura 51d).

HCH-315, HCH-327 y HCH-340: Estos puntos presentan las siguientes características: el punto HCH-315 se encuentra muy próximo al río Huaura y predominan frecuencias de 8 Hz con amplificaciones de hasta 4 veces. Los otros dos puntos HCH-327 y HCH-340 se encuentran alejados del río y sus frecuencias y amplificaciones tienden a valores menores (Figura 51e).

- En la Figura 52, se presenta las razones espectrales para los puntos HCH-166, HCH-187 y HCH-189, los cuales no presentan frecuencias predominantes y sugiere la presencia de suelos compactos.
- En la Figura 53, se presenta la distribución de 12 razones espectrales para los puntos HCH-202, HCH-255, HCH-271, HCH-69, HCH-125, HCH-179, HCH-48, HCH-106 y HCH-134, todos presentan hasta dos picos de frecuencias con rangos de mayor amplitud, lo cual sugiere la presencia a suelos heterogéneos. En los puntos HCH-315, HCH-327 y HCH-340, las razones espectrales presentan un solo pico de frecuencia.

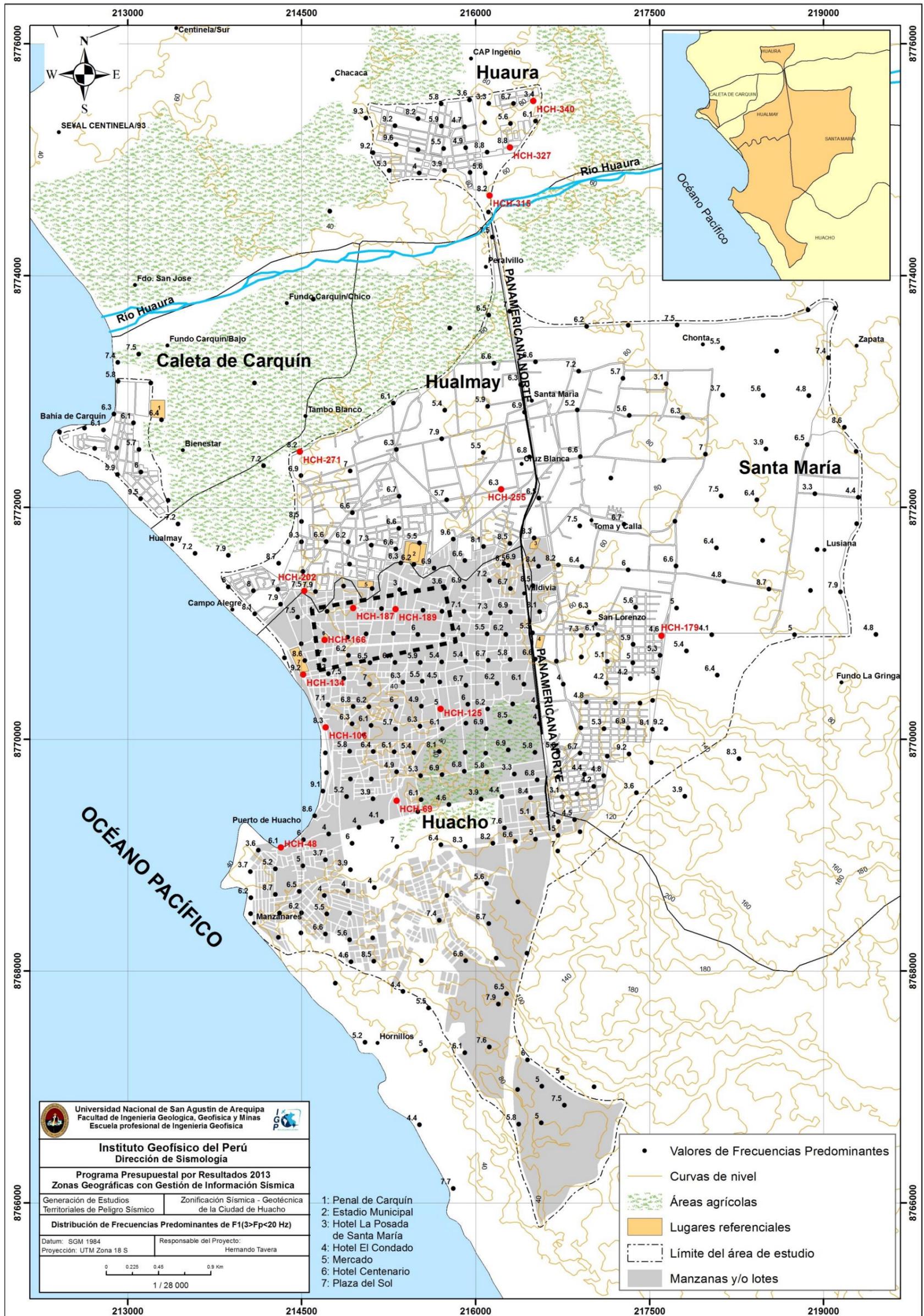


Figura 50: Mapa del área de estudio y distribución espacial de las frecuencias predominantes $F1(3.0 > Fp < 20.0 \text{ Hz})$. Los puntos sin valor, indican ausencia de frecuencias predominantes en este rango.

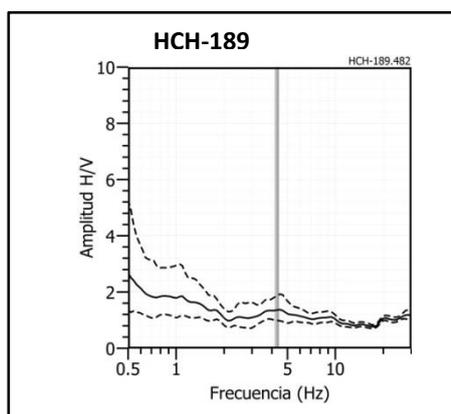
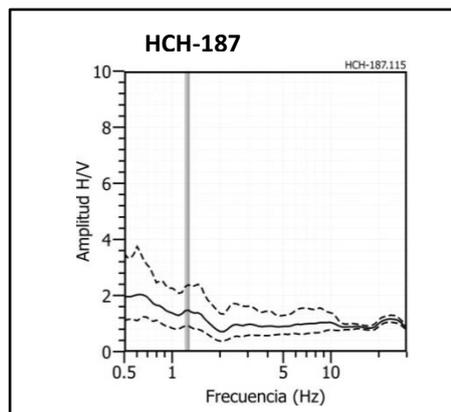
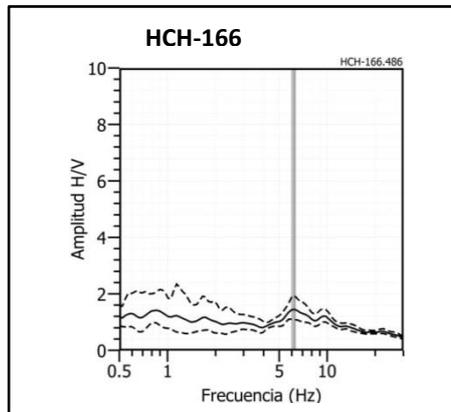


Figura 51a: Ejemplos de razones espectrales (H/V) obtenidas para los puntos HCH-166, HCH-187, HCH-189, ubicados en el extremo Este de la plaza de Armas de la ciudad de Huacho, se observa que en estos puntos no sobresale ninguna frecuencia predominante. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.

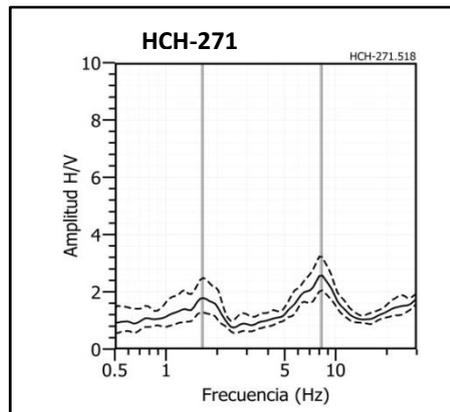
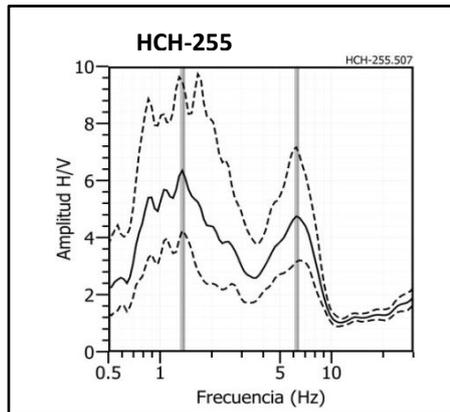
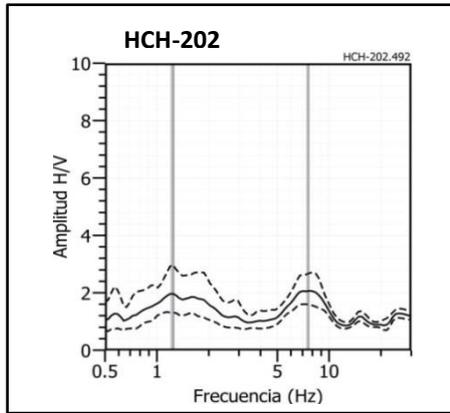


Figura 51b: Ejemplos de razones espectrales (H/V) de los puntos HCH-202, HCH-255, HCH-271 ubicados hacia el extremo Norte de la ciudad de Huacho, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar, las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.

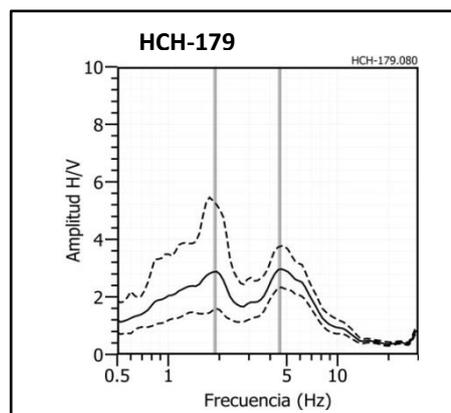
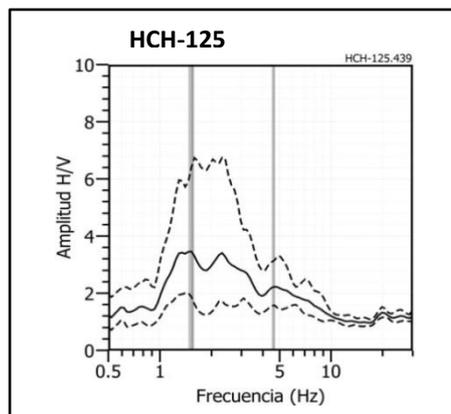
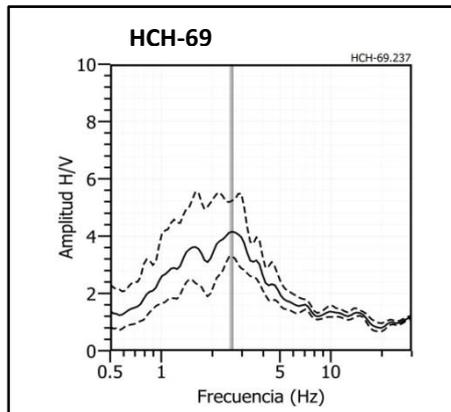


Figura 51c: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en los puntos HCH-69, HCH-125, HCH-179 ubicados en el extremo Sur de la ciudad de Huacho, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar, las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.

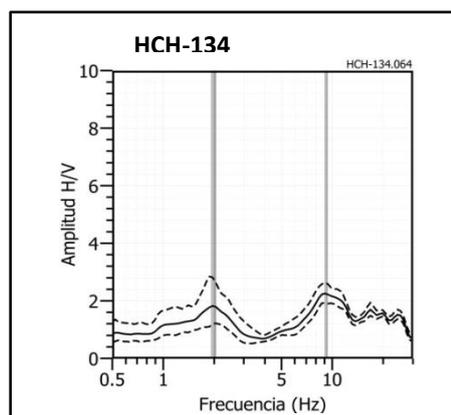
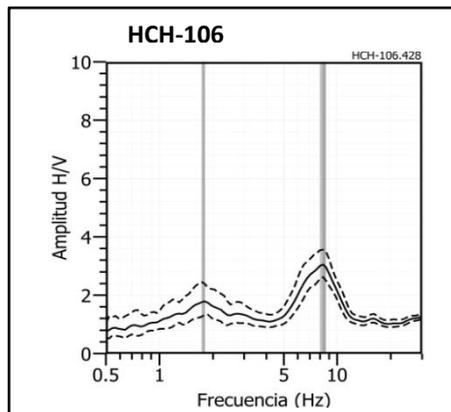
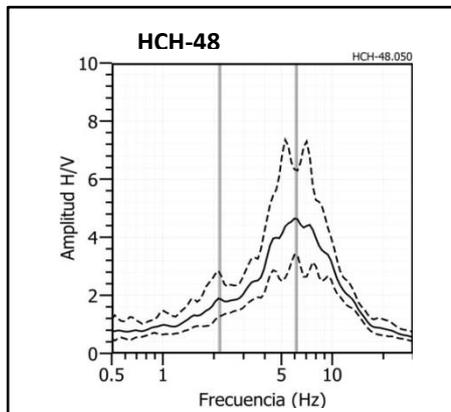


Figura 51d: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en los puntos HCH-48, HCH-106, HCH-134 ubicados en el centro de la ciudad de Huacho, próximos a la línea de costa, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar, las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.

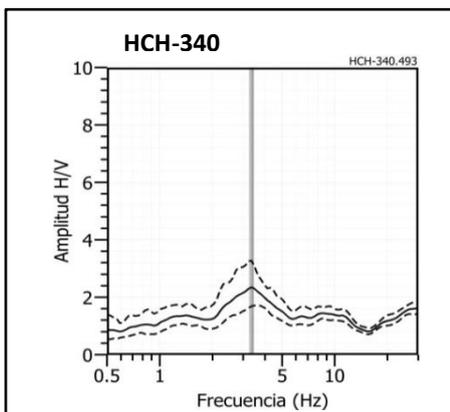
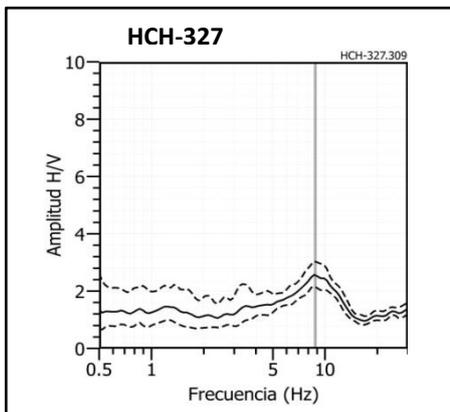
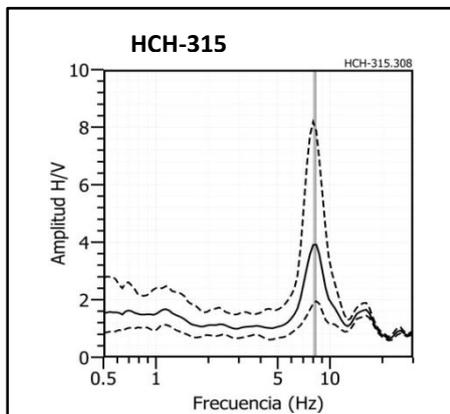


Figura 51e: Ejemplos de razones espectrales (H/V) en los puntos HCH-315, HCH-327, HCH-340 ubicados en Huaura, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.

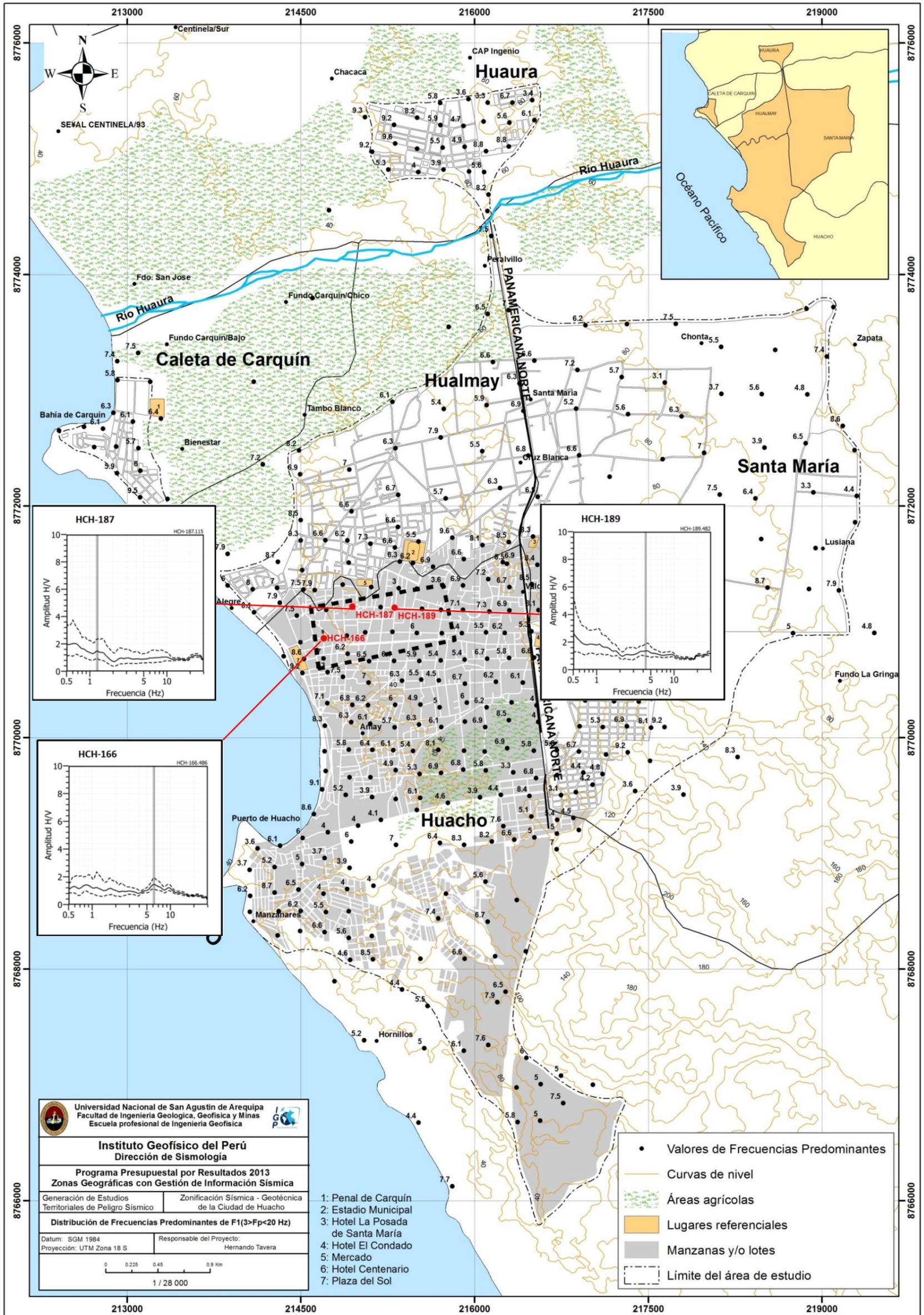


Figura 52: Mapa de distribución de 3 razones espectrales de los puntos HCH-166, HCH-187 y HCH-189, para rango de las frecuencias predominantes $F1 (3.0 > Fp < 20 \text{ Hz})$, se observa suelos compactos y no presentan frecuencias predominantes. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.

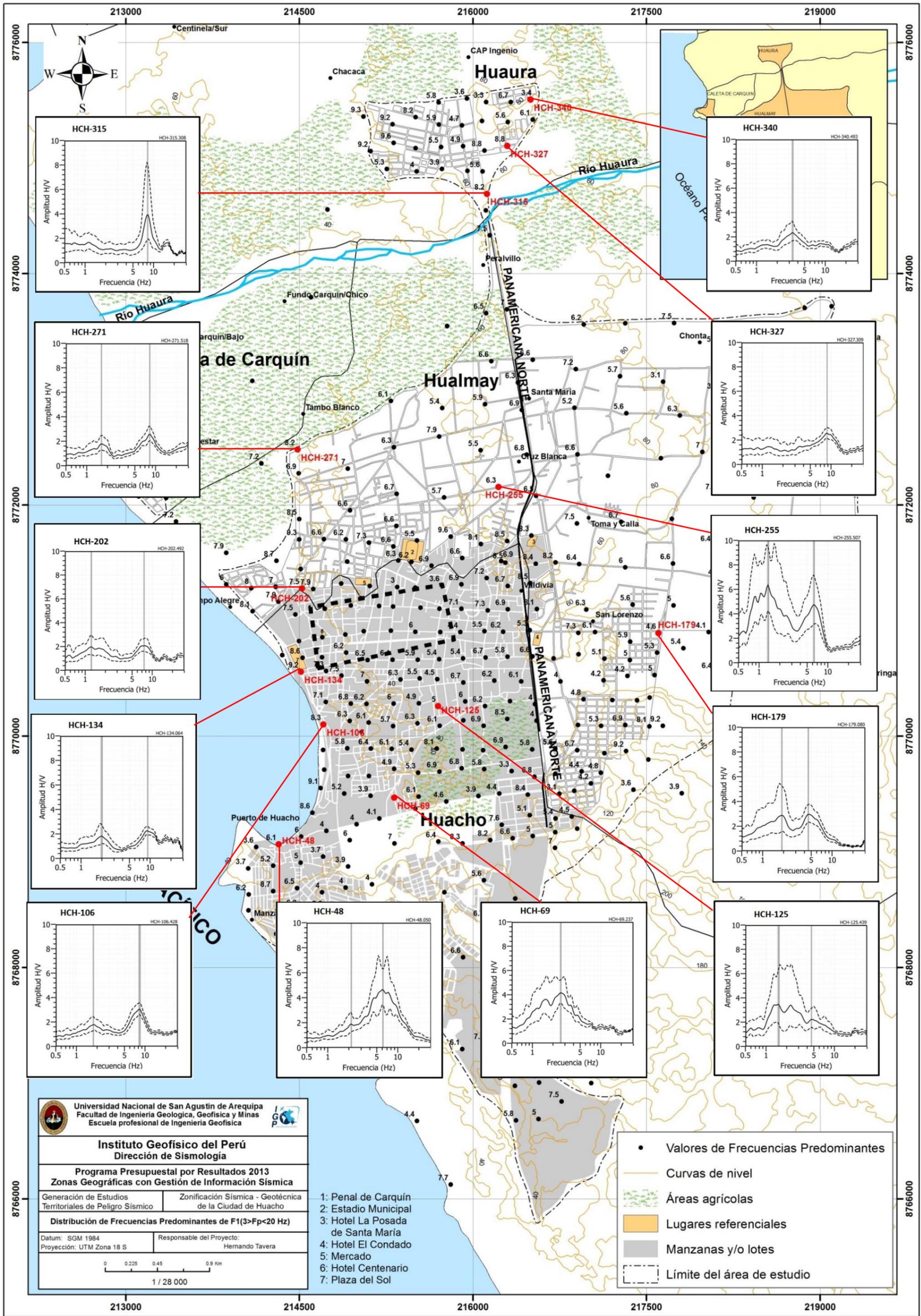


Figura 53: Mapa de distribución de 12 razones espectrales (H/V) de los puntos HCH-202, HCH-255, HCH-271, HCH-69, HCH-125, HCH-179, HCH-48, HCH-106, HCH-134 presentan hasta dos picos de frecuencia, con mayores rangos de amplitudes lo cual siguieren a suelos heterogéneos; y en los puntos HCH-315, HCH-327 y HCH-340. Presentan un solo pico de frecuencia, las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia que sobresale en este rango.

4.1.3. Resultados

Los resultados obtenidos con la técnica H/V muestran que el suelo en el extremo norte de la ciudad de Huacho, con respecto al centro de la ciudad, responden a frecuencias entre F_0 ($F_p < 3.0\text{Hz}$) y $F1$ ($3.0 > F_p < 20\text{Hz}$); es decir el comportamiento dinámico del suelo es similar. En las áreas ubicadas en los extremos Norte y Oeste de la ciudad, se tiene el predominio de la frecuencia $F1$ y por lo tanto, substrato más superficial tiene mayor influencia en la respuesta dinámica del suelo.

Con estos resultados se procede a realizar el paso de frecuencia a periodos (Figura 54). La distribución espacial de los valores de periodos dominantes en el área de estudio indica que en el 80% del área, sobresalen dos rangos de periodos, mayores y menores a 0.3 segundos. En la zona céntrica de la ciudad, los periodos dominantes son menores e iguales a 0.2 segundos. En el extremo Norte del área de estudio, no se identifica valores para estos periodos dominantes. En los extremos NO y SO del área de estudio, los periodos son de 0.1 y 0.2 segundos. Los periodos con valores mayores a 0.3 segundos, están presentes en el extremo sur y en la zona céntrica de la ciudad de Huacho.

Finalmente, el mapa de periodos dominantes muestra la presencia de dos zonas con suelos dinámicamente similares. La primera está definida por los periodos menores e iguales a 0.3 segundos y considera el extremo norte de la zona céntrica de la ciudad de Huacho, las penínsulas ubicadas en los extremos NO y SO de la ciudad, así como en la zona de Huaura. Estos periodos sugieren la presencia de una capa superficial de poco espesor que es influenciada por otra de mayor espesor y más profunda, ambos presentan efectos especiales asociados a la dinámica local del subsuelo. La segunda zona es definida por la presencia de periodos dominantes mayores a 0.3 segundos, distribuidos alrededor de la primera zona. Estos valores sugieren la presencia de una capa relativamente uniforme y de gran potencia que domina el comportamiento dinámico de la zona.

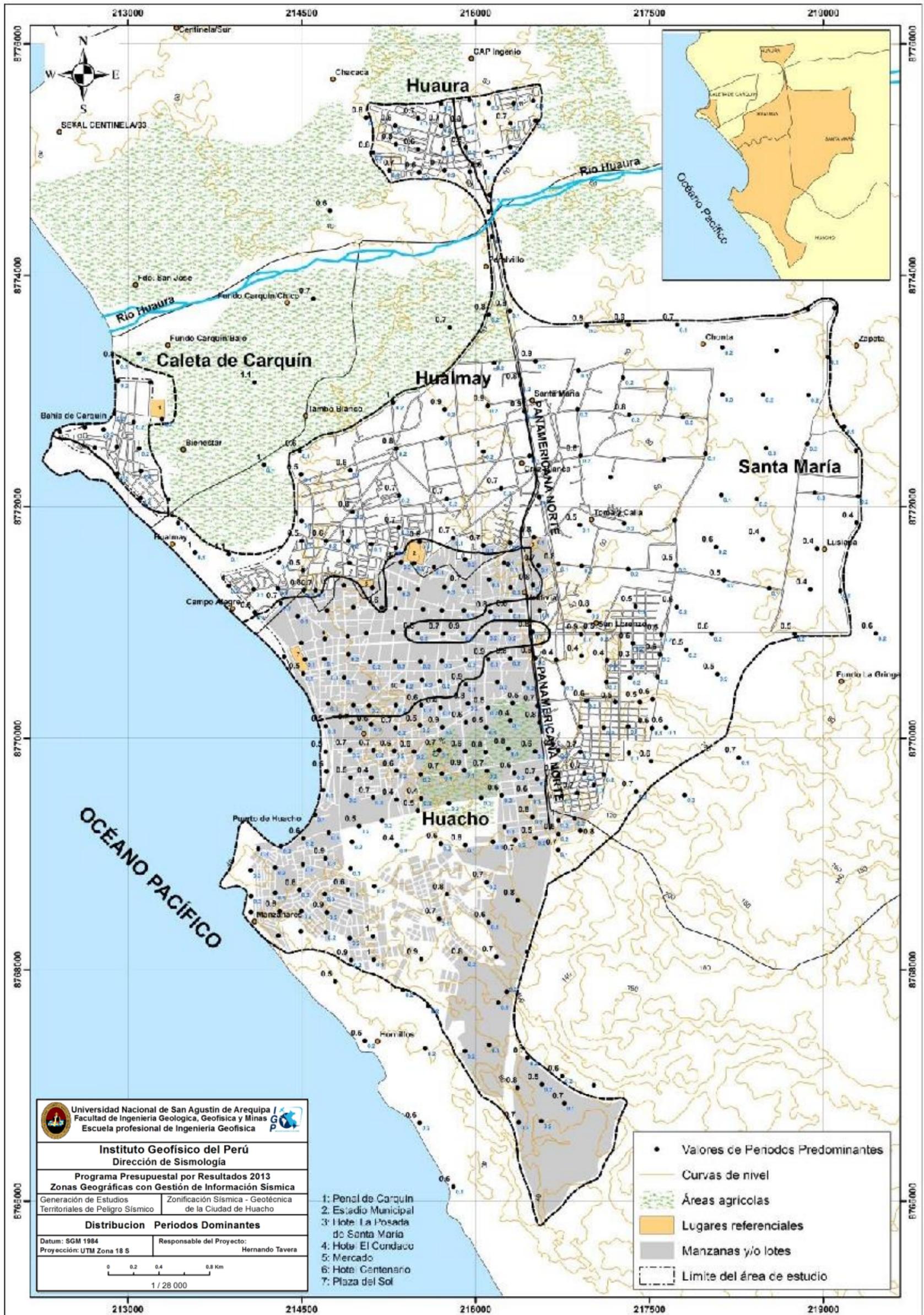


Figura 54: Mapa del área de estudio (ciudad de Huacho) y distribución espacial de los valores de periodos dominantes

4.2. Técnica de Arreglos Sísmicos Lineales MASW

La técnica de arreglos sísmicos lineales fue aplicado a la ciudad de Huacho con el objeto de determinar la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) del terreno y para ello se realizaron ensayos MASW. La información obtenida permite estimar de manera indirecta las características estratigráficas de los suelos que se encuentran a diferentes profundidades y determinar sus propiedades dinámicas. En el área de estudio se han realizado 8 líneas MASW y su distribución se muestran en la Figura 55.

