



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 EN EL DISTRITO DE
LA MOLINA**

LIMA – Julio, 2010

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	2
1.1	ANTECEDENTES.....	2
1.2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	3
1.3	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	3
II.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
2.1	SISMICIDAD DEL DISTRITO DE LA MOLINA	4
2.2	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.....	6
III.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
3.1	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	7
3.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	8
3.3	ASPECTOS DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	9
3.4	PROCESOS GEODINÁMICOS ACTUALES.....	10
IV.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO DE LA MOLINA.....	11
4.1	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	11
4.2	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	13
V.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DE LA MOLINA	16
5.1	INTRODUCCIÓN	16
5.2	ENSAYOS DE MEDICIÓN DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO MASW.....	17
5.2.1	Fundamento Teórico.....	17
5.2.2	Trabajos de Campo	18
5.2.3	Perfiles Sísmicos	19
5.3	MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES	31
5.3.1	Marco Teórico	32
5.3.2	Trabajos de Campo	32
5.3.3	Discusión de Resultados.....	33
5.4	FACTORES DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA	34
5.4.1	Análisis Unidimensional.....	35
5.4.2	Análisis Bidimensional	35
5.4.3	Factores de amplificación.....	36
VI.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	37
VII.	REFERENCIAS	40

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 La Molina, complementando trabajos anteriormente desarrollados en este distrito con fines similares.

Esta investigación se desarrolló 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 que predomina en el suelo 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 incorpora un Apéndice D que incluye resultados de estudios anteriores utilizados para completar los objetivos propuestos.

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 para la reconstrucción post-desastre sísmico.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE LA MOLINA

I. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La Molina se encuentra ubicada al Este de la ciudad de Lima y durante la época pre-hispánica fue una comarca que dependía de Pachacamac. Su existencia se remonta a la época Pre-colombina, donde fue un asiento de diversos cacicazgos en el ámbito político, en el aspecto religioso había un centro ceremonial. Al llegar los españoles, este territorio se llenó de haciendas con sembríos de algodón, cultivo e industrialización de caña de azúcar, hortalizas y trapiches, convirtiéndose en una fuerte región agrícola. Con el tiempo resultó ser un lugar ideal para casas de campo, valle dotado de un clima especial que invita al foráneo a visitar esta tierra cálida. Con el correr de los años, en el valle se ubicaron numerosos molinos que luego dieron el nombre a esta población.

En la época Republicana, en el Valle de La Molina se concentraron florecientes haciendas donde se desarrollaron especies ganaderas; fue así que a mediados del siglo pasado empezó a poblarse con urbanizaciones.

Hoy en día, La Molina es un distrito que cuenta en su mayor parte con viviendas unifamiliares, amplias calles y avenidas con numerosas áreas verdes y un aproximado de 130,000 habitantes. En ella también se encuentran modernos edificios empresariales, centros comerciales y una destacable cantidad de centros de enseñanza superior

Este distrito ha sufrido severos daños en sus edificaciones en los diversos sismos que han afectado a la ciudad de Lima, las intensidades sísmicas determinadas para este distrito han sido mayores en comparación con otros distritos de Lima, esto debido a las características de sitio que se encuentran en el distrito y que influyen en su respuesta sísmica.

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 La Molina, complementando trabajos anteriormente desarrollados de este distrito con fines similares.

1.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El distrito de La Molina se ubica en la zona este de Lima Metropolitana, en la provincia y departamento de Lima encontrándose localizada en la parte central de la Costa peruana. Su extensión queda definida, aproximadamente, por las siguientes coordenadas geográficas:

12° 00' 03" a 12° 00' 07" Latitud Sur

76° 57' 00" a 76° 51' 00" Longitud Oeste

De acuerdo a la clasificación de Pulgar Vidal, geográficamente el distrito de La Molina se ubica en un área límite entre lo que constituye la parte alta de la región Chala y la parte baja de la región Yunga, con una altitud que va de 350 a 900 m.s.n.m. El manto de nubes que caracteriza a la región Chala tiene un límite superior aproximado en los 500 metros de altitud; sin embargo en La Molina dicho manto suele ser más persistente llegando a los 700 m.s.n.m., a partir del cual la atmósfera está más despejada y la presencia del sol durante la mayor parte del año es una característica evidente de la región Yunga. Sin embargo, la presencia del manto de niebla está en función de la altitud que alcanza, mas no en términos de duración, ya que con frecuencia las nieblas se disipan dando lugar a un medio ambiente templado y hasta soleado.

Al encontrarse La Molina en un área límite geográficamente, aunque con características particulares, nos permite observar en términos generales dos áreas claramente identificables. La que corresponde a la Chala está compuesta de tierras aluviales; son terrenos aptos para la agricultura y es el lugar que los pobladores prehispánicos irrigaron y

dominaron, y donde se asentaron haciendas y fundos agrícolas en las épocas Colonial y Republicana. La zona de la región Yunga está compuesta de terrenos pétreos, arenales y desérticos, no aptos para la agricultura, por la falta de agua, y están ocupados actualmente por viviendas, residencias y canteras de piedra y arena. También forman parte de esta área los rocallosos cerros que afloran en muchas partes del distrito.

