



PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

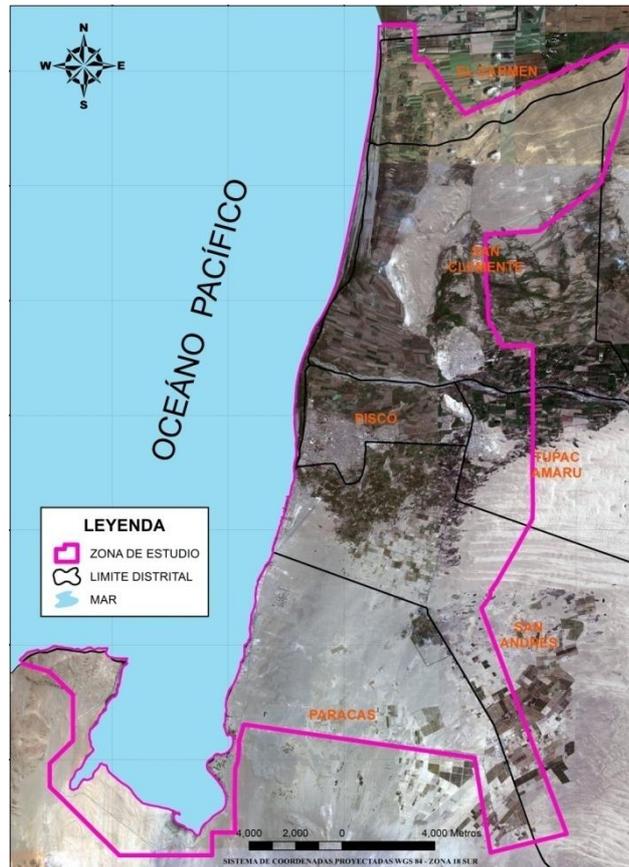
Viceministerio de
Vivienda y Urbanismo

Programa de Gestión
Territorial

CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

“ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA EL ÁMBITO PISCO, SAN CLEMENTE, TÚPAC AMARU SAN ANDRÉS Y PARACAS”

PRODUCTO 2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN



LIMA – Diciembre, 2011



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	2
II.	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	2
III.	INFORMACIÓN RECOPIADA EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO.....	3
IV.	EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	17
V.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
VI.	GEOLOGÍA DEL ÁREA EN ESTUDIO	24
VII.	PROGRAMA DE TRABAJO DE CAMPO Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	30
VIII.	VULNERABILIDAD Y RIESGO DE EDIFICACIONES	32
IX.	VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES EN EL AREA DE ESTUDIO	41
X.	REFERENCIAS	46



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

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



1- PANEL FOTOGRÁFICO

2- LISTA DE ANEXOS

ANEXO A-1 : Sondajes Recopilados - CISMID 1999

ANEXO A-2 : Sondajes Realizados - CISMID 2007

ANEXO A-3 : Perfiles Estratigráfico de Suelos PISCO - INDECI 2007

3- LISTA DE PLANOS

P-01 : Ubicación del Calicatas

P-02 : Tipo de Suelo a 1 m

P-03 : Tipo de Suelo a 2 m

P-04 : Plano Geológico

P-05 : Exploración Geotécnica y Geofísica Propuesta

4- APÉNDICES

APÉNDICE I : Microzonificación Sísmica de la Ciudad de PISCO (CISMID, 2007)

APÉNDICE II : Mapa de Peligros de Pisco y San Andrés - Informe Integrado Pisco – 2007

APÉNDICE III : Investigaciones Geológicas – Geotécnicas realizadas en el distrito de San Clemente



I. INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento tiene dentro de sus proyectos el Estudio de Microzonificación y Riesgo Sísmico para el ámbito Pisco, San Clemente, Túpac Amaru, San Andrés y Paracas, región que fuera afectada por el terremoto del 15 de Agosto del 2007 y que es prioridad del actual gobierno de generar un plan de desarrollo urbano modelo que sirva de base para la reconstrucción de ésta y otras regiones del país. En tal sentido, mediante un convenio específico ha encargado al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) desarrollar el mencionado estudio, integrando la información generada por diferentes instituciones luego de la ocurrencia del desastre y desarrollando un programa de exploración complementario para cubrir toda la zona de estudio.

El plan de trabajo elaborado por el CISMID para lograr los objetivos propuestos en el estudio, contempla la elaboración del estudio de microzonificación sísmica y el análisis de vulnerabilidad de las edificaciones existentes en las diferentes áreas urbanas en el ámbito de la zona de estudio. En ambas actividades, la primera fase del estudio consiste en recopilar la información disponible y que en forma específica y aislada fuera realizada por diversas instituciones en las ciudades afectadas por el terremoto del 15 de Agosto del 2007. En el presente informe se documenta y se hace un análisis de toda la información recopilada, la cual ha sido tomada como base para planificar las actividades de exploración de campo complementarias. Así mismo se presenta la información generada durante las actividades de reconocimiento de campo y evaluación geológica que se han realizado hasta la fecha y el análisis de peligro sísmico del área de estudio.

II. OBJETIVO DEL ESTUDIO

En el marco del convenio específico firmado, el objetivo es ejecutar el “Estudio de Microzonificación y Riesgo Sísmico en el ámbito Pisco, San Clemente, Túpac Amaru, San Andrés y Paracas”. Las principales actividades que contempla dicho estudio son:

- Elaborar el estudio de microzonificación sísmica, identificando las condiciones locales de sitio como uno de los principales factores de daños en las edificaciones, analizando el peligro sísmico, las características geotécnicas del terreno y la dinámica de suelos.
- Realizar el diagnóstico y representarlos en mapas los peligros existentes para el ámbito de estudio.
- Realizar un diagnóstico del estado de los drenajes de las zonas próximas al litoral.
- Determinar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones existentes.



- Diagnosticar la respuesta de las edificaciones a la aceleración máxima inducida por el sismo escenario en base a los parámetros de verificación estructural.
- Elaborar un cuadro de parámetros geotécnicos y de dinámica de suelos con fines de uso en diseños estructurales de los futuros proyectos que se emprendan en la zona de estudio.
- Determinar zonas de rellenos de escombros y ubicar áreas de botaderos para su disposición final.
- Desarrollar expedientes técnicos de módulos de viviendas con características técnicas que vayan de acuerdo al tipo de suelo sobre el cual se construirán.
- Análisis de riesgo de tsunami para las costas del ámbito de estudio.

III. INFORMACIÓN RECOPIADA EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO

El terremoto del 15 de Agosto del 2007 ocasionó un gran desastre en las ciudades de Pisco y Chincha, y en menor magnitud en las ciudades de San Luis y San Vicente de Cañete, Ica, Huaytará y áreas vecinas. Luego de la ocurrencia de este desastre, el CISMID (2007), a solicitud de la Presidencia del Consejo de Ministros realizó estudios de microzonificación sísmica en las ciudades de Pisco, Túpac Amaru, San Andrés, San Luis de Cañete y Huaytará. Por su parte, el INDECI conjuntamente con el INGEMMET, CESEL y CONIDA realizaron también estudios de microzonificación y mapas de peligros en las ciudades de Pisco, San Andrés, Túpac Amaru y San Clemente. Todos estos estudios han sido compilados y se presentan como anexos del presente informe. A continuación se presenta un resumen de los contenidos de dichos estudios, en lo que concierne a la evaluación geotécnica y microzonificación sísmica del ámbito de estudio.

3.1 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE PISCO (CISMID, 2007)

El estudio de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Pisco realizado por el CISMID (2007), cuya parte relevante para este estudio se presenta en el Apéndice I, contiene la siguiente información:

En el Capítulo 1 se presenta la información general del área de estudio y los objetivos planteados para el desarrollo del mapa de Microzonificación Sísmica.

En el Capítulo 2 se desarrollan los aspectos sismológicos del área de estudio, considerando los sismos históricos que se han registrado en esta región, incluyendo el terremoto del 15 de Agosto del 2007, y se evalúa el nivel de peligro sísmico por métodos probabilísticos y determinísticos. Los resultados de estos análisis permiten conocer los niveles de demanda sísmica esperados para el sismo de operación en esta ciudad, que es el evento utilizado para definir los parámetros de diseño sismorresistente.

En el Capítulo 3 se describen las características geomorfológicas, geológicas e hidrogeológicas del área de estudio, esta información está basada en la carta geológica nacional elaborada por el INGEMMET.



En el Capítulo 4 se presentan los trabajos de exploración geotécnica y geofísica desarrollados para determinar las características geotécnicas del terreno de cimentación la ciudad de Pisco. La exploración de campo ha consistido en la excavación de calicatas a cielo abierto y la ejecución de ensayos SPT en varios puntos de la ciudad. Estos trabajos conjuntamente con los estudios de mecánica de suelos recopilados, han permitido definir las características físicas y mecánicas de los diferentes suelos encontrados, así como determinar la profundidad y la capacidad de carga de las cimentaciones, como por ejemplo la de corrida utilizada convencionalmente para la construcción de edificaciones, que es analizada en este estudio.

En el Capítulo 5 se realiza el análisis de respuesta sísmica de los suelos en la ciudad de Pisco. Para determinar los parámetros dinámicos del suelo se han realizado ensayos de medición de microtrepidaciones, monitoreo de réplicas del terremoto del 15 de Agosto y determinación de perfiles de velocidades de ondas de corte (ondas S) mediante ensayos de Arreglos Multicanales de Ondas Superficiales (MASW). Estos perfiles fueron utilizados para definir los espectros de respuesta característicos de cada zona geotécnica, que deberán ser utilizados en el diseño sismorresistente.

En el Capítulo 6 se propone el mapa de microzonificación sísmica que incluye los resultados de todos los análisis realizados. Este mapa involucra las ciudades de San Andrés, Pisco, el CPM de San Miguel y la ciudad de Villa Túpac Amaru, que se integran en un bloque conurbano. En este mapa se considera también los peligros de inundación por Tsunami, los cuales tienen influencia en una franja paralela al litoral, que en este estudio se ha considerado como una zona de alto peligro hasta una cota de 5.0 m, que es el área de inundación más frecuente, y no la zona de inundación máxima ocurrida históricamente, que alcanza alturas mayores a los 13.0 m (Okal, et al, 2006).

3.1.1 Características Geotécnicas de las Ciudades De Pisco, San Andrés y Villa Túpac Amaru

Para determinar las características geotécnicas de estas ciudades se realizó un programa de exploración de campo, el cual consistió en la excavación de 25 calicatas y extracción de muestras de suelo para su respectivo análisis de laboratorio, así como también se realizaron 8 Ensayos de Penetración Estándar (SPT) y ensayos de cono Peck. Además se contó con la información recopilada del estudio de Microzonificación Geotécnica de la Ciudad de Pisco, realizada por el CISMID el año 1999, donde se realizaron un total de 25 calicatas y 17 sondajes de ensayos SPT.

Con la evaluación de los resultados de los ensayos elaborados y de toda la información recopilada se han determinado perfiles de suelos característicos de las diferentes áreas estudiadas y definido zonas con características geotécnicas similares.



PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Con la información geotécnica obtenida durante la exploración de campo realizado, así como los resultados de los estudios de mecánica de suelos recopilados, se han definido una serie de perfiles estratigráficos característicos de las diferentes zonas del área en estudio. Seguidamente se presenta una descripción de éstos para cada una de las zonas urbanas de la ciudad de pisco.

Ciudad de Pisco

La ciudad de Pisco presenta una configuración de suelos muy errática y heterogénea, pudiéndose definir cinco sectores predominantes con características geotécnicas similares las cuales se describen a continuación:

- En el sector Sureste de la ciudad, el perfil muestra un relleno superficial constituido por gravas, arena y limos contaminados con restos aislados de cascajos, de hasta 0.6m de espesor y en estado semicompacto. Subyaciendo a este material se encuentra predominantemente la grava mal gradada con matriz arenosa (GP), para luego continuar con la grava mal gradada de compacidad media. El nivel freático en este sector se ubicó a profundidades de 2.00 m en promedio.
- En la zona Sur de la ciudad, el perfil de suelo está conformado por un relleno superficial de 0.20 m de espesor, constituido por arcilla mezclada con gravas, semi rígida. Luego se encuentra una arena limosa (SM), color beige amarillento a marrón de compacidad media, con gravas aisladas. A 0.50m se encontró el estrato de grava mal gradada con matriz arenosa (GP). El nivel freático se ubicó a 2.00 m de profundidad.
- El sector Norte de la ciudad de Pisco está constituido por rellenos heterogéneos de hasta 0.50 m de espesor conformados por terreno de cultivo de compacidad media. El estrato subyacente a este material es predominantemente la grava mal gradada con matriz arenosa (GP). El nivel freático se ubicó de 0.50 m a 1.00 m de profundidad.
- El sector central de la ciudad de Pisco, presenta predominantemente un relleno heterogéneo de 1.00 m a 1.80 m de espesor. Subyaciendo a este relleno se encuentra un lente de arena limosa (SM-SP) que llega hasta 3.50 m a 4.00 m de profundidad, cuya compacidad varía de suelta a media, de color gris y alto contenido de humedad. Luego se encuentra la grava compacta. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores a 2.00 m.
- En el sector Este de la ciudad de Pisco se presentan afloramientos de diatomitas color beige amarillento, de consistencia rígida.



San Andrés

Esta zona está ubicada aproximadamente a 2.00 Km al sur del centro de la ciudad de Pisco. En este sector el perfil del terreno presenta arenas limosas y rellenos conformados por arenas limosas con presencia aislada de lumaquelas y residuos de basura de compacidad medio suelta hasta 1.00 m de profundidad. Subyaciendo a este material se encuentra estratos potentes de gravas con matriz arenosa (GP), semicomcompacta, con bolonerías aisladas de T.M. 10 pulgadas. El nivel freático en este sector varía entre 1.00 m a 2.00 m de profundidad.