Para la adquisición de los datos de sísmica se ha utilizado sensores de componente vertical, capaces de detectar de manera correcta los movimientos del suelo en rangos de bajas frecuencias, lo que permite llegar a mayores profundidades. El equipo de refracción sísmica utilizado consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE de (24-canales), geófonos de 4.5Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor y así mismo, con un ancho de banda de 20Hz que proporciona alta resolución a bajas frecuencias y un rango dinámico mayor a 110dB. El digitalizador es operado desde un computador portátil (laptop), ver Figura 56. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas se utilizó una comba de 20 lbs, y el número de golpes era variable ya que dependía de la geomorfología de la zona de estudio.

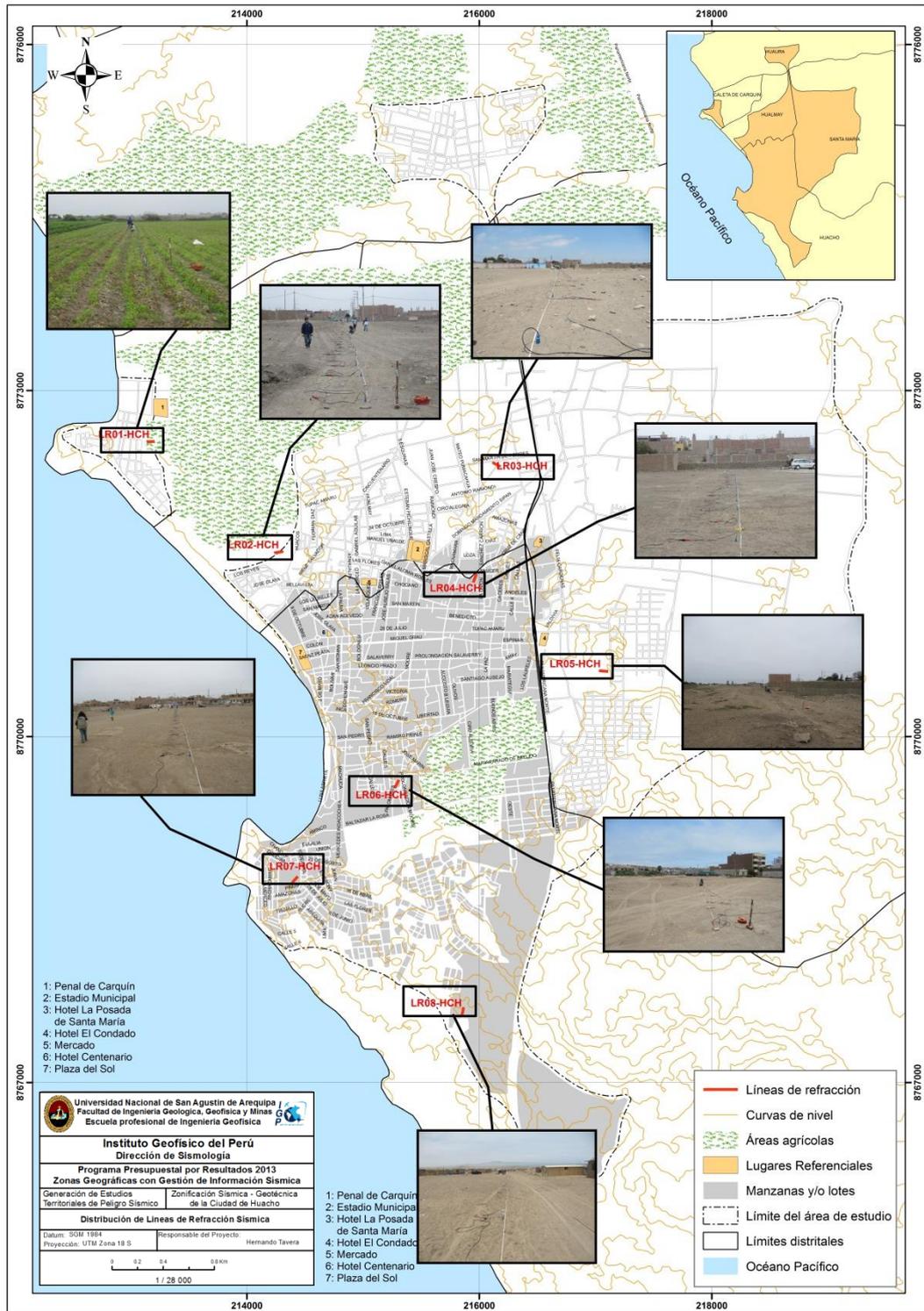


Figura 55: Mapa de la ciudad de Huacho y distribución espacial de las líneas de refracción sísmica codificadas como: LR01-HCH, LR08-HCH.

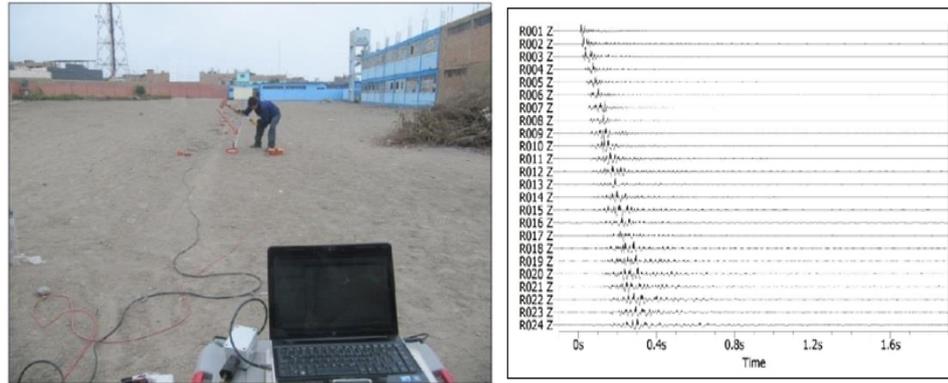


Figura 56: Disposición del equipo de refracción sísmica y registro obtenido.

Además se utilizaron otros accesorios que forman parte del equipo usado en el estudio:

- Cable sísmico, que conecta cada geófono al GEODE, el espaciamiento entre geófonos es de 3 y 6 metros.
- Trigger, que es un geófono de movimiento que al golpearlo emite una señal al computador para empezar a grabar los datos. Disipador trigger se coloca en el mango de los combos de manera que al golpear, el suelo emita la señal de disparo al sistema.
- Batería de 12 V, como fuente de poder del GEODE.
- Placa metálica de aluminio sobre el cual se golpea con la fuente y que sirve de interface con el suelo.
- Cinta métrica para la preparación del cableado y ubicación de geófonos a distancias específicas uno con otro.

Se debe tener en cuenta que el método MASW permite detectar el perfil de velocidad V_s , incluso en presencia de contraste de rigidez entre las capas del suelo. El método se basa en el supuesto de que el medio en estudio es homogéneo y debe realizarse sobre una superficie horizontal plana, ya que posibles cambios en la topografía a lo largo de una línea de estudio afecta la propagación de las ondas de superficie. Sin embargo, cualquier relieve de superficie cuya dimensión es mayor que 10%,

implicaría un desplazamiento en la curva de dispersión experimental, en la generación de ondas de superficie (Figura 57).

A continuación se describe los parámetros relacionados con la adquisición de datos.

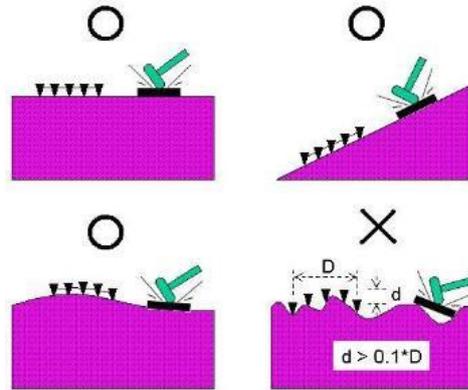


Figura 57: Las pendientes planas o con ligera pendiente son adecuadas para la aplicación del método MASW. La topografía interfiere con la propagación de las ondas de superficie.

4.2.1. Procesamiento de datos

Una vez adquiridos los datos en terreno, se continúa con su interpretación a fin de obtener la curva de dispersión experimental, que es la que se usa más adelante para conocer el perfil de velocidades de cada sitio. El procesamiento consta de los siguientes pasos: análisis de la curva de dispersión, inversión de la curva de dispersión y cálculo de la velocidad de ondas de corte Vs variación con la profundidad (Figura 58).

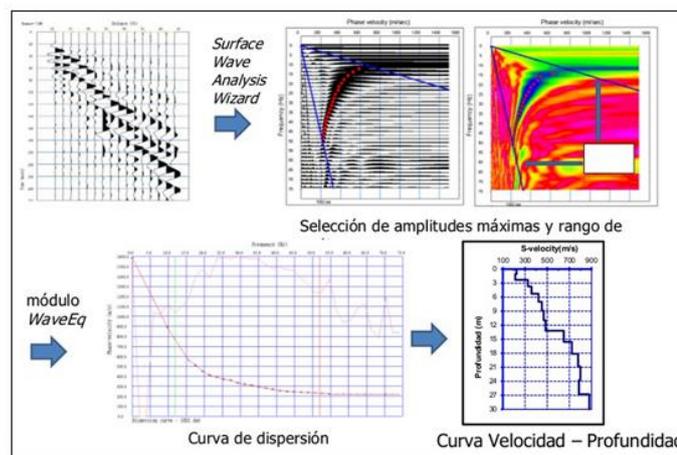


Figura 58: Procesamiento de datos para hallar la curva de dispersión para cada toma.

4.2.2. Análisis de la curva de dispersión e inversión

Las curvas de dispersión de ondas obtenidas para cada tendido y número de impactos, fueron promediadas y luego invertidas usando el algoritmo DINVER a fin de obtener perfiles de velocidad para puntos específicos del tendido. Para el análisis de los resultados se considera la clasificación que la Norma E-030 establece, para cada tipo de suelo en base a los siguientes rangos de velocidades para las ondas de corte (V_s):

- Rocas duras, velocidades $V_s > 1,500$ m/s
- Rocas moderadamente duras, velocidades V_s de 800 a 1500 m/s
- Suelo muy duro o roca blanda, velocidades V_s de 500 a 800 m/s
- Suelo duro, velocidades V_s de 180 a 500 m/s
- Suelo blando, velocidades $V_s < 180$ m/s

A continuación se describe las características de cada uno de los perfiles sísmicos construidos para conocer la velocidad de las ondas de corte (V_s), en la ciudad de Huacho.

Arreglo Lineal LR01-HCH: Este arreglo lineal se realizó en la Urbanización Carquin ubicada en el extremo NO del área de estudio. Los resultados muestran la presencia de suelos conformados por dos capas, la primera con un espesor de hasta 4 metros y velocidades V_s , de 195 m/s. La segunda capa presenta un espesor de hasta 12 metros con velocidades V_s de 300 m/s. Ambas velocidades de V_s , sugieren la presencia de suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades de corte V_s de hasta 700 m/s y corresponde a rocas moderadamente duras (Figura 59a).

Arreglo Lineal LR02-HCH: Este arreglo se realizó en dirección NO a 800 metros de la plaza de armas de la ciudad de Huacho, el análisis de la información muestran la presencia de dos capas, la primera con espesores de hasta 7 metros y velocidades V_s de 405 m/s. La segunda capa con espesores de hasta 23 metros y velocidades de V_s de 450 m/s. La superficie de interface entre ambas capas presenta baja impedancia, por lo tanto, ambas capas

pueden ser consideradas como una sola capa de suelo duro con un espesor de 30 metros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s , de hasta 1000 m/s y corresponde a rocas moderadamente duras (Figura 59b).

Arreglo Lineal LR03-HCH, LR04-HCH y LR5-HCH: Estos arreglos presentan similares características sísmicas a pesar de haber sido obtenidos en diferentes puntos dentro de la zona ubicada en el extremo Este de la ciudad de Huacho, LR03-HCH, próximo a la Av. San Martín de Porras; LR04-HCH en el extremo Norte de la Urb. Los Sauces y LR05-HCH, en el extremo Este de la Panamericana Norte. El análisis de la información correspondiente a estos perfiles ha permitido identificar la presencia de dos capas, la primera con un espesor de 4 metros y velocidades V_s que fluctúan entre 220 y 290 m/s correspondiente a suelos duros. La segunda capa presenta espesores entre 14 a 16 metros y velocidades V_s entre 350 y 400 m/s, correspondientes a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades V_s de hasta 800 m/s y corresponde a rocas moderadamente duras (Figuras 59c, 59d y 59e).

Arreglo Lineal LR06-HCH: Este arreglo se realizó en la Urbanización Robles I, ubicada en el extremo Sur del área céntrica de la ciudad de Huacho. En este perfil de velocidad, se ha identificado la presencia de dos capas, la primera superficial con un espesor de 8 metros y velocidades V_s de 250 m/s, y la segunda capa, con espesor de 24 metros y velocidades de hasta 470 m/s. de acuerdo a estas velocidades V_s , los suelos son duros a muy duros (Figura 59f).

Arreglo Lineal LR07-HCH: Este arreglo se realizó a 200 metros de la plaza Manzanares en la ciudad de Huacho. Los resultados indican la presencia de dos capas, la primera con un espesor de 4 metros y velocidades V_s de 180 m/s correspondiendo a suelos relativamente blandos. Una segunda capa presenta espesores de hasta 12 metros y velocidades V_s de 420 m/s, correspondiendo a suelos duros. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades de hasta 1400 m/s y corresponde a rocas moderadamente duras (Figura 59g).

Arreglo Lineal LR08-HCH: Este arreglo fue realizado en el extremo Sur del área de estudio (zona de expansión urbanística). Los resultados obtenidos indican la presencia de dos capas, la primera con espesores de hasta 6 metros y velocidades V_s de 490 m/s correspondiendo a suelos duros. Una segunda capa presenta espesores de hasta 25 metros y velocidades V_s de 710 m/s, correspondiendo a suelos muy duros o roca blanda. La superficie de contacto con la siguiente capa, alcanza velocidades de hasta 1300 m/s y corresponde a rocas moderadamente duras (Figura 59h).

Arreglo Lineal LR01 - HCH

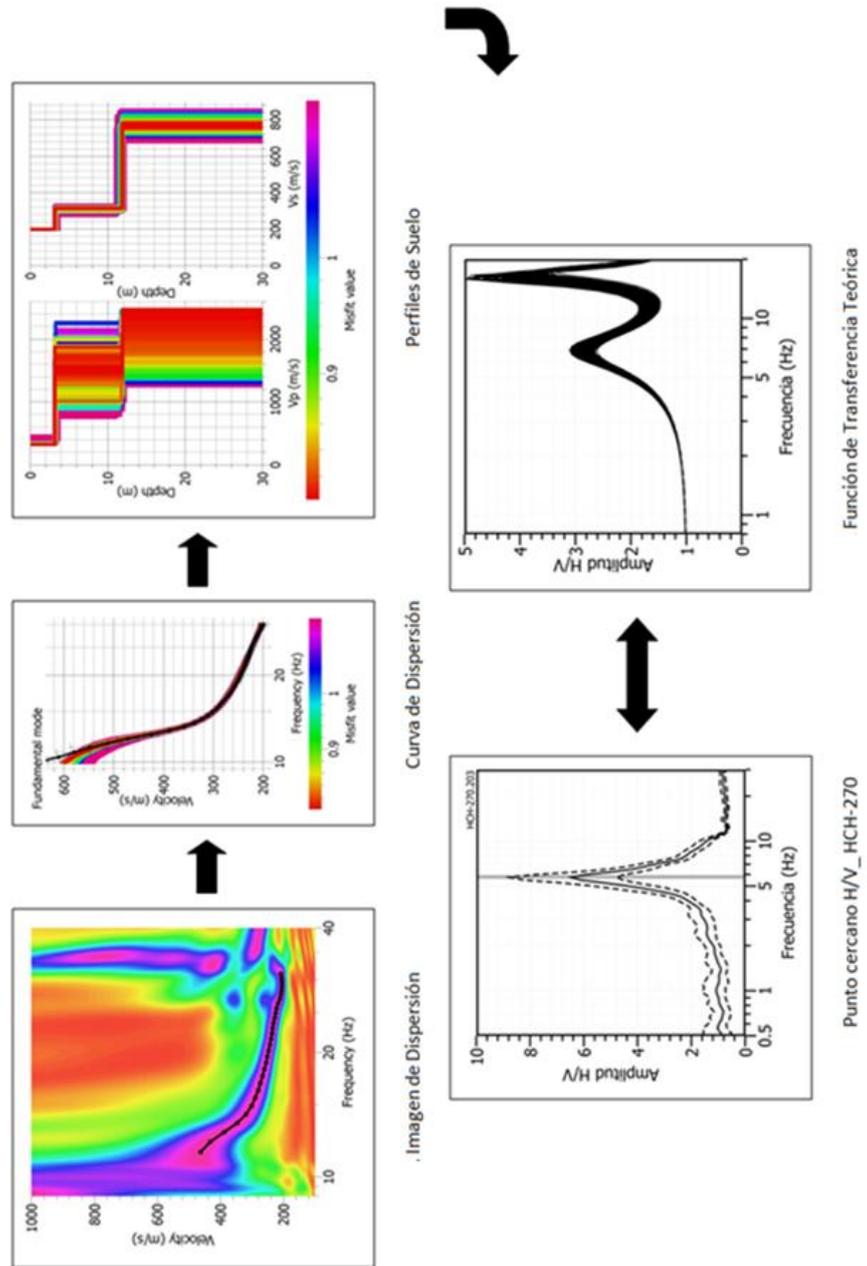


Figura 59a: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para los arreglos LR01-HCH (ver Figura 55)

Arreglo Lineal LR02 - HCH

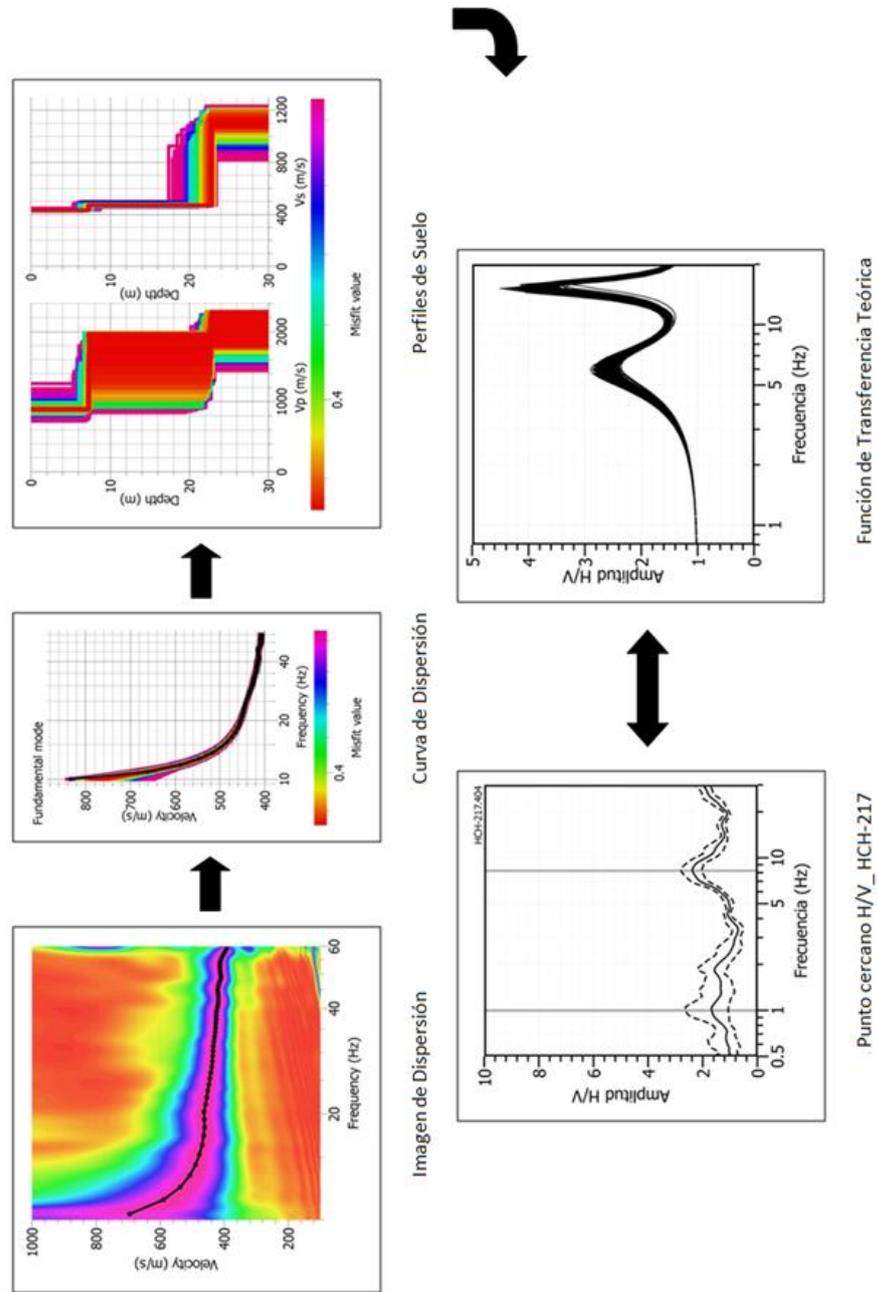


Figura 59b: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para los arreglos LR02-HCH (ver Figura 55)

Arreglo Lineal LR03 - HCH

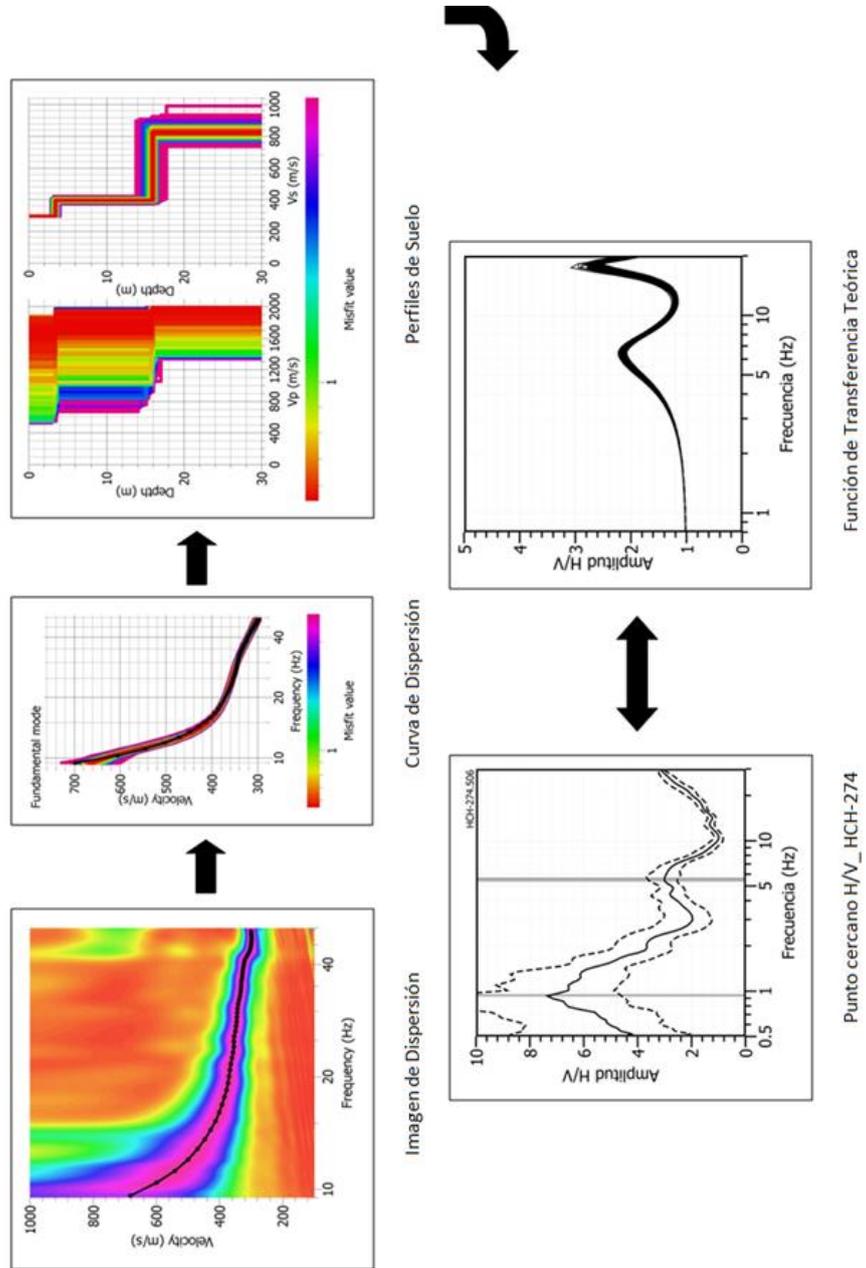


Figura 59c: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR03–HCH (ver Figura 55)

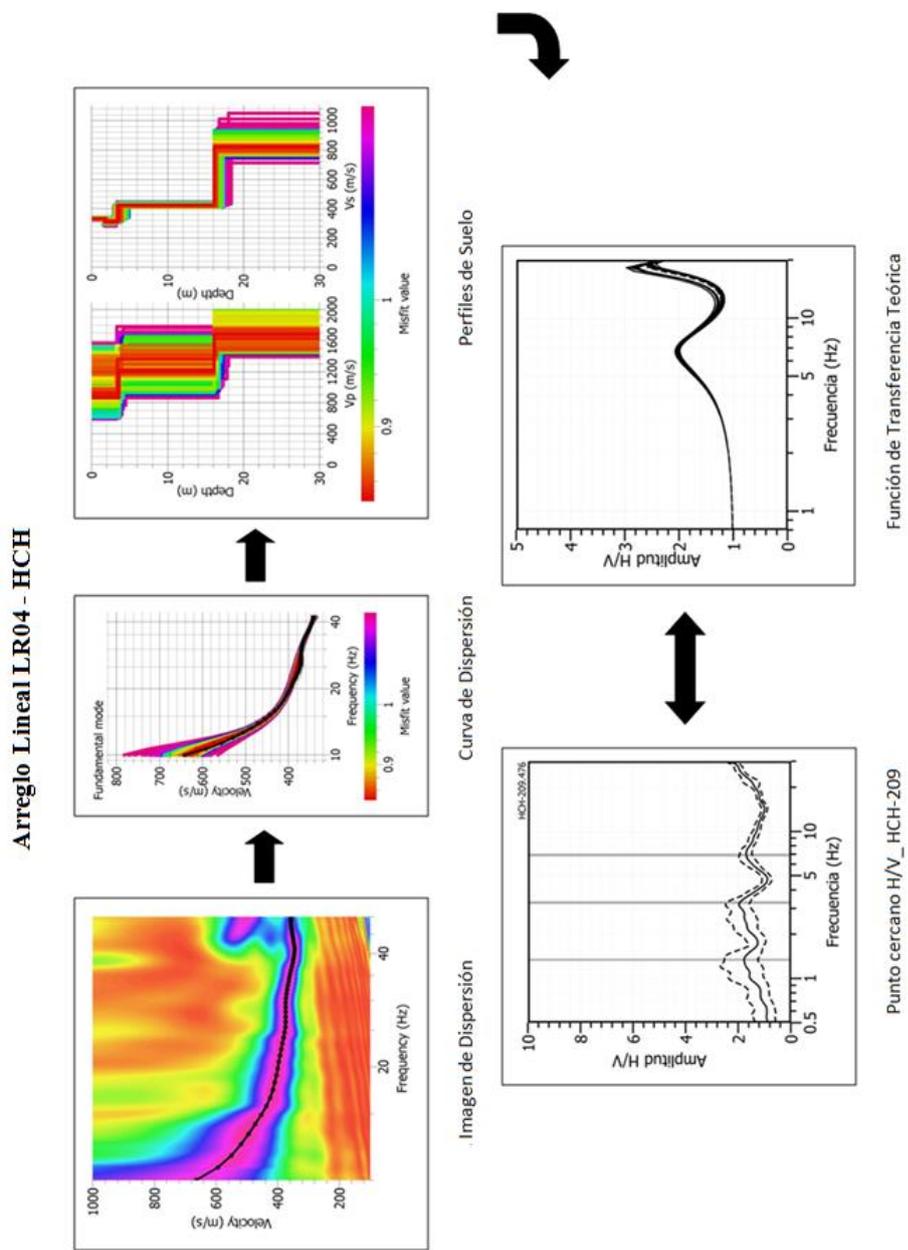


Figura 59d: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR04-HCH (ver Figura 55)