El plano P-01 indica el plano base del distrito de La Molina, mostrando la zona urbana que consiste en 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 SISMICIDAD DEL DISTRITO DE LA MOLINA

El distrito de La Molina, 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. El distrito de La Molina, que se encuentra ubicado al sureste de esta ciudad, debido a sus características geomorfológicas y sus tipos de suelos, presenta un comportamiento sísmico particular. La información sísmica obtenida en este distrito durante terremotos pasados, muestra que las intensidades sísmicas registradas son mayores en uno o dos grados que los registrados en otras zonas de la ciudad de Lima. Esta información hace evidente que el nivel de peligro sísmico en este distrito es mucho mayor por las condiciones locales de sitio; en consecuencia, se requiere realizar una evaluación detallada de la actividad sísmica reportada para poder estimar con mayor precisión su efecto en las diferentes zonas del área de estudio.

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 sismo del 23 de Junio de 2001, este evento fue sentido en el centro y sur del Perú, y norte de Chile. Tuvo una magnitud de 8.4 Mw. Las intensidades máximas fueron de VII y VIII (MM) sobre un área que incluye las localidades de Ocoña, Camaná, Mollendo, Chala, Caravelí, Arequipa, Moquegua y Tacna. Este terremoto dio origen a un tsunami que afectó la localidad de Camaná con olas de 4 a 7 metros de altura, llegando a ingresar a más de un kilómetro de distancia tierra adentro, causando muerte y destrucción. Un registro del movimiento sísmico obtenido en la Estación Vizcarra (MOQ 1) de la Red Acelerográfica del CISMID, localizada a 90 Km del litoral y a 60 Km del plano de ruptura, alcanzó valores pico de aceleración de 0.3g en la componente EW y 0.22 g en la componente NS.
- 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.

2.2 EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico del área del proyecto se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica y así como el programa de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos, considerando 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). 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 La Molina, se ha considerado las coordenadas geográficas:

$$76.93^{\circ} \ 12.08^{\circ}$$

Los resultados obtenidos muestran que la aceleración máxima promedio del sismo de diseño considerando un suelo del Tipo B (roca), es de 0.32 g 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 máximas (PGA) que varían entre 0.43 g a 0.52 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%. Estos valores están referidos al basamento rocoso o suelo firme, los cuales pueden ser incrementados por amplificación sísmica debido a las características dinámicas del suelo y al efecto de cuenca que se presenta en este distrito. El coeficiente sísmico para el diseño estará expresado en términos del período de la estructura y del período predominante del suelo.

III. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las características geológicas y geomorfológicas del distrito de la Molina han sido ampliamente estudiados y desarrollado en estudios anteriores. Se presenta un resumen elaborado del informe Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Distrito de la Molina (CISMID 2002) que se adjunta en el Apéndice D.

3.1 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Los rasgos geomorfológicos regionales presentes en el área en estudio, han sido modelados por eventos plutónicos y/o tectónicos, así como por procesos de geodinámica externa.

Las unidades geomorfológicas existentes en el área son clasificadas como quebradas y estribaciones de la Cordillera Occidental, las que a continuación se detallan:

a) Quebradas

Esta unidad geomorfológica comprende las quebradas afluentes que permanecen secas la mayor parte del año, discurriendo agua solo en épocas de fuertes precipitaciones en el sector andino y especialmente asociados al Fenómeno del Niño.

b) Estribaciones de la Cordillera Occidental

Esta unidad geomorfológica, corresponde a las laderas y restos

marginales de la cordillera andina, de topografía abrupta, formado por plutones los cuales han sido emplazados con rumbo NO-SE, los mismos que han sido disectados por las quebradas.

Los rasgos geomorfológicos locales en los taludes están conformados por cerros abruptos (de fuertes pendientes en cotas superiores), lomadas y acumulaciones de baja pendiente al pie de los taludes, algunos de los cuales han sido cubiertos por material eólico.

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

La secuencia estratigráfica de la región abarca las formaciones o superunidades que se ubican en el área de estudio. La geología de esta zona comprende rocas y suelos con edades que van desde el Cretáceo Superior, Terciario y Cuaternario, hasta la más reciente, en el siguiente orden:

Gabrodiorita pertenecientes a la Superunidad Patap. Esta unidad está compuesta por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con edad perteneciente al Cretáceo Superior, de color oscuro, debido a los magnesianos que contiene. La textura de la roca varía de grano medio a grueso, de alto peso específico, conteniendo hornblendas y biotitas.

Granodiorita – Granito, perteneciente a la Superunidad Santa Rosa. Está compuesta por granodioritas resistentes a la compresión, generalmente se encuentran disturbadas e intruyen a las Calizas Atocongo, a la formación Pamplona y al Volcánico Quilmaná.

Depósito Aluvial Pleistocénico. Constituido por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo principalmente por la activación de la quebrada La Molina. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y volcánica y gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversas granulometrías y una matriz limosa a limo arcillosa.

Depósito Coluvio – Aluvial – Eluvial Pleistocénico. Conformado por bloques de roca de naturaleza pétreo del tipo intrusivo o volcánico, con formas que van desde angulosas a subangulosas, con gravas y/o gravillas de forma angulosa y arenas de diversa granulometría en una

matriz limosa.

Depósito Coluvio – Aluvial – Eluvial Antiguo o Reciente. Estos depósitos del Cuaternario Antiguo – Reciente, se encuentran generalmente ubicados al pie de los taludes, evidenciando anteriores eventos de geodinámica externa, ya sea por huaycos y/o actividad sísmica. Estos depósitos están constituidos por bloques de roca de naturaleza pétreo intrusiva y/o volcánica, así como gravas o gravillas de formas que van desde angulosa a subangulosa, en poca o muy poca matriz limosa.

Los procesos de geodinámica interna relevantes en el área de estudio, están asociados a una primera fase de compresión (orogenia andina) ocurrida en el Cretáceo Inferior, al emplazamiento de cuerpos plutónicos del batolito de la costa del Cretáceo Superior y a una segunda fase de compresión en el Terciario Inferior (ruptura o fallamiento en bloque de rocas plutónicas del batolito de la costa).