Túpac Amaru

Para la exploración geotécnica de este lugar se realizaron 06 calicatas de hasta 3.00 m de profundidad y 02 Ensayos SPT. Según los registros obtenidos de estas exploraciones se determinó que el perfil estratigráfico presenta tres áreas con características geotécnicas particulares.

- La primera está conformada predominantemente por arena mal gradada con limo (SP-SM), la arena es de color beige claro, de una compacidad media a suelta. Presenta humedad variable desde muy baja a alta.
- La segunda está conformada por un área de relleno heterogéneo colocado sobre una zona pantanosa. En esta zona se presentaron daños severos y hundimiento de edificaciones de albañilería, por lo que se considera que en esta zona no deben construirse edificaciones con cimentaciones superficiales.
- La tercera zona está conformada por afloramiento de material dolomítico, con apariencia de una roca blanda de color beige amarillenta y rígido. Sus características son competentes para la cimentación superficial de edificaciones.

3.1.2 Comportamiento Dinámico del Suelo de las Ciudades De Pisco, San Andrés y Villa Túpac Amaru

La evaluación de las características dinámicas del suelo en la ciudad de Pisco se ha realizado mediante ensayos geofísicos consistentes en la medición de microtrepidaciones y ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW). Estos ensayos han permitido determinar el periodo de vibración predominante del suelo y además obtener perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte, con los cuales se puede modelar la respuesta dinámica del terreno y estimar los factores de amplificación que generan a las ondas sísmicas que arriban desde el subsuelo. En el área de estudio se han realizado 12 ensayos MASW con un total de 742 m de longitud, así como se realizó



la medición de microtemores en 82 puntos distribuidos uniformemente en toda el área urbana y las zonas de expansión

Los ensayos geofísicos realizados en las ciudades de Pisco, San Andres y Villa Túpac Amaru han permitido caracterizar el comportamiento dinámico del terreno de fundación. Según los resultados de estos ensayos se concluye que:

- En el área central y Norte del distrito de Pisco se presentan amplificaciones moderadas a altas en un intervalo de periodos de 0.10 a 0.14 s. Los valores obtenidos con los microtemores indican un suelo intermedio en la parte superficial. Los Espectros de Amplitudes de Fourier de las réplicas registradas por este acelerógrafo muestran un periodo del suelo de 0.12 a 0.13 s, cerca al punto donde se ubicó este acelerógrafo se tomaron puntos de medición de microtemores cuyos registros al ser analizados mediante cocientes espectrales H/V indican un valor de periodo del suelo de 0.10 s, 0.12 s y 0.13 s, valores muy aproximados a los obtenidos por las réplicas, por lo tanto los ensayos de microtemores están aportando valores aceptables del periodo del suelo. Es importante resaltar que la mayoría de daños en las edificaciones de la zona central de la ciudad de Pisco se presentó en edificaciones de 01 y 02 pisos, cuyos periodos de vibración se encuentran aproximadamente entre 0.1 y 0.2 segundos, según los registros de replicas y microtemores, el periodo del suelo de esta zona se encuentra en el intervalo de 0.10 s a 0.14 s., la coincidencia de estos valores determina que la mayor demanda sísmica la recibieron edificaciones de 01 y 02 pisos, lo que explica el tipo de daños en estas edificaciones en comparación con edificaciones mayores a 03 pisos.
- En Villa Tupac Amaru se definen además dos zonas de periodos, una de 0.24 a 0.26 s y otra de 0.39 a 0.40 s., en esta última zona se presentaron los mayores daños a edificaciones y se encuentra adyacente a zonas pantanosas y con presencia de suelos de rellenos heterogéneos.
- Por último, se determina una zona con periodos iguales o menores a 0.10 s, indicando la presencia de suelos firmes que corresponden al área Sur y de expansión del distrito de Pisco, distrito de San Andres y la localidad de San Miguel.

3.1.3 Evaluación de Inundación por Tsunami en la Ciudad de Pisco

La ciudad de Pisco ha sido afectada por Tsunamis un gran número de veces a lo largo de su historia. De acuerdo a la información existente esta ciudad ha sido destruida totalmente por los Tsunamis generados por los terremotos de 1687, 1746 y 1868 (Silgado, 1992) y fuertemente afectada en otros eventos como los terremotos de 1604, 1664, 1877, 1960 y 1974 entre otros, los cuales han generado olas con alturas de 3.0 m a 5.0 m en el litoral de Pisco, afectando principalmente a las edificaciones localizadas a lo largo de la costa.



Un análisis de inundación por Tsunami en la ciudad de Pisco realizados por Sánchez, M y Aguilar, Z. (2001), muestra que un sismo escenario con magnitud Ms 7.5 y localizado a 94 Km de la costa, puede generar un Tsunami con olas de hasta 10.40 m de altura, el cual afectaría hasta el 40% del área urbana de esta ciudad.

En un reciente estudio, Okal, et al (2006) realiza la evaluación de peligro de Tsunami para terremotos regionales en la ciudad de Pisco, donde hace un análisis de las probables alturas de olas generadas por grandes terremotos históricos en el Perú. Según este estudio, terremotos como los de 1746 y 1868, habrían generado en la ciudad de Pisco tsunamis con alturas de olas de 22 m y 15 m respectivamente, generando la destrucción total de esta ciudad. Cabe mencionar que la cota promedio de la ciudad de Pisco es de 17 msnm, en consecuencia, la altura de 22 m indicada por Okal et al (2006) parece poco consistente por lo que requiere una verificación. El análisis de probabilidad de ocurrencia muestra que estos eventos catastróficos tienen un periodo de recurrencia de 140 años; sin embargo, eventos con alturas de olas de 3.0 m a 5.0 m tienen periodos de recurrencia de 50 años en promedio.

Basados en estas investigaciones, se propone como zona de alto peligro de inundación por tsunami a aquella que se encuentra entre el litoral y la cota de 5.0 m, la cual abarca básicamente las dos primeras cuadras del área urbana próximas al litoral.

3.1.4 Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Pisco

Los estudios geotécnicos han determinado que el terreno de las ciudades de Pisco, Túpac Amaru y San Andrés se encuentra conformado superficialmente por un estrato de arena suelta o relleno de material heterogéneo con espesor variable de 0.5 m a 4 mts.

Este material no es adecuado para el soporte de las edificaciones; por tal motivo en las zonas donde tiene mayor espesor se recomienda no construir edificaciones.

Debajo de este estrato se encuentra el material tipo grava compacta, cuyas características son adecuadas para soportar la cimentación de las edificaciones.

La profundidad del nivel freático en toda la ciudad varía entre 0.5 m y 2.0 m. Se ha encontrado material de diatomita que aflora como pequeñas colinas en sectores de las ciudades de Pisco y Túpac Amaru y en el centro poblado San Miguel; las características de este material son adecuadas para la cimentación.



En consecuencia, se establecen microzonas en las ciudades de Pisco, Túpac Amaru y San Andrés y en el centro poblado de San Miguel en relación a su comportamiento geotécnico sísmico, cuya descripción se presenta a continuación:

Zona I: Esta zona está conformada por la ciudad de San Andrés y el sector sur de la ciudad de Pisco. Los terrenos de esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones, está conformado por un estrato superficial de arena limosa suelta o relleno de espesor entre 0.50 m y 0.80 m. Debajo de este material se encuentra una grava aluvial compacta. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores a 1m.

Esta zona también comprende los afloramientos de dolomita que se encuentran en el sector Este de las ciudades de Pisco y Túpac Amaru y en el centro poblado de San Miguel.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho cimentada a una profundidad 1.00 m a 1.20 m en esta zona varía de 2.0 kg/cm² a 3.5 kg/cm², para. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una grava compacta; es decir, se deberá atravesar el estrato de relleno superficial que es heterogéneo y se encuentra en estado suelto. Los resultados de las mediciones de microtrepidaciones muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0.1 seg; así mismo, los perfiles sísmicos de ondas de corte muestran que la grava compacta, con velocidades de propagación de ondas S mayores a 400 m/s se encuentran a profundidades entre 2.0 m y 4.0 m. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

Zona II: Esta zona abarca el sector norte de la ciudad de Pisco y está conformada por un estrato superficial de arena limosa suelta de 0.90 m a 1.5 m de espesor. Debajo de este estrato se encuentra grava aluvial compacta.

El nivel freático en esta zona se encuentra a una profundidad de 0.5 m a 1.00 m. En época de avenida, cuando el acuífero se recarga, la profundidad de la napa freática disminuye, aflorando e inundando algunos sectores de esta zona.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.5 Kg/cm² a 2.0 Kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.00 m a 1.50 m, sobre el material de grava compacta. Los resultados de las mediciones de microtrepidaciones muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0.1 Seg; así mismo, los perfiles sísmicos de ondas de corte muestran que la grava compacta, con velocidades de propagación de ondas S mayores a 400 m/s se encuentran a profundidades entre 3.0 m y 4.0 m. Este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

La construcción de edificaciones en esta zona deberá considerar el efecto de la napa freática alta y el ataque de las sales solubles a la cimentación, así como el mantenimiento de las edificaciones afectadas por los afloramientos de agua.



Zona III: Esta zona abarca el centro de la ciudad de Pisco (A) y la mayor parte de la ciudad de Tupac Amaru (B).

En la ciudad de Pisco (Zona III A) el terreno está conformado por un estrato superficial de relleno heterogéneo con espesor variable entre 1.0 m y 1.8 m. Debajo de este material se encuentra un estrato de arena limosa suelta que alcanza una profundidad de 3.5 m a 4.0 m, seguidamente se encuentra la grava aluvial compacta. El nivel freático de esta zona se encuentra a una profundidad mayor a 1.0 m.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, típica para una edificación convencional no mayor a tres pisos, varía de 0.80 Kg/cm² a 1.0 Kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.80 m a 2.00 m. Es recomendable no cimentar en el estrato de relleno superficial, pues ha quedado demostrado que éste sufre grandes asentamientos generando niveles de daños graves para las edificaciones. Para edificaciones mayores a tres pisos, se exigirá realizar estudios específicos de suelo para el diseño de cimentación.

Los resultados de las mediciones de microtrepidaciones muestran que los periodos de vibración natural en esta zona varían entre 0.1 seg y 0.16 seg; así mismo, los perfiles sísmicos de ondas de corte muestran que la grava compacta, con velocidades de propagación de ondas S mayores a 400 m/s se encuentran a profundidades entre 4.0 m y 7.0 m. De acuerdo a estos resultados se concluye que este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, sin embargo debido al espesor del material de relleno y la arena suelta superficial se le considera como un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

En la ciudad de Túpac Amaru (ZONA III B) el terreno está conformado por un estrato de arena limosa semisuelta con espesor mayor a 5.0 m. El nivel freático de esta zona se encuentra a una profundidad mayor a 1.0 m Este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

La capacidad de carga admisible para una cimentación típica convencional de una edificación no mayor a tres pisos, varía de 0.60 Kg/cm² a 0.8 Kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.50 m a 2.00 m.

Para edificaciones mayores a tres pisos, se exigirá realizar estudios específicos de suelo para definir la profundidad y la capacidad de carga de la cimentación.

Zona IV: Esta zona abarca diferentes áreas localizadas en las ciudades de Pisco y Túpac Amaru, donde el terreno está conformado áreas pantanosas y por rellenos heterogéneos con alto contenido de basura y material de desmonte colocados sobre suelos pantanosos altamente compresibles, con una profundidad mayor a 3.5 m. Estas áreas han sido definidas como zonas críticas debido al nivel de daños que han experimentado las edificaciones de albañilería construidas sobre estos terrenos, habiéndose reportado inclusive la ocurrencia de licuación de suelos. Debido a estas características desfavorables se considera que estas zonas no son aptas para la construcción de edificaciones con cimentación superficial.



En esta zona crítica también se incluye a una franja del litoral, que se encuentra parcialmente conformada por rellenos, y cuya principal amenaza es la inundación por tsunamis. Si bien los Tsunamis generados por grandes eventos sísmicos pueden alcanzar alturas mayores a 13.0 m, existe un mayor probabilidad de la ocurrencia de eventos menores que generarían olas de hasta 5.0 m, lo cual representa un alto peligro para esta zona, por lo cual debe evitarse la construcción de edificaciones.

3.2 MAPA DE PELIGROS DE PISCO Y SAN ANDRÉS. INFORMACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN. SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007 (INDECI, INGEMMET, CESEL, CONIDA, 2008)

El INDECI, INGEMMET, PNUD Ciudades Sostenibles, CESEL Ingenieros y CONIDA han realizado un estudio para elaborar el Mapa de Peligros de las ciudades de Pisco y San Andrés, de la provincia de Pisco, Región Ica, en donde se presenta como producto final la zonificación de peligros de origen natural asociado a la ocurrencia simultánea de fenómenos de origen geológico-geotécnico, climático y geológico-climático, tomando en cuenta los efectos ocasionados por el sismo del 15/08/07. La parte de este informe que es relevante para el presente estudio se muestra en el Apéndice II.

