

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES**

**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL
MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA “ESTUDIO DE MICRO
ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA”**



INFORME

**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE VILLA
EL SALVADOR**

LIMA – Marzo, 2011



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	2
1.1.1	ANTECEDENTES.....	2
1.1.2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	4
1.1.3	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
II.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
2.1.1	SISMICIDAD DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR	5
2.1.2	SISMICIDAD DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR	5
2.1.3	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	7
III.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
3.1.1	GEOMORFOLOGIA DE VILLA EL SALVADOR.....	8
3.1.2	GEOLOGÍA DE VILLA EL SALVADOR.....	9
IV.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO VILLA EL SALVADOR.....	10
4.1.1	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.....	10
4.1.2	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	13
V.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DE VILLA EL SALVADOR.....	16
5.1.1	INTRODUCCIÓN	16
5.1.2	ENSAYOS DE MEDICION DE ONDAS DE CORTE MASW.....	17
5.1.3	EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	17
5.1.4	PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO	18
5.1.5	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	18
5.1.6	MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES	26
5.1.7	MARCO TEÓRICO	26
5.1.8	TRABAJOS DE CAMPO.....	27
5.1.9	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	29
VI.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	29
VII.	REFERENCIAS.....	33



RESUMEN

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, firmaron un convenio específico para ejecutar el estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de microzonificación sísmica para el distrito de Villa El Salvador, complementando trabajos anteriormente desarrollados en este distrito con fines similares.

Esta investigación se llevo a cabo desarrollando tres áreas de estudio: peligro sísmico que emplea métodos probabilísticos y determinísticos para estimar la aceleración máxima horizontal en roca (PGA), valor importante para estimar las aceleraciones del terreno; la mecánica de suelos que caracterizando el suelo mediante exploración de campo, determina el tipo de material sobre el cual se asienta el área urbana y la dinámica de suelos que permite mediante ensayos de tipo geofísicos caracterizar el comportamiento dinámico de los suelos.

El Peligro Sísmico es un trabajo netamente de gabinete, desarrollándose en función de leyes de atenuación existentes y programas de cómputo diseñados para tal fin. Los estudios de mecánica y dinámica de suelos pasan primero por una etapa de recopilación de información existente, evaluando su cantidad y calidad, y programando luego los ensayos de campo en número suficiente para alcanzar los objetivos planteados. Se presenta en los Apéndices A, B y C los resultados obtenidos en estas tres áreas de estudio, utilizando tanto la información recopilada como la generada en este trabajo.

Se obtiene un mapa de microzonificación sísmica producto de la superposición de resultados obtenidos en las diferentes áreas de estudio, cuatro son las zonas que se identifican para el área urbana de este distrito. Las áreas señaladas en el mapa, reflejan el posible comportamiento sísmico, de manera cuantitativa y de menos a más desfavorable, del suelo del distrito ante la ocurrencia de un sismo severo. Este mapa permite proyectar los posibles daños que pueden ocurrir a las edificaciones y a la población. Se convierte también en un gran instrumento para la planificación urbana y/o para la reconstrucción post-desastre sísmico.



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR.

I. INTRODUCCIÓN

1.1.1 ANTECEDENTES

La invasión a los terrenos de Pamplona, no era la primera vez que ocurría. Un año antes, el 17 de Febrero de 1970, las primeras 80 familias habían protagonizado un hecho similar, en esa oportunidad, gracias a la intervención del Padre Ruggiere de la Parroquia del Niño Jesús de Ciudad de Dios, representantes de ministerio de vivienda y pobladores lograron ponerse de acuerdo. Este consistía en que el ministerio, interesado en urbanizar toda la zona. Se comprometía entregar a los invasores, lotes con los servicios básicos: agua desagüe y luz eléctrica, en el plazo de 90 días. En contraparte, los pobladores se comprometieron a no seguir invadiendo los terrenos, a empadronarse y a retirar todas sus esteras dejándolos en la parroquia para su custodia. El pacto no se cumplió.

La primera reunión de coordinación se realizó en Marzo del 71 los asistentes en su mayoría jóvenes. Convinieron en invadir nuevamente los terrenos de Pamplona. Solo que esta vez en forma organizada. Con esta finalidad acordaron crear la asociación "Padres Delfín Delgado Pro - Vivienda propia" nombrando a Sr. Epifanio Pérez Yarasca como su presidente.

Se realizaron reuniones secretas esta vez formándose comisiones. Hasta el último momento solo los dirigentes sabían de la fecha señalada para la invasión, y así fue. El día 27 de abril a partir de las 8 de la noche se corrió la voz. La toma sería a media noche.

El día 27 de abril, a las 11:57 de la noche, ochenta familias provistos de palos y esteras tomaban posición de las tierras de Pamplona (costado de la panamericana sur, donde hoy se ubica la urbanización Las Casuarinas.) dando inicio a una de las más grandes movilizaciones sociales por el derecho a la vivienda.

El día 28 de abril, a las 10:00 se realizó el primer contacto con la policía. El comandante Manuel Sánchez Casasa. El cual se encargo de disuadir a las familias. No tenía orden de desalojo, la



población salió a su encuentro en forma pacífica y ordenada. Dirigiéndose al Comandante, los pobladores le explicaron la pobreza en que vivían, así como del acuerdo incumplido con el ministerio de vivienda. Al final la policía solo se limitó a observar.

Hasta el día 3 de Mayo llegaron a registrarse 9000 familias lo que empezó en un desolado paraje que pertenecía al estado, se extendió a las haciendas de San Juan Chico y San Juan grande, a las urbanizaciones las Gardenias, Loyola y a los terrenos del Colegio Inmaculada. En estas circunstancias, en las madrugadas de los días 3 y 4 de Mayo las fuerzas del orden realizaron dos operativos de desalojo, sin éxito. Para las autoridades la situación se convirtió incontrolable, obligándolas en su desesperación, a bloquear todos los ingresos al Cono sur de Lima. Tomando el control de las avenidas Los Héroes y la Panamericana Sur. Ningún carro entraba, ni salía. El objetivo, evitar el ingreso de nuevos invasores y cortar el abastecimiento de agua y alimentos para las familias de Pamplona.

El 4 de mayo, una comisión de pobladores logró ser recibida por el comandante Alejandro De las Casas del ministerio de Vivienda, quien se comprometió a resolver el problema de Pamplona reubicando a todas las familias de esta zona a lugares donde tengan todos los servicios básicos. Para ello era necesario que todos se empadronen. Ante la desconfianza de los presentes, se acordó realizar otra reunión en el mismo lugar de la invasión con la presencia del comandante.

El día 5 de Mayo el General Armando Artola, Ministro del Interior ordenó un nuevo desalojo. Esta vez el enfrentamiento fue muy violento que empezó desde las 4 de la mañana hasta las primeras horas del alba. Entre esteras quemadas, chozas arrasadas, y heridos, se supo de la muerte de Javier Edilberto Ramos. Oficialmente el saldo trágico "del Pamplonazo" como así sería recordado este suceso. Fue de un muerto y 70 heridos. 13 civiles y 57 policías.