Arreglo Lineal LR05 - HCH

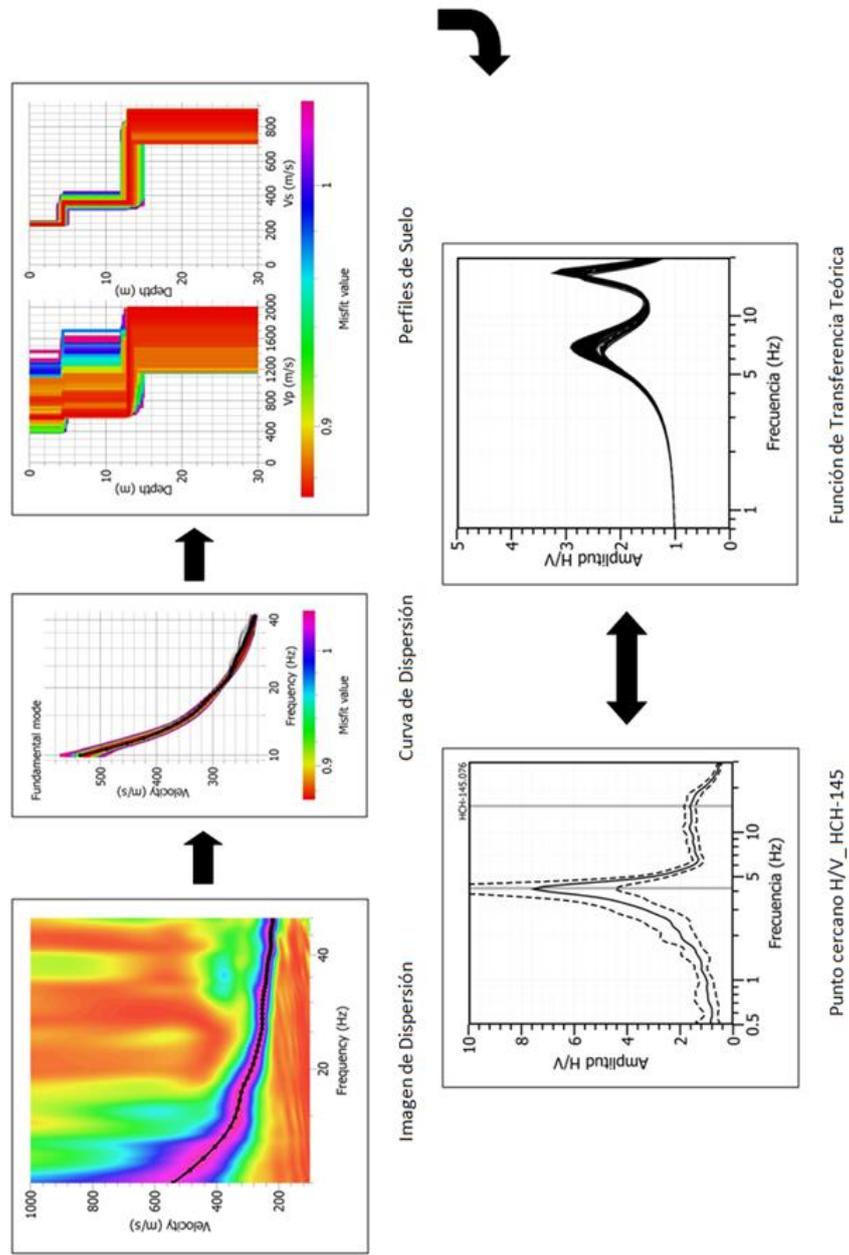


Figura 59e: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR05-HCH (ver Figura 55)

Arreglo Lineal LR06 - HCH

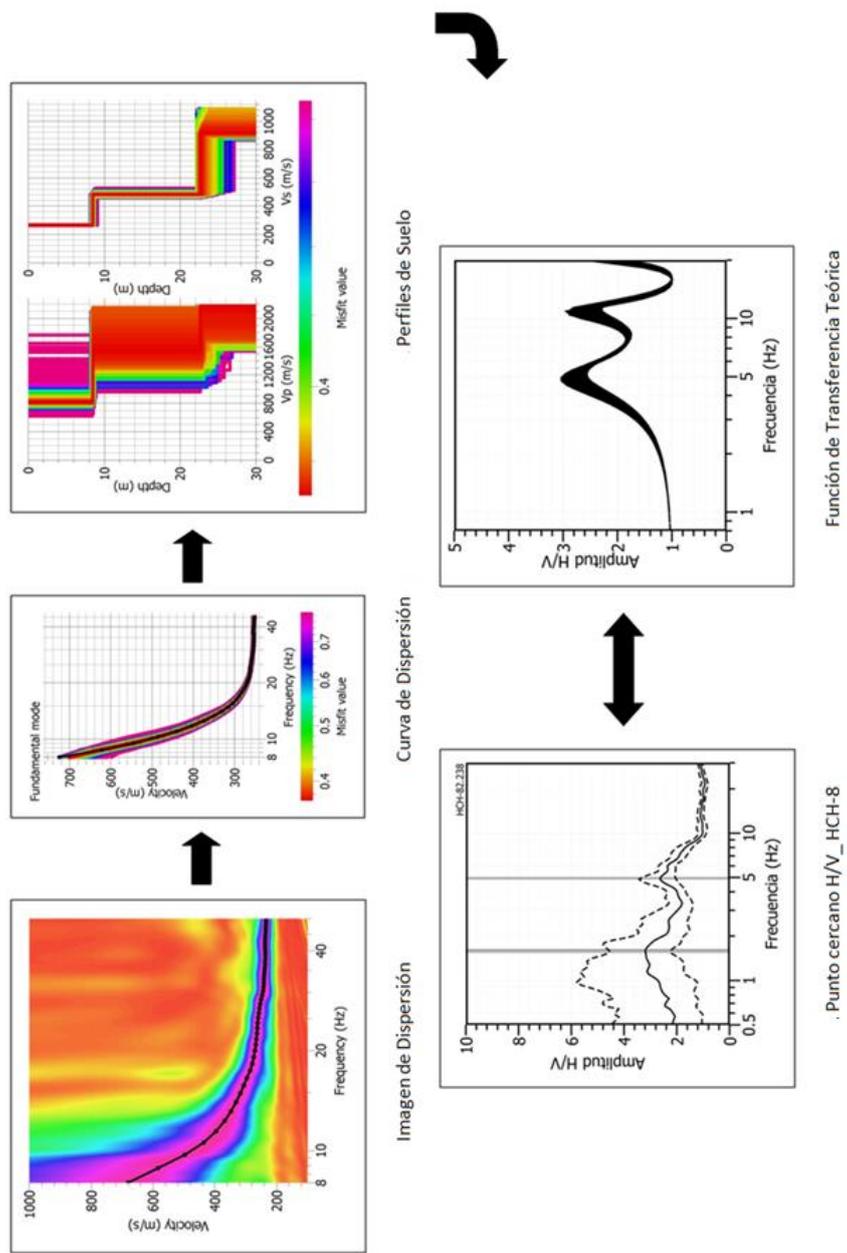


Figura 59f: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR06–HCH (ver Figura 55)

Arreglo Lineal LR07 - HCH

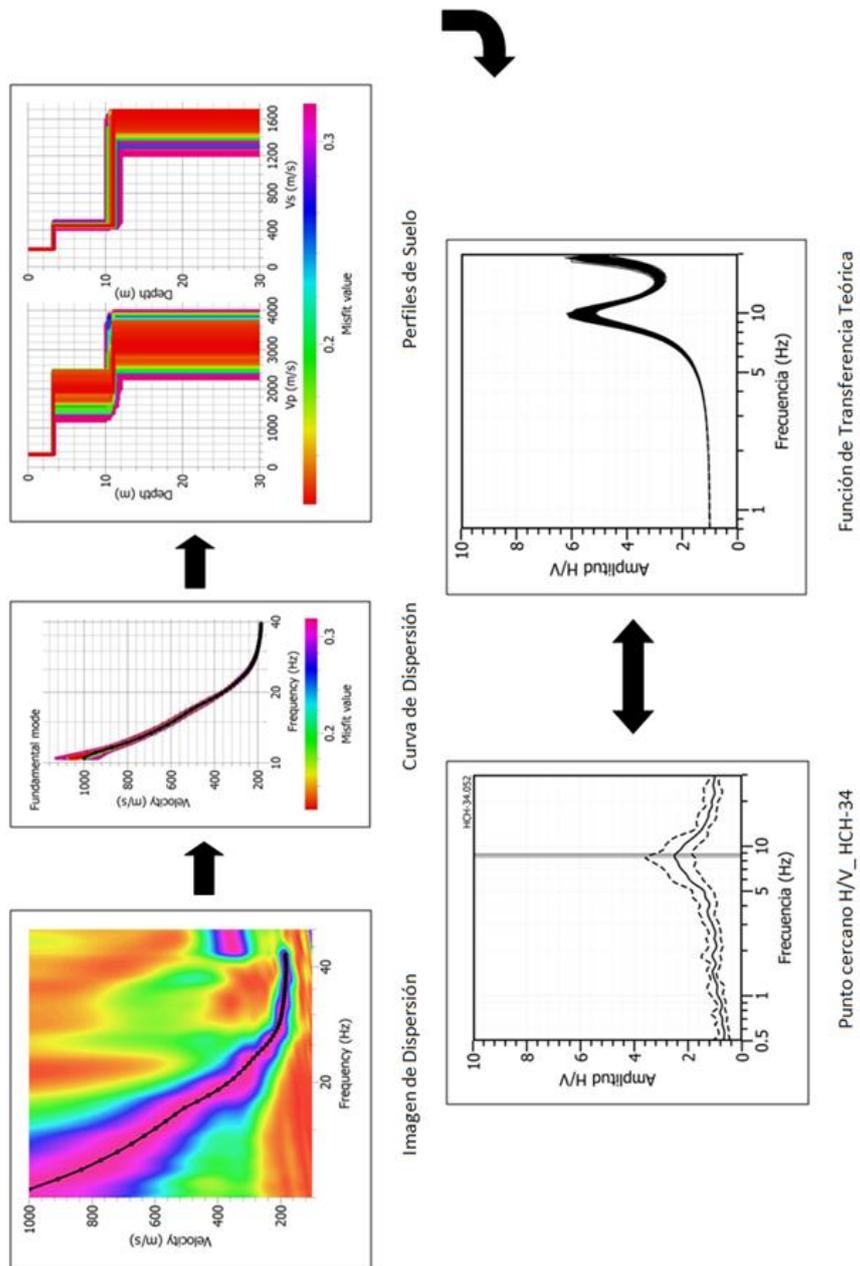


Figura 59g: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR07–HCH (ver Figura 55)

Arreglo Lineal LR08 - HCH

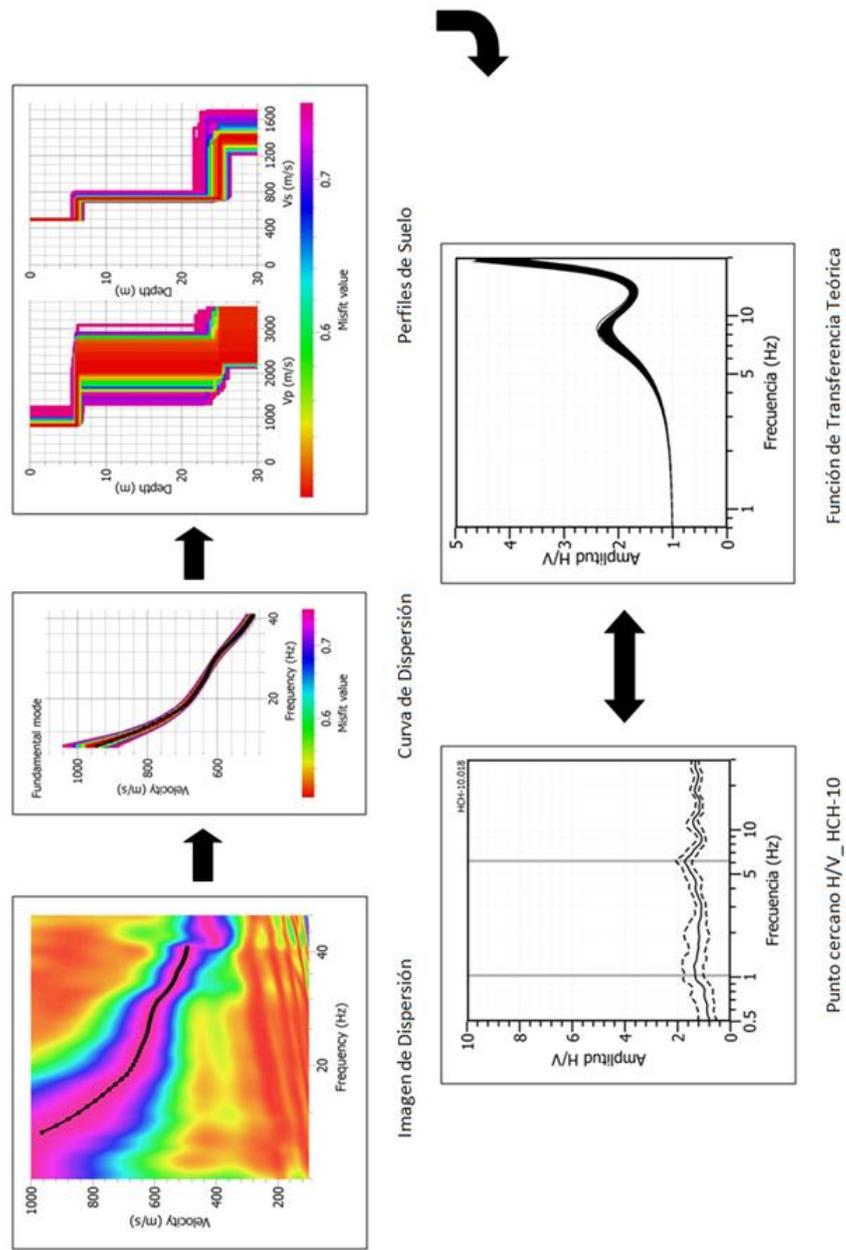


Figura 59h: Análisis e interpretación geofísica obtenido con el método MASW para el arreglo LR08–HCH (ver Figura 55)

4.2.3. Resultados

La interpretación de la información recolectada proporciona una curva de dispersión, a fin de obtener el perfil de velocidades para las ondas de corte (V_s) en el punto central de cada arreglo. Luego mediante un procedimiento de cálculo inverso, se determina el periodo teórico predominante correspondiente al perfil de las velocidades, (velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), lo cual permite validar los resultados obtenidos con cocientes espectrales H/V .

Estos resultados obtenidos sugieren que en la zona de estudio, los suelos están compuestos por dos capas, la primera superficial con espesores de 4 metros y velocidades de hasta 190 m/s. La segunda capa presenta espesores entre 16 a 20 metros y velocidades que fluctúan entre 370 a 470 m/s. La superficie de contacto con la capa más profunda alcanza velocidades V_s de 700 m/s correspondiente a suelos muy duros o rocas blandas.

En la Figura 60, se presenta la distribución de los resultados obtenidos para cada arreglo lineal.

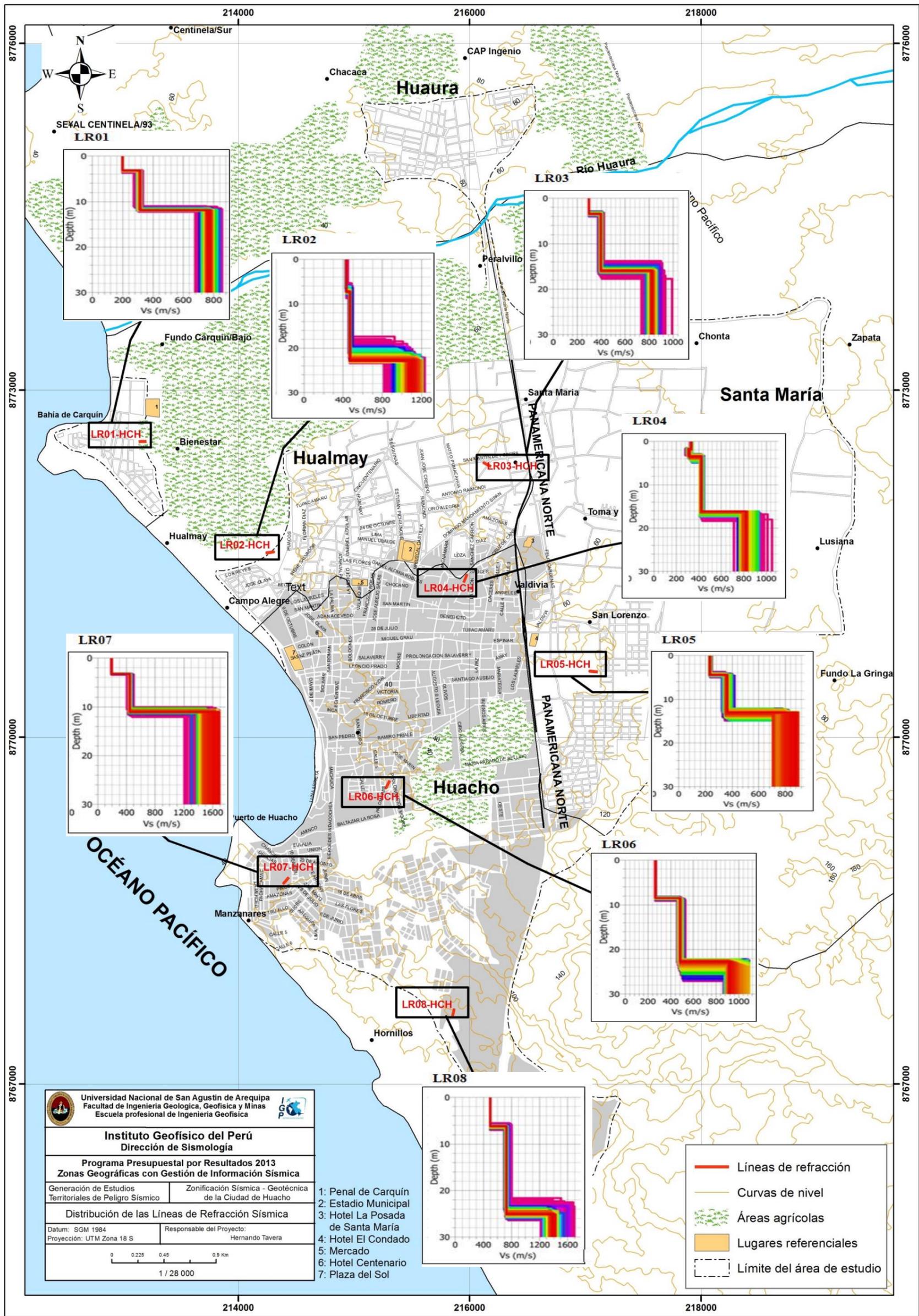


Figura 60: Mapa de distribución de los resultados obtenidos con Arreglo Lineal LR01-HCH al Arreglo Lineal LR08-HCH en el área de estudio.

4.3. Técnica de Tomografía Eléctrica

La tomografía eléctrica permite obtener información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad al paso de la corriente eléctrica. Esta propiedad permite conocer la resistividad del subsuelo asociado a la presencia de capas y superficies con mayor o menor contenido de agua. En la ciudad de Huacho se han realizado 4 líneas de tomografía eléctrica con el dispositivo polo-dipolo y su distribución se muestra en la Figura 61. Para las líneas se consideró un espaciamiento de 3 metros entre electrodos sobre un tendido longitudinal de 72 metros, lo cual permitió tener alcances en profundidad del orden de 13 metros.

4.3.1. Equipo requerido en la técnica de tomografía eléctrica

El equipo que se utiliza para la ejecución del método consta de:

- **Electrodos:** barras metálicas a modo de electrodos cuyo número variará en función del problema.
- **Cable:** de gran longitud con conexiones cada cierto intervalo a fin de poder conectar los electrodos.
- **Conectores:** considera cables de cobre con pinzas en los extremos y se encargan de conectar los electrodos al cable.
- **Computadora portátil:** Con el programa de adquisición instalado se procede a determinar y exportar las variables de trabajo las cuales son: tipo de dispositivo electrónico, número de electrodos, espaciado entre ellos, número de niveles de profundidad, número de medidas a realizar y al terminar la adquisición de datos, se importan, procesan, visualizan e interpretan los resultados con el programa de inversión 2D.
- **Resistivímetro:** Se utiliza para ejecutar de forma automática toda la secuencia de medidas predeterminada, verifica el buen estado de las conexiones y almacena digitalmente todos los valores de resistividad.
- **Una batería:** Fuente de alimentación para todo el sistema.

La disposición del equipo y tendido se muestra en la Figura 62.



Figura 62: Equipo de campo requerido para la adquisición de datos de resistividad

4.3.2. Procesamiento e Interpretación:

Para el análisis e interpretación de la información obtenida en campo se procede a su calificación en función de la diferencia del potencial con relación al valor de intensidad de corriente en cada punto de lectura y en conjunto. Este procedimiento permite eliminar la posible influencia de corrientes externas que afecten los valores de resistividad aparente. El procesamiento de los datos: intensidad de corriente (I), diferencia de potencia (V_p) y constante geométrica del dispositivo (K), permite conocer los valores de Resistividad y su configuración en el subsuelo, incluyendo la corrección por topografía. La profundidad de investigación depende del dispositivo empleado de acuerdo al interés del estudio.

La interpretación de la información considera todos los factores posibles que puedan influir en los resultados; es decir, grado de saturación del terreno, porosidad y la forma del poro, la salinidad del fluido, el tipo y composición de la roca, la temperatura, los procesos geológicos que afectan a los materiales y la presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico. Considerando la existencia de una estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, se podría definir la posible ubicación de las áreas de filtración y las zonas saturadas en el subsuelo. De existir incrementos de fluidos en el terreno estos se verán reflejados por una disminución en los valores de resistividad. Escala logarítmica de colores usada

frecuentemente en la interpretación de resistividad es la mostrada en la Figura 63.

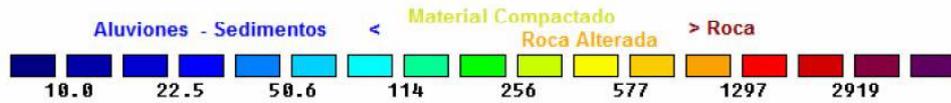


Figura 63: Escala logarítmica para interpretación de resistividad.

En este estudio se considera 5 rangos de resistividad: (Muy alto resistivo, Alto resistivo, resistivo, bajo resistivo y muy bajo resistivos); los cuales presentan las siguientes características:

- a) **Muy Alto Resistivo (color rojo):** Comprende valores mayores de resistividades a 1500 ohm.m. se considera dentro de este grupo a rocas ígneas y metamórficas, y dentro de las sedimentarias, a los conglomerados. Debe considerarse que estos materiales estarán bajo condiciones de ausencia de agua, pero si hay presencia de arcilla, su grado de alteración permitiría la disminución en los valores de resistividad del suelo.
- b) **Alto Resistivo (color anaranjado):** Comprende valores resistivos entre los 500 y 1500 ohm.m. se considera dentro de este grupo a las rocas sedimentarias, ya sean de origen detrítico o químico. Asimismo, incluye a los suelos con muy baja composición de materiales orgánicos.
- c) **Resistivo o Resistividad Moderada (color verde):** Comprende valores resistivos entre los 100 y 500 ohm.m. dentro de este grupo se considera a suelos sedimentarios de composición variada; es decir, arenas, arcillas y limos, cada vez con mayor contenido de materiales orgánicos.
- d) **Bajo Resistivo (color celeste):** Comprende valores de resistividad entre los 20 y 100 ohm.m. según Loke (2001), estas resistividades corresponden a suelos saturados de agua y su variación depende de la relación existente entre la resistividad, porosidad y la permeabilidad de los materiales. Así mismo, se puede considerar dentro de este grupo a los

suelos orgánicos, arcillosos, limosos y aquellos con contenido de carbón, los cuales se comportan como buenos conductores de corriente.

- e) **Muy Bajo Resistivo (color azul)**: Comprende valores de resistividad menores a 20 ohm.m. y están referidos a suelos con presencia de agua, material orgánico y/o arcillas. Se debe considerar que el grado de salinidad del agua afecta los valores de resistividad, permitiendo que estos alcancen valores del orden del 0.2 ohm.m., equivalente al agua de mar.

Finalmente, para el procesamiento de la información se hace uso de los algoritmos DCIP2D y OASIS MONTAJ.



Figura 61: Mapa de distribución de las 4 líneas de tomografía eléctrica: LE01-HCH, LE02-HCH, LE03-HCH y LE04-HCH.

Línea de tomografía eléctrica LE01-HCH:

Tomada en dirección SE y a 1 km de la Plaza de Armas de Huacho. La interpretación de la información permite identificar la presencia de suelos con resistividades que varían entre 443 y 2870 ohm.m, con el predominio de valores mayores a 1500 ohm.m. En el extremo superior de la sección geoelectrica, se concentran valores mayores a 2000 ohm.m, hasta los 6 m. de profundidad, para luego ser menos resistivos conforme se avanza en profundidad con valores de hasta 500 ohm.m, (Figura 64a). Los valores de alta resistividad en superficie alcanzan profundidades de 6 metros y corresponderían a materiales mal consolidados. En profundidad el suelo se hace menos resistivo, pero los valores de resistividad siguen siendo altos debido a la presencia de materiales del tipo arenoso y en menor proporción, arcillosos. En toda la sección no se identifican niveles freáticos o agua por ascenso capilar.

Línea de Tomografía Eléctrica LE02-HCH:

Tomada en dirección Este con respecto a la zona céntrica de Huacho, a 250 metros de la Plazuela Víctor Raúl Haya de la Torre. Los resultados obtenidos indican que en el extremo superior de la sección se concentran valores de resistividad entre 100 y 500 ohmm., desde el inicio de la línea hasta la distancia de 45 metros, desde allí la resistividad del suelo tiende a aumentar hasta valores de 1000 ohmm. al final de la línea. Entre los 4 y 8 m de profundidad, la resistividad se incrementa hasta valores de 1500 ohmm. A mayor profundidad, los valores indican la presencia de suelos menos resistivos.

Los valores de resistividad en superficie se presentan como Resistivos y son debidos al predominio de materiales finos como arenas y posiblemente arcillas con contenido orgánico que facilitan la disminución de los valores de resistividad. Por debajo de estos suelos, se cuenta con otros compuestos por materiales más resistivos, lo que podría indicar la presencia de materiales como gravas de diferentes tamaños y arenas, con ausencia de agua en su interior. En profundidad los suelos son menos resistivos debido a la presencia de materiales más finos como arenas con una mejor disposición de sus partículas. Esta

disminución de la resistividad podría estar relacionada a la presencia de agua por ascenso capilar, no siendo aún el nivel freático (Figura 64b).