El estudio contempla la evaluación sísmica, hidrológica, geológica y geotécnica del área de urbana de Pisco y San Andrés. Como resultado de esta evaluación, la ciudad de Pisco fue dividida en 03 niveles de peligros múltiples en función a la ocurrencia y magnitud de los fenómenos de origen geológico-geotécnico, climático y geológico-climático; según la descripción siguiente

ZONA DE PELIGRO MEDIO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES:

Comprende la zona sur-este de Pisco Pueblo a continuación de la Av. Las Américas y parte de la zona este de San Andrés. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP), origen fluvial y nivel freático entre 1.2 m a 2.0 m de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular a buena capacidad portante (1.50 a 2.00 Kg/cm²), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una baja a media amplificación sísmica local. Zona no inundable por tsunamis con “run-up” hasta de 6.0 m, ni por desbordes del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias. Zona recomendada para usos urbanos de alta a media densidad y la ubicación de edificaciones indispensables como: Hospitales, Centros Educativos, Cuartel de Bomberos; etc. después de realizar investigaciones geotécnicas normales.

ZONA DE PELIGRO ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES:

Zona al centro y este de San Andrés: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP), origen fluvial y nivel freático entre 1.4 m a 2.0 m de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm²), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local.



Solo la parte oeste de la zona quedaría inundada por un tsunami con “run-up” entre 5.0 m a 6.0 m. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

Zona desde el casco urbano de Pisco Pueblo hasta la carretera Panamericana sur: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen fluvial y nivel freático entre 2.0 m a 4.0 m de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja a regular capacidad portante (0.75 a 1.50 Kg/cm²), moderado a bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. Solo la parte oeste de la zona quedaría inundada por un tsunami con “run-up” entre 5.0 m a 6.0 m. No es afectada por inundaciones por desbordes del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

En esta zona se localizan áreas de relleno antrópico (basura, materiales de construcción y terraplenes) y humedales (zonas con napa freática superficial).

Zona recomendada para usos urbanos de baja a media densidad, luego de realizar investigaciones geotécnicas detalladas y proponer las medidas de reducción de vulnerabilidad estructural requeridas en las edificaciones.

ZONA DE PELIGRO MUY ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES COSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES:

Zona al centro y oeste de San Andrés: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) medianamente consolidados, origen fluvial y nivel freático entre 0,10 m. a 0,80 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm²), muy bajo potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona se inundará con un tsunami con “run-up” entre 3.0 m. a 5.0 m. No es afectada por desbordes del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

Zona norte de Pisco Playa desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau. Zona sur-oeste de Pisco Playa entre las calles Demetrio Miranda y Julio Quiñones con límite al sur por la Av. Las Américas: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen fluvial y marino, con nivel freático entre 0,10 m a 0,80 m de profundidad. El suelo de cimentación tiene muy baja capacidad portante (0.50 a 0,75 Kg/cm²), alto potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. La zona será inundada por un tsunami con “run-up” entre 3,0 m a 5,0 m. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

Zona no recomendable para usos urbanos. Se recomienda su uso como reservas ecológicas o recreación abierta. Su uso requiere la realización de estudios especializados (sismicidad, geología, geotecnia, etc.) con la finalidad de proponer los proyectos de reducción de vulnerabilidad requeridos en las edificaciones y las medidas de mitigación de desastres.



La zona expuesta al menor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza al sur y sur-este de Pisco Pueblo, a continuación de la Av. Las Américas. El sismo del 15/08/07 produjo en las edificaciones de esta zona, daños leves a moderados; lo que coincide con el nivel de peligros asignado: Medio.

La zona expuesta al mayor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza a lo largo del litoral costero de Pisco Playa; en la cual, durante la ocurrencia de un sismo de magnitud importante (MI mayor a 7) se produce el fenómeno de licuación de suelos, es inundada por la ola y “run-up” del tsunami y se presenta una alta amplificación local de las ondas sísmicas; lo que coincide plenamente con el nivel de daños : Severo a colapso que ocasionó el sismo del 15/08/07 a las edificaciones de la zona.

El resto de la ciudad de Pisco hasta el CC PP Amauta, presenta un peligro alto influenciado básicamente por la baja a regular capacidad portante existente y por la posibilidad de amplificación local de ondas sísmicas; por lo que en esta zona, si no se toman las medidas de reducción de vulnerabilidad que el caso amerita, las edificaciones pueden sufrir daños severos a colapso ante la ocurrencia de un evento sísmico, tal como ocurrió durante el sismo del 15/08/07 con estructuras altamente vulnerables (adobe, tapial) y con serias deficiencias estructurales (piso blando, columna corta, baja densidad de muros, etc).

3.2.1 Características Geotécnicas de las Ciudades De Pisco, San Andrés y Villa Túpac Amaru

Para determinar las características geotécnicas del suelo en el área de estudio, se han realizado los siguientes trabajos de exploración de campo:

- 29 calicatas
- 48 DPL
- 19 SEV

Así mismo, por parte del INGEMMET y CESEL Ingenieros fueron realizados ensayos de refracción sísmica, georadar y microtrepidaciones, además de:

- 27 calicatas
- 22 DPL

Los ensayos anteriormente mencionados, especialmente el DPL se realizaron con la finalidad de además de caracterizar el suelo, conocer a que profundidad se encuentra el material más apropiado para cimentar, es decir el suelo gravo-arenoso de origen aluvial.

De los sondajes realizados se concluyó que gran parte de Pisco está ubicado sobre suelos de origen fluvio-aluvial conformado en la parte superficial por arenas limosas de baja plasticidad, variando entre los 0 y 4 metros, más profundamente se encuentra un depósito de gravas arenosas pobremente graduadas con un tamaño máximo de entre 30 cm y 50 cm.



En cuanto a la zona sur de Pisco, específicamente a partir de la Av. Las Américas y San Andrés, el mismo material superficial limo arenoso con una profundidad máxima de 1 metro, a continuación se encuentra el depósito de gravas pobremente graduadas y medianamente compactas.

En la parte central de Pisco, la plaza de armas yace sobre una cobertura areno-limosa de baja densidad relativa y una profundidad variante entre los 3 m y 4m.

Finalmente entre la zona central de Pisco pueblo y la zona sur y sur-este el material gravoso se encuentra entre 1 m y 4 m, variando de esta manera el material de cimentación entre arena-limosa y grava-arenosa.

3.2.2 Capacidad Portante

Tomando en consideración los suelos de fundación encontrados en el área de estudio y asumiendo ciertos parámetros de la cimentación, se ha determinado la capacidad portante de suelos. Entre los parámetros asumidos tenemos una profundidad de cimentación mínima de 1.00 metro, una carga de 30 toneladas transmitida a la zapata, dimensiones de zapata mínima de 1.20 metros por lado, un momento máximo aplicado de 10 t-m, una fuerza horizontal de 4.75 toneladas y un factor de seguridad de 3 para condiciones estáticas, 2.5 para condiciones dinámicas y 2.5 cm de asentamiento máximo.

Con las consideraciones anteriores y utilizando la teoría de Meyerhof para la resistencia al corte y la de Terzaghi para el asentamiento se obtuvo una capacidad portante de 0.50 kg/cm² a 0.75 kg/cm² en zonas donde se encuentran predominantemente suelos areno-limosos, específicamente como los que se encuentran en la playa o muy cerca a ella.

Se tiene una capacidad portante entre 0.75 Kg/cm² y 1.00 Kg/cm² en las zonas ubicadas desde y a lo largo de la avenida Fermín Tangüis hasta la Av. Panamericana Sur.

La capacidad portante para las zonas del lado sur de Pisco Pueblo antes de la Av. Las Américas es de 1.00 Kg/cm² a 1.50 Kg/cm², estos son los lugares donde se tiene el material areno-limoso con una potencia promedio de 2 m y en el distrito de San Andrés.

Finalmente, los mejores suelos tienen una capacidad portante de entre 1.50 kg/cm² y 2.50 kg/cm² en zonas con una cobertura de entre 0.50 m y 1.0 m, específicamente los ubicados en el área sur-este de Pisco.

3.2.3 Agresión Química

En lo que se refiere a la agresión química del suelo, sólo será necesaria la protección a sulfatos con cemento tipo V en el litoral de Pisco y San Andrés, lugares donde se tiene un contenido superior a 2 000 ppm de sulfatos.



3.2.4 Condiciones Dinámicas

Luego de realizar ensayos geofísicos obtuvieron las frecuencias y periodos del suelo (parámetros dinámicos), con lo cual podemos caracterizarlo según la NTP E030:

Para la zona de Pisco y San Andrés, los ensayos reflejaron un periodo inferior a 0.1 segundos, con lo que se establecería un suelo tipo S1, suelo en el cual no existe gran amplificación sísmica, calculada aproximadamente mayor a 4.

En la zona ubicada entre Pisco Pueblo, el océano Pacífico al oeste y una franja a lo largo de la vía principal que llega a la Panamericana Sur, desde aproximadamente el CC PP Pachanga hasta el CC PP Amauta, la frecuencia obtenida fue de 10 a 12 Hz, siendo estos un factor en contra de la amplificación sísmica, teniendo de esta manera una amplificación sísmica de 2.

Las mayores frecuencias oscilan entre 16 Hz y 20 Hz, valores que se encontraron en la zona al sur y sur-este de la Av. Las Américas, zonas en las cuales predomina un suelo gravo-arenoso, consiguiendo de esta manera una amplificación sísmica de 1.50 hasta 2.00.

3.2.5 Potencial de Licuación

De la historia de licuación de la zona de estudio se puede concluir que San Andrés y Pisco Playa tienen un alto potencial de licuación al encontrarse con niveles freáticos en algunos casos superficiales, Pisco Pueblo hasta antes de Pisco Playa tiene un potencial moderado a bajo de licuación, la parte ubicada entre Pisco Pueblo, el océano Pacífico al oeste y una franja a lo largo de la vía principal que llega a la Panamericana Sur, desde aproximadamente el CC PP Pachanga hasta el CC PP Amauta tiene un potencial bajo de licuación y finalmente la zona de nulo potencial de licuación son aquellas ubicadas sobre suelo gravo-arenoso, esto es, en la zona sur y sur-este de Pisco

3.3 INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS REALIZADAS EN EL DISTRITO DE SAN CLEMENTE. SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007 (INGEMMET, CESEL, INDECI, 2007)

Este informe técnico ha sido desarrollado conjuntamente por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), CESEL Ingenieros y el INDECI, el cual ha tenido como objetivo principal proveer de manera simplificada un mapa de la zonificación de la calidad de los suelos en el distrito de San Clemente, provincia de Pisco, luego de que este distrito se haya visto afectado por el terremoto de Pisco del 15 de agosto del 2007. Este informe técnico, cuya parte relevante para el presente estudio se muestra en el Apéndice III, presenta ocho mapas resultantes de las investigaciones geológicas – geotécnicas realizadas en el distrito de San Clemente, provincia de Pisco, luego del sismo del 15 de agosto de 2007.



3.3.1 Características Geotécnicas del Distrito de San Clemente

El mapa de la interpretación geotécnica de los terrenos en el distrito de San Clemente es la resultante de investigaciones geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas del área de estudio, el cual ha sido respaldado con investigaciones de campo de las formaciones y depósitos que gobiernan en la zona, además de trabajos de exploración geotécnica para determinar las características geotécnicas del terreno de cimentación del distrito de San Clemente. La exploración de campo ha consistido en la excavación de calicatas a cielo abierto y la ejecución de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) en varios puntos del distrito.

En función a esta información se ha dividido el área de estudio en dos zonas: como desfavorable y aceptable, de acuerdo a los tipo de problema que gobiernan en cada una de ellas, ya sea de tipo litológico – geomorfológico, geotécnico y/o hidrogeológico.

La Zona Desfavorable, está conformada por tres zonas dentro del distrito de San Clemente. Una primera zona que está ubicada en el suroeste de San Clemente y que tiene problemas del tipo geotécnico, debido a que el suelo corresponde a un suelo arenoso – limoso de compacidad baja, con capacidades de carga bajas a medias (0.50 – 0.75 Kg/cm²), y asentamientos de magnitud media. Asimismo, esta zona presenta también problemas del tipo Litológico – Geomorfológico debido que a que descansa sobre la formación Pisco, donde las rocas se hallan fracturadas, alteradas e intemperizadas por lo que sus características mecánicas son malas. En efecto, las diatomitas, limos y arcillas, que conforman esta unidad, se comportan de manera plástica y expansiva sobretodo en presencia de agua.

La segunda zona desfavorable se ubica al noroeste del distrito de San Clemente, la cual presenta problemas del tipo geotécnico debido a que el área descansa en un suelo areno – limo – arcilloso de compacidad muy suelta a suelta, con capacidad portante entre 0.75 – 1.00 Kg/cm². Esta zona sobreyace a la Formación Huamaní, la cual se encuentra alterada, siendo la calidad del macizo rocoso de mala a media; por ende, pueden presentar problemas como materiales de fundación en relación a la licuación, asentamientos y capacidad de carga.

Por último, la tercera zona desfavorable, ubicada al sur del distrito de San Clemente, se caracteriza principalmente por tener problemas del tipo geotécnico, donde gobierna las arenas de compacidad muy suelta a suelta.

La Zona Favorable, que se considera aceptable desde el punto de vista constructivo, no obstante que presenta también algunos problemas de tipo geomorfológico – geotécnico. La zona Favorable está conformada por dos zonas. Una ubicada al suroeste del distrito, que abarca tanto la Formación Huamaní y la Formación Cañete, cuya formaciones son separadas por costras de sal, las cuales generalmente presentan problemas por ataques químico al concreto.

El territorio de la segunda zona favorable yace en gran parte sobre la formación Cañete, que desde el punto de vista mecánico son materiales bien compactos y con características mecánicas bastante



aceptables a excepción de las zonas intemperizadas, la cual corresponde a un suelo relativamente rígido gobernado por un conglomerado cementado por sales. La capacidad de carga en esta zona es mayor a 3.0 Kg/cm².