Los eventos de geodinámica externa están enmarcados por los intensos procesos erosivos ocurridos en el Terciario Inferior y a comienzos del Cuaternario, que se prolongan hasta la actualidad asociadas a fenómenos de flujos (huaycos), derrumbes y caída de bloques de rocas (principalmente de material intrusivo disturbado) y a la ocurrencia de sismos.

3.3 ASPECTOS DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de estudio y alrededores, producto de la fase compresiva del Terciario Inferior, se ha desarrollado un sistema de fallamiento con dirección NO – SE paralelo a la Cadena Andina, que ha favorecido el rápido desarrollo de la erosión lineal, así como un sistema de fracturas que obedecen a procesos tectónicos de compresión Post – batolito. Los grandes esfuerzos tangenciales han causado el fracturamiento intenso de los cuerpos rocosos ígneos, con fracturas limpias que presentan aberturas que van desde los milímetros a los centímetros, lo que ocasiona que en superficie éstas se encuentren disturbadas e inestables.

3.4 PROCESOS GEODINÁMICOS ACTUALES

Los principales procesos geodinámicos en el área de estudio y alrededores han sido originados por las glaciaciones cuaternarias y las precipitaciones fluviales que han afectado en mayor grado el relieve, hasta configurar las geoformas actuales. La actividad de geodinámica externa está representada por fenómenos geodinámicos como derrumbes, desprendimientos de rocas, flujos (huaycos), etc., en especial asociado al material ígneo disturbado y a la reactivación de flujos antiguos (huaycos) que han ocurrido principalmente en el Cuaternario Pleistocénico, mostrándose evidencias de éstos en las laderas, al pie de los taludes y en los cauces de las quebradas.

Para evaluar los peligros geológicos de los taludes que circundan el distrito se ha realizado una inspección de algunos sectores de las laderas en el área de estudio, habiéndose identificado los siguientes fenómenos de geodinámica externa:

En Las Viñas se presentan fenómenos del tipo derrumbe y caída de bloques de roca, reactivación de huayco antiguo y caída de bloques de roca. En Rinconada del Lago se pueden apreciar fenómenos del tipo derrumbe y caída de bloques de roca y en Musa se tiene el fenómeno tipo reactivación de huayco antiguo.

Los resultados de la Evaluación del Peligro Geológico en los taludes permiten concluir lo siguiente:

En los taludes ubicados en Las Viñas los tramos que presentan Peligro Geológico equivalente a muy elevado son: Zona D – Talud Centro Parroquial Virgen del Morro; elevado a muy elevado: Zona A – Tramo 5 y elevado Zona A – Tramo 4. El resto de tramos presenta Peligro Geológico de bajo a moderado.

En Rinconada del Lago los tramos que presentan Peligro Geológico equivalente a muy elevado son: Zona A – Tramo 2 y Zona B – Tramo 2. El resto de tramos presenta Peligro Geológico a bajo a moderado.

En Musa se tienen rangos de Peligro Geológico potencial equivalente a muy elevado (Zona A (q1) y elevado Zona B (q2)). Las demás quebradas presentan riesgo geológico bajo a moderado.

IV. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO DE LA MOLINA

4.1 PERFIL ESTRATIGRÁFICO.

Para determinar las características geotécnicas de La Molina se ha tomado como base la recopilación de estudios geotécnicos realizados para el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima, así como los ejecutados por terceros. Esta información ha sido complementada con un programa de exploración geotécnica de verificación realizado en este estudio. La ubicación de todos los estudios recopilados y las calicatas ejecutadas de indican en el Plano P-01. Los registros de calicatas ejecutadas y recopiladas se muestran en los anexos I y II, respectivamente del Apéndice B.

El terreno superficial del área de estudio, de acuerdo a sus características geomorfológicas, presenta una conformación errática, variando los afloramientos rocosos en las laderas de los cerros, a suelos coluviales y aluviales en las zonas bajas próximas a los cerros y material fluvio aluvial potente en las zonas llanas del valle, a distancias relativamente grandes de los cerros. Existen también áreas cubiertas por materiales eluviales, predominantemente arenas eólicas que se han depositado en potentes bancos en las depresiones y en algunas laderas de los cerros, lo cual hace que la estratigrafía del subsuelo sea bastante variable en toda el área de estudio.

El distrito de La Molina presenta una configuración de suelos muy errática y heterogénea, pudiéndose definir cuatro sectores predominantes con características geotécnicas similares, como se muestra en los planos del Apéndice B, las cuales se describen a continuación:

En el sector Noroeste del distrito de La Molina, localizada entre las avenidas Separadora Industrial y la avenida Javier Prado Este, el perfil del suelo está representado por los registros correspondientes a las calicatas C-1, C-4, C-5 y C-6. Este perfil muestra un relleno superficial constituido por limos y arcillas contaminadas con restos aislados de ladrillos y presencia de abundantes raíces, de hasta 0.60 m de espesor y en estado húmedo, debajo de este estrato se encuentra predominantemente una arena arcillosa (SC) y en algunas calicatas una arena limosa (SM) cuya compacidad es medianamente densa, los cuales tienen profundidades

variables, siendo la máxima de acuerdo a los estudios recopilados de 1.90. Subyaciendo a este material se encuentra la grava mal gradada con matriz limosa (GP-GM), en estado suelto a semicompacto, con presencia de cantos rodados y boloneras.