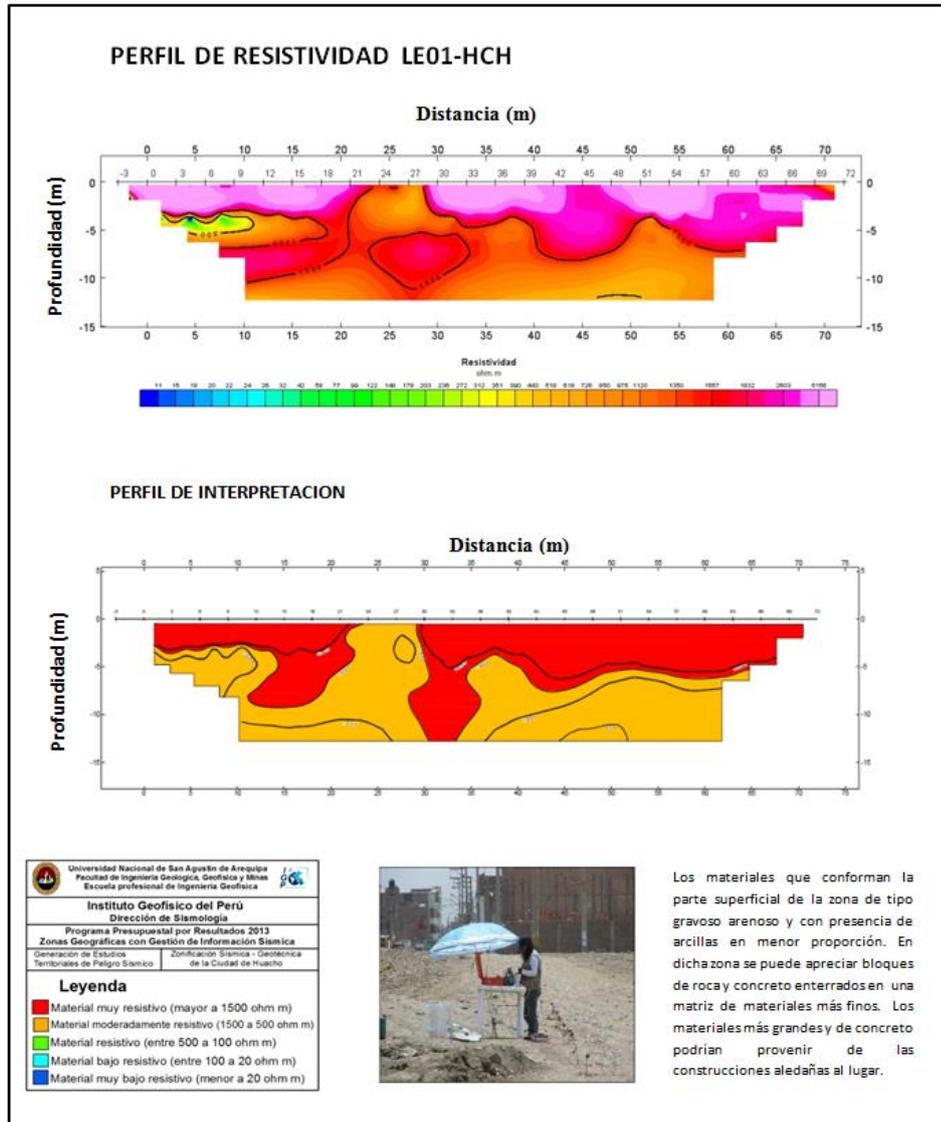


Figura 64a: Línea de Tomografía Eléctrica LE01-HCH tomada a un 1 km de la Plaza de Armas de la ciudad de Huacho (ver Figura 61).

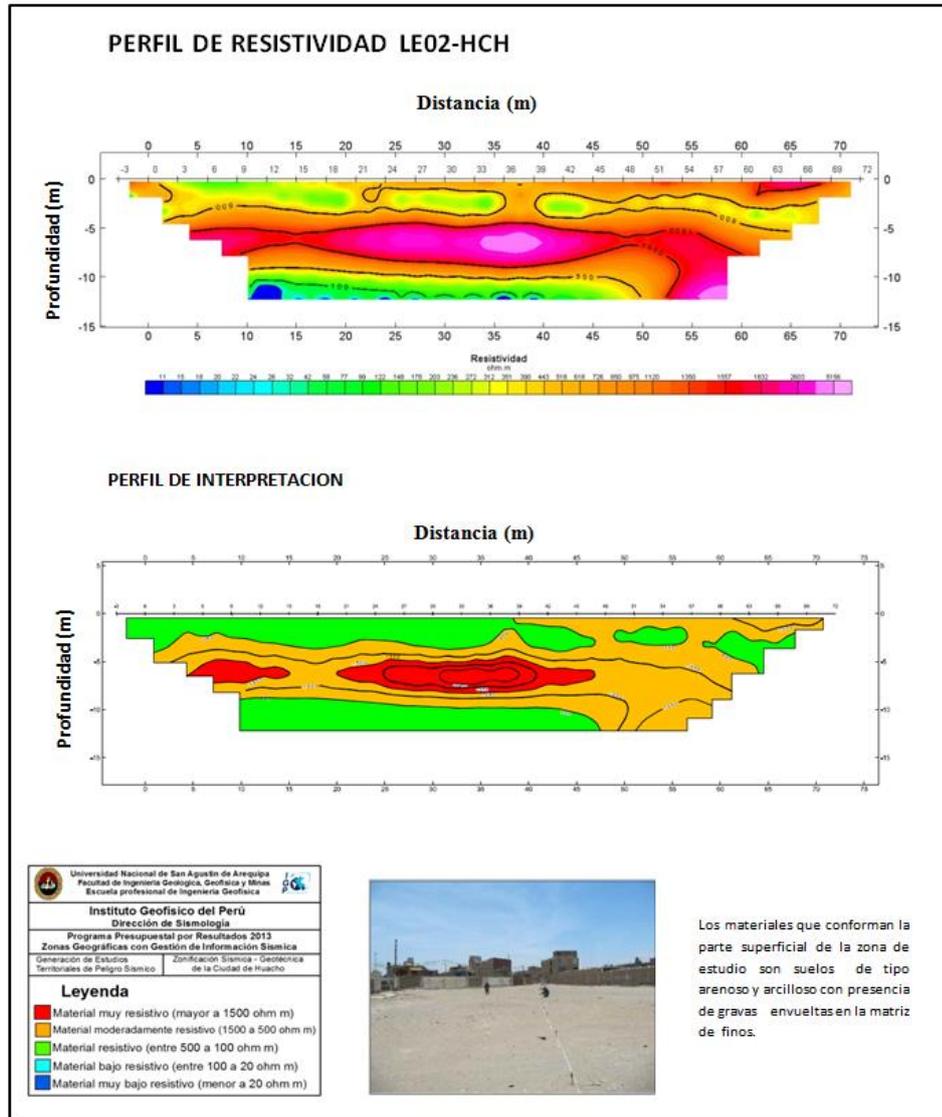


Figura 64b: Línea de Tomografía Eléctrica LE02-HCH tomada en el extremo Este de la zona céntrica de la ciudad de Huacho (ver Figura 61)

Línea de tomografía eléctrica LE03-HCH:

Tomada en el extremo sur con respecto a la zona céntrica del área de estudio, próximo a la Universidad de Huacho. Los valores de resistividad definen la presencia de suelos moderadamente resistivos a bajos resistivos. En el extremo superior de la sección se concentran valores de resistividad entre 100 y 500 ohm.m, estando los valores más altos concentrados en la parte central de la línea. Los valores más altos de resistividad llegan a 400 ohm.m hasta una profundidad de 4.5 m. Entre los 5 y 10 m de profundidad, la resistividad toma valores entre 100 y 200 ohm.m, siendo su disposición prácticamente horizontal, con tendencia a disminuir con la profundidad (Figura 64c).

Los valores de resistividad, a nivel de la superficie, definen la presencia de suelos resistivos, además de otros de mayor resistividad hacia la parte central de la sección. La presencia de vegetación en la zona da idea de suelos con comportamiento menos resistivo, ya sea por presencia de materiales orgánicos y/o agua. La parte central de la línea carece de vegetación, correspondiendo al incremento de los valores de resistividad. En profundidad, los valores de resistividad tienden a disminuir, indicando la presencia de suelos saturados. La resistividad del suelo alcanza valores de 10 ohmm., indicando la presencia de suelos con agua salada, pero no en el porcentaje de agua de mar, podría 200 ohm m. por tratarse de un suelo intermedio (el agua de mar presenta resistividades de 0.2 ohmm., Loke, 2004).

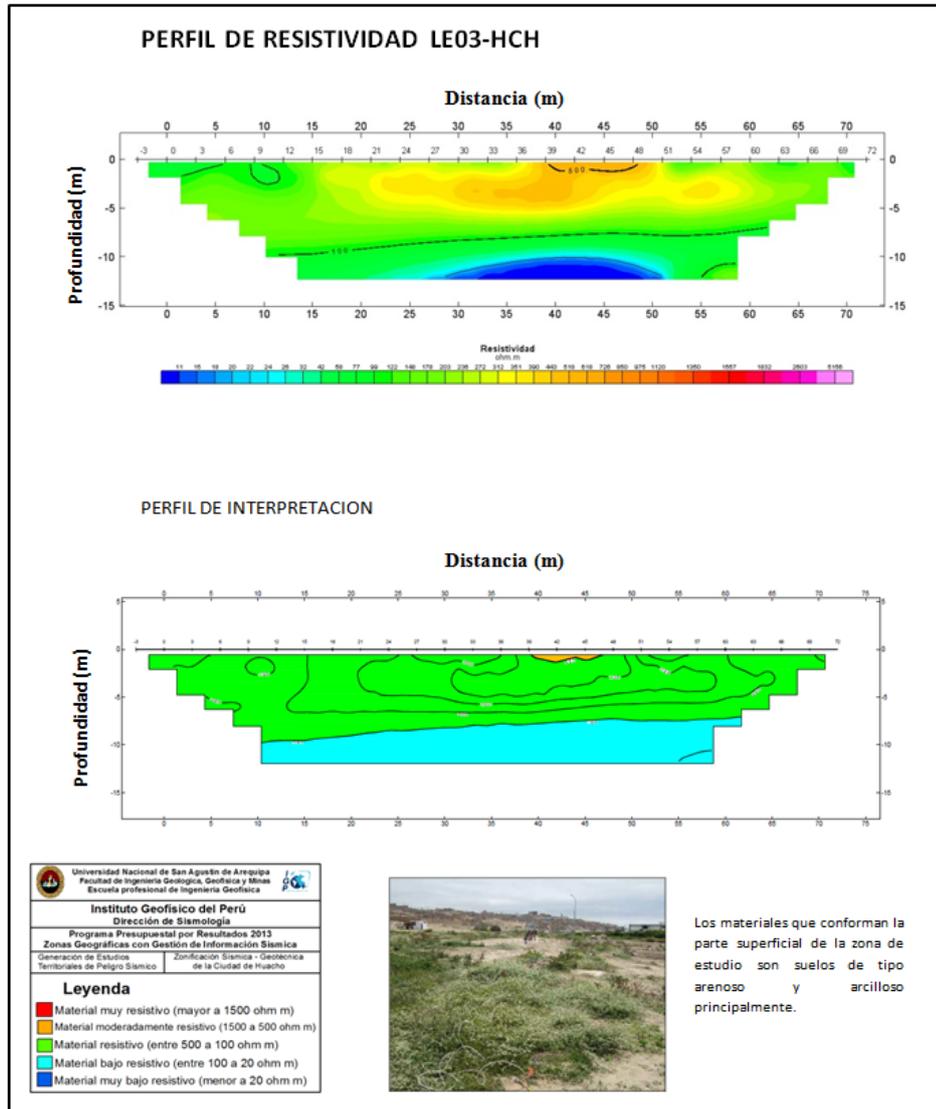


Figura 64c: Línea de Tomografía Eléctrica LE03-HCH tomada en el extremo Sur de la ciudad de Huacho (ver Figura 61)

Línea de tomografía eléctrica LE04-HCH:

Tomada en el extremo Sur del área de estudio, próximo a la calle los Pinos a 500 metros de la Universidad de Huacho. Los resultados indican la presencia de suelos con valores de resistividad bajos a muy bajos. Los valores varían entre 1 y 438 ohm.m., con el predominio de valores menores a 50 ohm.m. En el extremo superior de la sección se identifica la presencia de valores mayores a 50 ohm.m, hasta profundidades de 2 a 4 metros y por debajo, valores menores a 40 ohm.m con ligera tendencia a disminuir.

En superficie, los valores de resistividad indican la presencia de suelos resistivos debido a la presencia de suelos arenosos y arcillosos secos. Los suelos menos resistivos, presentes cerca de la superficie, suponen la presencia de agua filtrada. Por debajo de esta capa resistiva, se presentan de manera intermitente valores de resistividad menores a 20 ohm.m, lo que haría suponer la presencia de agua (Figura 64d).

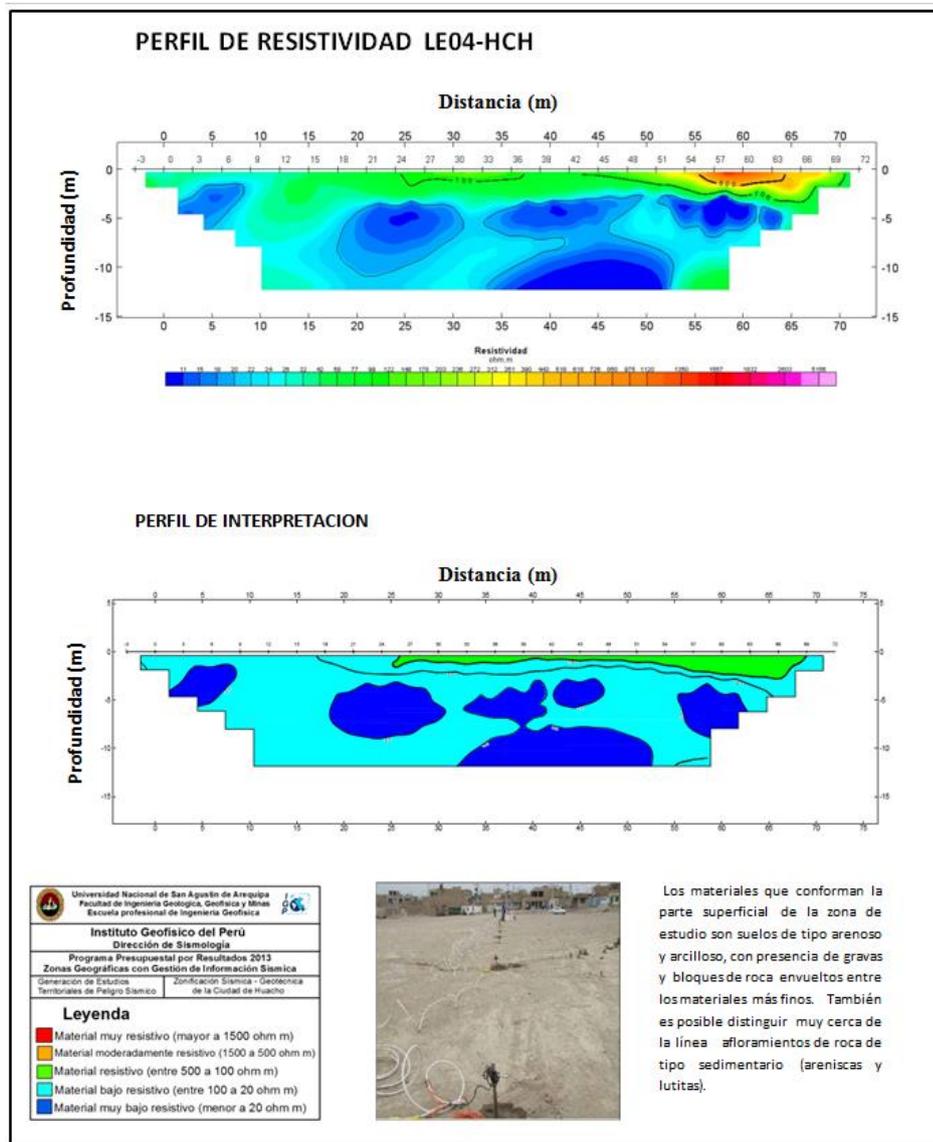


Figura 64d: Línea de Tomografía Eléctrica LE04-HCH tomada en el extremo sur de la ciudad de Huacho (ver Figura 61)

4.3.3. Resultados

El resultado final para este tipo de estudio, es una imagen distancia- profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos y geotécnicos.

Los resultados indican que la zona en estudio se caracteriza por presentar resistividades altas a moderadas en su extremo Norte y NE, y de moderadas a bajas en su extremo Sur. En el primer caso, los valores de resistividad en superficie los suelos se presentan como altos resistivos hasta profundidades de 6 a 8 metros, debido a que corresponden a suelos mal consolidados y con mala disposición de sus materiales. En profundidad, los valores se hacen menos resistivos, pero siguen siendo valores altos, debido a la presencia de materiales, tipo arena y en menor proporción arcilla. En el segundo caso, los valores de resistividad, se presentan como resistivos asociados a la presencia de suelos arenosos y arcillosos secos. Por debajo de esta capa, se muestra de manera intermitente valores de resistividad menores a 20 ohmm., lo que haría suponer la presencia de agua. En la Figura 65, se presenta la distribución de los resultados de resistividad de tomografía eléctrica de la línea LE01-HCH a LE04-HCH.

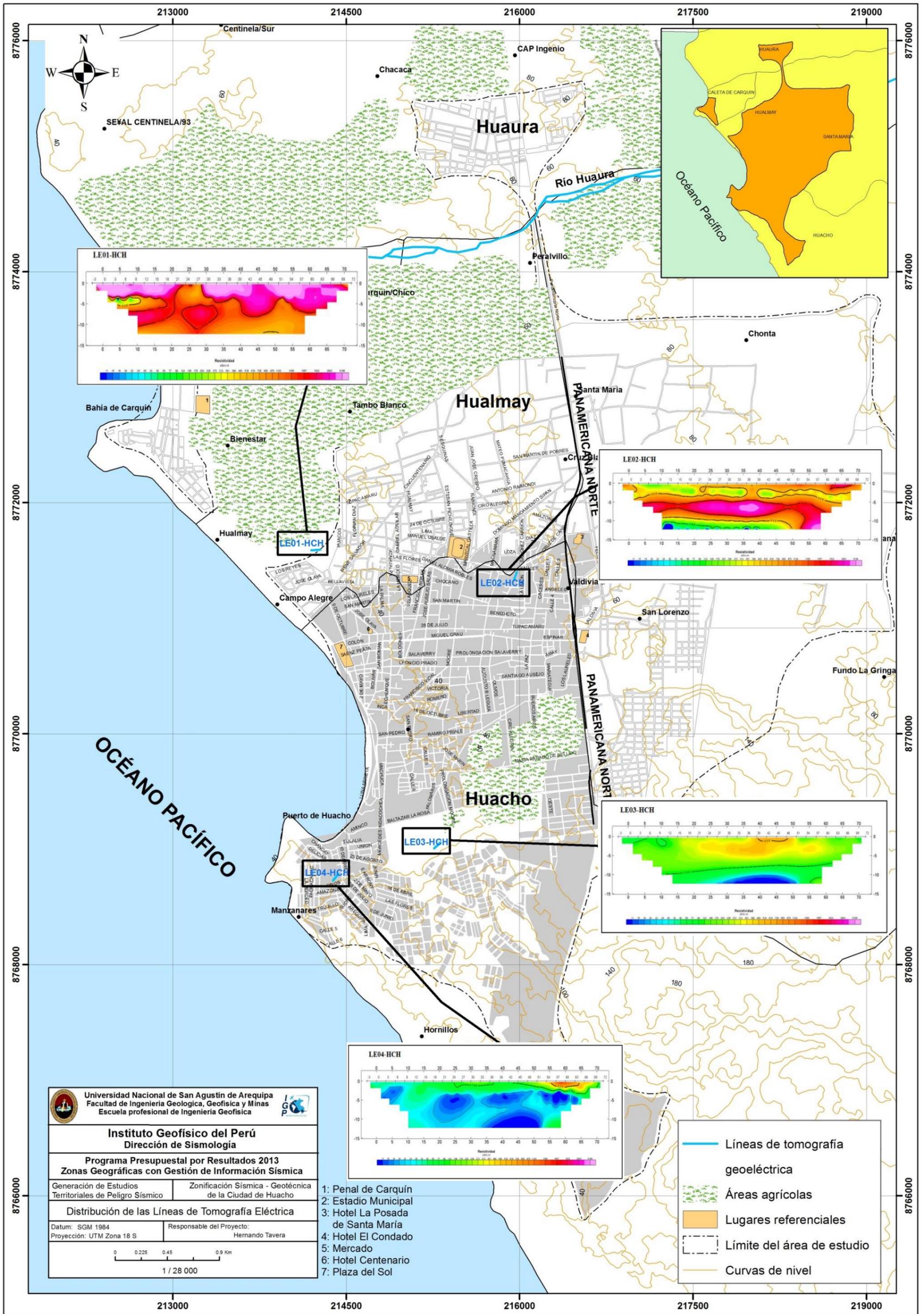


Figura 65: Mapa de la distribución de los resultados obtenidos de Tomografía Eléctrica LE01-HCH a LE04-HCH en el área de estudio

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

5.1. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en el capítulo II de las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas del área urbana de Huacho, han permitido delimitar la geología, unidades geomorfológicas: diferentes movimientos en masa y procesos erosivos. De igual manera los resultados de los estudios geotécnicos se delimito el área de estudio por tipo de suelos según la clasificación SUCS, se describe sus características, se complementó la delimitación con el análisis de la capacidad portante del suelo obteniendo una zonificación geotécnica del área de estudio.

Asimismo, a partir de los resultados de los estudios de dinámica de suelos, en el capítulo IV de la técnica de cocientes espectrales H/V, arreglos sísmicos lineales MASW y tomografía eléctrica; se delimitaron zonas con características similares.

Finalmente, los estudios anteriormente mencionados fueron plasmados en un mapa en el cual se describe las características geológicas, geotécnicas y la dinámica del suelo, así también los parámetros sísmicos del reglamento Peruano de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), para el diseño de construcción de cualquier obra de ingeniería en el área urbana de Huacho.

5.2. Zonificación Sísmica – Geotécnica

El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para la ciudad de Huacho considera el análisis e interpretación de la información geológica, geodinámica, geomorfológica, geotécnica y geofísica como se mencionó anteriormente. Las características dinámicas del suelo y sus propiedades mecánicas, han permitido identificar en el área de estudio de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E-030), la existencia de tres tipos de suelos: Tipo S1, S2 y S4, este último asociado a condiciones excepcionales (ver capítulo III).

Para la ciudad de Huacho se propone la siguiente zonificación Sísmica – Geotécnica (Figura 66).

ZONA I:

Zona conformada por estratos de grava coluvial - eluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos predominantes de vibración natural que varían entre 0.1 y 0.3 segundos, correspondiendo a suelos Tipo S1 de la norma sismorresistente peruana. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte (V_s) del orden de 400m/s. La zona presenta suelos con capacidad portante de media a alta.

ZONA II:

En esta zona incluye las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3 y 16 metros, subyaciendo a estos estratos se tiene grava. Los periodos predominantes del terreno son mayores a 0.4 segundos, correspondiendo a suelos Tipo S2 de la norma sismorresistente peruana. Esta zona presenta velocidades de ondas de corte (V_s) de 350 a 400 m/s. La zona presenta suelos con capacidad portante de baja a media.

ZONA III:

Esta zona no es identificable, a pesar que se cuenta con periodos predominio predominantes de 0.4 a 0.8 segundos, y velocidades de ondas Vs muy bajas, no correspondiendo a lo descrito en la Norma peruana de sismorresistente E 030.

ZONA IV:

Zona Conformada por depósitos de arenas eólicas de gran espesor, depósitos fluviales, depósitos marinos y suelos pantanosos. El comportamiento dinámico de los suelos ha sido tipificado como suelo Tipo S4 de la norma sismorresistente peruana (Según la Norma E030, es un caso especial y/o condiciones excepcionales).

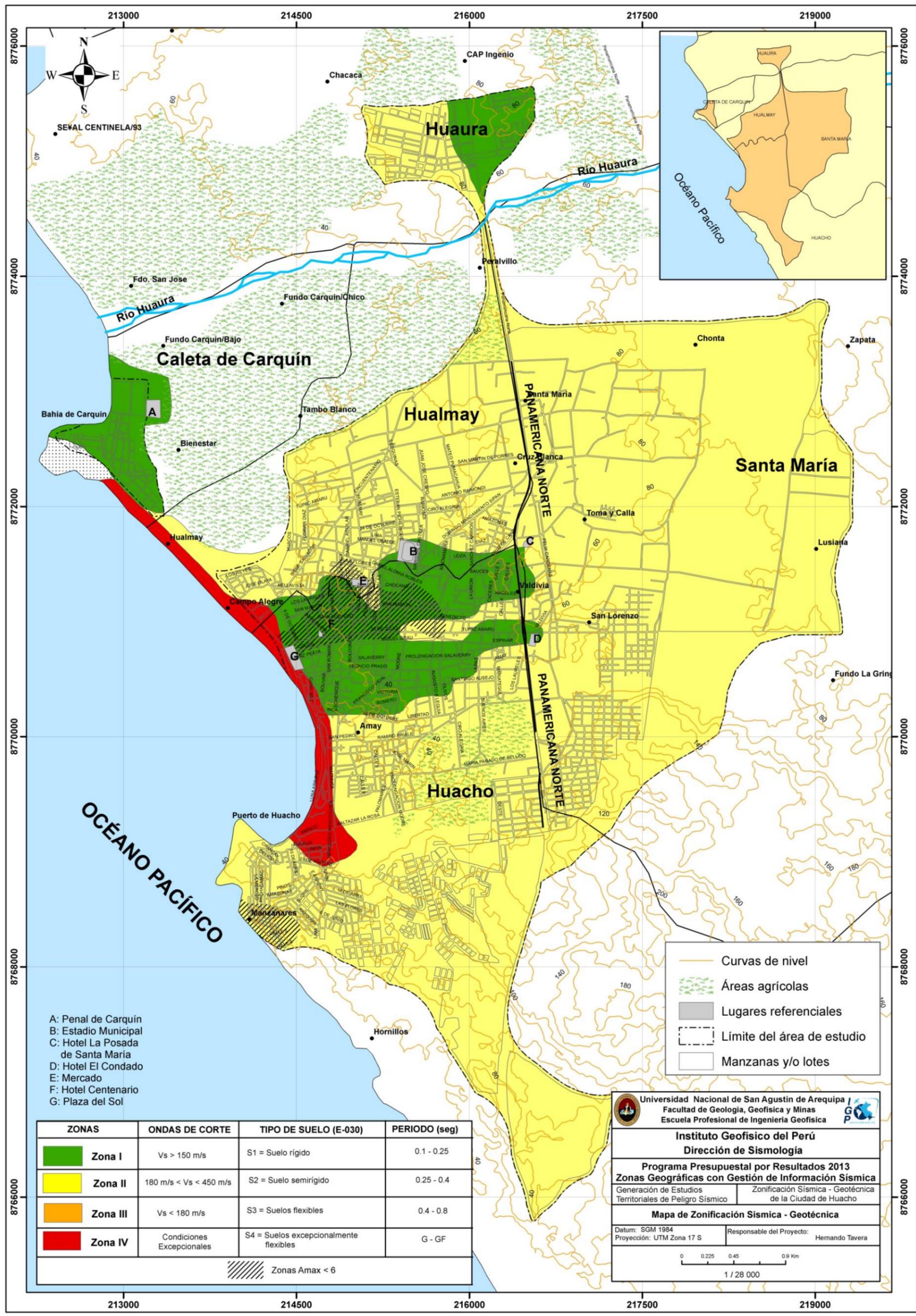


Figura 66: Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para la ciudad de Huacho

CONCLUSIONES

1. En el área urbana de Huacho se observa que las rocas más antiguas corresponden a la Formación Casma, de naturaleza volcánica; mientras que, los materiales más jóvenes lo conforman depósitos fluviales ubicados a ambos márgenes del río Huaura. El 60 % aproximadamente de la extensión del área de estudio cubren depósitos marinos, eólicos y aluviales.
2. La ciudad de Huacho se asienta sobre una superficie que tiene variantes topográficas que van hasta los 250 m.s.n.m, estando las zonas de menor elevación en dirección Oeste y las de mayor elevación hacia el Este. Asimismo se ha identificado los siguientes eventos geodinámicos: caída de rocas, derrumbes, erosión marina, asentamientos de terreno e inundaciones fluviales.
3. El análisis de suelos en la ciudad de Huacho ha permitido identificar, la existencia de cinco tipos de suelo: SP, arena mal gradadas; GW, gravas bien gradadas; GM, gramas limosas; SM, arenas limosas y ML, limos. El tipo de suelo que predomina en la ciudad de Huacho está compuesto por gravos-limos (GM) y areno-limoso (SM), seguido en menor proporción por suelos limosos (ML). La zona urbana central, se encuentra sobre suelos compuestos por gravas limosas y gravas mal gradadas.
4. En la ciudad de Huacho los suelos que la conforman presentan de baja a alta capacidad portante. Los suelos con alta capacidad portante están presentes en la zona media de la ciudad de Huacho (gravas limosas con arena de grano grueso). Los suelos con baja capacidad portante se encuentran a lo largo del litoral (arenas inconsolidados saturados de grano grueso); en el extremo Este de la ciudad, distrito de Santa María (limos arenosos); y en el extremo sur,

cerca del cerro Negritos. En este sector, el basamento rocoso se encuentra a 1.5 metros de profundidad y los valores de capacidad portante corresponden al suelo que tapiza al basamento.

5. El análisis de razones espectrales H/V ha permitido observar frecuencias predominantes que van desde 1.0 a 20 Hz, sugiriendo que el suelo sobre el cual se asienta la ciudad de Huacho es relativamente heterogéneo. Para el análisis de la información se ha definido dos rangos de frecuencia, F_0 ($F_p < 3.0\text{Hz}$) y $F1$ ($3.0 > F_p < 20\text{Hz}$). Las frecuencias F_0 se distribuyen de manera casi homogénea en toda la zona de estudio con amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces. En la mayoría de puntos sobresalen dos picos de frecuencias, el primero en el rango F_0 y otro a valores mayores a 3 Hz ($F1$). Un 40 % de los puntos presentan mayor amplificación en F_0 .

El mapa de distribución de periodos, muestra la presencia de dos zonas conformadas con suelos dinámicamente similares. La primera definida por periodos menores e iguales a 0.3 segundos y corresponden a suelos ubicados en los extremos Norte y Este de la ciudad, y en las penínsulas ubicadas en los extremos NO y SO de la ciudad, todos asociados a una capa superficial de suelo de poco espesor e influenciada por otra más profunda y de mayor espesor. La segunda zona es definida por periodos mayores a 0.3 segundos que prácticamente bordea a la anterior, y describe la presencia de una capa de suelo relativamente uniforme y de mayor espesor.

6. Los estudios con arreglos sísmicos lineales han permitido identificar en la ciudad de Huacho, la presencia de suelos formados por dos capas. La primera con espesores de 4 metros y velocidades V_s de hasta 190 m/s, y la segunda con espesores de 16 a 20 metros y velocidades V_s de 370 a 470 m/s. La superficie de contacto con el estrato más profundo alcanza velocidades V_s mayores a 700 m/s, correspondiendo a suelos muy duros o rocas blandas.
7. Los estudios de Tomografía Eléctrica han permitido identificar en la ciudad de Huacho suelos con resistividades altas a moderadas en sus extremos Norte y Noreste; además de moderadas a bajas en su extremo Sur. En el primer

caso, los valores de resistividad, en superficie los suelos se presentan como Altos Resistivos hasta profundidades de 6 a 8 m, pudiendo encontrarse mal consolidados y con mala disposición de sus materiales. En profundidad, los suelos se hacen menos resistivos (pero siguen siendo altos Resistivos) y estarían asociados a suelos compuestos por arenas y en menos proporción, arcilla. En el segundo caso, los valores de resistividad, en superficie definen suelos Resistivos conformados por arena y arcilla seca; por debajo de esta capa, los suelos presentan de manera irregular valores de resistividad menores a 20 ohm.m, lo que haría suponer la presencia de agua.

8. Finalmente la correlación de los resultados obtenidos con cada metodología utilizada en este estudio, ha permitido identificar en la ciudad de Huacho, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia de 3 zonas sísmicas - geotécnicas, suelos de Tipo S1, S2 y S4. Esta clasificación permite presentar, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica de la ciudad de Huacho.

RECOMENDACIONES

Los resultados de presente estudio deben ser utilizados por las autoridades locales y regionales de la ciudad de Huacho, para que concienticen a las personas que habitan en las zonas de mayor riesgo debido a las características de los suelos sobre las cuales están asentadas sus viviendas y conozcan el grado de riesgo a la que están expuestas sus viviendas cuando suceden los sismos, tsunamis y efectos secundarios, de esa manera reducir el peligro.

Del mismo modo, aportar con las normativas necesarias para la toma de decisiones respecto al ordenamiento territorial y para las acciones de gestión de riesgo.

BIBLIOGRAFIA

Aki, K. (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, pp. 35, 415–457.

Aki, K. (1988): American Society of Civil Engineering. Geotechnical Special Publication, pp. 20, 103, 155.

Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtremores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.

APESSEG (2005): Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID.

Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323

Bard P. 1999. Microtremor measurements: A tool for site effect estimation. The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Edited by Irikura, Kudo, Okada & Sasatani, 1999 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 030 2, Pag1252-1279.

Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, “Nonlinear Soil Amplification: It’s Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515

Bernal, I. (2002) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.

Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala – Mexico. Tesis de Maestría, II-UNAM, Mexico.

Bernal, I. y H. Tavera (2007): Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad. Informe Técnico, 23p.

Bernal, I. y H. Tavera (2007): Estimación de frecuencias predominantes y amplificaciones relativas en los terrenos del BCP-Ciudad de Trujillo. Informe presentado al BCP, 22p.

Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., & Bard, P.-Y. (2006). The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies. *Earth-Science Reviews*, 79(3-4), 205-227.

Capon, J.,(1973): Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array, in *Methods in Computational Physics*, Vol. 13, ed. Bolt, B.A., Academic Press Inc, New York Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *IAEG. Bull.* 43, 27-29.

Casagrande A. (1948): Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions.

Cobbing, J. (1970). Geología de los cuadrángulos de Huacho (23h). Boletín N°26 , INGEMMET

Decreto supremo N° 003-2016-vivienda - Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-vivienda, modificada con decreto supremo N° 002-2014-vivienda.

Dorbath, L., Cisternas, A., Dorabath, C. (1990): Assessment in the size of large and great historical earthquake in Peru. *B.S.S.A.*, 80,551-576

Fäh D., Kind F. and Giardini D. (2002). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects. *Journal of Seismology*, 7, 449-467

Gabriels, P.,R Snieder, and G. Nolet, (1987) . In situ measurement of shear wave veociity in sediments with higher-mode Rayleigh waves. *Geophys Prospect* 35,187-196.

Guillier, B., J.-L. Chatelain . H. Tavera . H. Perfettini . A. Ochoa . B. Herrera (2014): Establishing empirical period formula for RC buildings in Lima (Peru): evidence for the impact of both the 1974 Lima earthquake and the application of the Peruvian seismic code on high-rise buildings (in preparation).

Gutierrez, C. y S.K. Singh (1992): A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: Comparison of results from strong motion and microtremor data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 642-659, 1992.

HartzeU, S. H. (1992). Site response estimation from earthquake data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, 2308-2327

INGEMMET (1970): Cuadrángulo Geológicos de Barranca. Boletín N°26 – hoja 22h. Sector Energía y Minas.

Kanai, K. y T. Tanaka, (1961). On microtremors. VIII, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 39,97- 114.

Konno, K. y Ohmachi T. 1998. “Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors”. *Bull. Seism.*

Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a), "Are microtremors useful in site response evaluation?", Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.

Lachet, C. y P. Y. Bard (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, J. Phys. Earth, pp. 42, 377-397.

Lermo, J. y F.J. Chávez-García (1994a): Are microtremors useful in site response evaluation, Bull. Seism. Soc. Am. 84, 1350-1364 pp.

Moreno L., Alfaro A. 2000. "De los Microsismos a los Microtemblores - Investigaciones en el Instituto Geofísico". VIII Congreso Colombiano de Geotecnia 2000 - Sociedad Colombiana de Geotecnia.

Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface.

Norma E-30 (2003): Norma Técnica E-030, Diseño Sismo Resistente.

Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J., 1999, Multi-channel analysis of surface waves: Geophysics, v. 64, p. 800-808.

Pierre-Yves BARD y SESAME participants (2001) The SESAME project: an overview and main results. 13 World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004 Paper No. 2207

PNUD (2007): Mapa de peligros de la ciudad de Huacho. PNUD, INDECI, Proyecto N° 05100014426

Sadigh, K., C. Chang, J. Egan, F. Makdisi, R. Young (1997): Attenuation relationship for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data, Seis. Res. Lett., V-68, N-1, January, February.

Santacana, N. (2001): Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña.

Seo, K., 1995. A joint research on Microtremor Measurements in Kushiro City citado en KushiroOki, 1993 Earthquake, Report of the Research Group on Microtremor Joint Measurements Earthquake. Proc. 5Th International Conference on Seismic Zonation, Vol. III, Pág. 2271-2278

Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú, 120 pag.

Strobbia (2003). Experiments of joint acquisition of seismic refraction and surface wave data. Near surf Geophys 1(3), 119-129.

Tavera, H., Bernal, I., Gómez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Callao (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.

Tavera, H., Bernal, I., Gómez, J-C. (2010): Zonificación Sísmico-Geotécnico para el Distrito del Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo). Informe Técnico COOPI-IRD.

Tokimatsu, K. (1997). Geotechnical site characterisation using surface waves. Proceedings of the 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (pp. 1333-1368). A. A. Balkema.

Trogu A., Ranieri G., Fischanger F., 2011, 3D Electrical Resistivity Tomography to Improve the Knowledge of the Subsoil below Existing Buildings

Whitlow, R. (1994): Fundamentos de Mecánica de Suelos, pp. 423-429.

Urbieto J., 2011, La Tomografía Eléctrica en los Métodos de Corriente Continua, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Udias, A. y Mezcua, J. (1986). Fundamentos de Geofísica. Editorial Alambra, Madrid, 419p.

Vasquez, T. 2008. “Aplicación de métodos sísmicos: Vibraciones naturales y refracción de microtemores para caracterización de sitio en estudios de ingeniería civil”.

ANEXO

Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”



El Peruano

190 AÑOS

1825-2015. LA HISTORIA PARA CONTAR | **DIARIO OFICIAL**



Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

**DECRETO SUPREMO
N° 003-2016-VIVIENDA**

**DECRETO SUPREMO QUE MODIFICA
LA NORMA TÉCNICA E.030 “DISEÑO
SISMORRESISTENTE” DEL REGLAMENTO
NACIONAL DE EDIFICACIONES,
APROBADA POR DECRETO SUPREMO
N° 011-2006-VIVIENDA, MODIFICADA CON
DECRETO SUPREMO
N° 002-2014-VIVIENDA**

NORMAS LEGALES

SEPARATA ESPECIAL

DECRETO SUPREMO QUE MODIFICA LA NORMA TÉCNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, APROBADA POR DECRETO SUPREMO N° 011-2006-VIVIENDA, MODIFICADA CON DECRETO SUPREMO N° 002-2014-VIVIENDA

**DECRETO SUPREMO
N° 003-2016-VIVIENDA**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, es competencia del Ministerio formular, normar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar las políticas nacionales y sectoriales en materia de vivienda, construcción, saneamiento, urbanismo y desarrollo urbano, bienes estatales y propiedad urbana, para lo cual dicta normas de alcance nacional y supervisa su cumplimiento;

Que, el Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA, aprobó el Índice y la Estructura del Reglamento Nacional de Edificaciones, en adelante RNE, aplicable a las Habilitaciones Urbanas y a las Edificaciones, como instrumento técnico normativo que rige a nivel nacional, el cual contempla sesenta y nueve (69) Normas Técnicas;

Que, mediante Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, se aprobaron sesenta y seis (66) Normas Técnicas del RNE, comprendidas en el referido Índice, y se constituyó la Comisión Permanente de Actualización del RNE, encargada de analizar y formular las propuestas para la actualización de las Normas Técnicas; precisándose que a la fecha las referidas normas han sido modificadas por sendos Decretos Supremos;

Que, es preciso señalar que con los Decretos Supremos N° 001-2010-VIVIENDA y N° 017-2012-VIVIENDA, se aprobaron dos normas técnicas adicionales, de acuerdo al Índice y a la Estructura del RNE aprobado mediante Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA; y con los Decretos Supremos N° 011-2012-VIVIENDA, N° 005-2014-VIVIENDA y N° 006-2014-VIVIENDA, se incorporaron tres nuevas normas al citado cuerpo legal;

Que, con Informe N° 001-2015-CPARNE de fecha 17 de junio de 2015, el Presidente de la Comisión Permanente de Actualización del RNE, eleva la propuesta de modificación de la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del RNE, aprobada con Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA; la misma que ha sido materia de evaluación y aprobación por la mencionada Comisión conforme al Acta de aprobación de la Quincuagésima Segunda Sesión de fecha 10 de junio de 2015, que forma parte del expediente correspondiente;

Que, la propuesta normativa tiene por objeto actualizar la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" de acuerdo con las nuevas tecnologías en sismorresistencia y los avances científicos en el campo de la sismología, a fin de disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones nuevas, evitar las pérdidas de vidas humanas en caso de sismos y asegurar la continuidad de los servicios básicos;

Que, conforme a lo señalado por la Comisión Permanente de Actualización del RNE, corresponde disponer la modificación de la Norma Técnica a que se refiere el considerando anterior, a fin de actualizar y complementar su contenido; y,

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; el numeral 3) del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA;

DECRETA:

Artículo 1.- Modificación de la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE

Modifícase la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" contenida en el Numeral III.2 Estructuras,

del Título III Edificaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA, la cual forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Publicación y Difusión

Publícase el presente Decreto Supremo y la Norma Técnica a que se refiere el artículo 1 de la presente norma, en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.vivienda.gob.pe), el mismo día de su publicación en el Diario Oficial "El Peruano", de conformidad con lo dispuesto por el Decreto Supremo N° 001-2009-JUS.

Artículo 3.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- Normativa aplicable a proyectos de inversión pública y procedimientos administrativos en trámite

Los proyectos de inversión pública que a la fecha de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, cuentan con la declaratoria de viabilidad en el marco del Sistema Nacional de Inversión Pública - SNIP, y los procedimientos administrativos en los que se haya solicitado a las Municipalidades la licencia de edificación correspondiente, se rigen por la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA, hasta su conclusión.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintidós días del mes de enero del año dos mil dieciséis.

OLLANTA HUMALA TASSO
Presidente de la República

FRANCISCO ADOLFO DUMLER CUYA
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

NORMA TÉCNICA E.030

"DISEÑO SISMORRESISTENTE"

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

- 1.1 Nomenclatura
- 1.2 Alcances
- 1.3 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente
- 1.4 Concepción Estructural Sismorresistente
- 1.5 Consideraciones Generales
- 1.6 Presentación del Proyecto

CAPÍTULO 2. PELIGRO SÍSMICO

- 2.1 Zonificación
- 2.2 Microzonificación Sísmica y Estudios de Sitio
- 2.3 Condiciones Geotécnicas
- 2.4 Parámetros de Sitio (S , T_p y T_f)
- 2.5 Factor de Amplificación Sísmica (C)

CAPÍTULO 3 CATEGORÍA, SISTEMA ESTRUCTURAL Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES

- 3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)
- 3.2 Sistemas Estructurales
- 3.3 Categoría y Sistemas Estructurales
- 3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_o)
- 3.5 Regularidad Estructural
- 3.6 Factores de Irregularidad (I_a , I_g)
- 3.7 Restricciones a la Irregularidad
- 3.8 Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas,

R

3.9 Sistemas de Aislamiento Sísmico y Sistemas de Disipación de Energía

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

- 4.1 Consideraciones Generales para el Análisis
- 4.2 Modelos para el Análisis
- 4.3 Estimación del Peso (P)
- 4.4 Procedimientos de Análisis Sísmico
- 4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes
- 4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral
- 4.7 Análisis Dinámico Tiempo - Historia

CAPÍTULO 5 REQUISITOS DE RIGIDEZ, RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

- 5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales
- 5.2 Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles
- 5.3 Separación entre Edificios (s)
- 5.4 Redundancia
- 5.5 Verificación de Resistencia Última

CAPÍTULO 6 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, APÉNDICES Y EQUIPOS

- 6.1 Generalidades
- 6.2 Responsabilidad Profesional
- 6.3 Fuerzas de Diseño
- 6.4 Fuerza Horizontal Mínima
- 6.5 Fuerzas Sísmicas Verticales
- 6.6 Elementos no Estructurales Localizados en la Base de la Estructura, por Debajo de la Base y Cercos
- 6.7 Otras Estructuras
- 6.8 Diseño Utilizando el Método de los Esfuerzos Admisibles

CAPÍTULO 7 CIMENTACIONES

- 7.1 Generalidades
- 7.2 Capacidad Portante
- 7.3 Momento de Volteo
- 7.4 Cimentaciones sobre suelos flexibles o de baja capacidad portante

CAPÍTULO 8 EVALUACIÓN, REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

- 8.1 Evaluación de estructuras después de un sismo
- 8.2 Reparación y reforzamiento

CAPÍTULO 9 INSTRUMENTACIÓN

- 9.1 Estaciones Acelerométricas
- 9.2 Requisitos para su Ubicación
- 9.3 Mantenimiento
- 9.4 Disponibilidad de Datos

ANEXOS

ANEXO N° 1 ZONIFICACIÓN SISMICA

ANEXO N° 2 PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES SÍSMICAS

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Nomenclatura

Para efectos de la presente Norma Técnica, se consideran las siguientes nomenclaturas:

C Factor de amplificación sísmica.

C_T Coeficiente para estimar el período fundamental de un edificio.

d_i Desplazamientos laterales del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i .

e_i Excentricidad accidental en el nivel " i ".

F_i Fuerza sísmica horizontal en el nivel " i ".

g Aceleración de la gravedad.

h_i Altura del nivel " i " con relación al nivel del terreno.

h_{ei} Altura del entrepiso " i ".

h_n Altura total de la edificación en metros.

M_{θ} Momento torsor accidental en el nivel " i ".

m Número de modos usados en la combinación modal.

n Número de pisos del edificio.

P Peso total de la edificación.

P_i Peso del nivel " i ".

R Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.

r Respuesta estructural máxima elástica esperada.

r_i Respuestas elásticas máximas correspondientes al modo " i ".

S Factor de amplificación del suelo.

S_a Espectro de pseudo aceleraciones.

T Período fundamental de la estructura para el análisis estático o período de un modo en el análisis dinámico.

T_p Período que define la plataforma del factor C .

T_i Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.

U Factor de uso o importancia.

V Fuerza cortante en la base de la estructura.

Z Factor de zona.

R_0 Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas.

I_a Factor de irregularidad en altura.

I_p Factor de irregularidad en planta.

f_i Fuerza lateral en el nivel i .

\bar{V}_S Velocidad promedio de propagación de las ondas de corte.

\bar{N}_{60} Promedio ponderado de los ensayos de penetración estándar.

\bar{S}_{u} Promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada.

1.2 Alcances

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en numeral 1.3.

Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, al reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaran dañadas por la acción de los sismos.

El empleo de sistemas estructurales diferentes a los indicados en el numeral 3.2, deberá ser aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y demostrar que la alternativa propuesta produce adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y ductilidad.

Para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, se podrá usar esta Norma en lo que sea aplicable.

Además de lo indicado en esta Norma, se deberá tomar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: tsunamis, fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamiento masivo de tierras u otros.

1.3 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c. Para las edificaciones esenciales, definidas en la Tabla N° 5, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

1.4 Concepción Estructural Sismorresistente

Debe tomarse en cuenta la importancia de los siguientes aspectos:

- Simetría, tanto en la distribución de masas como de rigideces.
- Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Resistencia adecuada frente a las cargas laterales.
- Continuidad estructural, tanto en planta como en elevación.
- Ductilidad, entendida como la capacidad de deformación de la estructura más allá del rango elástico.
- Deformación lateral limitada.
- Inclusión de líneas sucesivas de resistencia (redundancia estructural).
- Consideración de las condiciones locales.
- Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

1.5 Consideraciones Generales

Toda edificación y cada una de sus partes serán diseñadas y construidas para resistir las solicitaciones sísmicas prescritas en esta Norma, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados.

No es necesario considerar simultáneamente los efectos de sismo y viento.

Deberá considerarse el posible efecto de los tabiques, parapetos y otros elementos adosados en el comportamiento sísmico de la estructura. El análisis, el detallado del refuerzo y anclaje deberá hacerse acorde con esta consideración.

En concordancia con los principios de diseño sismorresistente del numeral 1.3, se acepta que las edificaciones tengan incursiones inelásticas frente a solicitaciones sísmicas severas. Por tanto, las fuerzas sísmicas de diseño son una fracción de la solicitación sísmica máxima elástica.

1.6 Presentación del Proyecto

Los planos, memoria descriptiva y especificaciones técnicas del proyecto estructural, deberán estar firmados por el ingeniero civil colegiado responsable del diseño, quien será el único autorizado para aprobar cualquier modificación a los mismos.

Los planos del proyecto estructural deberán incluir la siguiente información:

- a. Sistema estructural sismorresistente.
- b. Período fundamental de vibración en ambas direcciones principales.
- c. Parámetros para definir la fuerza sísmica o el espectro de diseño.
- d. Fuerza cortante en la base empleada para el diseño, en ambas direcciones.

- e. Desplazamiento máximo del último nivel y el máximo desplazamiento relativo de entrepiso.
- f. La ubicación de las estaciones acelerométricas, si éstas se requieren conforme al Capítulo 9.

CAPÍTULO 2. PELIGRO SÍSMICO

2.1 Zonificación

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la Figura N° 1. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. El Anexo N° 1 contiene el listado de las provincias y distritos que corresponden a cada zona.

ZONAS SÍSMICAS

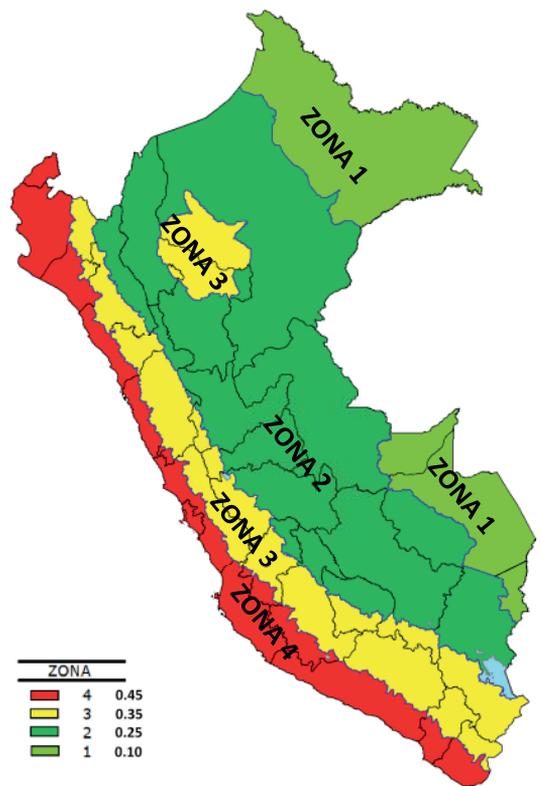


FIGURA N° 1

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla N° 1. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

2.2 Microzonificación Sísmica y Estudios de Sitio

2.2.1 Microzonificación Sísmica

Son estudios multidisciplinarios que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuación

de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. Los estudios suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales, así como las limitaciones y exigencias que como consecuencia de los estudios se considere para el diseño, construcción de edificaciones y otras obras.

Para los siguientes casos podrán ser considerados los resultados de los estudios de microzonificación correspondientes:

- Áreas de expansión de ciudades.
- Reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados.

2.2.2 Estudios de Sitio

Son estudios similares a los de microzonificación, aunque no necesariamente en toda su extensión. Estos estudios están limitados al lugar del proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales. Su objetivo principal es determinar los parámetros de diseño.

Los estudios de sitio deberán realizarse, entre otros casos, en grandes complejos industriales, industria de explosivos, productos químicos inflamables y contaminantes.

No se considerarán parámetros de diseño inferiores a los indicados en esta Norma.

2.3 Condiciones Geotécnicas

2.3.1 Perfiles de Suelo

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{V}_s), o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los \bar{N}_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u) para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación, como se indica en el numeral 2.3.2.

Para los suelos predominantemente granulares, se calcula \bar{N}_{60} considerando solamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantemente cohesivos, la resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u se calcula como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo.

Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). En tal caso, si a partir de \bar{N}_{60} para los estratos con suelos granulares y de \bar{S}_u para los estratos con suelos cohesivos se obtienen clasificaciones de sitio distintas, se toma la que corresponde al tipo de perfil más flexible.

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

a. Perfil Tipo S_0 : Roca Dura

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte \bar{V}_s mayor que 1500 m/s. Las mediciones deberán corresponder al sitio del proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas. Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales pueden ser usadas para estimar el valor de \bar{V}_s .

b. Perfil Tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada qu mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con \bar{N}_{60} mayor que 50.

- Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u mayor que 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

c. Perfil Tipo S_2 : Suelos Intermedios

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , entre 15 y 50.
- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada \bar{S}_u , entre 50 kPa (0,5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

d. Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT \bar{N}_{60} menor que 15.
- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u , entre 25 kPa (0,25 kg/cm²) y 50 kPa (0,5 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.
- Cualquier perfil que no correspondan al tipo S_4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad P_i mayor que 20, contenido de humedad ω mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u menor que 25 kPa.

e. Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S_4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine.

La Tabla N° 2 resume valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo:

Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

2.3.2 Definición de los Perfiles de Suelo

Las expresiones de este numeral se aplicarán a los 30 m superiores del perfil de suelo, medidos desde el nivel del fondo de cimentación. El subíndice i se refiere a uno cualquiera de los n estratos con distintas características, m se refiere al número de estratos con suelos granulares y k al número de estratos con suelos cohesivos.

a. Velocidad Promedio de las Ondas de Corte, \bar{V}_s

La velocidad promedio de propagación de las ondas de corte se determinará con la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

donde d_i es el espesor de cada uno de los n estratos y V_{si} es la correspondiente velocidad de ondas de corte (m/s).

b. Promedio Ponderado del Ensayo Estándar de Penetración, \bar{N}_{60}

El valor \bar{N}_{60} se calculará considerando solamente los estratos con suelos granulares en los 30 m superiores del perfil:

$$\bar{N}_{60} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{d_i}{N_{60i}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los m estratos con suelo granular y \bar{N}_{60} es el correspondiente valor corregido del SPT.

c. Promedio Ponderado de la Resistencia al Corte en Condición no Drenada, \bar{S}_u

El valor \bar{S}_u se calculará considerando solamente los estratos con suelos cohesivos en los 30 m superiores del perfil:

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{d_i}{S_{ui}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los k estratos con suelo cohesivo y \bar{S}_u es la correspondiente resistencia al corte en condición no drenada (kPa).

Consideraciones Adicionales:

En los casos en los que no sea obligatorio realizar un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) o cuando no se disponga de las propiedades del suelo hasta la profundidad de 30 m, se permite que el profesional responsable estime valores adecuados sobre la base de las condiciones geotécnicas conocidas.

En el caso de estructuras con cimentaciones profundas a base de pilotes, el perfil de suelo será el que corresponda a los estratos en los 30 m por debajo del extremo superior de los pilotes.

2.4 Parámetros de Sitio (S , T_p y T_L)

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos T_p y T_L dados en las Tablas N° 3 y N° 4.

SUELO	S_0	S_1	S_2	S_3
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

2.5 Factor de Amplificación Sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$T < T_p \quad C = 2,5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$

T es el período de acuerdo al numeral 4.5.4, concordado con el numeral 4.6.1.

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.

CAPÍTULO 3 CATEGORÍA, SISTEMA ESTRUCTURAL Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES

3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 5. El factor de uso o importancia (U), definido en la Tabla N° 5 se usará según la clasificación que se haga. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se podrá considerar $U = 1$.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud .	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de *U* será como mínimo 1,5.

Nota 2: En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

3.2 Sistemas Estructurales

3.2.1 Estructuras de Concreto Armado

Todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE.

Pórticos. Por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso se tengan muros estructurales, éstos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.

Muros Estructurales. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base.

Dual. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 70 % del cortante en la base del edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base.

Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL). Edificaciones que se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros de concreto armado de espesores reducidos, en los que se prescinde de extremos confinados y el refuerzo vertical se dispone en una sola capa.

Con este sistema se puede construir como máximo ocho pisos.

3.2.2 Estructuras de Acero

Los Sistemas que se indican a continuación forman parte del Sistema Estructural Resistente a Sismos.

Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)
Estos pórticos deberán proveer una significativa capacidad de deformación inelástica a través de la fluencia por flexión de las vigas y limitada fluencia en las zonas de panel de las columnas. Las columnas deberán ser diseñadas para tener una resistencia mayor que las vigas cuando estas incursionan en la zona de endurecimiento por deformación.

Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)

Estos pórticos deberán proveer una limitada capacidad de deformación inelástica en sus elementos y conexiones.

Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)

Estos pórticos deberán proveer una mínima capacidad de deformación inelástica en sus elementos y conexiones.

Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)

Estos pórticos deberán proveer una significativa capacidad de deformación inelástica a través de la resistencia post-pandeo en los arriostres en compresión y fluencia en los arriostres en tracción.

Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)

Estos pórticos deberán proveer una limitada capacidad de deformación inelástica en sus elementos y conexiones.

Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)

Estos pórticos deberán proveer una significativa capacidad de deformación inelástica principalmente por fluencia en flexión o corte en la zona entre arriostres.

3.2.3 Estructuras de Albañilería

Edificaciones cuyos elementos sismorresistentes son muros a base de unidades de albañilería de arcilla o concreto. Para efectos de esta Norma no se hace diferencia entre estructuras de albañilería confinada o armada.

3.2.4 Estructuras de Madera

Se consideran en este grupo las edificaciones cuyos elementos resistentes son principalmente a base de madera. Se incluyen sistemas entramados y estructuras arriostradas tipo poste y viga.

3.2.5 Estructuras de Tierra

Son edificaciones cuyos muros son hechos con unidades de albañilería de tierra o tierra apisonada in situ.

3.3 Categoría y Sistemas Estructurales

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse empleando el sistema estructural que se indica en la Tabla N° 6 y respetando las restricciones a la irregularidad de la Tabla N° 10.

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
A1	4 y 3	Aislamiento Sísmico con cualquier sistema estructural.
	2 y 1	Estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albañilería Armada o Confinada.
A2 (*)	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albañilería Armada o Confinada.
	1	Cualquier sistema.

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
B	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Pórticos, Sistema Dual, Muros de Concreto Armado. Albanilería Armada o Confinada. Estructuras de madera
	1	Cualquier sistema.
C	4, 3, 2 y 1	Cualquier sistema.

(*) Para pequeñas construcciones rurales, como escuelas y postas médicas, se podrá usar materiales tradicionales siguiendo las recomendaciones de las normas correspondientes a dichos materiales.