3.3.2 Características Dinámicas del Suelo del Distrito de San Clemente

Para conocer la respuesta dinámica del suelo, el registro de microtemores, es considerado como uno de los métodos más sencillos, debido a su rapidez, bajo costo y resultados confiables. En los distritos de Túpac Amaru y San Clemente, se seleccionaron los puntos de registro considerando la zona con mayor densidad poblacional y zonas de posible expansión urbana, cada una de ellas con características geológicas variables (limo arcilloso, arenas limosas, gravas, conglomerados, distomitas).

En el distrito de San Clemente, se realizaron 25 mediciones de microtemores que incluyó la zona urbana más afectada por el sismo del 15 de agosto y la zona de expansión urbana del distrito.

En el distrito de San Clemente, los valores de bajas frecuencias predominantes se evidencian principalmente sobre la Formación Pisco, sugiriendo así que este tipo de suelo no es recomendable para realizar construcciones. Las observaciones de los mayores daños tanto personales y constructivos realizados durante el trabajo de registro de microtemores sustentan estos resultados. En el distrito de San Clemente, se delimitaron 2 zonas con bajos y altos valores de frecuencias predominantes y presentan una buena correlación con la geología de la zona.

IV. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Se encuentra que los estudios recopilados se llevaron a cabo principalmente en las zonas urbanas que fueron afectadas por el terremoto del 15/08/07, las cuales en el ámbito de estudio, corresponden a las ciudades de San Clemente, Túpac Amaru, Pisco y San Andrés. No se ha encontrado información relevante para los fines del presente estudio, en la ciudad de Paracas. Lo rescatable de los estudios recopilados es la información básica de la exploración de campo que ellos contienen. En este sentido, tanto el informe del CISMID, como el elaborado por el INDECI presentan una valiosa información en lo que respecta a las ciudades de Pisco, Túpac Amaru y San Andrés. La información correspondiente a la ciudad de San Clemente es relativamente pobre y requiere ser complementada.

La información disponible de exploración geotécnica realizada en la ciudad de Pisco y áreas vecinas ha sido integrada y se muestra en el Plano P-01 de este informe. En éste se puede observar que existe una buena cantidad de ensayos geotécnicos que puede ser utilizada para definir adecuadamente el comportamiento mecánico y dinámico del suelo en estas ciudades. La evaluación de toda la información recopilada ha permitido determinar perfiles de suelos característicos de las diferentes áreas estudiadas y definir zonas con características geotécnicas similares, las cuales se describen a continuación.



4.1 INVESTIGACIONES DE CAMPO

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas de la ciudad de Pisco, San Andrés y Villa Túpac Amaru lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizada por el CISMID el año 2007, donde se realizaron un total de 25 calicatas y 8 sondajes de ensayos SPT los cuales fueron convenientemente distribuidas con el fin de complementar y extrapolar la información geotécnica ya existente de la Microzonificación Geotécnica del año 1999, realizado también por el CISMID. En dicho estudio se realizaron un total de 25 calicatas y 17 ensayos de penetración estándar SPT. Los registros de los sondajes realizados en el estudio del año 1999 se presentan en el Anexo A-1 y los realizados en el estudio del año 2007 se presentan en el Anexo A-2.

Por su parte, las investigaciones realizadas por INDECI en septiembre del 2007, consistieron en la ejecución de 29 calicatas, las cuales se encuentran repartidas entre las ciudades de Pisco y San Andrés. Los registros de calicatas realizados en este estudio se presentan en el Anexo A-3.

La ubicación de los puntos de investigación recopilados para el presente estudio se muestra en el Plano P-01.

4.1.1 Excavación de Calicatas

Las excavaciones de las Calicatas se han realizado con herramientas manuales como pala, pico y barreta, hasta una profundidad máxima de 3.0m. Los materiales encontrados de acuerdo a los estudios recopilados son rellenos, arena, gravas, bolones, de compacidad suelta a media, limo y arcilla, de consistencia media a compacta, de color beige a marrón oscuro. El nivel freático se ubicó desde 0.50 a 3.00 m de profundidad.

En cada una de las calicatas recopiladas se procedió a la toma de muestras de los diferentes tipos de suelos presentes siguiendo la norma de recolección y muestreo (ASTM D420), así mismo se realizó la clasificación visual del material encontrado en el campo de acuerdo a los procedimientos indicados en la norma ASTM D2488.

La ubicación de las calicatas recopiladas se indica en el Plano P – 01. Los registros de calicatas se presentan en el Anexo A.

4.1.2 Ensayo de Penetración Estándar SPT

Para determinar las características del material, que servirá como cimentación se han recopilado 25 ensayos de penetración estándar (SPT) de los estudios realizados por el CISMID, hasta una profundidad de 5 metros, debido a la presencia de gravas aisladas mayores a 2 pulgadas que no permitió la penetración a mayores profundidades. Estos sondajes han sido realizados mediante hincado por golpes de un tubo sacabocado de acero y posteadora manual. El ensayo de penetración estándar



(SPT) fue realizado a cada metro de profundidad con la finalidad de determinar los parámetros de resistencia y compacidad del suelo en las condiciones del momento del ensayo.

La ubicación en planta del ensayo SPT recopilados en la zona del área de estudio se indica en el Plano P - 01. Los registros de sondaje SPT en el Anexo A

4.2 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Los resultados de los estudios de mecánica de suelos recopilados han permitido definir una serie de perfiles estratigráficos característicos de las diferentes zonas del área en estudio. Seguidamente se presenta una descripción de éstos para cada una de las zonas urbanas del área de estudio.

4.2.1 Ciudad de Pisco

La ciudad de Pisco presenta una configuración de suelos muy errática y heterogénea, pudiéndose definir cinco sectores predominantes con características geotécnicas similares las cuales se describen a continuación:

En el sector Sureste de la ciudad, conformada por las zonas de expansión comprendidas por el Fundo San Luis, el Asentamiento Humano Dios Te Ama, y la urbanización La Esperanza, el perfil de suelos está representado por los registros correspondientes a las calicatas C1, C3, C4 y C8 ejecutados por el CISMID y las calicatas CAL4 y CAL9 ejecutados por INDECI. Este perfil muestra un relleno superficial constituido por gravas, arena y limos contaminados con restos aislados de cascajos, de hasta 0.6m de espesor y en estado semicompacto. Subyaciendo a este material se encuentra predominantemente la grava mal gradada con matriz arenosa (GP), que en algunas excavaciones se encuentran intercaladas con pequeños lentes de arena limosa (SM) de color beige, medio suelta para luego continuar con la grava mal gradada de compacidad media, cuyas partículas presentan formas subredondeadas, intercaladas con bolonerías redondeadas de T.M. 10 pulgadas. El nivel freático en este sector se ubicó a profundidades de 2.00 m en promedio y en la calicata C-3 a 1.20 m.

En la zona Sur de la ciudad, correspondiente a la urbanización Las Américas, el perfil de suelos está representado por los registros de las calicatas C6 y C-11 ejecutados por el CISMID, las calicatas CAL8, CAL16, CAL17 y CAL22 ejecutados por el INDECI, y los registros de los SPT realizados por el CISMID. El perfil de suelo está conformado por un relleno superficial de 0.20 m de espesor, constituido por arcilla mezclada con gravas, semi rígida. Luego se encuentra una arena limosa (SM), color beige amarillento a marrón de compacidad media, con gravas aisladas. A 0.50m se encontró el estrato de grava mal gradada con matriz arenosa (GP), de forma subredondeada y bolonerías de T.M. 12 pulgadas, cuya compacidad varía de semicompacta a compacta. El nivel freático se ubicó a 2.00 m de profundidad.



El sector Norte de la ciudad de Pisco comprendida por la urbanización Boca del Río y el Asentamiento Humano Manuel Gonzáles Prada; está constituido por rellenos heterogéneos de hasta 0.50 m de espesor conformados por terreno de cultivo de compacidad media como muestra la calicata C21, C-4, C-8 y C-25, ejecutados por el CISMID. El estrato subyacente a este material es predominantemente la grava mal gradada con matriz arenosa (GP), semicompacto, en algunas excavaciones se encontró arenas limosas de espesores en promedio 0.50 m, subyaciendo a 1.00 m de profundidad el material gravoso con bolonerías subredondeadas aisladas de T.M. 10 pulgadas, de compacidad semicompacta a compacta. El nivel freático se ubicó de 0.50 m a 1.00 m de profundidad.

El sector central de la ciudad de Pisco, limitado por el Norte con la Urbanización Boca del Río y el Asentamiento Humano Manuel Gonzáles Prada, por el Este con la carretera Panamericana Sur, por el Sur con la avenida Las Américas y la Urbanización La Esperanza y por el Oeste con el Océano Pacífico; presenta predominantemente un relleno heterogéneo de 1.00 m a 1.80 m de espesor según los registros de las calicatas C18, C19, C20 y C22. Subyaciendo a este relleno se encuentra un lente de arena limosa (SM) que llega hasta 3.50m a 4.00m de profundidad, cuya compacidad varía de suelta a media, de color gris y alto contenido de humedad. Luego se encuentra la grava compacta. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores a 2.00 m.

En el sector Este de la ciudad de Pisco, cercano a la zona industrial, se presentan afloramientos de diatomitas color beige amarillento, de consistencia rígida. Este mismo material también aflora en el Centro Poblado Menor de San miguel, tal como se observa en el registro de las calicatas C15, C16, C24 y C25.

Existen zonas focalizadas en la ciudad de Pisco que están constituidas por áreas pantanosas y que en han sido rellenadas con material de desmonte heterogéneo y en algunos casos con basura, los cuales tienen espesores que varían de 3.5 m a 4.0 m. En estas zonas durante el terremoto del Pisco del 2007 presentaron daños severos y hundimientos en edificaciones de albañilería, habiéndose reportado también la ocurrencia de licuación de suelos, la que se manifestó por la emanación de aguas subterráneas. Estas áreas han sido delimitadas como zonas de alto peligro, por estar conformados por materiales de alta compresibilidad con nivel freático alto.

Los Planos P-02 y P-03 presentan la distribución de tipos de suelos a profundidades de 1.0 m y 2.0 m, en los cuales se puede apreciar la conformación del terreno donde se encuentran desplantadas las edificaciones de la ciudad de Pisco.

4.2.2 San Andrés

Esta zona está ubicada aproximadamente a 2.00 Km al sur del centro de la ciudad de Pisco. En este sector el perfil del terreno presenta arenas limosas y rellenos conformados por arenas limosas con presencia aislada de lumaquelas y residuos de basura de compacidad medio suelta hasta 1.00 m de profundidad. Subyaciendo a este material se encuentra estratos potentes de gravas con matriz arenosa (GP), semicompacta, con bolonerías aisladas de T.M. 10 pulgadas (C6 y S5 (CISMID), CAL-22



(INDECI)). Las bolonerías en este sector son de forma subredondeadas y tienen adherido en su superficie algas marinas. El nivel freático en este sector varía entre 1.00 m a 2.00 m de profundidad.

4.2.3 Túpac Amaru

El distrito de Túpac Amaru esta ubicado al Este de la ciudad de Pisco delimitado por la Carretera Panamericana Sur. Bajo su jurisdicción se encuentra el poblado de Casalla, el Asentamiento Humano L. García Norez y el Asentamiento Humano Nueva Juventud. Según los registros obtenidos de las exploraciones recopiladas se determinó que el perfil estratigráfico presenta tres áreas con características geotécnicas particulares.

La primera está conformada predominantemente por arena mal gradada con limo (SP-SM), tal como se puede observar en los registros de las calicatas C9, C10, y C11, donde no se encontró la profundidad del nivel freático a diferencia de las calicatas C12 y C14 donde el nivel freático se encuentra a una profundidad de 1.20 m y 2.00 m respectivamente. La arena es de color beige claro, de una compacidad media a suelta. Presenta humedad variable desde muy baja a alta.

La segunda está conformada por un área de relleno heterogéneo colocado sobre una zona pantanosa, tal como se observa en el registro de la calicata C13 donde el nivel freático se encuentra a una profundidad de 2.20 m. Durante el terremoto de Pisco, esta zona presentó daños severos y hundimiento de edificaciones de albañilería, por lo que se considera que en esta zona no deben construirse edificaciones con cimentaciones superficiales. Para otros tipos de cimentaciones debe determinarse la distribución y profundidad de los rellenos.

La tercera zona está conformada por afloramiento de material dolomítico, con apariencia de una roca blanda de color beige amarillenta y rígido. Este mismo material aflora también en gran parte del Centro Poblado San Miguel y en el sector Este de la zona industrial de Pisco. Sus características son competentes para la cimentación superficial de edificaciones.

Los Planos P-02 y P-03 muestra un mapa de tipos de suelos al nivel de 1 m y 2 m de profundidad respectivamente, los cuales han sido elaborados con una base de datos de un sistema de información geográfica (GIS) recopilado de los sondajes geotécnicos ejecutados tanto por el CISMID y el INDECI. 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 tales mapas de suelos para varios niveles de profundidad.

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 del área de estudio.



V. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación se describe la sismicidad del área de estudio y se presenta la evaluación del peligro sísmico mediante métodos probabilísticos.

5.1 SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio 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 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.
- 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 Nacional 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, Chíncha 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 Chíncha.



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 sólo 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.

5.2 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 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 ámbito de San Clemente, Pisco, Túpac Amaru, San Andrés y Paracas, se han considerado las siguientes coordenadas geográficas:

San Clemente	-76.15° -13.64°
Pisco	-76.20° -13.71°
Túpac Amaru	-76.11° -13.72°
San Andrés	-76.14° -13.78°
Paracas	-76.33° -13.83°

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), varía entre 0.37 g a 0.40g, este valor está referido al basamento rocoso y la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño, y considerando un suelo denso del Tipo C, presenta aceleraciones horizontales máximas (PGA) que varían entre 0.54 g a 0.60 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%.