Luego a las familias se les informó que había terrenos donde serían trasladados, en Villa María del Triunfo existían 600 lotes listos para ser entregados. Y mientras tanto el ministerio de vivienda ya se encontraba habilitando más terrenos en la zona conocida como la Hoyada Baja de Tablada de Lurín.

El día 10 de Mayo el gobierno da las facilidades del caso para reubicar a 2300 familias en Villa



Maria del Triunfo, en las zonas conocidas como Micaela Bastidas, Mariano Melgar y Nueva Esperanza. Mientras tanto un centenar de millares, entre ingenieros, topógrafos y ayudantes, trabajaban en la Hoyada Baja de la Tablada de Lurín para preparar el terreno para viviendas. Más tarde, este lugar Sería bautizado por el Monseñor Bambarén con el nombre de Villa El Salvador.

Al día siguiente, el 11 de Mayo de 1971, luego de una larga y tensa reunión entre pobladores y representantes del ministerio de vivienda, la población acepta ser reubicada. A las 5 de la tarde de ese mismo día, el Comandante Alejandro de las Casas ordena el traslado de las primeras familias poniendo a disposición más de 50 camiones del ejército, hacia la Hoyada Baja de Tablada de Lurín. Villa El Salvador había nacido.

El día 30 de Mayo de 1983 se aprueba en el Senado de la República, la creación del distrito de Villa El Salvador en la Provincia de Lima, elevándolo a categoría de Ciudad.

Al día siguiente, 31 mayo se aprueba la creación del Distrito en la Cámara de Diputados y el 1ero de Junio El Presidente de la República Arquitecto Fernando Belaunde Terry firma el Decreto Ley 23605, de creación del Distrito de Villa el Salvador.

1.1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, firmaron un convenio específico para ejecutar el estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad para la ciudad de Lima.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de microzonificación sísmica para el distrito de Villa El Salvador, complementando trabajos anteriormente desarrollados de este distrito con fines similares.

1.1.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Villa El Salvador se encuentra ubicada a 25 kilómetros al sur de la capital de Perú, en la costa central y a 175 metros sobre el nivel mar de altitud.

El distrito de Villa El Salvador está limitado por:

- Norte: Distrito de Villa Maria del Triunfo.
- Sur: Distrito de Lurín.
- Este: Distrito de Pachacamac.



-
- Oeste: distrito de Chorrillos y el Océano Pacífico

Villa El Salvador se encuentra ubicada entre las coordenadas:

2849000E – 8652500N y 292260E – 8644750N.

El Plano P-01 presenta el plano base del distrito de Villa El Salvador, mostrando la zona urbana que abarca el área de estudio.

II. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación se desarrolla la sismicidad del área de estudio y la evaluación de su peligro sísmico. Mayores detalles se encuentran en el Apéndice A.

2.1.1 SISMICIDAD DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR

A continuación se desarrolla la sismicidad del área de estudio y la evaluación de su peligro sísmico. Mayores detalles se encuentran en el Apéndice A.

2.1.2 SISMICIDAD DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR

El distrito de Villa El Salvador, y la ciudad de Lima en general, está expuesto a un alto nivel de peligro sísmico, producto de la alta actividad sísmica que genera la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, cuyos bordes convergen a pocos kilómetros del litoral peruano-chileno.

Dentro de los sismos históricos ocurridos en la Zona Central del Perú y que de alguna forma han afectado a la ciudad de Lima, tenemos los siguientes:

- El sismo del 9 de Julio de 1586, con intensidades de IX MMI en Lima y VI MMI en Ica.
- El sismo del 13 de Noviembre de 1655, con intensidades de IX MMI en el Callao y VIII MMI en Lima.
- El sismo del 12 de Mayo de 1664, con intensidades de X MMI en Ica, VIII MMI en Pisco y IV MMI en Lima.
- El sismo del 20 de Octubre de 1687, con intensidades de IX MMI en Cañete, VIII MMI en Ica y VII MMI en Lima.
- El sismo del 10 de Febrero de 1716, con intensidades de IX MMI en Pisco y V MMI en Lima.
- Sismo del 28 de Octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX –X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca.



- El sismo del 30 de Marzo de 1828, con intensidad de VII MMI en Lima.
- El sismo del 04 de Marzo de 1904, con intensidad de VII - VIII MMI en Lima.
- Sismo del 24 de Mayo de 1940 a las 11:35 horas: Intensidad de VIII (MMI) en Lima, VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo.
- El sismo del 17 de Octubre de 1966, con intensidad VII MMI en Lima.
- El sismo del 03 de Octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.
- El sismo del 18 de Abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.
- El 15 de Agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como "el sismo de Pisco" debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico $M_w=7.9$ de acuerdo al Instituto Geofísico del Perú y de 8.0 según el National Earthquake Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima. VI en las localidades de Yauyos (Lima), Huaytará (Huancavelica), IV en las ciudades de Huaraz y localidades de Canta, Puquio, Chala. Este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas, y una licuación generalizada en un área de más de 3Km de longitud por 1.0 Km de ancho en las zonas de Canchamaná y Tambo de Mora en Chincha.

Del análisis de la información existente se deduce que para el área de influencia considerada en este estudio existe poca información histórica. Desde el siglo XVI hasta el siglo XIX solo se reportan los sismos sentidos en las ciudades principales, lo cual implica que dicha actividad sísmica no es totalmente representativa, ya que pudieron haber ocurrido sismos importantes en lugares remotos y que no fueron reportados. Se concluye que de acuerdo a la historia sísmica del área de Lima (400 años), han ocurrido sismos de intensidades tan altas como IX en la escala de Mercalli Modificada.



2.1.3 EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico del área de estudio se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica como son las leyes de atenuación de Youngs et al (1997) para suelo y roca, la ley de atenuación del CISMID (2006) y la ley de atenuación de Sadigh et al (1997) y como herramienta para el proceso de información el programa de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos. Se han utilizado las fuentes sismogénicas para sismos continentales y de subducción, las cuales están basadas en el trabajo de tesis de investigación de Gamarra y Aguilar (2009).

Para la evaluación del peligro sísmico mediante leyes de atenuación para aceleraciones espectrales en el distrito de Villa El Salvador, se ha considerado las coordenadas geográficas:

$$76.95^{\circ} \ 12.22^{\circ}$$

A continuación se utilizará la clasificación de suelos propuesta en el Internacional Building Code (IBC, 2006) para la descripción de los resultados obtenidos, los cuales muestran que la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo del Tipo B (roca), es de 0.34 g, este valor está referido al basamento rocoso o suelo firme y la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo firme del Tipo D, y considerando un suelo denso del Tipo C, presenta aceleraciones horizontales máximas (PGA) que varían entre 0.46 g a 0.54 g. Estos valores de aceleración corresponden a un periodo de retorno de 475 años, con un periodo de exposición sísmica de 50 años con una probabilidad de excedencia del 10%

III. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las características geológicas y geomorfológicas del distrito de Villa El Salvador, se han obtenido de la información contenida en el Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 distritos de Lima y Callao (CISMID, 2004).