3.4 Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_o)

Los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 7.

Cuando en la dirección de análisis, la edificación presente más de un sistema estructural, se tomará el menor coeficiente R_o que corresponda.

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albanilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

(*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

Para construcciones de tierra debe remitirse a la Norma E.080 "Adobe" del RNE. Este tipo de construcciones no se recomienda en suelos S_3 , ni se permite en suelos S_4 .

3.5 Regularidad Estructural

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- Cumplir las restricciones de la Tabla N° 10.
- Establecer los procedimientos de análisis.
- Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

Estructuras Regulares son las que en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

En estos casos, el factor I_a o I_p será igual a 1,0.

Estructuras Irregulares son aquellas que presentan una o más de las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

3.6 Factores de Irregularidad (I_a, I_p)

El factor I_a se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis. El factor I_p se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

Si al aplicar las Tablas N° 8 y 9 se obtuvieran valores distintos de los factores I_a o I_p para las dos direcciones de análisis, se deberá tomar para cada factor el menor valor entre los obtenidos para las dos direcciones.

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_a
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.	0,75
Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.	
Irregularidad Extrema de Rigidez (Ver Tabla N° 10) Se considera que existe irregularidad extrema en la rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,6 veces el correspondiente valor del entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,4 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.	0,50
Irregularidad Extrema de Resistencia (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.	
Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90
Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.	0,90
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 % de la correspondiente dimensión del elemento.	0,80

Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_a
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes (Ver Tabla N° 10) Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25 % de la fuerza cortante total.	0,60
Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Factor de Irregularidad I_p
Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,75
Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{CM}), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.	0,60
Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.	0,90
Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.	0,85
Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.	0,90

3.7 Restricciones a la Irregularidad

3.7.1 Categoría de la Edificación e Irregularidad

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse respetando las restricciones a la irregularidad de la Tabla N° 10.

Tabla N° 10 CATEGORÍA Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES		
Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

3.7.2 Sistemas de Transferencia

Los sistemas de transferencia son estructuras de losas y vigas que transmiten las fuerzas y momentos desde elementos verticales discontinuos hacia otros del piso inferior.

En las zonas sísmicas 4, 3 y 2 no se permiten estructuras con sistema de transferencia en los que más del 25 % de las cargas de gravedad o de las cargas sísmicas en cualquier nivel sean soportadas por elementos verticales que no son continuos hasta la cimentación. Esta disposición no se aplica para el último entrepiso de las edificaciones.

3.8 Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, R

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determinará como el producto del coeficiente R_0 determinado a partir de la Tabla N° 7 y de los factores I_a , I_p obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9.

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

3.9 Sistemas de Aislamiento Sísmico y Sistemas de Disipación de Energía

Se permite la utilización de sistemas de aislamiento sísmico o de sistemas de disipación de energía en la edificación, siempre y cuando se cumplan las disposiciones de esta Norma (mínima fuerza cortante en la base, distorsión de entrepiso máxima permisible), y en la medida que sean aplicables los requisitos del documento siguiente:

“Minimum Design Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7-10, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2010.

La instalación de sistemas de aislamiento sísmico o de sistemas de disipación de energía deberá someterse a una supervisión técnica especializada a cargo de un ingeniero civil.

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.1 Consideraciones Generales para el Análisis

Para estructuras regulares, el análisis podrá hacerse considerando que el total de la fuerza sísmica actúa independientemente en dos direcciones ortogonales predominantes. Para estructuras irregulares deberá suponerse que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño.

Las solicitaciones sísmicas verticales se considerarán en el diseño de los elementos verticales, en elementos horizontales de gran luz, en elementos post o pre tensados y en los voladizos o salientes de un edificio. Se considera que la fuerza sísmica vertical actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis.

4.2 Modelos para el Análisis

El modelo para el análisis deberá considerar una distribución espacial de masas y rigideces que sean adecuadas para calcular los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura.

Para propósito de esta Norma las estructuras de concreto armado y albañilería podrán ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el refuerzo.

Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos deberán compatibilizarse mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales deberá hacerse en función a las rigideces de los elementos resistentes.

Deberá verificarse que los diafragmas tengan la rigidez y resistencia, suficientes para asegurar la distribución antes mencionada, en caso contrario, deberá tomarse en cuenta su flexibilidad para la distribución de las fuerzas sísmicas.

El modelo estructural deberá incluir la tabiquería que no esté debidamente aislada.

Para los pisos que no constituyan diafragmas rígidos, los elementos resistentes serán diseñados para las fuerzas horizontales que directamente les corresponde.

En los edificios cuyos elementos estructurales predominantes sean muros, se deberá considerar un modelo que tome en cuenta la interacción entre muros en direcciones perpendiculares (muros en H, muros en T y muros en L).

4.3 Estimación del Peso (P)

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50 % de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.
- En depósitos, el 80 % del peso total que es posible almacenar.
- En azoteas y techos en general se tomará el 25 % de la carga viva.
- En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100 % de la carga que puede contener.

4.4 Procedimientos de Análisis Sísmico

Deberá utilizarse uno de los procedimientos siguientes:

- Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes (numeral 4.5).
- Análisis dinámico modal espectral (numeral 4.6).

El análisis se hará considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

El procedimiento de análisis dinámico tiempo - historia, descrito en el numeral 4.7, podrá usarse con fines de verificación, pero en ningún caso será exigido como sustituto de los procedimientos indicados en los numerales 4.5 y 4.6.

4.5 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes

4.5.1 Generalidades

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

Podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, las estructuras clasificadas como regulares según el numeral 3.5 de no más de 30 m de altura y las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares.

4.5.2 Fuerza Cortante en la Base

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,125$$

4.5.3 Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde n es el número de pisos del edificio, k es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$.
- Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$.

4.5.4 Período Fundamental de Vibración

El período fundamental de vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- Pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$ Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Alternativamente podrá usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2\right)}{\left(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i\right)}}$$

Donde:

- f_i es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.

- d_i es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calcularán suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar.

Cuando el análisis no considere la rigidez de los elementos no estructurales, el período fundamental T deberá tomarse como 0,85 del valor obtenido con la fórmula precedente.

4.5.5 Excentricidad Accidental

Para estructuras con diafragmas rígidos, se supondrá que la fuerza en cada nivel (F) actúa en el centro de masas del nivel respectivo y debe considerarse además de la excentricidad propia de la estructura el efecto de excentricidades accidentales (en cada dirección de análisis) como se indica a continuación:

a) En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplicará un momento torsor accidental (M_{ti}) que se calcula como:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), se considerará como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

b) Se puede suponer que las condiciones más desfavorables se obtienen considerando las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles. Se considerarán únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales no así las disminuciones.

4.5.6 Fuerzas Sísmicas Verticales

La fuerza sísmica vertical se considerará como una fracción del peso igual a $2/3 Z \cdot U \cdot S$.

En elementos horizontales de grandes luces, incluyendo volados, se requerirá un análisis dinámico con los espectros definidos en el numeral 4.6.2.

4.6 Análisis Dinámico Modal Espectral

Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en este numeral.

4.6.1 Modos de Vibración

Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

4.6.2 Aceleración Espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los $2/3$ del espectro empleado para las direcciones horizontales.

4.6.3 Criterios de Combinación

Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (r_i) podrá determinarse

usando la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j}$$

Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas. Los coeficientes de correlación están dados por:

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2(1+\lambda)\lambda^{3/2}}{(1-\lambda^2)^2 + 4\beta^2\lambda(1+\lambda)^2} \quad \lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i}$$

β , fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos igual a 0,05

ω_i, ω_j son las frecuencias angulares de los modos i, j

Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la siguiente expresión.

$$r = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

4.6.4 Fuerza Cortante Mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el numeral 4.5 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

4.6.5 Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.

4.7 Análisis Dinámico Tiempo - Historia

El análisis dinámico tiempo - historia podrá emplearse como un procedimiento complementario a los especificados en los numerales 4.5 y 4.6.

En este tipo de análisis deberá utilizarse un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

4.7.1 Registros de Aceleración

Para el análisis se usarán como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales.

Cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales. Las historias de aceleración serán obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado. Cuando no se cuente con el número requerido de registros apropiados, se podrán usar registros simulados para alcanzar el número total requerido.

Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados para cada componente por separado, con 5 % de amortiguamiento. Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de períodos entre $0,2 T$ y $1,5 T$ (siendo T el período fundamental),

el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos juegos de registros no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada según el numeral 4.6.2 con $R = 1$.

Para la generación de registros simulados deberán considerarse los valores de C , definidos en el numeral 2.5, excepto para la zona de períodos muy cortos ($T < 0,2 T_p$) en la que se considerará:

$$T < 0,2 T_p \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_p}\right)$$

4.7.2 Modelo para el Análisis

El modelo matemático deberá representar correctamente la distribución espacial de masas en la estructura.

El comportamiento de los elementos será modelado de modo consistente con resultados de ensayos de laboratorio y tomará en cuenta la fluencia, la degradación de resistencia, la degradación de rigidez, el estrechamiento de los lazos histeréticos, y todos los aspectos relevantes del comportamiento estructural indicado por los ensayos.

La resistencia de los elementos será obtenida en base a los valores esperados sobre resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.

Se permite suponer propiedades lineales para aquellos elementos en los que el análisis demuestre que permanecen en el rango elástico de respuesta.

Se admite considerar un amortiguamiento viscoso equivalente con un valor máximo del 5 % del amortiguamiento crítico, además de la disipación resultante del comportamiento histerético de los elementos.

Se puede suponer que la estructura está empotrada en la base, o alternativamente considerar la flexibilidad del sistema de cimentación si fuera pertinente.

4.7.3 Tratamiento de Resultados

En caso se utilicen por lo menos siete juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones en los elementos y las distorsiones de entrepiso se evaluarán a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos obtenidos en los distintos análisis. Si se utilizaran menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso serán evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Las distorsiones máximas de entrepiso no deberán exceder de 1,25 veces de los valores indicados en la Tabla N° 11.

Las deformaciones en los elementos no excederán de 2/3 de aquellas para las que perderían la capacidad portante para cargas verticales o para las que se tendría una pérdida de resistencia en exceso a 30 %.

Para verificar la resistencia de los elementos se dividirán los resultados del análisis entre $R = 2$, empleándose las normas aplicables a cada material.

CAPÍTULO 5 REQUISITOS DE RIGIDEZ, RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

5.1 Determinación de Desplazamientos Laterales

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R indicados en el numeral 4.5.2 ni el cortante mínimo en la base especificado en el numeral 4.6.4.

5.2 Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el numeral 5.1, no deberá exceder la

fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: Los límites de la distorsión (deriva) para estructuras de uso industrial serán establecidos por el proyectista, pero en ningún caso excederán el doble de los valores de esta Tabla.

5.3 Separación entre Edificios (s)

Toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima s para evitar el contacto durante un movimiento sísmico.

Esta distancia no será menor que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los edificios adyacentes ni menor que:

$$s = 0,006 h \geq 0,03 \text{ m}$$

Donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar s .

El edificio se retirará de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores de 2/3 del desplazamiento máximo calculado según el numeral 5.1 ni menores que $s/2$ si la edificación existente cuenta con una junta sísmica reglamentaria.

En caso de que no exista la junta sísmica reglamentaria, el edificio deberá separarse de la edificación existente el valor de $s/2$ que le corresponde más el valor $s/2$ de la estructura vecina.

5.4 Redundancia

Cuando sobre un solo elemento de la estructura, muro o pórtico, actúa una fuerza de 30 % o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entrepiso, dicho elemento deberá diseñarse para el 125 % de dicha fuerza.

5.5 Verificación de Resistencia Última

En caso se realice un análisis de la resistencia última se podrá utilizar las especificaciones del ASCE/SEI 41 SEISMIC REHABILITATION OF EXISTING BUILDINGS. Esta disposición no constituye una exigencia de la presente Norma.

CAPÍTULO 6 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, APÉNDICES Y EQUIPOS

6.1 Generalidades

Se consideran como elementos no estructurales aquellos que, estando conectados o no al sistema resistente a fuerzas horizontales, aportan masa al sistema pero su aporte a la rigidez no es significativo.

Para los elementos no estructurales que estén unidos al sistema estructural sismorresistente y deban acompañar la deformación de la estructura deberá asegurarse que en caso de falla no causen daños.

Dentro de los elementos no estructurales que deben tener adecuada resistencia y rigidez para acciones sísmicas se incluyen:

- Cercos, tabiques, parapetos, paneles prefabricados.
- Elementos arquitectónicos y decorativos entre ellos cielos rasos, enchapes.

- Vidrios y muro cortina.
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias.
- Instalaciones eléctricas.
- Instalaciones de gas.
- Equipos mecánicos.
- Mobiliario cuya inestabilidad signifique un riesgo.

6.2 Responsabilidad Profesional

Los profesionales que elaboran los diferentes proyectos serán responsables de proveer a los elementos no estructurales la adecuada resistencia y rigidez para acciones sísmicas.

6.3 Fuerzas de Diseño

Los elementos no estructurales, sus anclajes, y sus conexiones deberán diseñarse para resistir una fuerza sísmica horizontal en cualquier dirección (F) asociada a su peso (P_e), cuya resultante podrá suponerse aplicada en el centro de masas del elemento, tal como se indica a continuación:

$$F = \frac{a_i}{g} \cdot C_1 \cdot P_e$$

Donde a_i es la aceleración horizontal en el nivel donde el elemento no estructural está soportado, o anclado, al sistema estructural de la edificación. Esta aceleración depende de las características dinámicas del sistema estructural de la edificación y debe evaluarse mediante un análisis dinámico de la estructura.

Alternativamente podrá utilizarse la siguiente ecuación:

$$F = \frac{F_i}{P_i} \cdot C_1 \cdot P_e$$

Donde F_i es la fuerza lateral en el nivel donde se apoya o se ancla el elemento no estructural calculada de acuerdo al numeral 4.5 y P_i el peso de dicho nivel.

Los valores de C_1 se tomarán de la Tabla N° 12.

Para calcular las solicitaciones de diseño en muros, tabiques, parapetos y en general elementos no estructurales con masa distribuida, la fuerza F se convertirá en una carga uniformemente distribuida por unidad de área. Para muros y tabiques soportados horizontalmente en dos niveles consecutivos, se tomará el promedio de las aceleraciones de los dos niveles.

Tabla N° 12 VALORES DE C_1	
- Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación y cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras.	3,0
- Muros y tabiques dentro de una edificación.	2,0
- Tanques sobre la azotea, casa de máquinas, pérgolas, parapetos en la azotea.	3,0
- Equipos rígidos conectados rígidamente al piso.	1,5

6.4 Fuerza Horizontal Mínima

En ningún nivel del edificio la fuerza F calculada con el numeral 6.3 será menor que $0,5 \cdot Z \cdot U \cdot S \cdot P_e$.

6.5 Fuerzas Sísmicas Verticales

La fuerza sísmica vertical se considerará como 2/3 de la fuerza horizontal.

Para equipos soportados por elementos de grandes luces, incluyendo volados, se requerirá un análisis dinámico con los espectros definidos en el numeral 4.6.2.

6.6 Elementos no Estructurales Localizados en la Base de la Estructura, por Debajo de la Base y Cercos

Los elementos no estructurales localizados a nivel de la base de la estructura o por debajo de ella (sótanos) y los cercos deberán diseñarse con una fuerza horizontal calculada con:

$$F = 0,5 \cdot Z \cdot U \cdot S \cdot P_e$$

6.7 Otras Estructuras

Para letreros, chimeneas, torres y antenas de comunicación instaladas en cualquier nivel del edificio, la fuerza de diseño se establecerá considerando las propiedades dinámicas del edificio y de la estructura a instalar. La fuerza de diseño no deberá ser menor que la correspondiente a la calculada con la metodología propuesta en este capítulo con un valor de C_1 mínimo de 3,0.

6.8 Diseño Utilizando el Método de los Esfuerzos Admisibles

Cuando el elemento no estructural o sus anclajes se diseñen utilizando el Método de los Esfuerzos Admisibles, las fuerzas sísmicas definidas en este Capítulo se multiplicarán por 0,8.

CAPÍTULO 7 CIMENTACIONES

7.1 Generalidades

Las suposiciones que se hagan para los apoyos de la estructura deberán ser concordantes con las características propias del suelo de cimentación.

La determinación de las presiones actuantes en el suelo para la verificación por esfuerzos admisibles, se hará con las fuerzas obtenidas del análisis sísmico multiplicadas por 0,8.

7.2 Capacidad Portante

En todo estudio de mecánica de suelos deberán considerarse los efectos de los sismos para la determinación de la capacidad portante del suelo de cimentación. En los sitios en que pueda producirse licuación del suelo, debe efectuarse una investigación geotécnica que evalúe esta posibilidad y determine la solución más adecuada.

7.3 Momento de Volteo

Toda estructura y su cimentación deberán ser diseñadas para resistir el momento de volteo que produce un sismo, según los numerales 4.5 o 4.6. El factor de seguridad calculado con las fuerzas que se obtienen en aplicación de esta Norma deberá ser mayor o igual que 1,2.

7.4 Cimentaciones sobre suelos flexibles o de baja capacidad portante

Para zapatas aisladas con o sin pilotes en suelos tipo S_3 y S_4 y para las Zonas 4 y 3 se proveerá elementos de conexión, los que deben soportar en tracción o compresión, una fuerza horizontal mínima equivalente al 10 % de la carga vertical que soporta la zapata.

Para suelos de capacidad portante menor que 0,15 MPa se proveerá vigas de conexión en ambas direcciones.

Para el caso de pilotes y cajones deberá proveerse de vigas de conexión o deberá tenerse en cuenta los giros y deformaciones por efecto de la fuerza horizontal diseñando pilotes y zapatas para estas solicitaciones. Los pilotes tendrán una armadura en tracción equivalente por lo menos al 15 % de la carga vertical que soportan.

CAPÍTULO 8 EVALUACIÓN, REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

Las estructuras dañadas por sismos deben ser evaluadas, reparadas y/o reforzadas de tal manera que se corrijan los posibles defectos estructurales que provocaron los daños y recuperen la capacidad de resistir un nuevo evento sísmico, acorde con la filosofía del diseño sismorresistente señalada en el Capítulo 1.

8.1 Evaluación de estructuras después de un sismo

Ocurrido el evento sísmico la estructura deberá ser evaluada por un ingeniero civil, quien deberá determinar si la edificación se encuentra en buen estado o requiere de reforzamiento, reparación o demolición. El estudio deberá necesariamente considerar las características geotécnicas del sitio.

8.2 Reparación y reforzamiento

La reparación o reforzamiento deberá dotar a la estructura de una combinación adecuada de rigidez, resistencia y ductilidad que garantice su buen comportamiento en eventos futuros.

El proyecto de reparación o reforzamiento incluirá los detalles, procedimientos y sistemas constructivos a seguirse.

Para la reparación y el reforzamiento sísmico de edificaciones se seguirán los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Solo en casos excepcionales se podrá emplear otros criterios y procedimientos diferentes a los indicados en el RNE, con la debida justificación técnica y con aprobación del propietario y de la autoridad competente.

Las edificaciones esenciales se podrán intervenir empleando los criterios de reforzamiento sísmico progresivo y en la medida que sea aplicable, usando los criterios establecidos en el documento "Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation", FEMA P-420, Risk Management Series, USA, 2009.

CAPÍTULO 9 INSTRUMENTACIÓN

9.1 Estaciones Acelerométricas

Las edificaciones que individualmente o en forma conjunta, tengan un área techada igual o mayor que 10 000 m², deberán contar con una estación acelerométrica, instalada a nivel del terreno natural o en la base del edificio. Dicha estación acelerométrica deberá ser provista por el propietario, siendo las especificaciones técnicas, sistemas de conexión y transmisión de datos debidamente aprobados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

En edificaciones con más de 20 pisos o en aquellas con dispositivos de disipación sísmica o de aislamiento en la base, de cualquier altura, se requerirá además de una estación acelerométrica en la base, otra adicional, en la azotea o en el nivel inferior al techo.

9.2 Requisitos para su Ubicación

La estación acelerométrica deberá instalarse en un área adecuada, con acceso fácil para su mantenimiento y apropiada iluminación, ventilación, suministro de energía eléctrica estabilizada. El área deberá estar alejada de fuentes generadoras de cualquier tipo de ruido antrópico. El plan de instrumentación será preparado por los proyectistas de cada especialidad, debiendo indicarse claramente en los planos de arquitectura, estructuras e instalaciones del edificio.

9.3 Mantenimiento

El mantenimiento operativo de las partes, de los componentes, del material fungible, así como el servicio de los instrumentos, deberán ser provistos por los propietarios del edificio y/o departamentos, bajo control de la municipalidad y debe ser supervisado por el Instituto Geofísico del Perú. La responsabilidad del propietario se mantendrá por 10 años.

9.4 Disponibilidad de Datos

La información registrada por los instrumentos será integrada al Centro Nacional de Datos Geofísicos y se encontrará a disposición del público en general.

**ANEXO N° 01
ZONIFICACIÓN SÍSMICA**

Las zonas sísmicas en las que se divide el territorio peruano, para fines de esta Norma se muestran en la Figura 1.

A continuación se especifican las provincias y distritos de cada zona.

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO	
LORETO	MARISCAL RAMÓN CASTILLA	RAMÓN CASTILLA	1	TODOS LOS DISTRITOS	
		PEBAS			
		SAN PABLO			
		YAVARI			
	MAYNAS	MAYNAS	ALTO NANAY	1	TODOS LOS DISTRITOS
			BELÉN		
			FERNANDO LORES		
			INDIANA		
			IQUITOS		
			LAS AMAZONAS		
			MAZÁN		
			NAPO		
			PUNCHANA		
			PUTUMAYO		
REQUENA	REQUENA	SAQUENA	2	DIEZ DISTRITOS	
		REQUENA			
		CAPELO			
		SOPLIN			
		TAPICHE			
		JENARO HERRERA			
		YAQUERANA			
		ALTO TAPICHE			
		EMILIO SAN MARTÍN			
		MAQUÍA			
LORETO	LORETO	NAUTA	2	TODOS LOS DISTRITOS	
		PARINARI			
		TIGRE			
		TROMPETEROS			
		URARINAS			
ALTO AMAZONAS	ALTO AMAZONAS	LAGUNAS	3	CINCO DISTRITOS	
		YURIMAGUAS			
		BALSAPUERTO			
		JEBEROS			
		SANTA CRUZ			
		TNTE. CÉSAR LÓPEZ ROJAS			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LORETO	UCAVALI	CONTAMANA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		INAHUAYA		
		PADRE MÁRQUEZ		
		PAMPA HERMOSA		
		SARAYACU		

DATEM DEL MARAÑÓN	ALFREDO VARGAS GUERRA	2	CUATRO DISTRITOS
	YANAYACU		
	MANSERICHE		
	MORONA	3	DOS
	PASTAZA		
	ANDOAS		
	BARRANCA		
CAHUAPANAS			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
UCAVALI	PURÚS	PURÚS	1	ÚNICO DISTRITO
	ATALAYA	RAIMONDI	2	TODOS LOS DISTRITOS
		SEPAHUA		
		TAHUANIA		
	PADRE ABAD	YURÚA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CURIMANÁ		
		IRAZOLA		
	CORONEL PORTILLO	PADRE ABAD	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CALLERÍA		
		CAMPOVERDE		
		IPARÍA		
		MANANTAY		
		MASISEA		
NUEVA REQUENA				
YARINACOCHA				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
MADRE DE DIOS	TAMBOPATA	INAMBARI	1	TODOS LOS DISTRITOS
		LABERINTO		
		LAS PIEDRAS		
		TAMBOPATA		
	TAHUAMANU	IBERIA	1	TODOS LOS DISTRITOS
		INÁPARI		
		TAHUAMANU		
	MANU	FITZCARRALD	2	TODOS LOS DISTRITOS
		HUEPETUHE		
		MADRE DE DIOS		
		MANU		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
PUNO	SANDIA	ALTO INAMBARI	1	TRES DISTRITOS
		SAN JUAN DEL ORO		
		YANAHUAYA		
		CUYOCUYO	2	SIETE DISTRITOS
		LIMBANI		
		PATAMBUCO		
		PHARA		
		QUIACA		
		SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO		
	SANDIA			
	SAN ANTONIO DE PUTINA	ANANEA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		QUILCAPUNCU		
		SINA		
		PEDRO VILCA APAZA		
		PUTINA		
	CARABAYA	AYAPATA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COASA		

HUANCANE	CRUCERO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	ITUATA		
	SAN GABÁN		
	USICAYOS		
	AJOYANI		
	CORANI		
	MACUSANI		
MOHO	OLLACHEA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	COJATA		
	HUANCANE		
	HUATASANI		
	INCHUPALLA		
	PUSI		
PUNO	ROSASPATA	2	TRES DISTRITOS
	TARACO		
	VILQUE CHICO		
	HUAYRAPATA		
	MOHO		
PUNO	CONIMA	3	DOCE DISTRITOS
	TILALI		
	COATA		
	CAPACHICA		
	AMANTANI		
	ACORA		
	ATUNCOLLA		
	CHUCUITO		
	HUATA		
	MAÑAZO		
	PAUCARCOLLA		
	PICHACANI		
	PLATERIA		
	PUNO		
SAN ANTONIO			
TIQUILLACA			
VILQUE			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
PUNO	AZÁNGARO	AZÁNGARO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		ACHAYA		
		ARAPA		
		ASILLO		
		CAMINACA		
		CHUPA		
		JOSE DOMINGO CHOQUEHUANCA		
		MUÑANI		
		POTONI		
		SAMAN		
		SAN ANTON		
		SAN JOSÉ		
		SAN JUAN DE SALINAS		
		SANTIAGO DE PUPUJA		
	TIRAPATA			
	CHUCUITO	DESAGUADERO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		HUACULLANI		
		JULI		
		KELLUYO		
		PISACOMA		
	EL COLLAO	POMATA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ZEPITA		
		CAPAZO		
		CONDURIRI		
	EL COLLAO	ILAVE	3	TODOS LOS DISTRITOS
		PILCUYO		

PUNO	LAMPA	SANTA ROSA	2	TRES DISTRITOS
		CALAPUJA		
		NICASIO		
		PUCARÁ	3	SIETE DISTRITOS
		CABANILLA		
		LAMPA		
		OCUVIRI		
	PALCA			
	PARATIA			
	SANTA LUCÍA			
	VILAVILA	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	ANTAUTA			
	AYAVIRI			
	CUPI			
	LLALLI			
	MACARI			
	NUÑO A			
	ORURILLO			
	SANTA ROSA			
	UMACHIRI	3	TODOS LOS DISTRITOS	
JULIACA				
CABANA				
CABANILLAS				
CARACOTO	3	TODOS LOS DISTRITOS		
YUNGUYO				
ANAPIA				
COPANI				
CUTURAPI				
OLLARAYA				
TINICACHI				
UNICACHI				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
AMAZONAS	CAHACHAPOYAS	ASUNCIÓN	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		BALSAS					
		CHACHAPOYAS					
		CHETO					
		CHILIQUIN					
		CHUQUIBAMBA					
		GRANADA					
		HUANCAS					
		LA JALCA					
		LEVANTO					
		LEYMEBAMBA					
		MAGDALENA					
		MARISCAL CASTILLA					
		MOLINOPAMPA					
		MONTEVIDEO					
		OLLEROS					
		QUINJALCA					
		SAN FRANCISCO DE DAGUAS					
		SAN ISIDRO DE MAINO					
		SOLOCO					
		SONCHE					
		BAGUA			ARAMANGO	2	TODOS LOS DISTRITOS
					BAGUA		
	COPALLIN						
	EL PARCO						
	BONGARÁ	IMAZA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		LA PECA					
		CHISQUILLA					
		CHURUJA					
		COROSHA					
	CUISPES						

CONDORCANQUI	FLORIDA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	JAZAN		
	JUMBILLA		
	RECTA		
	SAN CARLOS		
	SHIPASBAMBA		
	VALERA		
	YAMBRASBAMBA		
	EL CENEPA		
	NIEVA		
RÍO SANTIAGO			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
AMAZONAS	LUYA	CAMPORREDONDO	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		COBAMBAMBA					
		COLCAMAR					
		CONILA					
		INGUILPATA					
		LAMUD					
		LONGUITA					
		LONYA CHICO					
		LUYA					
		LUYA VIEJO					
		MARÍA					
		OCALLI					
		OCUMAL					
		PISUQUÍA					
		PROVIDENCIA					
		SAN CRISTÓBAL					
		SAN FRANCISCO DEL YESO					
		SAN JERÓNIMO					
		SAN JUAN DE LOPECANCHA					
		SANTA CATALINA					
		SANTO TOMÁS					
		TINGO					
		TRITA					
		UTCUBAMBA			BAGUA GRANDE	2	TODOS LOS DISTRITOS
					CAJARURO		
					CUMBA		
					EL MILAGRO		
		RODRÍGUEZ DE MENDOZA			JAMALCA	2	ONCE DISTRITOS
					LONYA GRANDE		
	YAMON						
	CHIRIMOTO						
	COCHAMAL						
	HUAMBO						
LIMABAMBA							
LONGAR							
MARISCAL BENAVIDES							
MILPUC							
OMIA							
SAN NICOLÁS							
SANTA ROSA							
TOTORA							
VISTA ALEGRE	3	UN DISTRITO					