VI. GEOLOGÍA DEL ÁREA EN ESTUDIO

Para el estudio geológico se tuvo como referencia el Boletín N° 47 (Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdova) del INGEMMET (1993) Trabajos geológicos realizados en el mes de enero del 2012 por el que suscribe este informe.

6.1 GEOLOGÍA LOCAL

6.1.1 Aspectos Geomorfológicos

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área en estudio están conformados por la cordillera de la costa, penillanura costera y valles, los cuales se describen a continuación:

Cordillera de la Costa.- Está constituido por terrenos de suave elevación, ubicados en forma paralela al litoral, ubicado en la península de paracas, aparentemente internándose en el mar.

La cordillera de la costa está limitada por el litoral, que en la mayoría de casos está compuesto por riscos que promedian de 50 a 100 m.s.n.m.

Península Costera.- Se extiende entre la cordillera de la costa y las estribaciones andinas, que en nuestra área de estudio se caracteriza por la presencia de amplias pampas; tales como Cabeza de Toro y Mirador de Pisco.

Estas pampas están formadas por sedimentos horizontales del terciario y por acumulaciones aluviales provenientes de la erosión de la cordillera andina, en la mayoría de los casos tienen escasas pendientes, menor al 2 %.

Ocasionalmente las pampas están interrumpidas, por lomadas de relieve suave, por quebradas y valles poco profundos y de ancho variable. Esta unidad geomorfológica, se encuentra cubierta parcialmente por depósitos eólicos.

Valles.- La zona costera se encuentra disectada por valles poco profundos, regularmente amplios y en la mayoría de los casos orientadas perpendicularmente a las estribaciones andinas.

6.1.2 Aspectos Geológicos y Litológicos

Dentro las unidades litoestratigráficas existentes en el área de estudio se encuentran rocas sedimentarias e ígneas, cuyas edades varían desde el jurasico inferior hasta el cuaternario reciente, a continuación las describiremos:



Formación chocolate.- Sus afloramientos se encuentran al suroeste del plano geológico, en la bahía de Paracas. Las rocas que constituyen esta formación son volcánicas, caracterizada por su textura porfírica y su coloración marrón rojiza a marrón violácea, parcialmente gris verdosa, el aspecto general es masivo de naturaleza pétreo volcánica de tipo de roca andesita y algunas ocurrencias riolíticas. En las andesitas, los fenocristales son de plagioclasas y ferromagnesianos, estos últimos casi siempre alterados y reducidos a clorita y minerales de la familia epidota, que otorgan una coloración verdosa a la roca. La matriz de estas volcánicas es de textura afanítica.

Los afloramientos volcánicos presentan como características la apariencia masiva y el fallamiento en bloques.

Formación Paracas.- Esta unidad está representada en nuestra área de estudio en la bahía de Paracas ubicado al suroeste en el litoral. Las rocas en esta unidad estratigráfica descansan sobre las rocas intrusivas del tipo granito, relación muy bien expuestas en los altos acantilados que conforman el litoral en la Bahía de Paracas.

Las rocas de esta unidad varían de una arenisca arcillosa que se intercala con lutitas delgadas, calizas arenosas y delgados horizontes de calizas, también se intercalan delgados horizontes de gravilla que no llegan al metro de espesor, lutitas calcáreas llegando a gradar a margas de un color marrón violácea y finalmente se intercalan delgados horizontes tobáceos y de diatomita de color blanco. En algún lugar de la Bahía de paracas estas rocas se pueden mostrar suavemente flexionadas, producto del fallamiento en bloques que es la principal característica estructural. Este fallamiento es característico de esta zona costera que tierra adentro alcanza a 5 km del litoral.

Formación Pisco.- Es una secuencia litológica de color blanco, consistente en diatomitas blancas, con intercalaciones de limo-arcillitas blanquecinas areniscas tobáceas y lutitas diatomíticas. Aflora en forma de lomadas en las localidades de Pisco, San Clemente, San Miguel y Túpac Amaru.

Las condiciones geológicas en las que se encuentran estas rocas son fracturadas, alteradas e intemperizadas equivalente a una roca de mala calidad; se comporta de una manera muy plástica en presencia de agua. (Ver Fotos N°11 y N°16 del Panel Fotográfico)

Formación Huamaní.- Esta formación se le puede observar en Túpac Amaru y principalmente cerca al puente Huamaní; está conformada por areniscas arcillosas que alternan con arcillas y grava fina.

Esta roca presenta condiciones geológicas equivalentes a fracturadas, meteorizadas, algunas veces muy intemperizadas y sementadas por las sales. En estado seco estos materiales son de una calidad que va de moderada a mala y con la presencia del agua pasan a ser de muy mala calidad.

Formación Cañete.- Esta formación se la puede observar en San Clemente; está compuesta por conglomerados de origen fluvial las gravas se presentan de formas que van redondeadas a sub redondeadas en una matriz areno-limosa en forma compacta y algunas veces con presencia de sales.



Depósitos aluviales.- Son depósitos clásticos transportadores por medio acuoso y acumulados principalmente en las quebradas, constituyendo las amplias pampas aluviadas características de la penillanura costera. Estos depósitos consisten en conglomerados gruesos intercalados con arena, lima y arcilla, están bien expuestos en el corte de los ríos y al pie de las terrazas.

Los depósitos aluviales están inmediatos a las formaciones rocosas que originan los conos de deyección. (Ver Fotos N°1 y N°2 del Panel Fotográfico)

Depósitos eluviales.- estos depósitos se encuentran inmediatos a las formaciones rocosas que originaron los conos de deyección así como los materiales de pie de monte y cono de escombros

Depósitos eólicos.- Conforman extensos mantos de arena de escaso espesor. Las arenas son de grano grueso y color gris oscuro debido a su alto contenido de ferromagnesianos, son arenas de poca movilidad y ocupan las partes planas o suaves depresiones que ocurren en la zona costera.

Los mantos de arena más fina y clara compuesta mayor mente de cuarzo, acusan una mayor movilidad y cubren grande extensiones, invadiendo incluso las zonas de arenas oscuras, en la que muchas veces se deposita.

Otras acumulaciones eólicas de gran volumen, son las dunas, ubicadas en el desierto de california (Pisco). (Ver Fotos N°9, N°10, N°14, N°15, N°16 y N°17 del Panel Fotográfico)

Deposito marino.- El litoral del área de estudio se exponen depósitos del cuaternario marino reciente; su distribución está restringida a zonas ubicadas en los extremos de las Bahías Paracas, que resultan favorables para la deposición de materiales.

Los depósitos más notables se encuentran en la Bahía de Paracas (Pisco) y consisten en terrazas.

Depósitos fluviales.- Estos depósitos están asociados a los materiales transportados por el río Pisco, (Ver Fotos N°7 y N°8 del Panel Fotográfico) pudiéndose observar 3 terrazas (T0, T1 y T2)

- **Terraza T0.** Corresponde al lecho del cauce del río Pisco, está conformado por conglomerados fluviales con una matriz de arenas y limos; son poco compactos y presenta peligro de inundaciones. Tiene un ancho de 200 a 300 metros.
- **Terraza T1.** Esta terraza se ubica al norte de Pisco, presenta un ancho aproximado que va a unos 3 kilómetros a ambos márgenes del río Pisco, presenta material limo arcilloso, lentes de arena y en menor proporción gravas con formas sub angulosas en una matriz limosa.
- **Terraza T2.** Se ubica al sur de Pisco, la terraza T2 tiene un desnivel variable con respecto a la terraza T1 de 1 a 6 metros aproximadamente y es de gran extensión, está compuesto por una parte de material limo-arenoso, otra parte por gravas.



Humedales.- Son zonas en las que se pueden observar la superficie del terreno saturado permanentemente por agua, como por ejemplo al noroeste de San Clemente, Pisco y Túpac Amaru. Se puede observar en la zona de estudio que muchos humedales han sido rellenados con material de desmonte para compactarlo y posteriormente construir viviendas, que de acuerdo a estas consideraciones, las construcciones que se realizan en estos lugares son de alto peligro. (Ver Foto N°6 del Panel Fotográfico)

Depósitos Antrópico.- Estos depósitos están conformados por materiales gravosos, arenosos, arcillosos, restos de escombros producto del sismo, basura, plásticos, etc. Estos depósitos son de muy mala calidad y se les puede observar en Pisco playa, Túpac y en la Zona del Molino (Ver Fotos N°3, N°4, N°5, N°6, N°10 y N°17 del Panel Fotográfico).

El Plano P-04 muestra la geología del área de estudio.

6.1.3 Aspectos de Geología Estructural

La península de Paracas se caracteriza por un fallamiento en bloques; este fallamiento en bloques, no responde a un solo evento de distensión, sino posiblemente es resultado de un fenómeno cíclico que abarca gran parte de la historia geológica del área, cuyo último episodio, el más importante estuvo asociado al levantamiento final de la cordillera andina.

En la bahía de Paracas se puede observar que los intrusivos de la edad jurásica afloran sin que los sedimentos terciarios de las vecindades, muestren signos de haber sido afectados por un fallamiento. En el litoral, las fallas han jugado un papel importante ya que han controlado el desarrollo de la ribera marina, siendo un ejemplo notable, la línea litoral de Pisco, que indudablemente está guiada por una falla orientada NNE-SSO. Este tipo de falla ha controlado la morfología de la península.

Producto del sismo que ocurrió en agosto del 2007 se ha generado sistemas de agrietamiento en los suelos que tienen direcciones norte-sur y aparentemente hay un control estructural de las estructuras mayores.

En resumen, el área de fallamiento en bloque situada en la zona costera ha sufrido las consecuencias del plegamiento andino, pero con una menor intensidad, siendo su característica principal presentar una serie de bloques, originados por varios eventos de fallamiento, correlacionados con los periodos de reacomodo, generados después del plegamiento andino y posteriormente con la etapa de ascensión del litoral y levantamiento final de la cordillera.

6.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área en estudio, está conformada por la cordillera de la costa, penillanura costera y valles. Las unidades litoestratigráficas comprometidas con los terrenos del área de estudio son:



Formación chocolate.- Sus afloramientos se encuentran al suroeste del plano geológico, en la bahía de Paracas. Las rocas que constituyen esta formación son volcánicas, caracterizada por su textura porfirítica y su coloración marrón rojiza a marrón violácea, parcialmente gris verdosa, el aspecto general es masivo de naturaleza pétreo volcánica de tipo de roca andesita y algunas ocurrencias riolíticas. Los afloramientos volcánicos presentan como características la apariencia masiva y el fallamiento en bloques.

Formación Paracas.- Esta unidad está representada en nuestra área de estudio en la bahía de Paracas ubicado al suroeste en el litoral. Las rocas de esta unidad varían de una arenisca arcillosa que se intercala con lutitas delgadas, calizas arenosas y delgados horizontes de calizas, también se intercalan delgados horizontes de gravilla que no llegan al metro de espesor, lutitas calcáreas llegando a gradar a margas de un color marrón violáceo y finalmente se intercalan delgados horizontes tobáceos y de diatomita de color blanco.

Formación Pisco.- Es una secuencia litológica de color blanco, consistente en diatomitas blancas, con intercalaciones de limo-arcillitas blanquecinas areniscas tobáceas y lutitas diatomíticas. Aflora en forma de lomadas en las localidades de Pisco, San Clemente, San Miguel y Túpac Amaru.

Las condiciones geológicas en las que se encuentran estas rocas son fracturadas, alteradas e intemperizadas equivalente a una roca de mala calidad; se comporta de una manera muy plástica en presencia de agua.

Formación Huamaní.- Esta formación se le puede observar en Túpac Amaru y principalmente cerca al puente Huamaní; está conformada por areniscas arcillosas que alternan con arcillas y grava fina.

Esta roca presenta condiciones geológicas equivalentes a fracturadas, meteorizadas, algunas veces muy intemperizadas y sementadas por las sales. En estado seco estos materiales son de una calidad que va de moderada a mala y con la presencia del agua pasan a ser de muy mala calidad.

Formación Cañete.- Esta formación se la puede observar en San Clemente; está compuesta por conglomerados de origen fluvial las gravas se presentan de formas que van redondeadas a sub redondeadas en una matriz areno-limosa en forma compacta y algunas veces con presencia de sales.

Depósitos aluviales.- Son depósitos clásticos transportadores por medio acuoso y acumulados principalmente en las quebradas, constituyendo las amplias pampas aluviales, características de la penillanura costera.

Depósitos eluviales.- estos depósitos se encuentran inmediatos a las formaciones rocosas que originaron los conos de deyección así como los materiales de pie de monte y cono de escombros

Depósitos eólicos.- Conforman extensos mantos de arena de escaso espesor. Las arenas son de grano grueso y color gris oscuro debido a su alto contenido de ferromagnesianos, son arenas de poca movilidad y ocupan las partes planas o suaves depresiones que ocurren en la zona costera.



Depósito marino.- El litoral del área de estudio se expone depósitos del cuaternario marino reciente; su distribución está restringida a zonas ubicadas en los extremos de las Bahías Paracas, que resultan favorables para la deposición de materiales.

Los depósitos más notables se encuentran en la Bahía de Paracas (Pisco) y consisten en terrazas.