En el sector Sur de La Molina, correspondiente a las urbanizaciones Las Viñas de La Molina, El Valle, Portada del Sol I Etapa y Cascajal, el perfil de suelo está representado por los registros de las calicatas C-2, C-3 y los registros recopilados. El perfil de suelo está conformado por un relleno superficial de hasta 1.20 m de espesor, constituido por arcilla limosa mezclado con gravas de hasta 12 pulgadas, en estado suelto. Luego se encuentra concentraciones de material fino como la arena limosa (SM), color marrón de compacidad media, que en algunas excavaciones se encuentran intercaladas por lentes de arcilla limosa (CL-ML), de acuerdo a los estudios recopilados el estrato limo arcilloso es de hasta 5.00 m de potencia y el estrato de arena limosa de hasta 8.00 m. Los registros recopilados también muestran que las zonas cercanas a las laderas de los cerros está conformado predominantemente por material granular, constituidos por gravas mal gradadas y estratos de arena mal gradadas que alcanzan profundidades de 21.00 a 27.00 m.

En el sector Este de La Molina, comprendida por las urbanizaciones Sol de La Molina I Etapa, Sol de La Molina, Sol de La Molina II Etapa, Sol de La Molina III Etapa, Alameda de La Planicie, La Molina y La Planicie, está constituido por rellenos heterogéneos de hasta 1.60 m de espesor, de acuerdo a los registros recopiladas y las calicatas C-7, C-8 y C-9. Luego se encuentra la arena limosa (SP-SM), en estado húmeda, cuya compacidad varia de medianamente denso a denso. En las laderas de los cerros la arena limosa (SP-SM) se encuentra de hasta 2.00 m de profundidad. Subyaciendo a este estrato se encuentra la grava mal gradada.

En el Sector central de La Molina, en las urbanizaciones Haras de La Molina, Rinconada Baja, Portales, Las Lagunas y la Universidad Nacional Agraria La Molina, según los estudios recopilados el perfil de suelo está constituido predominantemente por suelos arcillosos limosos y arenosos en los estratos superficiales, los cuales llegan hasta 50.00 m de profundidad en promedio. Sin embargo, es de notarse también que conforme se aproxima a las laderas de los cerros se va presentando

mayor concentración de material gravoso, probablemente de origen coluvial.

4.2 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 geogénica (GIS). Con esta herramienta ha sido posible visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los diferentes tipos de suelos en el área en estudio, siendo posible elaborar mapas de suelos para varios niveles de profundidad, tal como se muestran en los Planos P-02 y P-03 y que se encuentran en el Apéndice B.

Esta 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 definir el mapa de microzonificación sísmica de La Molina.

El Plano P-02 (Apéndice B) muestra un mapa de tipos de suelos al nivel de 1 m de profundidad, el cual es el nivel promedio de la profundidad de cimentación para las edificaciones convencionales. En este plano se puede observar que gran parte de la zona se encuentra cimentada sobre estratos de suelos arcillosos limosos o arenas limosas de compacidad suelta, lo cual se corrobora con los diseños de cimentaciones especiales como zapatas conectadas o plateas de cimentación consideradas en los estudios de mecánica de suelos recopilados para diferentes proyectos de ingeniería.

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, los cálculos y detalles se encuentran en el Apéndice B.

Adicionalmente se incorpora en la evaluación geotécnica la delimitación de las áreas de taludes inestables, identificadas en el estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima realizada por el CISMID el año 2002 y 2004 (Apéndice D)

En función a los perfiles estratigráficos encontrados en las diferentes áreas del distrito de La Molina, se ha dividido el área de estudio en cuatro zonas, habiéndose evaluado la capacidad de carga en cada una de ellas, tal como se describe a continuación:

Zona I: Está conformada por las laderas de los cerros donde existen afloramientos rocosos o estratos gravosos de origen coluvial y pequeño espesor, los cuales presentan una buena capacidad portante. Esta zona constituye una delgada franja que circunda todo el distrito de La Molina. Se han excluido de esta zona las áreas de taludes identificadas como de peligro moderado o alto, sin embargo, como dicho estudio estuvo limitado a tres zonas específicas, podrían existir otras áreas de alto peligro que deba ser excluidas de la Zona I.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho cimentada a una profundidad de 0.80 m a 1.20 m varía de 2.0 kg/cm² a 4.0 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una grava compacta o roca; es decir, se deberá atravesar el estrato de relleno superficial que es heterogéneo y se encuentra en estado suelto.

Zona II: Abarca la zona relativamente plana, que se extiende desde el pie de las laderas hacia la zona del valle, conformada predominantemente por suelos gravosos coluviales y estratos de arena mal graduada de moderado espesor. En esta zona se encuentran ubicadas gran parte de las urbanizaciones Portada del Sol, SITRAMUN, Cascajal, La Capilla, Las Lomas de La Molina Vieja, Rinconada del Lago, La Planicie, Musa, así como también parte de otras urbanizaciones que se encuentran circundando la zona central del valle.

En esta zona también se incluye al sector conformado por las Urbanizaciones Santa Patricia, La Fontana, Magdalena Sofía, Villa F:A.P “Fundo Vásquez”, Camino Real, Los Captus, Mayorazgo entre otros, cuyo terreno de fundación está conformado por la grava aluvial

del río Rímac, que en este sector conforma una transición con los depósitos de suelos arenosos y finos profundos localizados en la parte central del distrito.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.2 kg/cm² a 2.0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.00 m a 1.50 m. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por un suelo arenoso denso o grava compacta.