3.1.1 GEOMORFOLOGIA DE VILLA EL SALVADOR.

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área son el resultado del proceso tectónico y plutónico, sobre impuesto los procesos de geodinámica, que han modelado el rasgo morfoestructural de la región. Así mismo la erosión, la inclinación por el drenaje del Río Lurín y la acumulación de arena eólica sobre grandes extensiones de la zona, han dado la configuración actual.

Borde litoral

Comprende el área de tierra firme adyacente a la línea litoral, expuesto a la acción de las olas marinas, que forman playas abiertas por acumulación de arenas a través de corrientes litorales (Ejemplo Playa de Conchán).

Planicie Costeras y Cono Deyectivos

Es la zona comprendida entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental constituida por una faja angosta de territorio paralela a la línea de costa adquiriendo mayor amplitud en el Valle de Lurín.

Constituyen superficies cubiertas por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación del río Lurín y por arena proveniente del acarreo eólico desde las playas, por vientos que corren con dirección SO a NE. La llanura aluvial de Lurín se interdigita hacia el Norte con el cono aluvial del río Rímac por debajo de la cobertura eólica (Al Sur de Villa y San Juan).

Dentro de esta unidad geomorfológica merece destacar las acumulaciones eólicas antiguas del Pleistoceno que conforman el Cerro Lomo de Corvina, lugar donde se emplaza el área de estudio.

Cerro lomo de corvina

Son acumulaciones eólicas antiguas (Pleistoceno) que en la actualidad se hallan estabilizados conformando cerros de arena que constituyen una lomada asilada de unos 150 m de altura y 5 km de longitud alineado en el sentido SE-NO que se desarrolla entre las cotas 15 a 160 msnm, paralelo al litoral marino y Carretera Panamericana Sur.

Litológicamente está constituido por arenas eólicas de grano fino, subredondeadas a



redondeadas con algunas intercalaciones de costras salinas, presenta estratificación cruzada construida por el viento, caracterizado por su irregularidad extrema debido a la variabilidad de dirección de los vientos.

Las arenas que conforman el Cerro Lomo de Corvina han migrado desde las playas del litoral, transportadas por el viento.

3.1.2 GEOLOGÍA DE VILLA EL SALVADOR

Estudios realizados para la zona y áreas circundantes han determinado que la geología local está representada por el afloramiento de secuencias litológicas sedimentarias, intrusivas y depósitos eólicos

El escenario del estudio se encuentra enmarcado dentro del cuadro morfotectónico de la costa y el borde occidental andino, habiendo sido afectado por la tectónica desarrollada durante la orogénesis andina, la misma que dio lugar a una deformación con plegamientos entre los que destaca el Sinclinal de Pachacamac, se trata de un pliegue abierto, con un plano axial vertical ligeramente inclinado al Sureste y un eje de dirección N30°O. Las rocas en las cuales se ha desarrollado, corresponden a la Formación Pamplona (Ki-pa), de composición arcillo-calcárea, por lo tanto plásticas. Al Sur del Cerro Lomo de Corvina, y a la altura del grifo Conchán se tiene afloramientos del flanco occidental. Gran parte de este sinclinal se encuentra cubierto por depósitos eólicos Cuaternarios.

Estratigrafía

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el Cerro Lomo de Corvina y alrededores están conformados por rocas sedimentarias del cretáceo inferior representados por la Formación Pamplona (Ki-pa), depósitos inconsolidados del Cuaternario de origen marino (Qp-m) aluviales y eólicos (Qp-e/QR-e).

A. Cretáceo Inferior:

Formación Pamplona (Ki – pa).- esta secuencia se manifiesta por presentar paquetes de calizas de color gris a oscuras ínterestratificadas con delgados horizontes de color rojizo por la presencia de fierro, también se manifiestan afloramientos de lutitas gris verdosas y margas, intercalados con lutitas limolíticas amarillo a rojizas, por correlación estratigráfica se le ha asignado una edad cretáceo inferior.



B. Cuaternario.

- Pleistoceno.-

Depósitos Eólicos (Qp-e). Los depósitos eólicos pleistocénicos están conformados por acumulaciones eólicas antiguas y que en la actualidad se hallan estabilizadas, conformando lomadas y cerros de arena; como el Cerro Lomo de Corvina, extendiéndose al NE hasta la Tablada de Lurín donde ahora se asienta la población de Villa El Salvador cubierto por otros depósitos eólicos más recientes.

Depósitos Aluviales (Qh-al). Este tipo de depósitos se posicionan al sur del Cerro Lomo de Corvina, en la cuenca del río Lurín y esta, constituidos por material acarreado cantos y gravas subredondeadas de diferentes tipos de roca de composición intrusiva y volcánica en una matriz arenosa limosa o arcillosa con buena selección, tiene espesores que alcanzan decenas de metros, sobre los que se asientan algunos centros urbanos y terrenos de agricultura, por lo que adquieren una significativa importancia para la región, ya que ellos contienen acuíferos notables que dan vida a numerosos pobladores y gran parte de la agricultura. La edad de estos depósitos es desconocida sin embargo dado su gran volumen es evidente que su deposición viene desde el Pleistoceno.

- Reciente.-

Depósitos Eólicos (Qr-e). Están conformados por arenas móviles que proceden de las diversas playas del litoral, como Conchán y Lurín, en su movimiento adoptan variadas formas como mantos, dunas y barcanes

IV. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO VILLA EL SALVADOR

4.1.1 PERFIL ESTRATIGRÁFICO.

La determinación de las características geotécnicas del distrito Villa El Salvador, se ha realizado tomando como base los estudios de mecánica de suelos elaborados para el Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 Distritos de Lima y Callao (CISMID, 2004), así como de la recopilación de un gran número de estudios de mecánica de suelos para proyectos de ingeniería ejecutados en este distrito. Esta información ha sido complementada con un programa de



exploración geotécnica de verificación, consistente en la excavación de calicatas y extracción de muestras de suelos para su respectivo análisis en el laboratorio, Ensayos de penetración Estándar (SPT) y Ensayos de Cono Peck. La ubicación de los estudios recopilados, los ensayos SPT y las calicatas ejecutadas se muestran en el Plano P-01 del Apéndice B. Los registros de los sondajes ejecutados y recopilados se muestran en los Anexos B-1 y B-2, respectivamente.

Seguidamente se presenta una descripción de la estratigrafía de los suelos recopilados y ejecutados de acuerdo a las siguientes zonas, considerando el Plano “sectores de Villa El Salvador” (ordenanza N° 031 – MVES – 2001), Municipalidad de Villa El Salvador:

Playa, comprende la zona adyacente al mar, al Oeste de Villa El Salvador, agrupando a los terrenos del Club El Paraíso Azul, Centro de Recreación Touring y Automóvil Club del Perú, La asociación de Vivienda Villa El Milagro, A.A.H.H. Huertos de Conchan, y el A.A.H.H. Moradores Posesionarios de la Comunidad Campesina de Llanavilla.

En el A.A.H.H. Moradores Posesionarios de la Comunidad Campesina de Llanavilla, el estudio E-22, describe un estrato de arena de hasta 3 m de profundidad, pobremente gradada, de grano fino, seca, de compacidad suelta, con presencia de restos de conchas marinas, muy inestable.

En la zona ubicada entre el Club El Paraíso Azul y el Centro de Recreación Touring y Automóvil Club del Perú, se ha tiene el estudio E-52, donde se describe un estrato de relleno de 0.85 m, conformado por arena fina arcillosa, suelta, muy húmeda a saturada, con restos de desmonte y basura. Seguido a estos rellenos se ha identificado arena fina mal graduada, suelta a media densa (SP), muy húmeda a saturada. El nivel freático, se encontró a 2 m de profundidad.

Lomo de Corvina, se encuentra limitado por el Norte con la Asociación de Vivienda Rinconada de Villa, por el Sur con la prolongación de la Av. María Reiche, por el Oeste con la Av. Panamericana Sur, y por el Este con el pie del talud del Lomo de Corvina. Está conformado por la Cooperativa Colonización Vertientes, abarcando longitudinalmente con los asentamientos humanos: La Encantada, Mirador de Villa, 11 de Diciembre, Organización Social Collasuyo 28 de octubre, San Ignacio de Loyola, Ampliación Noveno Sector Grupo 6, Mirador de Villa 200 Millas, Los Jardines de Pachacamac, Edilberto Ramos, Los Laureles de Villa, Ida Lossio y Villa de Mar.

La zona central de Lomo de Corvina, comprendida entre la Asociación Agropecuaria Santa Nélide, y el Asentamiento Humano Mirador de Villa, está constituida por un relleno de hasta 2 m de



espesor, conformado por arena fina en estado suelto, contaminada con trozos de ladrillos, concreto y restos de bolsas plásticas, seguida por un estrato de espesor de 0.45 m de arena mal gradada con limo, fina, en estado suelto. Subyacente a este material se encuentra la arena mal gradada, fina, en estado firme hasta profundidades de 5.30 m. como muestra el Ensayo de Penetración Estándar (S-03) ejecutado y el estudio (E-46) recopilado.

La zona norte de Lomo de Corvina, comprendida entre las Av. El Sol y prolongación Av. Juan Velasco Alvarado; está constituida por rellenos heterogéneos de hasta 1.0 m de espesor conformados por material gravoso, ladrillo y basura, de compacidad media como muestran las calicatas ejecutadas (C-06 y C-07) y los registros de la información recopilada (E-64 y E-65). El suelo subyacente a este material es predominantemente la arena mal gradada (SP), fina, de compacidad suelta a firme hasta y por debajo de 2.0 m de profundidad respectivamente.

Zona Este, abarca los sectores 1, 2, 3, 4 5, 6, 8 y parte de los sectores 7, 9 y 10 de Villa El Salvador incluyendo los asentamientos humanos: Las Palmeras, Héroes del Cenepa, Valle de Jesús (Parcela 5), Señor del Morro de Conchán y 20 de Octubre. Superficialmente presentan depósitos de relleno o suelo natural. El espesor del relleno encontrado varía de 0.30 m a 1m de profundidad, persistiendo en algunas zonas hasta 2.5, 3 m y 6 m de profundidad como puede observarse en los Planos P02 y P03 y en los estudios recopilados en esta zona.

En el Sector 8, de acuerdo a los estudios encontrados, se ha identificado una zona que se encuentra ubicada entre las Av. Mateo Pumacahua, Revolución, Av. El Sol y Av. Pachacutec; conformada por las manzanas 1, 2, 3, 15, A, C y C1, que se caracteriza por la presencia de rellenos hasta 3.0 m de profundidad, según se describe en el estudio E-42.

Lo mismo ocurre, en la intersección de las Av. Separadora industrial y Av. 1ero de Mayo, donde el suelo conformado por rellenos alcanza profundidades de hasta 2.5 m, tal como se describe en el estudio E-58II.

En el Sector 7, entre las Av. María Elena Moyano, Av. 200 Millas y Av. Mariano Pastor Sevilla, se encuentra una zona conformada por rellenos de hasta los 3.0 m de profundidad, constituido por arena pobremente gradada, presencia de bolsas y basura; tal como se puede observar en el registro del estudio recopilado (SPT E-23).

En el Sector 10, entre las Av. Forestal y Av. Universitaria, se encuentra una zona con un potente estrato de relleno (6.0 m de espesor) conformado por materia orgánica en descomposición, desperdicios de basura, etc.; tal como se puede observar en el registro del estudio recopilado E-28.



De acuerdo a la evaluación de la información recopilada y de los ensayos ejecutados en el distrito de Villa El Salvador, se puede indicar que debajo de los rellenos se encuentra el terreno natural conformado por un potente estrato de arena eólica mal gradada de eólicas mal gradada de compacidad sueltas a media densa hasta los 10 m de profundidad, y llegando a un estado denso a profundidades mayores.

Afloramiento de Roca Sana y/o Fracturada, en algunas zonas del distrito de Villa El Salvador, se han identificado, mediante inspección visual, formaciones rocosas, en cuyas áreas se encuentran asentamientos humanos y urbanizaciones con densas poblaciones. Estas áreas se encuentran ubicadas de norte a sur en el siguiente orden:

- En el Sector 1, en la zona donde se ubican los Asentamientos Humanos: Nuevo Horizonte, Las Terrazas de Villa, Nuevo Paraíso, Villa Victoria, Las Laderas de Villa, Los Balcones de Villa y la Unión de Villa; además, de la región entre las Av. Los Ángeles, Av. Pacto Andino, Av. Los Álamos y Av. Revolución.
- En el Sector 6, en una zona ubicada en la Av. Marielena Moyano, entre la Av. El Sol y Av. Arriba Perú.
- En el Sector 2, en una zona entre las Av. Alamos, Av. Revolución, Av. Juan Velasco Alvarado y Av. Viña del Mar.
- En el Sector 4, en una zona ubicada al Sur-Este de Villa El Salvador colindante con Villa María del Triunfo, conformada por el Asentamiento Humano Señor de los Milagros, el Mirador 1, el Mirador 2, y la Parcela 3 C.

4.1.2 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

Los perfiles de suelos elaborados para las diferentes zonas del área de estudio fueron implementados en una base de datos de un sistema de información geográfica (GIS), debido a que esta herramienta permite combinar un gran volumen de datos de diferente tipo, incluyendo un adecuado manejo de las bases de datos y una rápida y detallada presentación gráfica de los resultados mediante mapas temáticos, y así visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los tipos de suelos en el área en estudio; siendo posible elaborar mapas de suelos para profundidades de 1 m y 2.5 m; como se muestran en los Planos P-02 y P-03 respectivamente (Apéndice B).