Depósitos fluviales.- Estos depósitos están asociados a los materiales transportados por el río Pisco, (Ver Fotos N°7 y N°8 del Panel Fotográfico) pudiéndose observar 3 terrazas (T0, T1 y T2)

- **Terraza T0.** Corresponde al lecho del cauce del río Pisco, está conformado por conglomerados fluviales con una matriz de arenas y limos; son poco compactos y presenta peligro de inundaciones. Tiene un ancho de 200 a 300 metros.
- **Terraza T1.** Esta terraza se ubica al norte de Pisco, presenta un ancho aproximado que va a unos 3 kilómetros a ambos márgenes del río Pisco, presenta material limo arcilloso, lentes de arena y en menor proporción gravas con formas sub angulosas en una matriz limosa.
- **Terraza T2.** Se ubica al sur de Pisco, la terraza T2 tiene un desnivel variable con respecto a la terraza T1 de 1 a 6 metros aproximadamente y es de gran extensión, está compuesto por una parte de material limo-arenoso, otra parte por gravas.

Humedales.- Son zonas en las que se pueden observar la superficie del terreno saturado permanentemente por agua, como por ejemplo al noroeste de San Clemente, Pisco y Túpac Amaru. Se puede observar en la zona de estudio que muchos humedales han sido rellenados con material de desmonte para compactarlo y posteriormente construir viviendas, que de acuerdo a estas consideraciones, las construcciones que se realizan en estos lugares son de alto peligro.

Depósitos antrópico.- Estos depósitos están conformados por materiales gravosos, arenosos, arcillosos, restos de escombros producto del sismo, basura, plásticos, etc. Estos depósitos son de muy mala calidad y se les puede observar en Pisco playa, Túpac y en la Zona del Molino.

Producto del sismo que ocurrió en agosto del 2007 se ha generado sistemas de agrietamiento en los suelos que tienen direcciones norte-sur y aparentemente hay un control estructural de las estructuras mayores.

En resumen, el área de fallamiento en bloque situada en la zona costera ha sufrido las consecuencias del plegamiento andino, pero con una menor intensidad, siendo su característica principal presentar una serie de bloques, originados por varios eventos de fallamiento, correlacionados con los periodos de reacomodo, generados después del plegamiento andino y posteriormente con la etapa de ascensión del litoral y levantamiento final de la cordillera.



VII. PROGRAMA DE TRABAJO DE CAMPO Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Para lograr los objetivos del estudio y en función a los términos de referencia, se propone realizar el siguiente programa de exploración geotécnica y exploración geofísica. Así mismo, en función a las visitas de reconocimiento de campo realizadas se ha elaborado el cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto.

7.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo a la propuesta técnica de la UNI los trabajos de exploración geotécnica consistirán de las siguientes actividades:

Excavación de Calicatas

Las excavaciones de las Calicatas se realizarán con herramientas manuales como pala, pico y barreta, hasta una profundidad máxima de 3.0 m, no obstante, en el caso de ser conveniente, y posible, se usará una retro-excavadora, específicamente en áreas urbanas. En cada una de las calicatas se procederá a la toma de muestras de los diferentes tipos de suelos de acuerdo a la norma de recolección y muestreo (ASTM D420); asimismo, se realizará la clasificación visual del material en base a la norma ASTM D2488.

Ensayo de Penetración Ligera (DPL)

Los ensayos de penetración ligera (DPL) se ejecutarán mediante el uso de un martillo y varillas metálicas, con extensión de hasta 3.0 m de profundidad, con el fin de inferir la profundidad a la que se encontraría material geotécnicamente competente (grava o roca).

Descripción de materiales de suelo en cortes de terreno existentes

Durante las visitas realizadas a la zona de estudio se observó que existen taludes, cortes en la carretera, canteras, etc., los mismos que exponen el material de suelo y que permiten, así como en las calicatas, realizar una identificación, descripción y toma de muestras.

7.2 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

De acuerdo a la propuesta técnica de la UNI los trabajos de exploración geofísica consistirán de las siguientes actividades:

Medición de Microtremores

Las mediciones de Microtremores se realizarán sobre la superficie del terreno o a diferentes profundidades dentro de una perforación, utilizando sensores suficientemente sensibles. Estas



mediciones registrarán las velocidades de los microtremores, las que luego son almacenadas de forma digital, para su posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instalará 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.

Los datos registrados serán procesados usando el Método de Nakamura (1989), para determinar los periodos predominantes y factores de amplificación relativa, usando relaciones espectrales entre las dos componentes horizontales y la vertical de las mediciones.

Arreglo de Microtremores

Las mediciones se realizarán sobre la superficie del terreno, a continuación se detalla el procedimiento a realizar:

- Sé definirá la geometría del arreglo circular y de los arreglos lineales.
- Sé colocará un sensor en el centro y los sensores restantes serán colocados en cada vértice del arreglo, con un radio constante para cada medición.
- Los arreglos lineales se colocarán en forma lineal respecto al sensor del centro.
- Luego los sensores y el equipo de adquisición son debidamente conectados con los cables de conexión.

Los datos, dependiendo de la calidad de los registros, podrán ser procesados usando los siguientes métodos:

- Frequency-Wavenumber (F-k, Capón, 1969),
- Spatial Autocorrelation (SPAC, Aki, 1957) y
- Centerless Circular Array (CCA, Cho, 2004).

En arreglos circulares se observa las ondas generadas por fuentes naturales y en los arreglos lineales se observa las ondas generadas por una fuente externa. Haciendo uso de los Software que contienen los métodos mencionados, se analizará y procesará la data recogida en campo, para poder obtener la Curva de Dispersión y posteriormente los Perfiles Sísmicos.



7.3 PROPUESTA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOFÍSICA

Los puntos de exploración de campo han sido redefinidos en función a las condiciones geológicas, geotécnica y de ocupación del suelo, identificadas durante las visitas de reconocimiento del terreno. El criterio principal considerado es evaluar las características geotécnicas de las unidades geológicas identificadas en el área de estudio, luego delimitar las áreas de terreno con condiciones desfavorables para la habilitación urbana, tales como humedales, suelos licuables y depósitos de desmontes, finalmente se consideró el criterio de ocupación y uso del suelo, proponiéndose una mayor concentración de puntos de exploración en las áreas con asentamientos humanos. El plano P-05 muestra una nueva distribución de los trabajos de los 120 puntos de exploración geotécnica y 90 puntos de exploración geofísica propuestos por la UNI.

Cabe mencionar que debido a la accesibilidad, permisos, intangibilidad de un área, seguridad de personal y equipos, etc., estos puntos podrían ser reubicados convenientemente por los ingenieros responsables de campo del CISMID-FIC-UNI.

7.4 CRONOGRAMA DE TRABAJO DE CAMPO

Cronograma de Trabajo de Campo

Fecha de Inicio: 02 de Febrero de 2012
Fecha de Fin: 11 de Febrero de 2012

Actividades	Febrero									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.0 Excavación de calicatas	A	A - B	C	C	C-D	D	E	E	F	F
2.0 Ensayos de Penetración Ligera DPL	A	A	C	C	-	-	-	-	-	-
3.0 Levantamiento geológico	-	-	-	-	-	A	B	C	D	E-F
4.0 Arreglos de microtemores	A	A - B	C	C	C-D	D	E	E	F	F
Duración estimada	10 días									

Zonas de Trabajo

- A: San Clemente
- B: Zona de granjas
- C: Zona de playa - norte de Pisco
- D: Zona de San Andrés
- E: Zona Sur de Pisco
- F: Zona de Paracas

VIII. VULNERABILIDAD Y RIESGO DE EDIFICACIONES

Para la estimación del análisis de riesgo sísmico de ciudades, hay diferentes parámetros usados para la evaluación de este proceso. El más comúnmente usado es el costo del daño o costo de reposición



de las estructuras dañadas. Otros parámetros son la probabilidad de daño para un tipo determinístico de estructura, la cantidad de viviendas colapsadas por tipo de material y otros. La evaluación de cada uno de los parámetros de salida necesita la evaluación de la probabilidad o un análisis de regresión empírico basado en la evaluación del daño después del evento. Cada uno de estos resultados está unido con la aceleración del terremoto en un determinado tipo de suelo. Por lo tanto, la evaluación de la respuesta sísmica de una edificación y la determinación del nivel del daño necesitan del conocimiento de las condiciones del suelo, probable aceleración de lugar, influencia del material, número de pisos de la edificación, la geometría base y otros parámetros de entrada.

En este reporte un simulador de respuesta sísmica con estimación del daño (Simulador de Respuesta Sísmica y Nivel de Daño – SRSND) es presentado. Este simulador es usado como una herramienta para predecir el costo de reposición para un nivel de daño como consecuencia de una aceleración del suelo como parámetro de entrada. En el desarrollo del simulador los datos de entrada para el modelo y los parámetros usados para la respuesta sísmica son presentados. Posteriormente se realiza una validación del modelo mediante la comparación con los resultados de datos de campo, también se han desarrollado curvas de fragilidad basados en los daños producidos en la ciudad de Pisco debido al terremoto del 15 de Agosto del 2007.

8.1 ESTIMACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA

Para la estimación de la respuesta sísmica en un método aproximado se utiliza la aceleración máxima del suelo donde la estructura ha sido construida. Para tal propósito la información del peligro sísmico del lugar es usado como un primer parámetro de entrada. Luego se necesita un catálogo de tipo de edificaciones que representen a la zona de estudio, por lo tanto un estudio de campo para tipificar las edificaciones debe ser llevado a cabo. En este estudio varias variables son consideradas: la aceleración de la demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante, estado de conservación, irregularidades en planta, altura y forma. Luego se aplica la metodología propuesta por Miranda que usa una serie de índices β_i para producir la respuesta sísmica basada en un producto de β_i por el desplazamiento espectral (S_i) para el periodo predominante de la edificación, dividido por la altura de la edificación (H), para reproducir el máximo desplazamiento de entrepiso durante un terremoto.

El índice β_1 es una aproximación del factor de participación modal dado como una función del número de pisos:

$$\beta_1 = \frac{3N}{2N + 1}$$

El índice β_2 , es una razón entre el desplazamiento máximo aproximado (calculado como un sistema SDOF) contra el desplazamiento del sistema real:



$$\beta_2 = \frac{\max\left(\frac{\Delta\delta_j}{h_j}\right)}{\left(\frac{U_r}{H}\right)}$$

El índice β_3 es la razón entre la fuerza de respuesta (F_x) con la sobrerresistencia de la estructura (F) formulada como una función de la ductilidad (μ) para el tipo de sistema estructural:

$$\beta_3 = \frac{U^x + \Delta U^x}{U} = \frac{F^x \cdot \mu}{F}$$

El índice β_4 produce una aproximación de la razón entre el desplazamiento inelástico y el desplazamiento elástico y provee una medida aproximada de la ductilidad:

$$\beta_4 = \frac{\varphi_{inelastic}}{\varphi_{elastic}}$$

La estimación del periodo de la estructura es la base para este diagnóstico, el cual depende del tipo de edificación y del número de pisos. Por lo tanto el desplazamiento en cada piso puede ser aproximado y se puede comparar con los límites de desplazamiento obtenidos en forma experimental, posteriormente la estimación del nivel de daño usando una matriz de daño producirá el costo de reparación de la edificación.

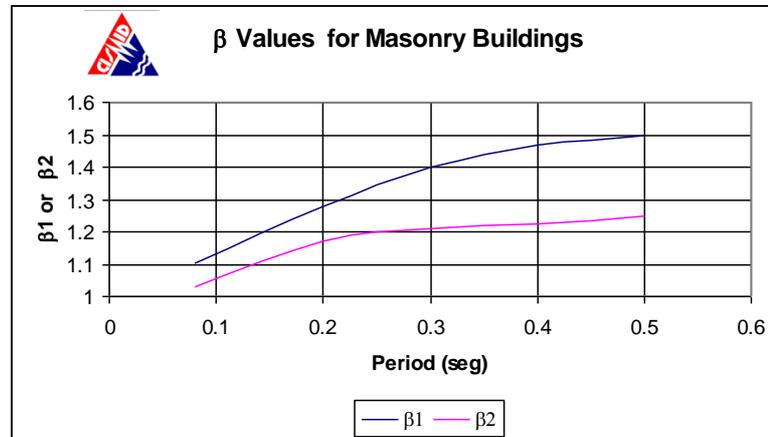


Figura 1: Valores de los parámetros β_1 y β_2

Este procedimiento ha sido automatizado en el simulador SRSND para proveer, bajo un escenario sísmico, la estimación del nivel de daño de una ciudad. Para los valores β_i , múltiples análisis típicas y consideración de ductilidad han sido calibradas con los resultados de las pruebas de laboratorio. La Figura 1 muestra los valores de β_1 y β_2 para edificaciones de albañilería. La

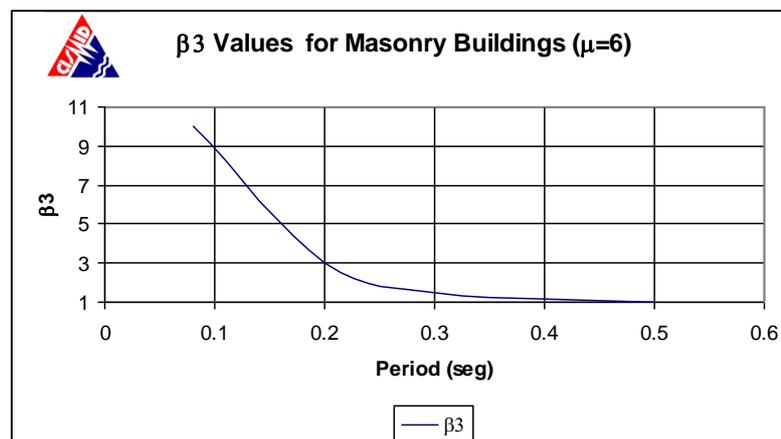


Figura 2 presenta los valores de β_3 como una función del periodo del sistema estructural considerando una ductilidad asignada (μ de 6). La Figura 3 presenta los valores para β_4 como función de la ductilidad asignada.