Zona III: Esta zona cubre la parte central del valle, conformado por suelos finos y arenosos potentes, abarcando principalmente el área comprendida entre las urbanizaciones El Remanso de la Molina y Las Viñas de La Molina, así como por toda el área de la urbanización El Sol de La Molina. En esta zona se encuentran también parte de las urbanizaciones La Estancia, El Haras, Los Portales, Rinconada Baja y Las Lagunas.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m varía de 0.80 Kg/cm² a 1.0 Kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.50 m a 2.00 m.

Zona IV: Esta zona abarca la parte central y más profunda de valle, conformado mayormente por suelos finos y arenosos de gran potencia. Está conformada por la mayor parte de las urbanizaciones La Molina Vieja, La UNA La Molina, El Haras y Las Lagunas. La capacidad portante del terreno en esta zona es baja, para una cimentación corrida de 0.60 m varía de 0.60 Kg/cm² a 0.8Kg/cm², especialmente en las áreas cubiertas por arenas finas de baja compacidad.

En esta zona se incluyen también las áreas de laderas clasificadas como de alto peligro por problemas de estabilidad de taludes, cuya evaluación se ubica en el Apéndice D.

El mapa 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 LA MOLINA

5.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reconoce la importancia de las condiciones locales de sitio, 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 y topográficas de la zona en consideración.

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. Existen varios métodos de exploración geofísica y geotécnica orientadas a determinar dichos parámetros dinámicos del suelo.

Para evaluar los efectos de las condiciones locales de sitio sobre la respuesta dinámica de los suelos en el distrito de la Molina se han empleado los siguientes métodos:

- Ensayos de medición de ondas de corte – método MASW
- Ensayos de medición de Microtrepidaciones.

Detalles de los resultados de los ensayos ejecutados se encuentran en el Apéndice C.

Además en el estudio de Vulnerabilidad Sísmica del distrito de La Molina en Lima realizado por el CISMID el año 2002 se ejecutaron Análisis de respuesta dinámica unidimensional y Análisis de la respuesta dinámica bidimensional empleando el método de elementos finitos, con el objetivo de determinar factores de amplificación sísmica, los métodos de estos análisis se resumen en el acápite 5.4. En el presente estudio se utilizan los factores de amplificación obtenidos de estos análisis. La determinación de estos factores se ubica en el Apéndice D.

5.2 ENSAYOS DE MEDICIÓN DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO MASW

La exploración geofísica fue ejecutada con el objeto de determinar la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) del terreno en el área de estudio mediante ensayos MASW para la obtención de perfiles de ondas S. Con la información obtenida de este ensayo es posible 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 21 ensayos MASW con un total de 1341 m de longitud. La ubicación de las líneas sísmicas ejecutadas en las zonas de estudio se presenta en el Plano P-01 ubicado en el Apéndice C y en la Tabla 1 se presenta un listado de los sondajes realizados la cual también se ubica en el Apéndice C.

5.2.1 Fundamento Teórico

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 u Ondas R) 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 20 a 25 m en promedio.

5.2.2 Trabajos de Campo

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.
- 15 sensores o geófonos de 10Hz 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.

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 líneas MASW de 53 m y 72 m de longitud. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue un martillo de 25 lbs.

Se realizaron en total 21 sondajes cuya longitud de separación entre sensores o geófonos fue de 3 m para las líneas de 53 m y de 4 m para las líneas de 72m. La ubicación de los sondajes MASW ejecutados en el distrito La Molina se presentan en el Plano P-01 del Apéndice C, los registros de las ondas sísmicas se presentan en el Anexo C-1. Así mismo, en el Anexo C-5 se presenta el panel fotográfico que documenta las diferentes actividades realizadas en

el trabajo de campo, durante la realización de estos ensayos. Ambos anexos se encuentran en el Apéndice C.

5.2.3 Perfiles Sísmicos

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, Apéndice C, 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, Apéndice C. Con esta información se realizó la interpretación de los sondajes sísmicos del área investigada, los cuales se presentan en las Figuras 01 a 21 del Anexo C-3, Apéndice C, 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 estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 180 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa suelta.

El segundo estrato, de 5 a 11 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 290 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arcilla de consistencia media.

El tercer estrato, de 11 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 380 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente gradada densa.

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 estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa medio densa.

El segundo estrato, de 5 a 9 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 560 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava arenosa densa.

El tercer estrato, de 9 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 720 m/s. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava arenosa muy densa.

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 estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 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 valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 340 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a un material de grava arenosa medio densa.

El segundo estrato, de 4 a 9 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava arenosa densa.

El tercer estrato, de 9 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 700 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava arenosa muy densa.

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 estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 7 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 260 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio densa.

El segundo estrato, de 7 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 380 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena limosa densa.

Sondaje MASW-05

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 5, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena pobremente gradada medio densa.

El segundo estrato, de 5 a 15 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena densa con presencia de partículas de grava.

El tercer estrato, de 15 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 520 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena muy densa.

Sondaje MASW-06

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 6, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 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 valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena medio densa.

El segundo estrato, de 3 a 15 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena medio densa a densa.

El tercer estrato, de 15 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 600 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava densa.

Sondaje MASW-07

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 7, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena medio densa.

El segundo estrato, de 5 a 15 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 350 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena densa.

El tercer estrato, de 15 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 520 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena muy densa.

Sondaje MASW-08

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 8, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 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 valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por grava arenosa medio densa.

El segundo estrato, de 4 a 16 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa medio densa a densa.

El tercer estrato, de 16 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 700 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava muy densa.

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 estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 4m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 200 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena limosa suelta.

El segundo estrato, de 4 a 13 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 375 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio densa a densa.