Esta información ha permitido delimitar con mayor precisión las cuatro zonas geotécnicas identificadas en el distrito de Villa El Salvador. La delimitación del área de estudio por tipos de suelos es una información básica para realizar el modelamiento del comportamiento del terreno en la determinación del nivel de peligro sísmico, y que complementado con la información dinámica del terreno se definirá, el Mapa de Microzonificación Sísmica de Villa El Salvador.

Con los antecedentes descritos, así como de la necesidad de definir las características del terreno para el distrito de Villa El Salvador, se propone un plano de Microzonificación Geotécnica, que incluye la capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de una edificación convencional. El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

- a. La cimentación debe ser segura contra la falla de corte del suelo que la soporta, y
- b. Los asentamientos producidos por la carga transmitida por la cimentación deben ser menores que los permisibles para cada tipo de edificación.

En consecuencia, considerando que se cumplan estas dos condiciones, se ha realizado el cálculo de la capacidad de carga admisible para la cimentación de una vivienda convencional, consistente en un cimiento corrido de 0.60 m de ancho y profundidades de cimentación variable en función al tipo de suelo encontrado en las diferentes zonas del distrito de Villa El Salvador.

Para tal fin, se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973). Para la evaluación de la capacidad de carga admisible se han utilizado los parámetros de resistencia cortante de los diferentes estudios con fines de cimentación recopilados y los ensayos de laboratorio ejecutados. En la Tabla B-7 (Sección Tablas del Apéndice B), se muestran los cálculos de capacidad de carga admisible y asentamiento.

Los resultados del análisis químico, registrados en los diferentes estudios recopilados, demuestran en su mayoría que no existen problemas de agresión del suelo a los elementos de cimentación, dado que la presencia de sulfatos y sales solubles totales en el agua es menor que 1000 ppm y 15000 ppm respectivamente. Sin embargo, se han encontrado registros de zonas con valores altos de sulfatos como es el caso de los estudios: E-48 (ubicado en el cruce de la Av. Jorge Chávez y Av. Central, Sector 2), E-49 (ubicado en la intersección de las Av. 200 Millas y Av. Mariano Pastor Sevilla), E-59 (ubicado en la Planta Firth Industries Perú SA) y E-60 (ubicado en el cruce de las Av. 200 Millas y Av. Revolución); que demuestran que en estos suelos existe un grado de alteración químico ligeramente severo.



En el caso de los estudios: E-54 (ubicado en la intersección de las Av. El Sol y Av. Separadora Agro Industrial), E-57 (ubicado en el cruce de las Av. Juan Velasco Alvarado y Av. Mariano Pastor Villa), E 58-I y E-58II (ubicados entre las Av. Separadora Industrial y Av. 1 de Mayo), se tienen registrados valores que indican un grado de alteración químico moderado. Debido a la presencia de elementos nocivos para la cimentación en estos lugares, se recomienda que el concreto utilizado para las cimentaciones sea elaborado con cementos tipo II, V o puzolánicos (IP) que presentan una alta resistencia a los sulfatos. En las Tablas B-5 y B-6 (Sección Tablas del Apéndice B) se presentan los valores de los resultados de ensayos químicos recopilados y los límites permisibles de elementos químicos nocivos para la cimentación, respectivamente.

En función a los perfiles estratigráficos y tipos de suelos identificados en las diferentes áreas del distrito de Villa El Salvador, se ha dividido el área de estudio en cuatro zonas, tal como se describe a continuación:

Zona I: Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos de la Formación Pamplona, que se encuentran aflorando en diferentes lugares en el distrito. En algunas zonas muy puntuales la roca se encuentra superficialmente fracturada con matriz de arenas limosas. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.50 a 2.70 Kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.60 m a 1.40 m.

Zona III: Esta zona está conformada por los depósitos de arenas eólicas. El perfil estratigráfico en esta zona indica rellenos de 0.30 a 1.0 m de espesor llegando en algunos lugares a persistir hasta los 2.5 m. Debajo de este material subyace un suelo conformado predominantemente por arenas limosas, mal gradadas, que se caracterizan por tener una compactación suelta a media densa, llegando a un estado compacto a profundidades mayores a 10.0. En general el terreno de cimentación está conformado por estratos de arenas finas de gran potencia, las cuales se encuentran ligeramente húmedas, sueltas a media densas con cuyas características de resistencia se obtienen valores de capacidad de carga de 0.80 a 1.20 Kg/cm², considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 1.40 a 2.20 m.

Zona IV: Esta zona está conformada por los depósitos de arenas eólicas de gran espesor en estado suelto y los depósitos marinos, que se ubican en Lomo de Corvina y la playa que corresponde al distrito de Villa El Salvador. El perfil estratigráfico en esta zona indica la presencia



de material de relleno de hasta 1.0 m de espesor, llegando puntualmente a persistir hasta los 2.0 m. Subyacente a este material se encuentra un potente estrato de arena pobremente gradada, de grano medio a fino, de compacidad suelta, incrementándose esta con la profundidad. El nivel freático en la playa se encontró a los 2.0 m.

La capacidad portante del terreno en esta zona es baja, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, la carga admisible varía de 0.65 a 0.87 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.80 m a 2.50 m.

La Zona IV, se ha delimitado siguiendo los criterios de la Norma E030 y Norma 050 del RNC, para un Tipo de Suelo III con un comportamiento especial, que puede incluir áreas susceptibles a licuación de suelos, densificación, estabilidad de taludes y amplificación sísmica, fenómenos que representan un alto peligro para las estructuras con cimentaciones superficiales.

La zona de Lomo Corvina, por sus características geomorfológicas corresponde a depósitos de arenas eólicas sueltas de gran potencia que se encuentran conformando taludes de fuerte pendiente. En consecuencia son susceptibles a sufrir deslizamientos que involucren a grandes masas de suelos. Bajo este criterio se ha delimitado esta zona como de alto peligro y se ha considerado como parte de la Zona IV.

Zona V: Está zona está representada por un área puntual encontrada en el distrito de Villa El Salvador, conformada por rellenos de hasta 6 m de profundidad, constituido por materia orgánica en descomposición, desperdicios, basura, etc.

Se debe mencionar que no se incluye una Zona II en esta descripción, debido a que esta zona corresponde a suelos tipo II, los cuales no se presentan en este distrito.

El plano de Microzonificación Geotécnica realizado en base a la descripción arriba indicada se presenta en el Plano P-04 del Apéndice B.

V. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DE VILLA EL SALVADOR.

5.1.1 INTRODUCCIÓN

Con el objeto de determinar la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y el periodo de vibración fundamental del terreno en el área de estudio, se han realizado ensayos



geofísicos por el método MASW y medición de Microtrepidaciones. Los ensayos nos permiten obtener los perfiles de ondas S. información que es necesaria para realizar una estimación indirecta de 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 14 ensayos MASW con un total de 742 m de longitud. La ubicación de las líneas sísmicas ejecutadas en las zonas de estudio se presenta en el Plano P-01 y en la Tabla 1 del Apéndice C, se presenta un listado de los sondeos realizados.

5.1.2 ENSAYOS DE MEDICION DE ONDAS DE CORTE MASW

El Ensayo MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea.

La interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales ya que su velocidad de fase se aproxima en un 90 a 95% del valor de V_s , y luego mediante un cálculo inverso iterativo (método de inversión) se obtiene el perfil V_s desde la curva de dispersión calculada para cada punto de estudio. Con los equipos utilizados, la profundidad de exploración varía de 18 a 22 m en promedio.

5.1.3 EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para realizar el ensayo de MASW se utilizó un equipo de prospección geofísica ES 3000, desarrollado por la empresa GEOMETRICS el cual tiene las siguientes características:

- ✓ 12 canales de entrada, cada uno tiene un convertidor A/D individual con resolución 24bit y alta velocidad de muestreo.
- ✓ 13 sensores o geófonos de 4.5Hz de frecuencia, los cuales permiten registrar las vibraciones ambientales del terreno producidas por fuentes naturales o artificiales y el arribo de las ondas P



y ondas S generadas por las fuentes de energía.

- ✓ Computadora portátil, Lap Top Pentium IV.
- ✓ Un cable de conectores de geófonos de 180 m de longitud.
- ✓ Radios de comunicación y accesorios varios.

Los registros de las ondas sísmicas obtenidas con el equipo ES 3000 en cada una de las líneas de exploración pueden ser procesados en el campo en forma preliminar y en forma definitiva en el gabinete, utilizando para ello programas de cómputo que permiten obtener las velocidades de propagación de las ondas S.

5.1.4 PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

En los trabajos de campo que se realizó en cada ensayo de MASW primeramente se definió el eje del sondaje sísmico. Luego se procedió a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. El espaciamiento entre geófonos es definido en función de la profundidad de exploración requerida. En el presente trabajo, en función a la topografía y a los requerimientos del estudio, se realizaron solamente líneas MASW de 53 m de longitud. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue un martillo de 25 lbs.

Se realizaron en total 14 sondajes cuya longitud de separación entre sensores o geófonos fue de 3 m para líneas de 53 m. La ubicación de los sondajes MASW ejecutados en el distrito de Villa el Salvador se presentan en el Plano P-01 del Apéndice C, los registros de las ondas sísmicas se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C. Así mismo, en el Anexo C-5 del Apéndice C se presenta el panel fotográfico que documenta las diferentes actividades realizadas en el trabajo de campo, durante la realización de estos ensayos.

5.1.5 PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidos en cada una de las líneas de exploración realizadas, que se presentan en el Anexo C-1, y representan las llegadas de las ondas superficiales a cada uno de los geófonos ubicados a distancias especificadas, se determinan las curvas de dispersión, las cuales se muestran en el Anexo C-2. Con esta información se realizó la interpretación de los sondajes sísmicos del área investigada, los cuales se presentan en el Anexo C-3, y cuya descripción se presenta a continuación.



Sondaje MASW-01

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 1, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 7 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 290 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa, pobremente gradada, media densa.

El segundo estrato, de 7 a 13 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa pobremente gradada, densa.

El tercer estrato, de 13 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 545 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 01 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-02

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 2, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 7 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 295 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa, media densa.

El segundo estrato, de 7 a 11 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.

El tercer estrato, de 11 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 535 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un



material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 02 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-03

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 3, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 4 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 260 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, media densa.

El segundo estrato, de 4 a 9 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 360 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.

El tercer estrato, de 9 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 550 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 03 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-04

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 4, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 280 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena media densa.

El segundo estrato, de 3 a 8 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 365 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.



El tercer estrato, de 8 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 575 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 04 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-05

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 5, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 2 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 235 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa, media densa.

El segundo estrato, de 2 a 9 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 355 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa, densa.

El tercer estrato, de 9 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 525 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 05 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-06

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 6, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 22 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 6 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 185 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, suelta.

El segundo estrato, de 6 a 13 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad



de propagación de ondas S (V_s) de 335 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.

El tercer estrato, de 13 a 22 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 485 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 06 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-07

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 7, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 22 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 2 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 160 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, suelta.

El segundo estrato, de 2 a 6 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 225 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, media densa.

El tercer estrato, de 6 a 15 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.

El cuarto estrato, de 15 a 22 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 575 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 07 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-08

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 8, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 22 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.



El primer estrato, de 0 a 2 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 200 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, suelta.

El segundo estrato, de 2 a 7 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 295 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, media densa.

El tercer estrato, de 7 a 13 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 375 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, densa.

El cuarto estrato, de 13 a 22 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 480 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 08 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-09

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 9, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 2 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena media densa.

El segundo estrato, de 2 a 11 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 335 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.

El tercer estrato, de 11 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 410 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena de densa a muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 09 del Anexo C-3



Sondaje MASW-10

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 10, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 245 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, media densa.

El segundo estrato, de 3 a 13 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 345 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, densa.

El tercer estrato, de 13 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 420 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena de densa a muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 10 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-11

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 11, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 22 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, media densa.

El segundo estrato, de 3 a 9 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 355 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, densa.

El tercer estrato, de 9 a 22 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 515 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 11 del Anexo C-3.



Sondaje MASW-12

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 12, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 22 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 280 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa, pobremente gradada, media densa.

El segundo estrato, de 3 a 9 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 360 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa, pobremente gradada, densa.

El tercer estrato, de 9 a 22 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 525 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 12 del Anexo C-3.

Sondaje MASW-13

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 13, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 22 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, media densa.

El segundo estrato, de 3 a 11 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 330 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, densa.

El tercer estrato, de 11 a 22 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 480 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 13 del Anexo C-3.



Sondaje MASW-14

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 14, de 53 m de longitud. La interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 18 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, media densa.

El segundo estrato, de 3 a 9 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 355 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada, densa.

El tercer estrato, de 9 a 18 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 450 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena de densa a muy densa. Este sondaje se muestra en la Figura 14 del Anexo C-3.

5.1.6 MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES

La medición de microtrepidaciones es una de las técnicas más empleadas actualmente en estudios de microzonificación sísmica, debido a la facilidad con que se realizan las mediciones y al uso de la técnica propuesta por Nakamura (1989) para determinar periodos predominantes y factores de amplificación relativa, usando relaciones espectrales entre las componentes horizontales y vertical de las mediciones. Esta técnica ha sido usada con éxito en varias ciudades del mundo y en nuestro país se utiliza desde hace 20 años en la elaboración de mapas de microzonificación sísmica.

5.1.7 MARCO TEÓRICO

Las microtrepidaciones son vibraciones naturales o ambientales del terreno generadas por fuentes naturales o artificiales. Éstas se usan para estimar las características de vibración del terreno durante un sismo, así como para conocer la estructura del subsuelo y modelar los efectos de sitio usando dicho modelo estructural del terreno. Las microtrepidaciones también



son conocidas como microtemblores, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004).

Se ha utilizado la técnica propuesta por Nakamura (1989) para determinar periodos predominantes y factores de amplificación relativa, usando relaciones espectrales entre la componente horizontal y vertical de los registros de ondas

Fundamento del Método de Nakamura

El método de Nakamura consiste en calcular la amplificación del terreno a partir del valor máximo del cociente espectral entre los componentes del movimiento horizontal y vertical en la superficie.

$$S_{TT} = \frac{\frac{S_{HS}}{S_{VS}}}{\frac{S_{HB}}{S_{VB}}} = \frac{R_S}{R_B}$$

Con esta relación Nakamura supone que los efectos de la fuente pueden ser removidos de los registros de microtrepidaciones con el espectro H/V. Él asume que sólo las microtrepidaciones horizontales son influenciadas por el suelo, y que las características espectrales de la fuente se mantienen en las microtrepidaciones verticales. Diversos investigadores han confirmado que los espectros H/V pueden proveer características más estables que los espectros de frecuencia (Espectro de Amplitudes de Fourier) de las microtrepidaciones, como comúnmente se han estado evaluando. Ampliación del fundamento teórico de esta técnica se encuentra en el Apéndice C.

5.1.8 TRABAJOS DE CAMPO

Para este ensayo fue utilizado el siguiente equipo:

- 01 Sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS
- 01 Computadora portátil NEC, modelo VersaPro VS-8
- 03 sensores para medición de velocidad del suelo tipo CR4.5-1S
- 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS
- Cables de 50 m de longitud.
- 01 cable de conexión para batería



-
- Software de adquisición de datos: Microtremor Observation
 - Software de procesamiento de datos: calHVm4.

En cada punto se tomaron mediciones de velocidad, descompuesta en tres direcciones ortogonales, las cuales coinciden con las dos direcciones horizontales: longitudinal y transversal, así como con la dirección vertical respectivamente.

El sistema permite visualizar y registrar las vibraciones ambientales a diferentes frecuencias de muestreo. Una vez que las ondas hayan sido grabadas en el disco duro de la computadora, éstas pueden ser procesadas inmediatamente, mediante un software incorporado que permite determinar los espectros de Fourier, las relaciones espectrales H/V y las relaciones espectrales entre dos registros de diferentes lugares. Mediante este procesamiento rápido se puede evaluar en campo la calidad de las mediciones, en función a lo cual se podrá determinar si se debe realizar mediciones adicionales.

Las mediciones de microtremores son realizadas sobre la superficie del terreno o a diferentes profundidades dentro de una perforación, utilizando sensores suficientemente sensibles. Estas mediciones registran las velocidades de los microtremores, las que luego son almacenadas en forma digital, para su posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instala el sensor triaxial en la superficie del terreno, orientando sus componentes horizontales en las direcciones E-W y N-S. Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtremores por un lapso de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas por el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor.

En el presente estudio, para el distrito de Villa El Salvador, se realizó la medición de microtremores en 71 puntos, con el objetivo de complementar las mediciones realizadas en este distrito en anteriores estudios. De los 71 puntos ejecutados se seleccionaron 70, una medición no fue considerada debido a que presentaba señales contaminadas con ruido. La localización de estos puntos así como de las mediciones realizadas se presenta en el Plano P-02 del Apéndice C. Los registros de las microtrepidaciones obtenidos en diversos puntos del distrito se presentan en el Anexo C-4 del Apéndice C.



5.1.9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el Plano P-03 se presenta las curvas de isoperiodos dominantes del terreno determinada para el distrito de Villa El Salvador en función del análisis de los resultados obtenidos de la medición de microtemores en diferentes puntos, tanto ejecutados en este estudio como de estudios anteriores. Los 70 nuevos puntos ejecutados que han sido analizados mediante el espectro de amplitudes de Fourier y el cociente espectral H/V, han ayudado a identificar con mayor detalle las zonas en que los periodos varían desde 0.10 s. en zonas de suelos de roca fracturada las cuales se aprecian superficialmente, hasta 1.20 s. en zonas de arena de gran potencia. Esto último se aprecia en Lomo de Corvina. Los resultados reflejan de alguna manera las características geológicas y geotécnicas que se encuentran en la zona en estudio. En la parte Norte y Sureste, así como en la zona central del distrito se puede apreciar la presencia de roca, zonas en las cuales el periodo predominante es de 0.10 s. En la zona Oeste, zona conocida como Lomo de Corvina, los periodos hallados son elevados llegando al valor de 1.20 s. Hacia el Este los periodos varían de 0.30 a 0.70 s. Hacia el Sur los periodos van de 0.4 a 0.85 s.

El cociente espectral H/V proporciona el valor de amplificación relativa del movimiento horizontal del suelo con respecto a su movimiento vertical. La Tabla 5 del Apéndice C muestra los valores de amplificación relativa obtenidos. Se observa que en la zona Norte los valores de amplificación relativa varían de 1 a 13.43 veces, en la parte Este del distrito los valores varían de 3.98 a 8.59 veces y en la zona Sur de 7.96 a 11.25 veces. Estos valores han sido obtenidos de las 69 mediciones analizadas en este estudio mediante el método de Nakamura.

VI. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

El mapa de microzonificación sísmica identifica las zonas que presentan diferente comportamiento dinámico ante la ocurrencia de un sismo, esto se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Asimismo se incorpora a este mapa las zonas que pueden ser afectadas por eventos asociados ante la ocurrencia de los sismos como son los Tsunamis. Para Villa El Salvador se han elaborado los siguientes mapas: Microzonificación Geotécnica, Isoperiodos e Inundación por Tsunami, éste último tomado del estudio "Evaluación de la Amenaza Frente a Tsunami Para Lima y Callao". La superposición de estos mapas permite identificar cinco zonas en este distrito, las cuales se describen a continuación.



Zona I: Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos de la Formación Pamplona, que se encuentran aflorando en diferentes lugares en el distrito. En algunas zonas muy puntuales la roca se encuentra superficialmente fracturada con matriz de arenas limosas. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.50 a 2.70 Kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.60 m a 1.40 m.

El comportamiento dinámico del material en esta zona es adecuado, se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado. Los periodos dominantes tienen valores de 0.10 s. a 0.20 s. El valor de la amplificación relativa del suelo obtenido por microtrepidaciones es de 1.0 vez.

Zona II: Esta zona está conformada por los depósitos de arenas eólicas. El perfil estratigráfico en esta zona indica rellenos de 0.30 a 1.0 m de espesor llegando en algunos lugares a persistir hasta los 2.5 m. Debajo de este material subyace un suelo conformado predominantemente por arenas limosas, mal gradadas, que se caracterizan por tener una compacidad suelta a media densa, llegando a un estado compacto a profundidades mayores a 10.0. En general el terreno de cimentación está conformado por estratos de arenas finas de gran potencia, las cuales se encuentran ligeramente húmedas, sueltas a media densas con cuyas características de resistencia se obtienen valores de capacidad de carga de 0.80 a 1.20 Kg/cm², considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 1.40 a 2.20 m

En esta zona se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.20 s a 0.40 s. Los valores de amplificación relativa del suelo obtenido por microtrepidaciones varían de 4.40 a 9.60 veces.

Zona III: Esta zona está conformada por los depósitos de arenas eólicas de gran espesor en estado suelto que se ubican adyacente al cerro Lomo de Corvina. El perfil estratigráfico en esta zona indica la presencia de material de relleno de hasta 1.0 m de espesor, llegando puntualmente a persistir hasta los 2.0 m. Subyacente a este material se encuentra un potente estrato de arena pobremente gradada, de grano medio a fino, de compacidad suelta, incrementándose esta con la profundidad.



La capacidad carga de 0.80 a 1.20 Kg/cm², considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 1.40 a 2.20 m

Se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo, Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.50 s a 0.70 s. Los valores de amplificación relativa del suelo obtenido por microtrepidaciones varían de 4.0 a 8.0 veces.

Zona IV: Esta zona está conformada por los depósitos de arenas eólicas de gran espesor en estado suelto y los depósitos marinos, que se ubican en Lomo de Corvina y la playa que corresponde al distrito de Villa El Salvador. El perfil estratigráfico en esta zona indica la presencia de material de relleno de hasta 1.0 m de espesor, llegando puntualmente a persistir hasta los 2.0 m. Subyacente a este material se encuentra un potente estrato de arena pobremente gradada, de grano medio a fino, de compacidad suelta, incrementándose esta con la profundidad. El nivel freático en la playa se encontró a los 2.0 m.

La Zona IV, se ha delimitado siguiendo los criterios de la Norma E030 y Norma 050 del RNC, para un Tipo de Suelo III con un comportamiento especial, que puede incluir áreas susceptibles a licuación de suelos, densificación, estabilidad de taludes y amplificación sísmica, fenómenos que representan un alto peligro para las estructuras con cimentaciones superficiales.

La zona de Lomo Corvina, por sus características geomorfológicas corresponde a depósitos de arenas eólicas sueltas de gran potencia que se encuentran conformando taludes de fuerte pendiente. En consecuencia son susceptibles a sufrir deslizamientos que involucren a grandes masas de suelos. Bajo este criterio se ha delimitado esta zona como de alto peligro y se ha considerado como parte de la Zona IV.

En esta zona se espera un incremento alto del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.80 s a 1.20 s. Los valores de amplificación relativa del suelo obtenido por microtrepidaciones varían de 4.70 a 8.90 veces.



Se ha incorporado a esta zona el área determinada como inundación ante la ocurrencia de un Tsunami.

Esta zona IV es la presenta las condiciones más desfavorables ante la ocurrencia de un sismo severo, por lo que su uso debe ser restringido para habilitaciones urbanas.

Zona V: Está zona está representada por un área puntual encontrada en el distrito de Villa El Salvador, conformada por rellenos de hasta 6 m de profundidad, constituido por materia orgánica en descomposición, desperdicios, basura, etc. Su uso debe ser restringido para habilitaciones urbanas.



VII. REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Ayquipa C. (1995), "Microzonificación Sísmica de Chorrillos y Barranco", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- Ayashi, K (2003), "Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods". Short Course - SAGEEP 2003.
- Bard, P. (1998), Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation? The effects of Surface Geology on Seismic Motion, Irikura, Kudo, Okada y Sasatani (eds), 1251-1279.
- Bermúdez M., Franco L., Martínez S. y Ojeda A., (2002) "Uso de las Microtrepidaciones para la evaluación de la Respuesta Dinámica de los Suelos"
- Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
- Berrocal J., Deza E. y Shikiya J. (1975), "Estudio de Sismicidad para el Proyecto de Derivación del Río Mantaro a Lima", Informe del Instituto Geofísico del Perú a ELECTROPERU S.A.
- Bieniawski Z.T (1989) " Engineering Rock Mass Clasificación "Willey Intersciencie Publicación , USA.
- Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- CISMID (1991), "Memorias del Seminario Taller de Dinámica de Suelos". Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- CISMID (1992), "Estudio de Peligro Sísmico para el Afianzamiento Hídrico del Río Cañete – Lima". Informe Técnico, Lima, Perú.
- CISMID (2004), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 distritos de Lima y Callao". Informe Técnico, Lima, Perú
- Compañía Minera Luren S.A. "Plan de Cierre de La Cantera de Arena Lomo de Corvina de Compañía Minera Luren S.A."
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs. 1538-1606.



-
- Das, B. M. (1996), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", México Thomson Editores , 4ta Edición, México.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
- Figuerola, J., C. (1974), "Tratado de Geofísica Aplicada", LITOPRINT, Madrid.
- Gonzáles de Vallejo, L. y Ferrer M. (2002), "Ingeniería Geológica", Prentice Hall, Madrid, España.
- Hoek E. Bray J .W (1977) "Rock Slope Engineering "London , 2da Edición. Idriss I. (1985), "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice". XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA, Vol.
- Hunt, Roy E (1986), "Geotechnical Engineering – Techniques and Practices", McGraw-Hill, USA.
- Instituto Geofísico del Perú. (2000), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- INGEMMET "Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica "Boletín N°43 – Hoja:25-j, 1992.
- Instituto Tecnológico de España (1991) "Manual de Ingeniería de Taludes"
- Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R., (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, N°18, págs. 5855-5899.
- Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Lankston, R. W.,, "High Resolution Refraction Data Acquisition and Interpretation", Geo-Compu-Graph, Inc., U.S.A.
- Lermo J., Rodríguez M., y Singh S. K. Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements, Earthquake Spectra, 1988, 4, 805-14.
- Lermo, J. and F. J. Chavez-Garcia (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am., 83,1350-1364.
- McGuire R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", MIT Report R74-51 Cambridge MA, USA.
- McGuire R.K. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- Miller, R. D., Pullan, S.E., Waldner, J. S., Haeni, F. P., (1986), "Field comparison of shallow seismic



- sources", *Geophysics*, Vol. 51, N° 11, Pag. 2067 – 2092, U.S.A.
- Nakamura, Y. (1989). "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface". *Quarterly Report Railway Technology. Research Institute.*, Vol. 30. N°3. pags. 25-30.
- Park, C., Miller, R. y Xía, J. 1999, "Multichannel analysis of surface waves". *Geophysics*. Vol. 64. N° 3. p: 800-808.
- Park., C.B., R. D. Miller, and J. Xia, Julian M.(1999), *Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock*, Kansas Geological Survey, Lawrence, Kansas, U.S.
- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. 2001^a. "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surfaces Waves (MASW) method". *Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE)*, Philadelphia.
- Redpath, B., B. (1973), "Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations", *Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California, U.S.A.*
- Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J.L, Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", *Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, pp. 33-44.
- Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955- 1970", *Geofísica Panamericana*, Vol 2 pp. 179-243
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
- Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.
- Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- Tavera, H., y E. Buforn. (1998), " Sismicidad y Sismotectónica de Perú", *Física de la Tierra*, N° 10, pp. 187 – 219. España.
- U. S. Army Corps of Engineers, (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", *Engineer Manual 1110-1-1802*, Washington, U. S. A.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



Underwood, D.; Hayashi, K. (2006), Surface Wave data Acquisition and Field Methods, Geometrics Inc,
U.S.