Figura 2: Factor β_3

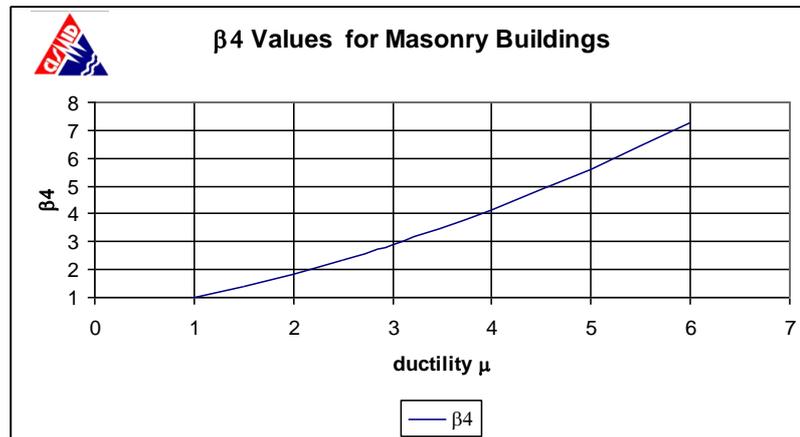


Figura 3: Valores de β_4 como función de la ductilidad

Después de la evaluación de la respuesta sísmica, los niveles de daño pueden ser calculados utilizando la siguiente matriz:

Drift (Δ_j/h_j)	Nivel de Daño	Ocurrencia
1/2000-1/1000	Sin daño	No
1/800	Daño leve	Grieta inicial
1/350	Daño severo	Diagonal abierta
> 1/200	Colapso	No

8.2 VALIDACIÓN DEL SRSND CON LOS DATOS DE CAMPO DEL TERREMOTO DE PISCO

El 15 de Agosto del 2007 un terremoto 8.0 Mw golpeó la costa sur del Perú, el epicentro se localizó en las coordenadas latitud: -13.49° , longitud: -76.85 con una profundidad de 26 Km, a 74 Km al oeste de la ciudad de Pisco. El terremoto produjo 593 fallecidos, 1,291 heridos y el colapso de 48,208 edificaciones y cerca de 90,000 edificaciones afectadas.

Los autores con ayuda de profesores y estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería llevaron a cabo un estudio de campo en la ciudad de Pisco con el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial (BM). Pisco es una ciudad ubicada en la costa, sin embargo la caracterización del daño depende de la demanda sísmica y también de las condiciones de sitio para los diferentes tipos de suelo.

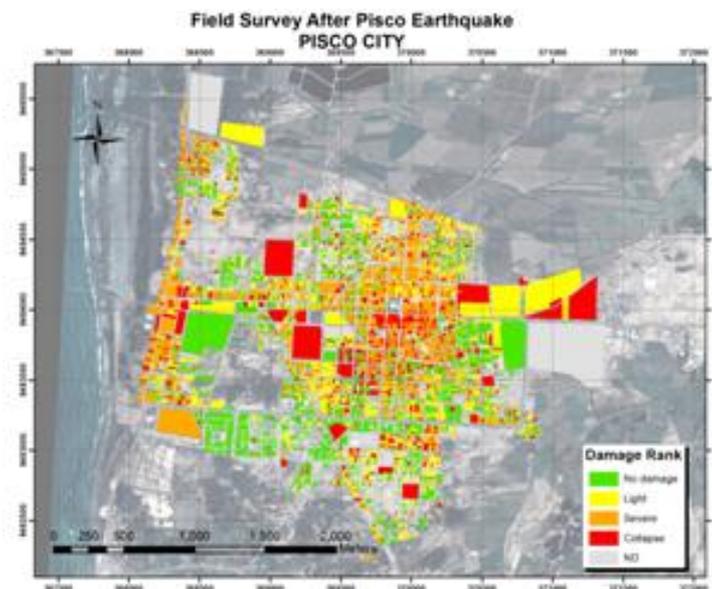


Figura 4: Resultados de levantamiento de daños en Pisco.

La ciudad de Pisco tiene áreas de suelo flexible representado por una mezcla de arena con grava que posee un alto nivel de humedad, así como, un suelo medio con gravas y arena compacta. Se desarrolló una campaña de campo, para poder caracterizar el daño y registrar estos datos en un sistema de información geográfica.

La Figura 4, presenta el levantamiento de información de los daños encontrados en la ciudad de Pisco por CISMID. Aquí el color rojo representa las estructuras colapsadas mientras que el color naranja representa edificaciones con daño severo y el color amarillo representa aquellos edificios con daños menores y así mismo, el color verde claro muestra aquellas estructuras que no tuvieron daño.

Usando los datos levantados en campo, se utilizó el simulador SRSND, para realizar un análisis de riesgo en términos del costo de reconstrucción utilizando una matriz de daño, con base en trabajos experimentales de laboratorio. La Figura 4 y Figura 5 muestran los resultados del levantamiento de información y resultados de la simulación de la respuesta de los edificios mostrando una buena correlación.

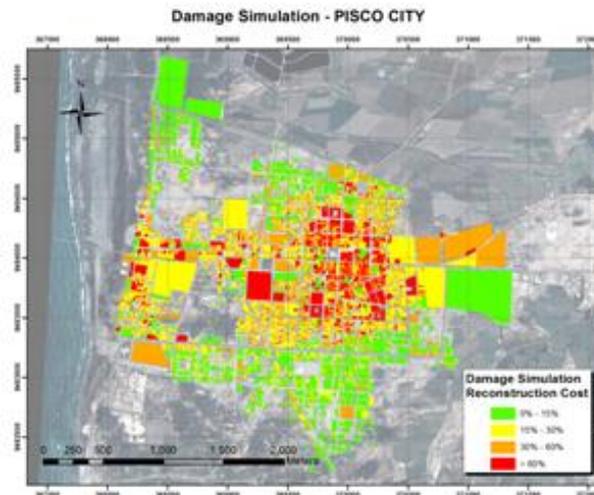


Figura 5: Simulación de daños en términos de costo de reparación.

8.3 CURVAS DE FRAGILIDAD A PARTIR DE LOS DATOS DE CAMPO Y VALIDACIÓN DEL SIMULADOR SRSND

Con la finalidad de conocer la fragilidad de los sistemas estructurales dañados por el sismo de Pisco, se desarrolló un análisis de los datos del levantamiento de daños con la finalidad de calcular la probabilidad de daño bajo una aceleración del suelo asignada. Debemos de mencionar que una de nuestras limitantes fue la dificultad de tener perfiles de suelos representativos, debido a las pocas estaciones de medición que grabaron este evento sísmico.

La Figura 6 muestra los resultados del levantamiento de daños de Pisco, por cada tipo de material usado en la ciudad. Del total de los edificios de adobe, el 82% colapsó, seguidos de los edificios de quincha, donde el 65% experimentó colapso. Los edificios de mampostería sufrieron menos daño debido al terremoto, teniendo aproximadamente 70% de estos edificios sin demandas altas, es decir daño leve y sin daño.

Si consideramos el total de edificios de Pisco, la Figura 7 presenta el porcentaje considerando el número total de edificaciones. Los edificios de adobe, que colapsaron en la ciudad, representan un 15% del total de los edificios. Mientras que los edificios de mampostería colapsados representan el 10.7% del total de edificios.

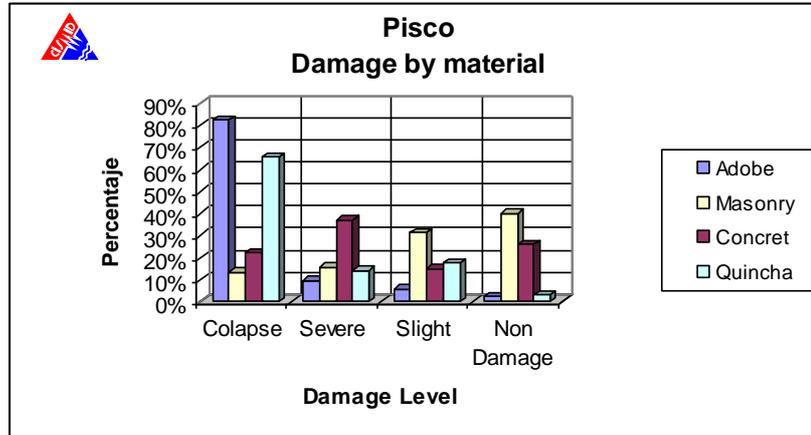


Figura 6: Daño por tipo de material en Pisco.

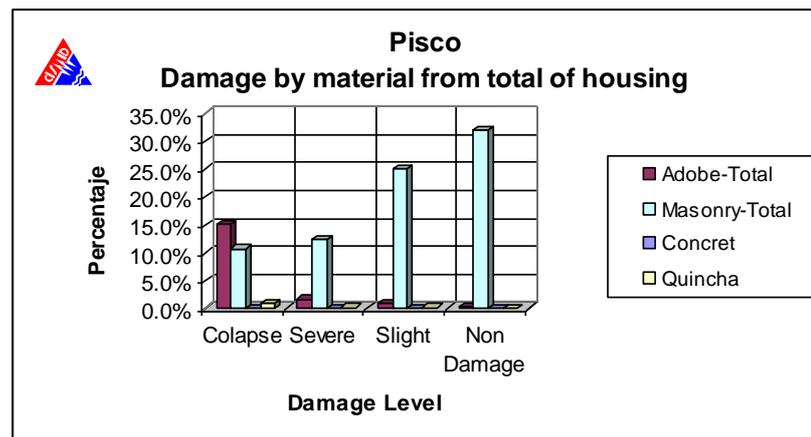


Figura 7: Daño relacionado con el total.

En la ciudad de Pisco las estructuras de adobe sufrieron más que otros materiales. También las estructuras de albañilería tuvieron menos daño que las de adobe pero los colapsos en este material estuvieron relacionados con las condiciones de suelo y la aceleración de demanda durante el sismo.

Principalmente el suelo de la ciudad de Pisco puede ser representado por tres grandes grupos con aceleraciones pico de: 0.42g, 0.462g y 0.588g. Bajo estas demandas los edificios van a experimentar una probabilidad de daño. Correlacionando estas aceleraciones con los datos levantados en campo, los perfiles de suelo y el tipo de material, se han desarrollado curvas de fragilidad para estructuras de adobe y de mampostería, las que se muestran en la Figura 8.

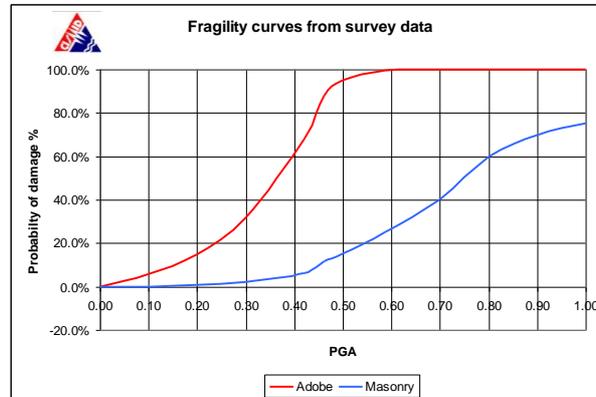


Figura 8: Curvas de Fragilidad para adobe y mampostería.

Usando estas curvas, la probabilidad de daño de cada edificio puede ser calculada. Luego, los resultados muestran para estos tres grupos que 3118 edificios tendrían menos del 10% de probabilidad de daño, alrededor de 5193 edificios tienen una probabilidad de daño entre 10% y 30% y 1866 edificios, tienen una probabilidad de daño sobre el 60%. Esta última situación, significa colapso y que el costo de reposición será del 100%.

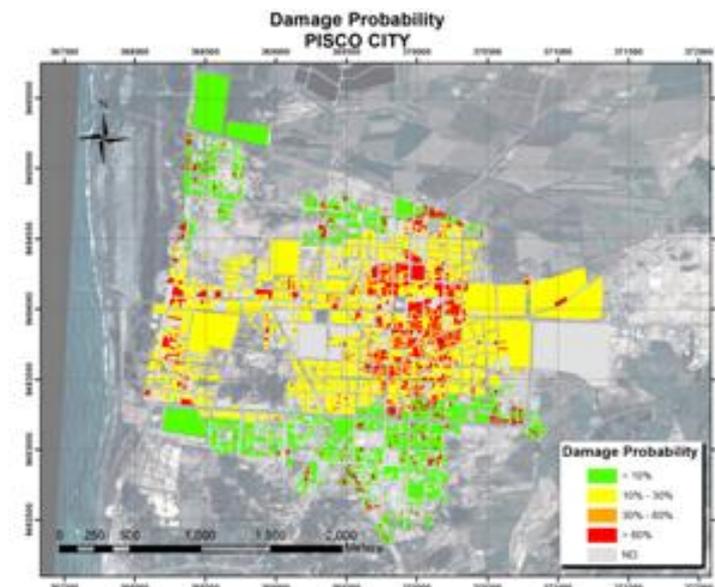


Figura 9: Probabilidad de daño a partir de curvas de fragilidad.



La Figura 9 presenta los resultados de la probabilidad de daño en cada edificio de la ciudad de Pisco, considerando la estimación de las curvas de fragilidad, presentadas en la Figura 8. Aquí es posible ver que hay una buena correlación entre el simulador y el levantamiento de daños. Esta verificación de la simulación valida también las curvas de fragilidad desarrolladas a partir de los estudios de campo.