El tercer estrato, de 13 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 580 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava arenosa densa.

Sondaje MASW-10

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 10, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 11m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por la intercalación de material limoso y arena pobremente gradada con arcilla, densa.

El segundo estrato, de 11 a 21 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada medio densa con intercalación de arcilla dura.

El tercer estrato, de 21 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente gradada muy densa.

Sondaje MASW-11

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 11, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 4m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 200 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena limosa suelta.

El segundo estrato, de 4 a 9 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 320 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio densa a densa.

El tercer estrato, de 9 a 15 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla semidura a dura.

El cuarto estrato, de 15 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena limosa muy densa con intercalación de grava densa.

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 estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 4m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 340 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por grava arenosa medio densa.

El segundo estrato, de 4 a 11 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 480 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa densa.

El tercer estrato, de 11 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 650 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava arenosa muy densa.

Sondaje MASW-13

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 13, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 460 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por grava pobremente gradada medio densa.

El segundo estrato, de 5 a 20 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 650 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada densa a muy densa.

El tercer estrato, de 20 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 750 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava muy densa.

Sondaje MASW-14

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 14, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 10 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 200 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por una arcilla de consistencia media con intercalaciones de arena y limo.

El segundo estrato, de 10 a 13 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 450 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada medio densa.

El tercer estrato, de 13 a 27 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 600 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava pobremente gradada densa.

El cuarto estrato, de 27 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 750 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava muy densa.

Sondaje MASW-15

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 15, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 4m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 200 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por una arena limosa suelta.

El segundo estrato, de 4 a 9 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla de consistencia media con intercalaciones de arena medio densa.

El tercer estrato, de 9 a 18 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 350 m/s en

promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arcilla semidura con intercalación de arena densa.

El cuarto estrato, de 18 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 410 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arcilla dura con intercalaciones de arena densa a muy densa.

Sondaje MASW-16

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 16, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 15 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 350 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por grava pobremente gradada medio densa.

El segundo estrato, de 15 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 550 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava pobremente gradada densa.

Sondaje MASW-17

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 17, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena pobremente gradada medio densa con presencia de partículas de grava.

El segundo estrato, de 5 a 18 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 450 m/s en

promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena gruesa muy densa con presencia de partículas de grava.

El tercer estrato, de 18 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 580 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava densa.

Sondaje MASW-18

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 18, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena fina medio densa a densa con presencia de partículas de grava.

El segundo estrato, de 5 a 20 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 450 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena fina densa a muy densa con presencia de partículas de grava.

El tercer estrato, de 20 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 650 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava densa.

Sondaje MASW-19

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 19, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 180 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena suelta.

El segundo estrato, de 5 a 13 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 280 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla de consistencia media con intercalaciones de arena medio densa.

El tercer estrato, de 13 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 430 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arcilla semidura a dura con intercalaciones de arena densa a muy densa.

Sondaje MASW-20

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 20, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 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 valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 180 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por una arena suelta.

El segundo estrato, de 2 a 9 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 260 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla limosa de consistencia media.

El tercer estrato, de 9 a 16 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 350 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente gradada densa.

El cuarto estrato, de 16 a 25 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 470 m/s en

promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente gradada muy densa.

Sondaje MASW-21

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 21, de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 150 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena pobremente gradada suelta.

El segundo estrato, de 5 a 12 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla de consistencia media.

El tercer estrato, de 12 a 30 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 350 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente gradada densa.

5.3 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.

5.3.1 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.

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 máxima amplificación del terreno a partir del valor máximo del cociente espectral entre los componentes del movimiento horizontal y vertical en la superficie.

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

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 de las microtrepidaciones, como comúnmente se han estado evaluando.

5.3.2 Trabajos de Campo

Para este ensayo fue utilizado el siguiente equipo:

- Un equipo de Microtremor Tokyo Sokushin.

- Computadora portátil, PC Toshiba SS-3480 PA-DS60P1N8M. CPU Pentium III 600MHz. RAM 64MB. Disco duro 12 GB.
- Tres sensores de Servo-velocidad de 10 kines, Tokyo Sokushin.
- Software de adquisición y procesamiento de datos y FFT (SPC35-N).

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

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.

Los ensayos fueron realizados en puntos ubicados para complementar los estudios de Vulnerabilidad Sísmica del Distrito de La Molina (CISMID 2002 y 2004) y Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima y Callao (CISMID 2004), en donde se determinaron periodos predominantes para los suelos de La Molina. Las ubicaciones de los nuevos puntos donde se efectuaron las mediciones de microtrepidaciones se muestran en el Plano 02 y forma parte del Apéndice C; asimismo los registros de vibraciones obtenidos en campo y su correspondiente espectro de procesamiento se muestran en el Apéndice C. En total se ejecutaron mediciones en 19 puntos del distrito. Los valores de microtremores obtenidos de los estudios mencionados se encuentran en el Apéndice D.

5.3.3 Discusión de Resultados

En el Plano P-03 del Apéndice C se presenta las curvas de isoperiodos dominantes del terreno determinada para el distrito de

La Molina 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 19 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 gravoso o en roca, hasta 0.40 s. en las zonas de suelos arenosos y suelos finos con buena potencia, reflejando de alguna manera a las características geológicas y geotécnicas que se encuentran en la zona en estudio. En la parte central del distrito el período predominante del suelo varía entre 0.30 s y 0.40 s. Hacia el Este los valores del periodo se encuentran entre 0.20 s y 0.40 s. En el Noroeste predomina claramente el periodo de 0.10 s. Desde el Suroeste hacia el Oeste los periodos varían entre 0.10 s y 0.40 s.

Con respecto a los valores de amplificación relativa, los obtenidos en estos nuevos puntos varían desde 1.53 veces en la zona de suelos gravosos hasta 10.31 veces en suelo granular suelto y profundo. Estos valores tienen una buena correlación con los resultados obtenidos por el CISMID (2002) en el análisis bidimensional realizado en el suelo de este distrito (Apéndice D).

Estos valores mantienen una tendencia esperada en el comportamiento dinámico de este tipo de materiales y son consistentes con la distribución de daños observados en sismos pasados.

5.4 FACTORES DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA

El CISMID realizó el estudio “Vulnerabilidad Sísmica del distrito de la Molina” en el 2002, en dicho estudio se determinaron factores de amplificación sísmica para el distrito distribuido en cuatro zonas definidas en este estudio, a continuación se presenta un resumen de los métodos empleados. Detalles de la metodología empleada y resultados obtenidos se encuentran en el Apéndice D.

5.4.1 Análisis Unidimensional

El análisis unidimensional de respuesta del suelo está basado en la suposición de que el suelo está formado por un sistema de depósitos de estratos aproximadamente horizontales, y que la respuesta del suelo es causado predominantemente por ondas SH propagándose verticalmente desde la roca. Debido a que las velocidades de propagación de ondas en los materiales superficiales son generalmente menores que en los materiales más profundos, las ondas son usualmente reflejadas entre los estratos horizontales a direcciones cada vez más verticales. Bajo estas condiciones los modelos unidimensionales producen respuestas del suelo bastante cercanas con las observadas en mediciones reales.

Para realizar el análisis unidimensional de la respuesta del suelo de la Molina se empleó el programa de cómputo SHAKE, desarrollado por Shnabel (1972). Este programa realiza un análisis lineal equivalente de la respuesta del suelo. Los análisis sísmicos se efectuaron tomando como sismos de entrada a los sismos de Lima del 17 de Octubre de 1966, del 31 de Mayo de 1970 y del 03 de Octubre de 1974; registrados por el acelerógrafo localizado en la Estación del Parque de la Reserva. Estos sismos se normalizaron para valores de sismos leves a moderados (0.1 g y 0.2 g), y para sismos fuertes a severos (0.3 g y 0.4 g.)

5.4.2 Análisis Bidimensional

Los métodos de análisis unidimensionales de la respuesta del suelo son útiles cuando se tienen superficies horizontales con materiales que forman estratos aproximadamente horizontales. Tales casos se presentan comúnmente en la práctica de la ingeniería, sin embargo, en algunos casos cuando se tienen superficies de suelo irregulares, de topografía y/o geología especial, el modelamiento unidimensional no suele ser el más adecuado, en tales casos resulta preferible usar un análisis bidimensional o incluso un análisis tridimensional. En el caso de la Molina, un valle rodeado de cerros rocosos, y

conformado por arcillas y suelos arenosos de potencias variables y profundidades de roca que alcanzan hasta los 150m a 200m en la parte de mayor profundidad, se ha creído conveniente realizar un análisis bidimensional de la respuesta del suelo empleando el método de elementos finitos.

El modelamiento bidimensional de la respuesta de los suelos de la Molina se efectuó mediante el uso del software GEOSOFTE desarrollado en el Laboratorio Geotécnico del CISMID. GEOSOFTE permite realizar el análisis no lineal estático y dinámico de estructuras geotécnicas. Para el modelamiento geométrico y numérico hace uso del método de elementos finitos. Así mismo, el comportamiento no lineal de los materiales es simulado mediante el uso del modelo hiperbólico en el caso del análisis estático y del modelo lineal equivalente en el caso del análisis dinámico.

Al igual que en el análisis unidimensional, los análisis se efectuaron tomando como sismo de entrada el sismo de Lima del 3 de Octubre de 1974 normalizado a una aceleración máxima de 0.3g.

5.4.3 Factores de amplificación

Los resultados obtenidos por el análisis unidimensional fueron comparados con los resultados obtenidos para el análisis bidimensional, comprobándose semejanza en los valores obtenidos. En la mayoría de los casos, el análisis bidimensional arroja valores de amplificación relativamente más altos debido al efecto de cuenca que se tiene en el distrito de la Molina, que es mejor representado por un modelo bidimensional.

Los factores de amplificación propuesta para las cuatro zonas definidas para el distrito de la Molina son:

ZONA 1:	Factor 1 a 2
ZONA 2:	Factor 2 a 4.
ZONA 3:	Factor 4 a 5
ZONA 4:	Factor mayor a 5

Estos valores de amplificación son utilizados en el presente estudio para la caracterización del mapa de microzonificación sísmica.

VI. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

El mapa de microzonificación sísmica se elabora en función de la superposición de los resultados obtenidos del mapa de microzonificación geotécnica, el mapa de curvas de isoperiodos y los factores de amplificación determinados tanto en el estudio del CISMID (2002) y los obtenidos del ensayo de Microtrepidaciones en los 19 puntos medidos en el distrito en el presente estudio, cuyos valores son presentados en la tabla del Apéndice C. Estos valores se correlacionan adecuadamente con los factores determinados en el estudio del CISMID (2002).

Producto de esta superposición se ha subdividido al distrito de La Molina en cuatro zonas, las cuales se describen a continuación. Se recalca que en el mapa de microzonificación geotécnica se ha incorporado las áreas de peligro de talud, determinadas en el estudio “Vulnerabilidad Sísmica del distrito de la Molina”, contenido en el Apéndice D.

Zona I: Está conformada por las laderas de los cerros donde existen afloramientos rocosos o estratos gravosos de origen coluvial y pequeño espesor, los cuales presentan una buena capacidad portante. Esta zona constituye una delgada franja que circunda todo el distrito de La Molina. Se han excluido de esta zona las áreas de taludes identificadas como de peligro moderado o alto, sin embargo, como dicho estudio estuvo limitado a tres zonas específicas, podrían existir otras áreas de alto peligro que deban ser excluidas de la Zona I.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho cimentada a una profundidad de 0.80 m a 1.20 m varía de 2.0 kg/cm² a 4.0 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una grava compacta o roca; es decir, se deberá atravesar el estrato de relleno superficial que es heterogéneo y se encuentra en estado suelto.

El comportamiento dinámico del terreno en esta zona es adecuado, por lo que se espera que no incremente el nivel de peligro sísmico, excepto en las áreas de fuerte pendiente y en las partes altas de los cerros, que pueden presentar amplificaciones por efectos topográficos. Los periodos dominantes

del suelo se ubican alrededor de 0.10 s. Los factores de amplificación sísmica obtenidos para esta zona varían en un intervalo de 1.0 a 2.0.

Zona II: Abarca la zona relativamente plana, que se extiende desde el pie de las laderas hacia la zona del valle, conformada predominantemente por suelos gravosos coluviales y estratos de arena mal graduada de moderado espesor. En esta zona se encuentran ubicadas gran parte de las urbanizaciones Portada del Sol, SITRAMUN, Cascajal, La Capilla, Las Lomas de La Molina Vieja, Rinconada del Lago, La Planicie, Musa, así como también parte de otras urbanizaciones que se encuentran circundando la zona central del valle.

En esta zona también se incluye al sector conformado por las Urbanizaciones Santa Patricia, La Fontana, Magdalena Sofía, Villa F:A.P “Fundo Vásquez”, Camino Real, Los Captus, Mayorazgo entre otros, cuyo terreno de fundación está conformado por la grava aluvial del río Rímac, que en este sector conforma una transición con los depósitos de suelos arenosos y finos profundos localizados en la parte central del distrito.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.2 kg/cm² a 2.0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.00 m a 1.50 m. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por un suelo arenoso denso o grava compacta.

En esta zona se espera un moderado incremento del nivel de peligro sísmico por efecto del comportamiento dinámico del terreno. Los periodos dominantes del suelo varían de 0.10 s a 0.20 s. Los factores de amplificación sísmica obtenidos para esta zona varían en un intervalo de 2.0 a 4.0.

Zona III: Esta zona cubre la parte central del valle, conformado por suelos finos y arenosos potentes, abarcando principalmente el área comprendida entre las urbanizaciones El Remanso de la Molina y Las Viñas de La Molina, así como por toda el área de la urbanización El Sol de La Molina. En esta zona se encuentran también parte de las urbanizaciones La Estancia, El Haras, Los Portales, Rinconada Baja y Las Lagunas.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m varía de 0.80 Kg/cm² a 1.0 Kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.50 m a 2.00 m.

El comportamiento dinámico del terreno en esta zona es desfavorable por lo que se espera un fuerte incremento del nivel de peligro sísmico. Los

periodos dominantes del suelo varían de 0.30s a 0.40 s. Los factores de amplificación sísmica obtenidos para esta zona se encuentran en un intervalo de 4 a 5.

Zona IV: Esta zona abarca la parte central y más profunda de valle, conformado mayormente por suelos finos y arenosos de gran potencia. Está conformada por la mayor parte de las urbanizaciones La Molina Vieja, La UNA La Molina, El Haras y Las Lagunas. La capacidad portante del terreno en esta zona es baja, para una cimentación corrida de 0.60 m varía de 0.60 Kg/cm² a 0.8Kg/cm², especialmente en las áreas cubiertas por arenas finas de baja compacidad.

En esta zona se incluyen también las áreas de laderas clasificadas como de alto peligro por problemas de estabilidad de taludes.

El comportamiento dinámico del terreno es el más desfavorable, es el área del distrito de La Molina que está expuesta a los más altos niveles de peligro sísmico y donde se han registrado los mayores daños en sismos pasados. Los periodos dominantes del suelo toman valores igual o mayores a 0.40 s. Los factores de amplificación obtenidos en esta zona son igual o mayores a 5.

Esta microzonificación se presenta en el plano P - 02 de este informe, las zonas son identificadas mediante colores correspondiendo a la zona I el color verde, zona II el color amarillo, zona III color naranja y zona IV el color rojo.

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.
- 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 Publicati3n , USA.
- Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificaci3n Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organizaci3n 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 (1992), "Estudio de Peligro Sísmico para el Afianzamiento Hídrico del Río Cañete – Lima". Informe Técnico, Lima, Perú.
- CISMID (2002), "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del distrito de La Molina-Fase 1". Informe Técnico, Lima, Perú.
- CISMID (2004), "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del distrito de La Molina-Fase 2". Informe Técnico, Lima, Perú
- CISMID (2004), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 distritos de Lima y Callao". Informe Técnico, Lima, Perú
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs. 1538-1606.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalizaci3n Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transici3n que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transici3n en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.

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

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.
Martinez, A. (1997) "Licuación de Suelos Gravosos", XI CONIC, Trujillo.

Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.

Martinez, J. A. (1997). "Ensayos de Microtrepidaciones y Apreciaciones Geotécnicas para la Microzonificación del Distrito de la Molina" Tesis, FIC-UNI

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.

Tavera, H., y E. Buforn. (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.

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.

PLANOS