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
BELLAVISTA		BELLAVISTA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		ALTO BIAVO		
		BAJO BIAVO		
		HUALLAGA		
		SAN PABLO		
SAN RAFAEL				

SAN MARTÍN	HUALLAGA	SAPOSOA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		EL ESLABÓN		
		PISCOYACU		
		SACANCHE		
		TINGO DE SAPOSOA		
		ALTO SAPOSOA		
	LAMAS	LAMAS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ALONSO DE ALVARADO		
		BARRANQUILLA		
		CAYNARACHI		
		CUÑUMBUQUI		
		PINTO RECODO		
		RUMISAPA		
		SAN ROQUE DE CUMBAZA		
		SHANAO		
		TABALOSOS		
		ZAPATEROS		
	MARISCAL CÁCERES	JUANJUÍ	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CAMPANILLA		
		HUICUNGO		
		PACHIZA		
		PAJARILLO		
		JUANJUICILLO		
	PICOTA	PICOTA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		BUENOS AIRES		
		CASPISAPA		
		PILLUANA		
PUCACACA				
SAN CRISTÓBAL				
SAN HILARIÓN				
SHAMBOYACU				
TINGO DE PONAZA				
TRES UNIDOS				
MOYOBAMBA	MOYOBAMBA	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	CALZADA			
	HABANA			
	JEPELACIO			
	SORITOR			
	YANTALO			
RIOJA	RIOJA	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	AWAJÚN			
	ELÍAS SOPLÍN VARGAS			
	NUEVA CAJAMARCA			
	PARDO MIGUEL			
	POSIC			
	SAN FERNANDO			
	YORONGOS			
	YURACYACU			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
SAN MARTÍN	SAN MARTÍN	CHIPURANA	2	CUATRO DISTRITOS
		EL PORVENIR		
		HUIMBAYOC		
		PAPAPLAYA		
		TARAPOTO		
		ALBERTO LEVEU	3	DIEZ DISTRITOS
		CACATACHI		
		CHAZUTA		
		JUAN GUERRA		
		LA BANDA DE SHILCAYO		
		MORALES		
		SAN ANTONIO		

TOCACHE	SAUCE	2	TODOS LOS DISTRITOS
	SHAPAJA		
	TOCACHE		
	NUEVO PROGRESO		
	PÓLVORA		
	SHUNTE		
EL DORADO	UCHIZA	3	TODOS LOS DISTRITOS
	SAN JOSÉ DE SISA		
	AGUA BLANCA		
	SAN MARTÍN		
	SANTA ROSA		
SHANTOJA			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
HUÁNUCO	HUÁNUCO	HUÁNUCO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		AMARILIS		
		CHINCHAO		
		CHURUMBAMBA		
		MARGOS		
		PILLCO MARCA		
		QUISQUI		
		SAN FRANCISCO DE CAYRÁN		
		SAN PEDRO DE CHAULÁN		
		SANTA MARÍA DEL VALLE		
		YARUMAYO		
		YACUS		
	HUACAYBAMBA	HUACAYBAMBA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CANCHABAMBA		
		COCHABAMBA		
		PINRA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
HUÁNUCO	LEONCIO PRADO	RUPA-RUPA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		JOSÉ CRESPO Y CASTILLO					
		MARIANO DÁMASO BERAÚN					
		DANIEL ALOMIA ROBLES					
		FELIPE LUYANDO					
		HERMILIO VALDIZÁN					
		MARAÑÓN			HUACACHUCRO	2	TODOS LOS DISTRITOS
					CHOLÓN		
					SAN BUENAVENTURA		
		PUERTO INCA			PUERTO INCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CODO DEL POZUZO						
	HONORIA						
	TOURNAVISTA						
	YUYAPICHIS						
	YAROWILCA	CHAVINILLO	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CAHUAC					
		CHACABAMBA					
		CHUPAN					
		JACAS CHICO					
		OBAS					
		PAMPAMARCA					
CHORAS							

PACHITEA	PANAO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CHAGLLA		
	MOLINO		
	UMARI		
AMBO	AMBO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CAYNA		
	COLPAS		
	CONCHAMARCA		
	HUÁCAR		
	SAN FRANCISCO		
	SAN RAFAEL		
	TOMAY KICHWA		

DANIEL A. CARRION	SIMÓN BOLIVAR	3	TODOS LOS DISTRITOS
	TINYAHUARCO		
	VICCO		
	YANAHUANCA		
	CHACAYAN		
	GOYLLARISQUIZGA		
	PAUCAR		
	SAN PEDRO DE PILLAO		
	SANTA ANA DE TUSI		
	TAPUC		
VILCABAMBA			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
HUÁNUCO	HUAMALIES	ARANCAY	2	OCHO DISTRITOS
		CHAVIN DE PARIARCA		
		JACAS GRANDE		
		JIRCAN		
		MONZÓN		
		PUNCHAO		
		SINGA		
		TANTAMAYO		
		LLATA		
		MIRAFLORES		
	DOS DE MAYO	CHUQUIS	2	TRES DISTRITOS
		MARIAS		
		QUIVILLA		
		LA UNIÓN		
		PACHAS		
		RIPÁN		
		SHUNQUI		
		SILLAPATA		
	LAURICOCHA	YANAS	3	SEIS DISTRITOS
		BAÑOS		
		JESÚS		
		JIVIA		
		QUEROPALCA		
		RONDOS		
		SAN FRANCISCO DE ASÍS		
		SAN MIGUEL DE CAURI		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
JUNIN	CHANCHAMAYO	CHANCHAMAYO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		PERENÉ		
		PICHANAQUI		
		SAN LUIS DE SHUARO		
		SAN RAMON		
		VITOC		
		SATIOPO		
	LLAYLLA			
	MAZAMARI			
	PAMPA HERMOSA			
	PANGOA			
	RÍO NEGRO			
	TARMA	RÍO TAMBO	2	SEIS DISTRITOS
		SATIOPO		
		ACOBAMBA		
		HUASAHUASI		
		PALCA		
		PALCAMAYO		
		SAN PEDRO DE CAJAS		
	TAPO			
TARMA	HUARICOLCA	3	TRES DISTRITOS	
	LA UNIÓN			
	TARMA			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO			
PASCO	OXAPAMPA	OXAPAMPA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CHONTABAMBA					
		HUANCABAMBA					
		PALCAZU					
		POZUZO					
		PUERTO BERMÚDEZ					
		VILLA RICA					
		PASCO			HUACHÓN	2	OCHO DISTRITOS
	HUARIACA						
	NINACACA						
	PALLANCHACRA						
	PAUCARTAMBO						
	SAN FRANCISCO DE ASÍS DE YARUSYACÁN						
	TICLACAYÁN						
	YANACANCHA						
	CHAUPIMARCA (c. de Pasco)		CHAUPIMARCA (c. de Pasco)	3	CINCO DISTRITOS		
			HUAYLLAY				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
JUNIN	CONCEPCIÓN	ANDAMARCA	2	CUATRO DISTRITOS
		COCHAS		
		COMAS		
		MARISCAL CASTILLA		
		ACO		
		CHAMBARA		
		CONCEPCIÓN		
		HEROÍNAS DE TOLEDO		
		MANZANARES		
		MATAHUASI		
	CONCEPCIÓN	MITO	3	ONCE DISTRITOS
		NUEVE DE JULIO		
		ORCOTUNA		
		SAN JOSÉ DE QUERO		
		SANTA ROSA DE OCOPA		
		CHUPACA		
		HUACHAC		
		HUAMANCACA CHICO		
	CHUPACA	AHUAC	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CHONGOS BAJO		
		CHUPACA		
		HUACHAC		
		HUAMANCACA CHICO		

JUNÍN		SAN JUAN DE JARPA	2	DOS DISTRITOS
		SAN JUAN DE YSCOS		
		TRES DE DICIEMBRE		
		YANACANCHA		
		PARIAHUANCA		
	HUANCAYO	SANTO DOMINGO DE ACOBAMBA	3	VEINTISEIS DISTRITOS
		CARHUACALLANGA		
		CHACAPAMPA		
		CHICCHE		
		CHILCA		
		CHONGOS ALTO		
		CHUPURO		
		COLCA		
		CULLHUAS		
		EL TAMBO		
		HUACRAPUQUIO		
		HUALHUAS		
		HUANCAN		
		HUANCAYO		
		HUASICANCHA		
		HUAYUCACHI		
		INGENIO		
		PILCOMAYO		
		PUCARA		
		QUICHUAY		
		QUILCAS		
		SAN AGUSTÍN		
		SAN JERÓNIMO DE TUNÁN		
		SAÑO		
		SAPALLANGA		
	SICAYA			
	VIQUES			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO	
JUNÍN	JAUJA	APATA	3	TREINTA DISTRITOS	
		MOLINOS			
		MONOBAMBA			
		RICRAN			
		ACOLLA			
		ATAURA			
		CANCHAYLLO			
		CURICACA			
		EL MANTARO			
		HUAMALI			
		HUARIPAMPA			
		HUERTAS			
		JANJAILLO			
		JAUJA			
		JULCAN			
		LEONOR ORDÓÑEZ			
		LLOCLLAPAMPA			
		MARCO			
		MASMA			
		MASMA CHICCHE			
		MUQUI			
		MUQUIYAYUYO			
		PACA			
		PACCHA			
		PANCÁN			
	PARCO				
	POMACANCHA				
	SAN LORENZO				
				2	CUATRO DISTRITOS

JUNÍN		SAN PEDRO DE CHUNAN	2	DOS DISTRITOS
		SAUSA		
		SINCOS		
		TUNANMARCA		
		YAULI		
	YAULI	CARHUAMAYO	3	DOS DISTRITOS
		ULCUMAYO		
		JUNIN		
		ONDORES		
		CHACAPALPA		
YAULI		HUAY-HUAY	3	TODOS LOS DISTRITOS
		LA OROYA		
		MARCAPOMACOCHA		
		MOROCOCHA		
		PACCHA		
		SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYÁN		
		SANTA ROSA DE SACCO		
		SUITUCANCHA		
		YAULI		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
CUSCO	CALCA	CALCA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		COYA					
		LAMAY					
		LARES					
		PISAC					
		SAN SALVADOR					
		TARAY					
		YANATILE					
		URUBAMBA			CHINCHERO	2	TODOS LOS DISTRITOS
					HUAYLLABAMBA		
	MACHU PICCHU						
	MARAS						
	OLLANTAYTAMBO						
	URUBAMBA						
	PAUCARTAMBO	YUCAY	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CAICAY					
		CHALLABAMBA					
		COLQUEPATA					
		HUANCARANI					
	ANTA	KOSÑIPATA	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		PAUCARTAMBO					
		ANCAHUASI					
		ANTA					
		CACHIMAYO					
		CHINCHAYPUJIO					
		HUAROCONDO					
		LIMATAMBO					
		MOLLEPATA					
		PUCYURA					
	ZURITE						
	QUISPICANCHIS	ANDAHUAYLILLAS	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CAMANTI					
CCARHUAYO							
CCATCA							
CUSIPATA							
HUARO							
LUCRE							
MARCAPATA							
OCONGATE							
OROPESA							
QUIQUIJANA							
URCOS							

PARURO	ACCHA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CCAPI		
	COLCHA		
	HUANOQUITE		
	OMACHA		
	PACCARITAMBO		
	PILLPINTO		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
CUSCO	CANCHIS	ALTO PICHIGUA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COMBAPATA		
		MARANGANI		
		PITUMARCA		
		SAN PABLO		
		SAN PEDRO		
		SUYCKUTAMBO		
		TINTA		
	CANAS	CHECCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		KUNTURKANKI		
		LANGUI		
		LAYO		
		PAMPAMARCA		
		QUEHUE		
		TÚPAC AMARU		
	YANAOCA			
	ACOMAYO	ACOMAYO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		ACOPIA		
		ACOS		
		MOSOC LLACTA		
		POMACANCHI		
		RONDOCAN		
		SANGARARÁ		
	CUSCO	CCORCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CUSCO		
		POROY		
		SAN JERÓNIMO		
SAN SEBASTIÁN				
SANTIAGO				
SAYLLA				
WANCHAQ				
LA CONVENCION	ECHERATE	2	TODOS LOS DISTRITOS	
	HUAYOPATA			
	MARANURA			
	OCOBAMBA			
	PICHARI			
	QUELLOUNO			
	QUIMBIRI			
	SANTA ANA			
	SANTA TERESA			
VILCABAMBA				
CHUMBIVILCAS	CAPACMARCA	2	CUATRO DISTRITOS	
	CHAMACA			
	COLOQUEMARCA			
	LIVITACA	3	CUATRO DISTRITOS	
	LLUSCO			
	QUIÑOTA			
ESPINAR	SANTO TOMÁS	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	VELILLE			
	CONDOROMA			
	COPORAQUE			
	ESPINAR			
	OCORURO			
	PALLPATA			
PICHIGUA				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO			
HUANCAVELICA	CHURCAMP	ANCO	2	TODOS LOS DISTRITOS			
		CHINCHUASI					
		CHURCAMP					
		COSME					
		EL CARMEN					
		LA MERCED					
		LOCROJA					
		PACHAMARCA					
		PAUCARBAMBA					
		SAN MIGUEL DE MAYOC					
		SAN PEDRO DE CORIS					
		ACOBAMBA			ACOBAMBA	2	TODOS LOS DISTRITOS
					ANDABAMBA		
	ANTA						
	CAJA						
	MARCAS						
	PAUCARÁ						
	TAYACAJA	POMACOCOCHA	2	DIEZ DISTRITOS			
		ROSARIO					
		COLCABAMBA					
		DANIEL HERNANDEZ					
		HUACHOCOLPA					
		HUARIBAMBA					
		QUISHUAR					
		SALCABAMBA					
		SAN MARCOS DE ROCCHAC					
		SARCAHUASI					
		SURCUBAMBA					
		TINTAY PUNCU					
		ANGARAES			ACOSTAMBO	3	SIETE DISTRITOS
	ACRAQUIA						
	AHUAYCHA						
	HUANDO						
	ÑAHUIMPUQUIO						
	PAMPAS						
	PAZOS						
	CHINCHO		2	UN DISTRITO			
	ANCHONGA		3	ONCE DISTRITOS			
	CALLANMARCA						
	CCOCHACCASA						
	CONGALLA						
	HUANCA HUANCA						
HUAYLLAY GRANDE							
JULCAMARCA							
LIRCAY							
SAN ANTONIO DE ANTAPARCO							
SECCLLA							
STO TOMÁS DE PATA							

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
HUANCAVELICA		ACOBAMBILLA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ACORIA		
		ASCENSIÓN		
		CONAYCA		
		CUENCA		
		HUACHOCOLPA		
		HUANCAVELICA		
		HUAYLLAHUARA		
IZCUCHACA				

HUANCAVELICA		LARIA	3	ONCE DISTRITOS			PACAYCASA	3	CINCO DISTRITOS	
		MANTA					QUINUA			
		MARISCAL CÁCERES					SAN JOSÉ DE TICLLAS			
		MOYA					SANTIAGO DE PISCHA			
		NUEVO OCCORO					TAMBILLO			
		PALCA					CARMEN ALTO			
		PILCHACA					CHIARA			
		VILCA					SAN JUAN BAUTISTA			
		YAULI					SOCOS			
		ARMA					VINCOS			
	CASTROVIRREYNA	AURAHUA	3	ONCE DISTRITOS				CONCEPCIÓN	3	SIETE DISTRITOS
		CASTROVIRREYNA						ACOMARCA		
		CHUPAMARCA						CARHUANCA		
		COCAS						HUAMBALPA		
		HUACHOS						INDEPENDENCIA		
		HUAMATAMBO						SAURAMA		
		MOLLEPAMPA						VILCASHUAMÁN		
		SANTA ANA						VISCHONGO		
		TANTARÁ								
		TICRAPO								
	HUAYTARÁ	CAPILLAS	4	DOS DISTRITOS				CARAPO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		SAN JUAN						SÁCSAMARCA		
		SAN ANTONIO DE CUSCANCHA						SANCOS		
		PILPICHACA						SANTIAGO DE LUCANAMARCA		
	HUAYTARÁ	QUERCO	4	TRECE DISTRITOS				CANGALLO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		AYAVÍ						CHUSCHI		
		CÓRDOVA						LOS MOROCHUCOS		
		HUAYACUNDO						MARÍA PARADO DE BELLIDO		
		ARMA						PARAS		
		HUAYTARÁ						TOTOS		
		LARAMARCA								
		OCOYO								
		QUITO ARMA								
SAN FRANCISCO DE SANGAYAICO										
SAN ISIDRO										
SANTIAGO DE CHOCORVOS										
SANTIAGO DE QUIRAHUARA										
SANTO DOMINGO DE CAPILLAS										
TAMBO										

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
AYACUCHO	HUANTA	AYAHUANCO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		HIGUAIN		
		HUAMANGUILLA		
		HUANTA		
		LLOCHEGUA		
		LURICOCHA		
		SANTILLANA		
		SIVIA		
	LA MAR	ANCO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		AYNA		
		CHILCAS		
		CHUNGUI		
		LUIS CARRANZA		
		SAN MIGUEL		
		SANTA ROSA		
	TAMBO			
	HUAMANGA	ACOCRO	2	DIEZ DISTRITOS
		ACOSVINCHOS		
		AYACUCHO		
		JESÚS NAZARENO		
OCROS				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
AYACUCHO	PÁUCAR DEL SARA SARA	COLTA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CORCULLA		
		LAMPA		
		MARCABAMBA		
		OYOLO		
		PARARCA		
		PAUSA		
		SAN JAVIER DE ALPABAMBA		
		SAN JOSÉ DE USHUA		
		SARA SARA		
	SUCRE	BELÉN	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CHALCOS		
		CHILCAYOC		
		HUACAÑA		
		MORCOLLA		
		PAICO		
		QUEROBAMBA		
		SAN PEDRO DE LARCAY		
		SAN SALVADOR DE QUIJE		
		SANTIAGO DE PAUCARAY		
	VÍCTOR FAJARDO	SORAS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ALCAMENCA		
		APONGO		
		ASQUIPATA		
		CANARIA		
		CAYARA		
		COLCA		
		HUAMANQUIQUIA		

PARINACOCNAS	HUANCAPÍ	3	SEIS DISTRITOS		
	HUANCARAYLLA				
	HUAYA				
	SARHUA				
	VILCANCHOS				
	CHUMPI				
	CORACORA				
	CORONEL CASTAÑEDA				
	PACAPAUZA				
	SAN FRANCISCO DE RAVACAYCU				
	UPAHUACHO				
	PULLO				
	PUYUSCA			4	DOS DISTRITOS

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
AYACUCHO	LUCANAS	AUCARA	3	DIEZ DISTRITOS
		CABANA		
		CARMEN SALCEDO		
		CHAVIÑA		
		CHIPAO		
		LUCANAS		
		PUQUIO		
		SAN JUAN		
		SAN PEDRO DE PALCO		
		SANTA ANA DE HUAYCAHUACHO		
		HUAC HUAS	4	ONCE DISTRITOS
		LARAMATE		
		LEONCIO PRADO		
		LLAUTA		
		OCAÑA		
		OTOCA		
		SAISA		
		SAN CRISTOBAL		
		SAN PEDRO		
		SANCOS		
SANTA LUCÍA				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
APURÍMAC	COTABAMBAS	CALLHUAHUACHO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		COTABAMBAS		
		COYLLURQUI		
		HAQUIRA		
		MARA		
		TAMBOBAMBA		
		CHUQUIBAMBILLA		
	CURASCO			
	CURPAHUASI			
	GAMARRA			
	HUAYLLATI			
	MAMARA			
	MICAELA BASTIDAS			
	PATAYPAMPA			
	PROGRESO			
	SAN ANTONIO			
	SANTA ROSA			
	TURPAY			
	VILCABAMBA			
	VIRUNDO			
	ABANCAY	ABANCAY	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CHACOCHÉ		
		CIRCA		
		CURAHUASI		

HUANIPACA
LAMBRAMA
PICHIRHUA
SAN PEDRO DE CACHORA
TAMBURCO

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
APURÍMAC	CHINCHEROS	ANCO-HUALLO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CHINCHEROS		
		COCHARCAS		
		HUACCANA		
		OCOBAMBA		
		ONGOY		
		RANRACANCHA		
		URANMARCA		
		ANDAHUAYLAS		
	ANDARAPA			
	HUANCARAMA			
	HUANCARAY			
	KAQUIABAMBA			
	KISHUARA			
	PACOBAMBA			
	PACUCHA			
	SAN ANTONIO DE CACHI			
	SAN JERONIMO			
SANTA MARIA DE CHICMO	3	SEIS DISTRITOS		
TALAVERA				
TURPO				
CHIARA				
HUAYANA				
PAMPACHIRI				
POMACOCCHA				
SAN MIGUEL DE CHACCRAMPA				
TUMAY HUARACA				
AYMARAES	CHAPIMARCA	2	CINCO DISTRITOS	
	COLCABAMBA			
	LUCRE			
	SAN JUAN DE CHACÑA			
	TINTAY			
	CAPAYA	3	DOCE DISTRITOS	
	CARAYBAMBA			
	CHALHUANCA			
	COTARUSE			
	HUAYLLO			
	JUSTO APU SAHUARAURA			
	POCOHUANCA			
	SAÑAYCA			
	SORAYA			
	TAPAIRIHUA			
TORAYA				
YANACA				
ANTABAMBA	ANTABAMBA	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	EL ORO			
	HIAQUIRCA			
	JUAN ESPINOZA MEDRANO			
	OROPESA			
	PACHACONAS			
SABAINO				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
TUMBES	CONTRALMIRANTE VILLAR	CASITAS	4	TODOS LOS DISTRITOS
		ZORRITOS		
	TUMBES	CORRALES	4	TODOS LOS DISTRITOS
		LA CRUZ		
		PAMPAS DE HOSPITAL		
		SAN JACINTO		
		SAN JUAN DE LA VIRGEN		
		TUMBES		
	ZARUMILLA	AGUAS VERDES	4	TODOS LOS DISTRITOS
		MATAPALO		
		PAPAYAL		
		ZARUMILLA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO			
PIURA	HUANCABAMBA	CANCHAQUE	3	TODOS LOS DISTRITOS			
		EL CARMEN DE LA FRONTERA					
		HUANCABAMBA					
		HUARMACA					
		LALAQUIZ					
		SAN MIGUEL DE EL FAIQUE					
		SONDOR					
		SONDORILLO					
		AYABACA			AYABACA	3	SEIS DISTRITOS
	JILILI						
	LAGUNAS						
	MONTERO						
	PACAIPAMPA						
	SICCHEZ						
	FRIAS						
	PAIMAS						
	MORROPÓN	SAPILLICA	4	CUATRO DISTRITOS			
		SUYO					
		PIURA			BUENOS AIRES	4	TODOS LOS DISTRITOS
					CHALACO		
	SALITRAL						
	SAN JUAN DE BIGOTE						
	SANTA CATALINA DE MOSSA						
	YAMANGO						
	CHULUCANAS						
	LA MATANZA						
	MORROPÓN	MORROPÓN	3	SEIS DISTRITOS			
		SANTO DOMINGO					
		PIURA			CASTILLA	4	TODOS LOS DISTRITOS
					CATACAOS		
					CURA MORI		
					EL TALLÁN		
					LA ARENA		
					LA UNIÓN		
					LAS LOMAS		
					PIURA		
TAMBO GRANDE							

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
	PAITA	AMOTAPE	4	TODOS LOS DISTRITOS
		ARENAL		
		COLÁN		
		LA HUACA		
		PAITA		
		TAMARINDO		

PIURA	SECHURA	VICHAYAL	4	TODOS LOS DISTRITOS
		BELLAVISTA LA UNION		
		BERNAL		
		CRISTO NOS VALGA		
		RINCONADA LLICUAR		
		SECHURA		
		VICE		
	SULLANA	BELLAVISTA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		IGNACIO ESCUDERO		
		LANCONES		
		MARCAVELICA		
		MIGUEL CHECA		
		QUERECOTILLO		
		SALITRAL		
	TALARA	SULLANA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		EL ALTO		
		LA BREA		
		LOBITOS		
		LOS ÓRGANOS		
		MÁNCORA		
		PARIÑAS		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
LAMBAYEQUE	FERREÑAFE	CAÑARIS	3	DOS DISTRITOS
		INCAHUASI		
		FERREÑAFE	4	CUATRO DISTRITOS
		MANUEL A. MESONES MURO		
		PITTIPO		
		PUEBLO NUEVO		
	LAMBAYEQUE	SALAS	3	UN DISTRITO
		CHOCHOPE		
		ILLIMO	4	SIETE DISTRITOS
		JAYANCA		
		LAMBAYEQUE		
		MOCHUMI		
		MÓRROPE		
		MOTUPE		
		OLMOS		
		PACORA		
	SAN JOSÉ			
	TÚCUME			
	CHICLAYO	CAYALTÍ	4	TODOS LOS DISTRITOS
		CHICLAYO		
		CHONGOYAPE		
		ETEN		
		ETEN PUERTO		
		JOSÉ LEONARDO ORTIZ		
		LA VICTORIA		
		LAGUNAS		
		MONSEFÚ		
		NUEVAARICA		
		OYOTUN		
		PATAPO		
		PICSI		
		PIMENTEL		
POMALCA				
PUCALÁ				
REQUE				
SANTA ROSA				
SAÑA				
TUMÁN				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO	
CAJAMARCA	HUALGAYOC	BAMBAMARCA	2	TODOS LOS DISTRITOS	
		CHUGUR			
		HUALGAYOC			
	SAN IGNACIO	CHIRINOS	2	CINCO DISTRITOS	
		HUARANGO			
		LA COIPA			
		NAMBALLE			
		SAN IGNACIO	2	DOS DISTRITOS	
		SAN JOSE DE LOURDES			
		TABACONAS			
	CELENDÍN	CELENDÍN	2	TODOS LOS DISTRITOS	
		CHUMUCH			
		CORTEGANA			
		HUASMIN			
		JORGE CHÁVEZ			
		JOSÉ GÁLVEZ			
		LA LIBERTAD DE PALLAN			
		MIGUEL IGLESIAS			
		OXAMARCA			
		SOROCHUCO			
		SUCRE			
		UTCO			
	CUTERVO	CALLAYUC	2	CATORCE DISTRITOS	
		CHOROS			
		CUJILLO			
		CUTERVO			
		LA RAMADA			
		PIMPINGOS			
		SAN ANDRÉS DE CUTERVO			
		SAN JUAN DE CUTERVO			
		SAN LUIS DE LUCMA			
		SANTA CRUZ			
		SANTO DOMINGO DE LA CAPILLA			
SANTO TOMÁS					
SOCOTA					
TORBIO					
CASANOVA					
QUEROCOTILLO		3			UN DISTRITO
JAÉN		BELLAVISTA			2
	CHONTALI				
	COLASAY				
	HUABAL				
	JAÉN				
	LAS PIRIAS				
	SAN JOSÉ DEL ALTO	3	CUATRO DISTRITOS		
	SANTA ROSA				
	POMAHUACA				
	PUCARÁ				
	SALLIQUE				
SAN FELIPE					

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
	SAN MARCOS	GREGORIO PITA	2	CUATRO DISTRITOS
		ICHOCÁN		
		JOSÉ MANUEL QUIROZ		
		JOSÉ SABOGAL		

CAJAMARCA	CHOTA	CHANCA Y	3	TRES DISTRITOS
		EDUARDO VILLANUEVA		
		PEDRO GÁLVEZ		
	CHOTA	ANGUIA	2	DOCE DISTRITOS
		CHADIN		
		CHALAMARCA		
		CHIGUIRIP		
		CHIMBAN		
		CHOROPAMPA		
		CHOTA		
		CONCHAN		
		LAJAS		
		PACCHA		
		PIÓN		
		TACABAMBA		
	COCHABAMBA	3	SIETE DISTRITOS	
	HUAMBOS			
	LLAMA			
	MIRACOSTA			
	QUEROCOTO			
	SAN JUAN DE LICUPIS			
	TOCMOCHE			
	CAJABAMBA	SITACOCHA	2	UN DISTRITO
		CACHACHI	3	TRES DISTRITOS
		CAJABAMBA		
		CONDEBAMBA		
	CAJAMARCA	ENCAÑADA	2	UN DISTRITO
		ASUNCIÓN	3	ONCE DISTRITOS
		CAJAMARCA		
		CHETILLA		
		COSPÁN		
		JESÚS		
		LLACANORA		
LOS BAÑOS DEL INCA				
MAGDALENA				
MATARA				
NAMORA				
SAN JUAN				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
CAJAMARCA	CONTUMAZÁ	CHILETE	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CONTUMAZÁ		
		CUPISNIQUE		
		GUZMANGO		
		SAN BENITO		
		SANTA CRUZ DE TOLEDO		
		TANTARICA		
	YONÁN			
	SAN MIGUEL	BOLÍVAR	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CALQUIS		
		CATILLUC		
		EL PRADO		
		LA FLORIDA		
		LLAPA		
		NANCHOC		
		NIEPOS		
		SAN GREGORIO		
		SAN MIGUEL		
		SAN SILVESTRE DE COCHAN		
		TONGOD		
		UNIÓN AGUA BLANCA		

SAN PABLO	SAN BERNARDINO	2	TODOS LOS DISTRITOS
	SAN LUIS		
	SAN PABLO		
	TUMBADEN		
SANTA CRUZ	ANDABAMBA	2	TODOS LOS DISTRITOS
	CATACHE		
	CHANCAYBAÑOS		
	LA ESPERANZA		
	NINABAMBA		
	PULÁN		
	SANTA CRUZ		
	SAUCEPAMPA		
	SEXI		
	UTICYACU		
	YAYUCAN		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LA LIBERTAD	BOLÍVAR	BAMBAMARCA	2	TODOS LOS DISTRITOS
		BOLÍVAR		
		CONDORMARCA		
		LONGOTEA		
		UCHUMARCA		
		UCUNCHA		
	PATAZ	BULDIBUYO	2	TODOS LOS DISTRITOS
		CHILLIA		
		HUANCASPATA		
		HUAYLILLAS		
		HUAYO		
		ONGÓN		
		PARCOY		
		PATAZ		
		PIAS		
		SANTIAGO DE CHALLAS		
		TAURJA		
		TAYABAMBA		
	URPAY			
	SANCHEZ CARRIÓN	COCHORCO	2	DOS DISTRITOS
		SARTIMBAMBA		
		CHUGAY	3	SEIS DISTRITOS
		CURGOS		
		HUAMACHUCO		
		MARCABAL		
		SANAGORAN		
	SARÍN			
	SANTIAGO DE CHUCO	ANGASMARCA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CACHICADÁN		
		MOLLEBAMBA		
		MOLLEPATA		
		QUIRUVILCA		
		SANTA CRUZ DE CHUCA		
SANTIAGO DE CHUCO				
SITABAMBA				
GRAN CHIMÚ	CASCAS	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	LUCMA			
	MARMOT			
	SAYAPULLO			
JULCÁN	CALAMARCA	3	TODOS LOS DISTRITOS	
	CARABAMBA			
	HUASO			
	JULCÁN			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LA LIBERTAD	OTUZCO	AGALLPAMPA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CHARAT		
		HUARANCHAL		
		LA CUESTA		
		MACHE		
		OTUZCO		
		PARANDAY		
		SALPO		
		SINSICAP		
		USQUIL		
		CHEPÉN		
	PACANGA			
	PUEBLO NUEVO			
	ASCOPE	ASCOPE	4	TODOS LOS DISTRITOS
		CASA GRANDE		
		CHICAMA		
		CHOCOPE		
		MAGDALENA DE CAO		
		PAIJÁN		
		RÁZURI		
	SANTIAGO DE CAO			
	PACASMAYO	GUADALUPE	4	TODOS LOS DISTRITOS
		JEQUETEPEQUE		
		PACASMAYO		
		SAN JOSÉ		
	TRUJILLO	SAN PEDRO DE LLOC	4	TODOS LOS DISTRITOS
		EL PORVENIR		
		FLORENCIA DE MORA		
		HUANCHACO		
		LA ESPERANZA		
		LAREDO		
		MOCHE		
		POROTO		
SALAVERRY				
SIMBAL				
TRUJILLO				
VÍCTOR LARCO HERRERA				
VIRÚ	CHAO	4	TODOS LOS DISTRITOS	
	GUADALUPITO			
	VIRÚ			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
ÁNCASH	ANTONIO RAYMONDI	CHACCHO	2	TRES DISTRITOS
		CHINGA		
		LLAMELLIN		
		ACZO	3	TRES DISTRITOS
		MIRGAS		
		SAN JUAN DE RONTROY		
	HUARI	ANRA	2	SEIS DISTRITOS
		HUACACHI		
		HUACCHIS		
		PAUCAS		
		RAPAYÁN		
	UCO	3	DIEZ DISTRITOS	
	CAJAY			
	CHAVÍN DE HUANTAR			
	HUACHIS			
HUANTAR				

		HUARI		
		MASIN		
		PONTO		
		RAHUAPAMPA		
		SAN MARCOS		
		SAN PEDRO DE CHANA		
	ASUNCIÓN	ACOCHACA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CHACAS		
	CARHUAZ	ACOPAMPA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		AMASHCA		
		ANTA		
		ATAQUERO		
		CARHUAZ		
		MARCARÁ		
		PARIAHUANCA		
		SAN MIGUEL DE ACO		
		SHILLA		
		TINCO		
		YUNGAR		
	CARLOS F. FITZCARRALD	SAN LUIS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		SAN NICOLÁS		
		YAUYA		
	CORONGO	ACO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		BAMBAS		
		CORONGO		
		CUSCA		
		LA PAMPA		
		YANAC		
		YUPÁN		
	MARISCAL LUZURIAGA	CASCA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ELEAZAR GUZMÁN BARRÓN		
		FIDEL OLIVAS ESCUDERO		
		LLAMA		
		LLUMPA		
		LUCMA		
		MUSGA		
		PISCOBAMBA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
ÁNCASH	PALLASCA	BOLOGNESI	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CABANA		
		CONCHUCOS		
		HUACASCHUQUE		
		HUANDOVAL		
		LACABAMBA		
		LLAPO		
		PALLASCA		
		PAMPAS		
		SANTA ROSA		
	TAUCA			
	POMABAMBA	HUAYLLÁN	3	TODOS LOS DISTRITOS
		PAROBAMBA		
		POMABAMBA		
		QUINUABAMBA		
	SIHUAS	ACOBAMBA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ALFONSO UGARTE		
		CASHAPAMPA		
		CHINGALPO		
		HUAYLLABAMBA		
		QUICHES		
		RAGASH		
		SAN JUAN		
	SICSIBAMBA			

ÁNCASH	HUAYLAS	SIHUAS	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CARAZ		
		HUALLANCA		
		HUATA		
		HUAYLAS		
		MATO		
		PAMPAROMAS		
		PUEBLO LIBRE		
		SANTA CRUZ		
		SANTO TORIBIO		
	YURACMARCA			
	YUNGAY	CASCAPARA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		MANCOS		
		MATACOTO		
		QUILLO		
		RANRAHIRCA		
		SHUPLUY		
		YANAMA		
		YUNGAY		
	HUARAZ	COCHABAMBA	3	TODOS LOS DISTRITOS
		COLCABAMBA		
		HUANCHAY		
		HUARAZ		
		INDEPENDENCIA		
		JANGAS		
		LA LIBERTAD		
		OLLEROS		
PAMPAS				
PARIACOTO				
PIRA				
TARICA				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
ÁNCASH	BOLOGNESI	ABELARDO PARDO	3	TODOS LOS DISTRITOS
		LEZAMETA		
		ANTONIO RAYMONDI		
		AQUIA		
		CAJACAY		
		CANIS		
		CHIQUIAN		
		COLQUIOC		
		HUALLANCA		
		HUASTA		
		HUAYLLACAYAN		
		LA PRIMAVERA		
		MANGAS		
		PACLLON		
		SAN MIGUEL DE CORPANQUI		
	TICLLOS			
	RECUAY	CATAC	3	TODOS LOS DISTRITOS
		COTAPARACO		
		HUAYLLAPAMPA		
		LLACLLIN		
		MARCA		
		PAMPAS CHICO		
		PARARIN		
	RECUAY			
	AJAJA	TAPACCOCHA	3	DOS DISTRITOS
		TICAPAMPA		
		AJAJA		
		CORIS		
	AJAJA	LA MERCED	4	TRES DISTRITOS
		HUACLLÁN		
		SUCCHA		
	OCROS	ACAS	3	CINCO DISTRITOS

ÁNCASH		CAJAMARQUILLA	4	CINCO DISTRITOS
		CARHUAPAMPA		
		CONGAS		
		LLIPA		
		OCROS		
		S. CRISTÓBAL DE RAJÁN		
		SANTIAGO DE CHILCAS		
		COCHAS		
		SAN PEDRO		
		COCHAPETI		
	HUAYAN			
	MALVAS			
	CULEBRAS	4	DOS DISTRITOS	
	HUARMEY			
	CÁCERES DEL PERÚ	3	TRES DISTRITOS	
	MACATE			
	MORO			
	CHIMBOTE	4	SEIS DISTRITOS	
	COISHCO			
	NEPEÑA			
NUEVO CHIMBOTE				
SAMANCO				
SANTA				
BUENA VISTA ALTA	4	TODOS LOS DISTRITOS		
CASMA				
COMANDANTE NOEL				
YAUTÁN				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LIMA	CAJATAMBO	CAJATAMBO	3	CUATRO DISTRITOS
		COPA		
		GORGOR		
		HUACAPÓN		
		MANÁS		
	OYÓN	ANDAJES	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CAUJUL		
		COCHAMARCA		
		NAVÁN		
		OYÓN		
	PACHANGARA			
	YAUYOS	ALIS	3	VEINTINUEVE DISTRITOS
		AYAUCA		
		AYAVIRÍ		
		AZÁNGARO		
		CACRA		
		CARANIA		
		CATAHUASI		
		CHOCOS		
		COCHAS		
		COLONIA		
		HONGOS		
		HUAMPARA		
		HUANCAYA		
		HUANGÁSCAR		
		HUANTÁN		
		HUAÑEC		
		LARAOS		
LINCHA				
MADEAN				
MIRAFLORES				
QUINCHES				
SAN JOAQUÍN				

		SAN LORENZO DE PUTINZA	4	TRES DISTRITOS
		SAN PEDRO DE PILAS TANTA		
		TOMAS		
		TUPE		
		VIÑAC		
		VITIS		
		YAUYOS		
		OMAS		
		QUINOCAY		
		TAURIPAMPA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO			
LIMA	HUAROCHIRÍ	CALLAHUANCA	3	VEINTICINCO DISTRITOS			
		CARAMPOMA					
		CHICLA					
		HUACHUPAMPA					
		HUANZA					
		HUAROCHIRÍ					
		LAHUAYTAMBO					
		LANGA					
		LARAOS					
		MATUCANA					
		SAN ANDRÉS DE TUPICOCHA					
		SAN BARTOLOMÉ					
		SAN DAMIÁN					
		S. JERÓNIMO DE SURCO					
		SAN JUAN DE IRIS					
		SAN JUAN DE TANTARANCHE					
		SAN LORENZO DE QUINTI					
		SAN MATEO					
		SAN MATEO DE OTAO					
		SAN PEDRO DE CASTA					
		SAN PEDRO DE HUANCAYRE					
		SANGALLAYA					
		SANTA CRUZ DE COCACHACRA					
		SANTIAGO DE ANCHUCAYA					
		SANTIAGO DE TUNA					
		ANTIOQUÍA			4	SIETE DISTRITOS	
		CUENCA					
		MARIATANA					
		RICARDO PALMA					
		SAN ANTONIO DE CHACLLA					
		SANTA EULALIA					
		SANTO DOMINGO DE OLLEROS					
		CANTA			CANTA	3	CUATRO DISTRITOS
					HUAROS		
					LACHAQUI		
	SAN BUENAVENTURA						
	ARAHUAY						
	HUARAL	HUAMANTANGA	4	TRES DISTRITOS			
		SANTA ROSA DE QUIVES					
		ATAVILLOS ALTO	3	NUEVE DISTRITOS			
		ATAVILLOS BAJO					

		IHUARI		
		LAMPIAN		
		PACARAOS		
		SAN MIGUEL DE ACOS		
		SANTA CRUZ DE ANDAMARCA		
		SUMBILCA		
		VEINTISIETE DE NOVIEMBRE		
		AUCALLAMA	4	TRES DISTRITOS
		CHANCAY		
		HUARAL		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LIMA	HUAURA	CHECRAS	3	CUATRO DISTRITOS
		LEONCIO PRADO		
		PACCHO		
		SANTA LEONOR		
		ÁMBAR	4	OCHO DISTRITOS
		CALETA DE CARQUIN		
		HUACHO		
		HUALMAY		
	HUAURA			
	SANTA MARÍA			
	SAYÁN			
	VEGUETA			
	CAÑETE	ZUÑIGA	3	UN DISTRITO
		ASIA	4	QUINCE DISTRITOS
		CALANGO		
		CERRO AZUL		
		CHILCA		
		COAYLLO		
		IMPERIAL		
		LUNAHUANÁ		
		MALA		
NUEVO IMPERIAL				
PACARÁN				
QUILMANÁ				
SAN ANTONIO				
SAN LUIS				
SAN VICENTE DE CAÑETE				
SANTA CRUZ DE FLORES				
BARRANCA	BARRANCA	4	TODOS LOS DISTRITOS	
	PARAMONGA			
	PATIVILCA			
	SUPE			
	SUPE PUERTO			

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LIMA	LIMA	ANCÓN	4	TODOS LOS DISTRITOS
		ATE		
		BARRANCO		
		BREÑA		
		CARABAYLLO		
		CHACLACAYO		
		CHORRILLOS		
		CIENEGUILLA		
		COMAS		
		EL AGUSTINO		
		INDEPENDENCIA		
		JESUS MARÍA		
		LA MOLINA		
		LA VICTORIA		

LIMA	LIMA	LIMA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		LINCE		
		LOS OLIVOS		
		LURIGANCHO-CHOSICA		
		LURIN		
		MAGDALENA DEL MAR		
		MIRAFLORES		
		PACHACAMAC		
		PUCUSANA		
		PUEBLO LIBRE		
		PUENTE PIEDRA		
		PUNTA HERMOSA		
		PUNTA NEGRA		
		RIMAC		
		SAN BARTOLO		
		SAN BORJA		
		SAN ISIDRO		
		SAN JUAN DE LURIGANCHO		
		SAN JUAN DE MIRAFLORES		
		SAN LUIS		
		SAN MARTIN DE PORRES		
SAN MIGUEL				
SANTA ANITA				
SANTA MARÍA DEL MAR				
SANTA ROSA				
SANTIAGO DE SURCO				
SURQUILLO				
VILLA EL SALVADOR				
VILLA MARIA DEL TRIUNFO				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
CALLAO	CALLAO	BELLAVISTA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		CALLAO		
		CARMEN DE LA LEGUA-REYNOSO		
		LA PERLA		
		LA PUNTA		
		VENTANILLA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
ICA	CHINCHA	SAN PEDRO DE HUACARPANA	3	UN DISTRITO
		ALTO LARÁN	4	DIEZ DISTRITOS
		CHAVIN		
		CHINCHA ALTA		
		CHINCHA BAJA		
		EL CARMEN		
		GROCIO PRADO		
		PUEBLO NUEVO		
		SAN JUAN DE YANAC		
		SUNAMPE		
	TAMBO DE MORA			
	PALPA	LLIPATA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		PALPA		
		RÍO GRANDE		
		SANTA CRUZ		
		TIBILLO		

ICA	ICA	ICA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		LA TINGUIÑA		
		LOS AQUIJES		
		OCUCAJE		
		PACHACÚTEC		
		PARCONA		
		PUEBLO NUEVO		
		SALAS		
		SAN JOSÉ DE LOS MOLINOS		
		SAN JUAN BAUTISTA		
		SANTIAGO		
		SUBTANJALLA		
		TATE		
		YAUCA DEL ROSARIO		
		CHANGUILLO		
		NAZCA		
MARCONA				
NAZCA				
VISTA ALEGRE				
PISCO	PISCO	HUANCANO	4	TODOS LOS DISTRITOS
		HUMAY		
		INDEPENDENCIA		
		PARACAS		
		PISCO		
		SAN ANDRÉS		
		SAN CLEMENTE		
		TÚPAC AMARU INCA		

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO				
AREQUIPA	LA UNIÓN	ALCA	3	TODOS LOS DISTRITOS				
		CHARCANA						
		COTAHUASI						
		HUAYNACOTAS						
		PAMPAMARCA						
		PUYCA						
		QUECHUALLA						
		SAYLA						
		TAURIA						
		TOME PAMPA						
		TORO						
		CAYLLOMA			CAYLLOMA	ACHOMA	3	DIECINUEVE DISTRITOS
						CABANA CONDE		
	CALLALLI							
	CAYLLOMA							
	CHIVAY							
	COPORAQUE							
	HUAMBO							
	HUANCA							
	ICHUPAMPA							
	LARI							
	LLUTA							
	MACA							
	MADRIGAL							
	SAN ANTONIO DE CHUCA							
			SIBAYO	4	UN DISTRITO			
			TAPAY					
TISCO								
TUTI								
YANQUE								
MAJES								

CASTILLA		ANDAGUA	3	ONCE DISTRITOS				
		AYO						
		CHACHAS						
		CHILCAYMARCA						
		CHOCO						
		MACHAGUAY						
		ORCOPAMPA						
		PAMPACOLCA						
		TIPÁN						
		UÑÓN						
		VIRACO						
						APLAO	4	TRES DISTRITOS
						HUANCARQUI		
URACA								

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO					
AREQUIPA	AREQUIPA	ALTO SELVA ALEGRE	3	VEINTIUN DISTRITOS					
		AREQUIPA							
		CAYMA							
		CERRO COLORADO							
		CHARACATO							
		CHIGUATA							
		JACOBO HUNTER							
		JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO							
		MARIANO MELGAR							
		MIRAFLORES							
		MOLLEBAYA							
		PAUCARPATA							
		POCSI							
		QUEQUEÑA							
		SABANDIA							
		SACHACA							
		SAN JUAN DE TARUCANI							
		SOCABAYA							
		TIABAYA							
		YANA HUARA							
			YURA	4	OCHO DISTRITOS				
			LA JOYA						
			POLOBAYA						
			SAN JUAN DE SIGUAS						
			SANTA ISABEL DE SIGUAS						
			SANTA RITA DE SIGUAS						
			UCHUMAYO						
			VÍTOR						
			YARABAMBA						
			CONDESUYOS			CONDESUYOS	CAYARANI	3	TRES DISTRITOS
							CHICHAS		
							SALAMANCA		
							ANDARAY		
CHUQUIBAMBA									
		IRAY	4	CINCO DISTRITOS					
		RÍO GRANDE							
		YANAQUIHUA							
		COCACHACRA							
		DEAN VALDIVIA							
ISLAY	ISLAY	ISLAY	4	TODOS LOS DISTRITOS					
		MEJÍA							
		MOLLENDO							
		PUNTA DE BOMBÓN							

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
AREQUIPA	CAMANÁ	CAMANÁ	4	TODOS LOS DISTRITOS
		JOSÉ MARÍA QUIMPER		
		MARIANO NICOLÁS VALCÁRCEL		
		MARISCAL CÁCERES		
		NICOLÁS DE PIÉROLA		
		OCOÑA		
		QUILCA		
		SAMUEL PASTOR		
		CARAVELÍ		
	ÁTICO			
	ATIQUIPA			
	BELLA UNIÓN			
	CAHUACHO			
	CARAVELÍ			
	CHALA			
	CHAPARRA			
	HUANUHUANU			
	JAQUI			
	LOMAS			
QUICACHA				
YAUCA				

REGION (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
MOQUEGUA	GENERAL SÁNCHEZ CERRO	CHOJATA	3	DIEZ DISTRITOS
		COALAQUE		
		ICHUÑA		
		LLOQUE		
		MATALAQUE		
		OMATE		
		PUQUINA		
		QUINISTAQUILLAS		
		UBINAS		
		YUNGA		
	LA CAPILLA	4	UN DISTRITO	
	MARISCAL NIETO	CARUMAS	3	CINCO DISTRITOS
		CUCHUMBAYA		
		SAMEGUA		
		SAN CRISTÓBAL DE CALACOA		
		TORATA		
	MOQUEGUA	4	UN DISTRITO	
	ILO	EL AGARROBAL	4	TODOS LOS DISTRITOS
		PACOSHA		
ILO				

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
TACNA	TARATA	CHUCATAMANI	3	TODOS LOS DISTRITOS
		ESTIQUE		
		ESTIQUE-PAMPA		
		SITAJARA		
		SUSAPAYA		
		TARATA		
		TARUCACHI		
	TICACO			
	CANDARAVE	CAIRANI	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CAMILACA		
		CANDARAVE		
		CURIBAYA		
		HUANUARA		
		QUILAHUANI		

JORGE BASADRE	ILABAYA	4	TODOS LOS DISTRITOS
	ITE		
	LOCUMBA		
TACNA	PALCA	3	UN DISTRITO
	ALTO DE LA ALIANZA	4	OCHO DISTRITOS
	CALANA		
	CIUDAD NUEVA		
	INCLÁN		
	PACHIA		
	POCOLLAY		
	SAMA		
TACNA			

ANEXO N° 02

PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES SÍSMICAS

Las acciones sísmicas para el diseño estructural dependen de la zona sísmica (Z), del perfil de suelo (S, T_p , T_L), del uso de la edificación (U), del sistema sismorresistente (R) y las características dinámicas de la edificación (T, C) y de su peso (P).

ETAPA 1: PELIGRO SÍSMICO (Capítulo 2)

Los pasos de esta etapa dependen solamente del lugar y las características del terreno de fundación del proyecto. No dependen de las características del edificio.

Paso 1 Factor de Zona Z (Numeral 2.1)

Determinar la zona sísmica donde se encuentra el proyecto en base al mapa de zonificación sísmica (Figura N° 1) o a la Tabla de provincias y distritos del Anexo N° 1. Determinar el factor de zona (Z) de acuerdo a la Tabla N° 1.

Paso 2 Perfil de Suelo (Numeral 2.3)

De acuerdo a los resultados del Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) se determina el tipo de perfil de suelo según el numeral 2.3.1 donde se definen 5 perfiles de suelo. La clasificación se debe hacer en base a los parámetros indicados en la Tabla N° 2 considerando promedios para los estratos de los primeros 30 m bajo el nivel de cimentación.

Cuando no se conozcan las propiedades del suelo hasta la profundidad de 30 m, el profesional responsable del EMS determinará el tipo de perfil de suelo sobre la base de las condiciones geotécnicas conocidas.

Paso 3 Parámetros de Sitio S, T_p y T_L (Numeral 2.4)

El factor de amplificación del suelo se obtiene de la Tabla N° 3 y depende de la zona sísmica y el tipo de perfil de suelo. Los períodos T_p y T_L se obtienen de la Tabla N° 4 y solo dependen del tipo de perfil de suelo.

Paso 4 Construir la función Factor de Amplificación Sísmica C versus Período T (Numeral 2.5)

Depende de los parámetros de sitio T_p y T_L . Se definen tres tramos, períodos cortos, intermedios y largos, y se aplica para cada tramo las expresiones de este numeral.

ETAPA 2: CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO (Capítulo 3)

Los pasos de esta etapa dependen de las características de la edificación, como son su categoría, sistema estructural y configuración regular o irregular.

Paso 5 Categoría de la Edificación y el Factor de Uso U (Numeral 3.1)

La categoría de la edificación y el factor de uso (U) se obtienen de la Tabla N° 5.

Paso 6 Sistema Estructural (Numeral 3.2 y 3.3)

Se determina el sistema estructural de acuerdo a las definiciones que aparecen en el numeral 3.2.

En la Tabla N° 6 (numeral 3.3) se definen los sistemas estructurales permitidos de acuerdo a la categoría de la edificación y a la zona sísmica en la que se encuentra.

Paso 7 Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, R_0 (Numeral 3.4)

De la Tabla N° 7 se obtiene el valor del coeficiente R_0 , que depende únicamente del sistema estructural.

Paso 8 Factores de Irregularidad I_a, I_p (Numeral 3.6)

El factor I_a se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades existentes en altura. El factor I_p se determinará como el menor de los valores de la Tabla N° 9 correspondiente a las irregularidades existentes en planta.

En la mayoría de los casos se puede determinar si una estructura es regular o irregular a partir de su configuración estructural, pero en los casos de Irregularidad de Rigidez e Irregularidad Torsional se debe comprobar con los resultados del análisis sísmico según se indica en la descripción de dichas irregularidades.

Paso 9 Restricciones a la Irregularidad (Numeral 3.7)

Verificar las restricciones a la irregularidad de acuerdo a la categoría y zona de la edificación en la Tabla N° 10. Modificar la estructuración en caso que no se cumplan las restricciones de esta Tabla.

Paso 10 Coeficiente de Reducción de la Fuerza Sísmica R (Numeral 3.8)

Se determina $R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$.

ETAPA 3: ANÁLISIS ESTRUCTURAL (Capítulo 4)

En esta etapa se desarrolla el análisis estructural. Se sugieren criterios para la elaboración del modelo matemático de la estructura, se indica cómo se debe calcular el peso de la edificación y se definen los procedimientos de análisis.

Paso 11 Modelos de Análisis (Numeral 4.2)

Desarrollar el modelo matemático de la estructura. Para estructuras de concreto armado y albañilería considerar las propiedades de las secciones brutas ignorando la fisuración y el refuerzo.

Paso 12 Estimación del Peso P (Numeral 4.3)

Se determina el peso (P) para el cálculo de la fuerza sísmica adicionando a la carga permanente total un porcentaje de la carga viva que depende del uso y la categoría de la edificación, definido de acuerdo a lo indicado en este numeral.

Paso 13 Procedimientos de Análisis Sísmico (Numerales 4.4 a 4.7)

Se definen los procedimientos de análisis considerados en esta Norma, que son análisis estático (numeral 4.5) y análisis dinámico modal espectral (numeral 4.6).

Paso 13 A Análisis Estático (Numeral 4.5)

Este procedimiento solo es aplicable a las estructuras que cumplen lo indicado en el numeral 4.5.1.

El análisis estático tiene los siguientes pasos:

- Calcular la fuerza cortante en la base $V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$ para cada dirección de análisis (numeral 4.5.2).
- Para determinar el valor de C (Paso 4 o numeral 2.5) se debe estimar el periodo fundamental de vibración de la estructura (T) en cada dirección (numeral 4.5.4).
- Determinar la distribución en la altura de la fuerza sísmica de cada dirección (numeral 4.5.3).
- Aplicar las fuerzas obtenidas en el centro de masas

de cada piso. Además se deberá considerar el momento torsor accidental (numeral 4.5.5).

- Considerar fuerzas sísmicas verticales (numeral 4.5.6) para los elementos en los que sea necesario.

Paso 13 B Análisis Dinámico (Numeral 4.6)

Si se elige o es un requerimiento desarrollar un análisis dinámico modal espectral se debe:

- Determinar los modos de vibración y sus correspondientes periodos naturales y masas participantes mediante análisis dinámico del modelo matemático (numeral 4.6.1).

- Calcular el espectro inelástico de pseudo aceleraciones $S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$ para cada dirección de análisis (numeral 4.6.2).

- Considerar excentricidad accidental (numeral 4.6.5).

- Determinar todos los resultados de fuerzas y desplazamientos para cada modo de vibración.

- Determinar la respuesta máxima esperada correspondiente al efecto conjunto de los modos considerados (numeral 4.6.3).

- Se deben escalar todos los resultados obtenidos para fuerzas (numeral 4.6.4) considerando un cortante mínimo en el primer entrepiso que será un porcentaje del cortante calculado para el método estático (numeral 4.5.3). No se escalan los resultados para desplazamientos.

- Considerar fuerzas sísmicas verticales (numeral 4.6.2) usando un espectro con valores iguales a 2/3 del espectro más crítico para las direcciones horizontales, para los elementos que sea necesario.

ETAPA 4: VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA

De acuerdo a los resultados del análisis se determinará si la estructura planteada es válida, para lo cual debe cumplir con los requisitos de regularidad y rigidez indicados en este capítulo.

Paso 14 Revisión de las Hipótesis del Análisis

Con los resultados de los análisis se revisarán los factores de irregularidad aplicados en el paso 8. En base a éstos se verificará si los valores de R se mantienen o deben ser modificados. En caso de haberse empleado el procedimiento de análisis estático deberá verificarse lo señalado en el numeral 4.5.1.

Paso 15 Restricciones a la Irregularidad (Numeral 3.7)

Verificar las restricciones a la irregularidad de acuerdo a la categoría y zona de la edificación en la Tabla N° 10. De existir irregularidades o irregularidades extremas en edificaciones en las que no están permitidas según esa Tabla, se debe modificar la estructuración y repetir el análisis hasta lograr un resultado satisfactorio.

Paso 16 Determinación de Desplazamientos Laterales (Numeral 5.1)

Se calculan los desplazamientos laterales de acuerdo a las indicaciones de este numeral.

Paso 17 Distorsión Admisible (Numeral 5.2)

Verificar que la distorsión máxima de entrepiso que se obtiene en la estructura con los desplazamientos calculados en el paso anterior sea menor que lo indicado en la Tabla N° 11. De no cumplir se debe revisar la estructuración y repetir el análisis hasta cumplir con el requerimiento.

Paso 18 Separación entre Edificios (Numeral 5.3)

Determinar la separación mínima a otras edificaciones o al límite de propiedad de acuerdo a las indicaciones de este numeral.