8.4 CONCLUSIONES

- Un simulador de la respuesta sísmica de edificios usando los daños del levantamiento de campo y la aproximación de parámetros η ha sido presentada. El simulador realiza una aproximación considerando un sistema equivalente de un grado de libertad, usado en la determinación del periodo del edificio y calculando su respuesta sísmica y nivel de daño.
- Para calcular la respuesta del desplazamiento espectral debe calcularse usando el periodo predominante, de manera que en función de este periodo pueda calcularse los parámetros η para cada ductilidad asignada. Curvas para cada parámetro son presentadas para el caso de estructuras de mampostería.
- Para la validación del simulador SRSND se realizó una comparación con los datos del levantamiento de campo. Se encontró una Buena correlación de resultados, ver Figuras 4 y Figura 5.
- También resultados de levantamiento en la ciudad de Pisco se presentaron, principalmente los daños fueron causados por las condiciones de suelo al producirse amplificaciones, sobre todo en edificaciones de adobe.
- Como consecuencia del terremoto del 15 de agosto de 2007, el daño en viviendas se concentró en las estructuras de adobe, hacienda colapsar el 82% de viviendas de este material.
- Las estructuras mampostería presentaron menos daño con tan solo 10% de colapsos.
- Es evidente que los niveles de daño, están bajo una correspondencia con las condiciones de suelo, mostrando que la planificación, los planes de reconstrucción y el planeamiento de la ciudad son de suma importancia.

IX. VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Después de ocurrido el sismo del 15 de Agosto del 2007, los investigadores del CISMID se desplazaron a los diversos sectores de Pisco, identificando el daño generado por el sismo. Aquí fue posible determinar que existieron problemas de gestión en la Provincia de Pisco, ya que existió un reporte preliminar de la microzonificación en la zona monumental de Pisco, que indica lo vulnerable que eran sus estructuras, en especial aquellas construidas con adobe o aquellas autogeneradas o autoconstruidas. Habiendo transcurrido 5 años de aquel desastre es sumamente ilustrativo levantar aquellas zonas que han sido reconstruidas y otras que permanecen en el abandono, pues nos enseñan la existencia de intervención o no de parte de los tomadores de decisión sobre Pisco. A continuación



mostraremos la inspección muestra que se ha tomado en las áreas involucradas en el presente estudio, a fin de dar una opinión actual del estado de las edificaciones.

9.1 DISTRITO DE SAN ANDRÉS

Para el levantamiento de la información de campo en el distrito de San Andrés la sectorización se realizó mediante una cuadrícula de 750 m de lado. La toma de datos que se llevó a cabo fue realizada sobre una muestra del total de la cantidad de manzanas identificadas. Para el caso del distrito de San Andrés y de la información obtenida del municipio se identificaron 138 manzanas en el área urbana, de las cuales se levantó la información de 60 manzanas, haciendo que la muestra tenga un tamaño igual al 43% del total de la población (número total de manzanas) como se muestra en la Figura 11. La Figura 10 muestra la sectorización según del distrito en estudio.

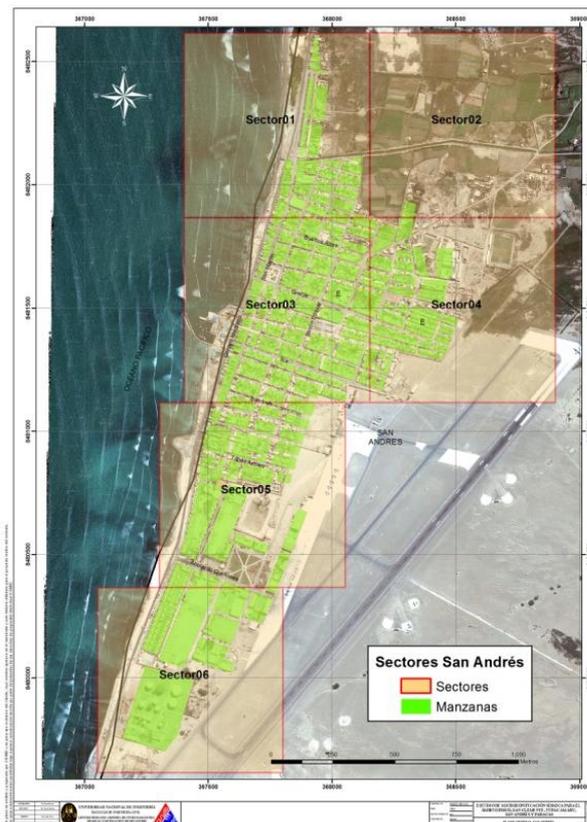


Figura 10: Sectorización en el Distrito de San Andrés

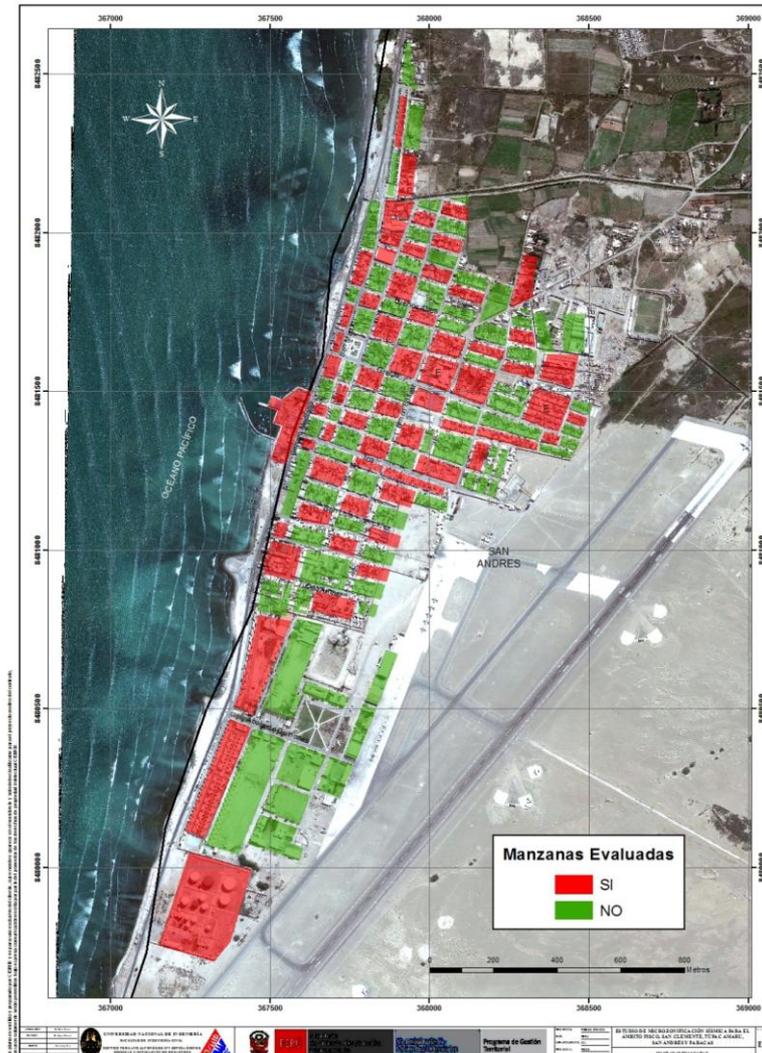


Figura 11. Manzanas evaluadas en San Andrés

Sector 01

En la entrada del Distrito de San Andrés, se encuentra un conjunto habitacional con viviendas de albañilería confinada, que fue afectado por el tsunami debido al terremoto de Pisco del año 2007 y que están siendo habitadas nuevamente. Se observó la presencia de humedad en la base de las viviendas (Ver Figura 12 y Figura 13).



Figura 12. Vista del Conjunto Habitacional.



Figura 13. Vista opuesta del Conjunto Habitacional.



Figura 14. Vista de viviendas de un piso y 2 pisos.



Figura 15. Viviendas de un piso de albañilería confinada.

La mayor parte de las viviendas son de un piso, seguida de viviendas de dos pisos, en donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada. El tipo de techo de mayor uso en las viviendas es la losa aligerada, seguida de coberturas ligeras como caña o torta de barro. El estado de conservación es regular y se observó la presencia de humedad en la base de las viviendas (Ver Figura 14 y Figura 15). Además existe una pequeña zona industrial ubicada cerca a la entrada del distrito (Ver Figura 16).



Figura 16. Vista de edificaciones industriales.

Sector 03

Las viviendas en el Sector 03 son mayormente de un piso, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada de ladrillo artesanal sólido con losa aligerada (Ver Figura 17 y Figura 18). En general, este sector está en regular estado de conservación y muchas de ellas se observa humedad y salitre en la base de las viviendas.



Figura 17. Vista de viviendas de un piso y 2 pisos albañilería confinada.



Figura 18. Viviendas de un piso de del sector 03.



Figura 19. Vista de viviendas del Sector 03.



Figura 20. Vivienda informal de un piso con presencia de humedad en la base.

Se pudieron observar algunas viviendas en adobe o construidas de manera informal ya que no cuentan con elementos de confinamiento en varias manzanas del sector de igual manera presentan humedad en la base (Ver Figura 19 y Figura 20).

X. 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.
- Asten M.W. and Henstridge J.D., 1984, "Array Estimators and the use of Microseisms for Sedimentary Basin Reconnaissance": Geophysics v. 49, 1828–183.
- 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.
- Capon J., 1969, High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis: Proc. IEEE, v. 57, p. 1408-1418.
- 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.



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

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



- 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
- CISMID (2007), "Microzonificación de la Ciudad de Pisco", Lima, Perú
- 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.
- Gabriels, P., Snider, R., and Nolet, G., 1987, In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves: Geophys. Prospecting, 35, 187-196.
- González 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.
- Flores, H.C.(2004), "Método SPAC : Una alternativa para la Estimación de Modelos Velocidades en el Valle de México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- HIDROENERGIA CONSULTORES EN INGENIERIA SRL (2010), "Estudio Geotécnico con Fines de Cimentación de 05 Reservorios – R-03 Collique", Informe Técnico, Lima, Perú.
- Hunt, Roy E (1986), "Geotechnical Engineering – Techniques and Practices", McGraw-Hill, USA.
- INDECI, INGEMMET, CESEL, CONIDA (2007), "Investigaciones Geotécnicas realizadas en el distrito de San Clemente", Sismo de Agosto de 2007.
- INDECI, INGEMMET, CESEL, CONIDA (2008), "Mapa de Peligros de Pisco y San Andrés", Información para la reconstrucción del Sismo de Agosto de 2007.
- Instituto Geofísico del Perú. (2000), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- INGEMMET (1992), "Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica "Boletín N°43 – Hoja: 24-i.
- INGEMMET (1993), "Geología de los Cuadrángulos de Mala, Lunahuana, Tupe, Conayoa, Chinchá, Tantara y Castrovirreyna", Boletín N° 44, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.



- 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 Xia, 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.
- Plan de Ordenamiento Territorial y Ambiental -POTA- (2011), Geología de la Cuenca Chillón.
- http://www.alter.org.pe/cuenca/sis_natural_fisico.html. Pagina accedida en Marzo del 2011.
- Roma V. (2001), "Soil Properties and Site Characterization by means of Rayleigh Waves", PhD Degree in Geotechnical Engineering, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Technical University of Turin (Politecnico), Italy.
- 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.
- SEDAPAL (2009), Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Optimización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de Redes y Actualización de Catastro – Área de Influencia Planta Huachipa – Área de Drenaje Comas – Chillón – Lima", Informe Técnico, 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.



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

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



- 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.
- Tokimatsu K., Miyadera Y. and Kuwayama S. (1992a), Determination of Shear Wave Velocity Structures from Spectrum Analyses of Short-Period Microtremors, Proc., 10th World Conf. on Earthquake Engrg., 1, , 253-258.
- Tokimatsu K., Shinzawa K., Kuwayama S. (1992b), Use of short-period microtremors for Vs profiling, J. Geotechnical Eng., vol. 118 (10), ASCE, pp. 1544-1558.
- TRABAJOS GEOLÓGICOS realizados en el mes de enero del 2012.
- U. S. Army Corps of Engineers, (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.
- Underwood, D.; Hayashi, K. (2006), Surface Wave data Acquisition and Field Methods, Geometrics Inc, U.S.
- Microtrepidaciones en las ciudades de Tacna y Cusco Autor: Tokeshi Nagamine, Juan Carlos. Tesis de grado para optar título de Ingeniero Civil. UNI-FIC, 1990.
- Estudio Mapa de Peligros de la Ciudad de Tacna (distritos de Tacna, Gregorio Albarracín, Pocollay y complemento Alto de la Alianza y Ciudad Nueva). Instituto Nacional de Defensa Civil, Proyecto INDECI-PNUD PER 02/51, 2004.
- "Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico", (Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar Arredondo, 2009), publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pag. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS).
- CISMID-FIC-UNI. (2007). Microzoning of Pisco, San Luis de Cañete and Huaytara. Report for Inter American Development Bank (IDB) and Secretary of the Presidency of First Minister (PCM), Lima, PERU.
- CISMID-FIC-UNI. (2008). Microzoning of Tambo de Mora and Chinchabaja. Report for World Bank (WB) and FORSUR Ministry of Housing, Lima, PERU.
- Journal of Structural Engineering ASCE (July 2002) .Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes.
- Journal of Structural Engineering ASCE. (1999.) Approximate lateral deformation demands in multistory buildings – Miranda Eduardo.



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

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



-
- Carlos Zavala y Ricardo Proaño – XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos Perú (Octubre 2003). Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de libertad para el cálculo de vulnerabilidad sísmica.
 - CISMID/FIC/UNI/ (Noviembre 2007) - Carlos Zavala SRSND Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño.