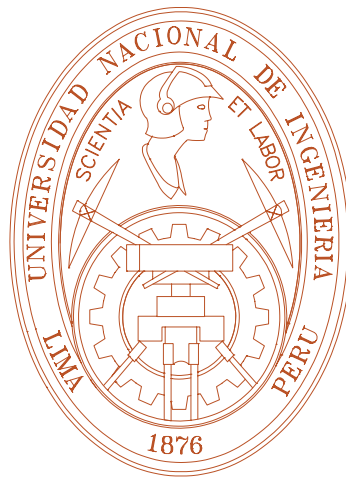


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**SECCIÓN DE POST - GRADO**



**ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA  
CIUDAD DE LIMA**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

**Ing. RONALD HERNESTO MACAZANA ERIQUE**

**LIMA - PERU**

**2006**

**ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE  
LIMA**

**Ing. RONALD HERNESTO MACAZANA ERIQUE**

**Presentado a la Sección de Post-grado de la Facultad de Ingeniería Civil en  
cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del grado de**

**MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

**de la**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**Noviembre de 2006**

**Autor**

**RONALD HERNESTO MACAZANA ERIQUE  
Facultad de Ingeniería Civil  
Noviembre del 2006**

**Recomendado por**

**Dr. Zenón Aguilar Bardales  
Profesor de Post - Grado  
Asesor de Tesis**

**Aceptado por**

**Dr. Jorge E. Alva Hurtado  
Jefe de la Sección de Post - Grado**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería, por haberme brindado la oportunidad de seguir estudios de maestrado, de igual manera a los profesores de la Sección de Post-Grado de la Facultad de Ingeniería Civil por sus sabias enseñanzas.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Zenón Aguilar Bardales, quien me impartió sus conocimientos, experiencias e inquietudes, generando mi interés en realizar la presente investigación.

Agradezco al Dr. Jorge Alva Hurtado quien con su amplia experiencia e inquietud, propia de un investigador, me apoyó en el desarrollo de la investigación.

Agradezco al Ing. Alberto Martínez Vargas y al Ing. David Luna por la colaboración prestada en el desarrollo del presente proyecto, durante el tiempo que estuve laborando en el CISMID.

Agradezco a todos mis compañeros del Laboratorio Geotécnico – CISMID, a Juan Pablo, Yesenia, Diana, Pilar, Marlene, Jorge, José, Ramiro, Milagros, Doris y todas aquellas personas que conocí en dicha institución, quienes mutuamente nos alentábamos para concluir nuestros trabajos de investigación, de la misma manera a mis amigos de la maestría por haberme apoyado a culminar este propósito.

**Ronald Hernesto Macazana Erique**

***A mi abuelo Alfonso, por ser la  
persona que silenciosamente me  
ha apoyado y comprendido; que en  
esta etapa de mi vida, pueda ser yo  
digno de todo lo que me ha brindado.  
Gracias abuelo por tus consejos.***

***A mis Padres Urbano y Teobalda  
quienes me vieron crecer, inculcándome  
sus enseñanzas y valores con paciencia  
y comprensión. A mi hermano Franco  
quien me apoyó en todo momento, Gracias.***

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN  
ABSTRACT  
LISTA DE FIGURAS  
LISTA DE FOTOS  
LISTA DE CUADROS  
LISTA DE PLANOS

## CAPÍTULO I GENERALIDADES

	Pág.
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4. CONTENIDO DEL ESTUDIO.....	5

## CAPÍTULO II EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS

2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 RESPUESTA DINÁMICA DE LAS ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS.....	6
2.3 MODELOS DINÁMICOS.....	7

## CAPÍTULO III CARACTERÍSTICAS DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA

3.1. INTRODUCCIÓN.....	10
3.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LOS ACANTILADOS DE LIMA.....	10

3.2.1. GEOLOGÍA.....	10
3.2.2. GEOMORFOLOGÍA.....	12
3.3. CONDICIONES GEOTÉCNICAS.....	14
3.4. PARÁMETROS DINÁMICOS.....	14

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA**

4.1. GENERALIDADES.....	27
4.2. MODELAMIENTO GEOMÉTRICO Y NUMÉRICO.....	28
4.2.1. MODELAMIENTO GEOMÉTRICO.....	28
4.2.2. MODELAMIENTO NUMÉRICO.....	30
4.2.2.1. MODELAMIENTO NUMÉRICO PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO.....	30
4.2.2.2. MODELAMIENTO NUMÉRICO PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO.....	33
4.3. ANÁLISIS DE RESPUESTA DINÁMICA DE LOS ACANTILADOS.....	37
4.3.1. SECCIONES ANALIZADAS.....	38
4.3.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	119

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **PLANOS**

## RESUMEN

En la presente investigación se ha realizado la evaluación de la respuesta dinámica de los taludes que conforman los acantilados de la ciudad de Lima, utilizando modelos bidimensionales y la técnica de elementos finitos. Este análisis permite definir el comportamiento sísmico de este tipo de estructura geotécnica natural con una mayor aproximación, proporcionando además los niveles de amplificación sísmica que se generan por la estratigrafía. El análisis bidimensional se realizó utilizando el programa Quake/W de GEO-SLOPE, así mismo se utilizó el registro tiempo – historia del sismo ocurrido el 3 de octubre de 1974 en Lima, normalizado a las aceleraciones de 0.20g y 0.40g, que son valores esperados para el sismo de operación y el sismo máximo probable respectivamente. Los resultados obtenidos muestran que se generan desplazamientos que están en el orden de 4 cm a 11 cm. Con respecto a las deformaciones permanentes, éstas alcanzan un valor de 74 cm para la sección más desfavorable (Sección I), cuando ésta es evaluada con el sismo escalado a la aceleración de 0.40g. Del mismo modo se observó que las amplificaciones tienen valores hasta de 6.00 veces en el rango de periodos de 0.6 – 0.8s. Se puede decir también que estas amplificaciones se podrían generar en las estructuras ubicadas en el área de influencia de los taludes, es decir dentro de los 65 metros medidos desde el borde de los taludes.



## **ABSTRACT**

In the present investigation was made an evaluation to determine the dynamic response of the slopes called Los acantilados of Lima city, using bidimensional models and the theory of finite elements. This analysis allows to define the seismic behavior of this type of geotechnical structures with better approximation, also provided levels of amplification that are generated by the discontinuities. The bidimensional analysis is developed using the Quake/W software of the GEO-SLOPE Corporation, in this way the record time - history of the earthquake that happened in 3 October of 1974 in Lima, scaled to the accelerations of 0.20g and 0.40g, which are expected values for operational and probable earthquake respectively was used.

The results show that the displacements generated were in the order of 4 cm to 11 cm. With respect to the permanent deformation it reaches a value of 74 cm for the critical section (Section I), when is estimated with the earthquake scaled to acceleration of 0.40g. In the same way the value of amplifications was 6.00 times in the range of periods of 0.6 to 0.8s. Also can be said these amplifications will be generated in the structures located near to influence area of the slopes, is to say within the 65 meters measured from the edge of the slopes.

## LISTA DE FIGURAS

### Nº Figura

- Figura Nº 1:** Esquema de los pasos realizados para evaluar la respuesta sísmica de los taludes del acantilado.
- Figura Nº 2:** Diagrama de flujo donde se muestra la ruta utilizada para evaluar los taludes.
- Figura Nº 3:** Perfiles de suelos recopilados de trabajos efectuados en la zona de estudio.
- Figura Nº 4:** Perfiles de suelos recopilados de trabajos efectuados en la zona de estudio.
- Figura Nº 5:** Histéresis de las relaciones esfuerzo – deformación.
- Figura Nº 6:** Correlación entre el módulo elástico y el coeficiente de balasto del suelo.
- Figura Nº 7:** Relación de  $G/G_{max}$  de los diferentes tipos de suelos utilizados en la investigación.
- Figura Nº 8:** Relación de Amortiguamiento de los diferentes tipos de suelos utilizados en la investigación.
- Figura Nº 9:** Representación esquemática de la manera como se evaluaron los acantilados siguiendo una metodología analítica.
- Figura Nº 10:** Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel.
- Figura Nº 11:** Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1400 kPa.
- Figura Nº 12:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel. Los valores fueron obtenidos de la evaluación del talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura Nº 13:** Desplazamientos calculados (en m) de la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de la evaluación del talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

- Figura N° 14:** Desplazamientos calculados (en m) de la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de la evaluación del talud con el sismo de Kobe de 1995 cuya aceleración máxima fue de 0.83g.
- Figura N° 15:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 16:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 17:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 18:** Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 19:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 20:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 21:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 22:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 23:** Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel.
- Figura N° 24:** Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel. Se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1400 kPa.

**Figura N° 25:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

**Figura N° 26:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

**Figura N° 27:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.

**Figura N° 28:** Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

**Figura N° 29:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

**Figura N° 30:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

**Figura N° 31:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

**Figura N° 32:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

**Figura N° 33:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

**Figura N° 34:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

- Figura N° 35:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 36:** Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar.
- Figura N° 37:** Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1200 kPa.
- Figura N° 38:** Desplazamientos calculados (en m) de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 39:** Desplazamientos calculados (en m) de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, con una aceleración escalada de 0.40g.
- Figura N° 40:** Desplazamientos calculados (en m) de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.
- Figura N° 41:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 42:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 43:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 44:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

- Figura N° 45:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 46:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 47:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 48:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 49:** Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores.
- Figura N° 50:** Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1600 kPa.
- Figura N° 51:** Desplazamientos calculados (en m) de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 52:** Desplazamientos calculados (en m) de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 53:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.
- Figura N° 54:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

- Figura N° 55:** Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 56:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 57:** Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 58:** Comparación entre espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 59:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 60:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 61:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 62:** Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores.
- Figura N° 63:** Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1400 kPa.
- Figura N° 64:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.20g.
- Figura N° 65:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g.

- Figura N° 66:** Desplazamientos calculados (en m) en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.
- Figura N° 67:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 68:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 69:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 70:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 71:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 72:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.
- Figura N° 73:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 74:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.
- Figura N° 75:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.
- Figura N° 76:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974,



escalado a la aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.

**Figura N° 77:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.

**Figura N° 78:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.

**Figura N° 79:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

**Figura N° 80:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

**Figura N° 81:** Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

**Figura N° 82:** Cociente espectral obtenido de la relación entre el nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

## LISTA DE FOTOS

### Nº Foto

- Foto Nº 1:** Vista de un talud de los acantilados de la Costa Verde (San Miguel), donde se aprecia que está compuesto por material gravoso, intercalado con finos, además se pueden observar las construcciones aledañas al talud.
- Foto Nº 2:** Vista panorámica de los taludes ubicados en el distrito de Miraflores.
- Foto Nº 3:** Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección I (distrito de San Miguel), como se puede apreciar el talud está compuesto por grava, intercalada con material fino.
- Foto Nº 4:** Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección II (distrito de San Miguel), como se puede apreciar el talud está compuesto por grava, intercalada con material fino.
- Foto Nº 5:** Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección III (distrito de Magdalena del Mar), como se puede apreciar el talud está compuesto por grava, en la parte intermedia se observa un estrato de material fino.
- Foto Nº 6:** Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección IV (distrito de Miraflores), como se puede apreciar el talud está compuesto en su mayoría por gravas.
- Foto Nº 7:** Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección V (distrito de Miraflores), como se puede apreciar el talud está compuesto en su mayoría por gravas. Se observa también la presencia de cárcavas.

## LISTA DE CUADROS

### Nº Cuadro

- Cuadro Nº 1:** Valores obtenidos de los ensayos de corte directo in situ.
- Cuadro Nº 2:** Cambios de las propiedades de los suelos con la deformación cortante y su correspondiente modelo (Según Ishihara, 1982).
- Cuadro Nº 3:** Relaciones empíricas para calcular valores de módulo de corte
- Cuadro Nº 4:** Relaciones empíricas entre la velocidad de corte y  $N_{60}$ .
- Cuadro Nº 5:** Relaciones empíricas entre la velocidad de corte y N.
- Cuadro Nº 6:** Resultados de la evaluación de los ensayos de placa.
- Cuadro Nº 7:** Resultados obtenidos en un ensayo de downhole realizado en el distrito de San Isidro.
- Cuadro Nº 8:** Criterio para la selección de las curvas de módulo de reducción y amortiguamiento (Según Stewart y Baturay, 2001).
- Cuadro Nº 9:** Criterio para la selección de las curvas de módulo de reducción y amortiguamiento (Según Silva et al, 1999,2000).
- Cuadro Nº 10:** Factores de Reducción del módulo cortante y razón de amortiguamiento en función de la deformación cortante efectiva (gravas).
- Cuadro Nº 11:** Factores de Reducción del módulo cortante y razón de amortiguamiento en función de la deformación cortante efectiva (arenas).
- Cuadro Nº 12:** Factores de Reducción del módulo cortante y razón de amortiguamiento en función de la deformación cortante efectiva (finos).
- Cuadro Nº 13:** Características de las secciones analizadas para el análisis dinámico.
- Cuadro Nº 14:** Parámetros utilizados para el análisis dinámico en la Sección I – Distrito de San Miguel.
- Cuadro Nº 15:** Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección I.
- Cuadro Nº 16:** Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección II - Distrito de San Miguel.
- Cuadro Nº 17:** Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección II.
- Cuadro Nº 18:** Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección III - Distrito de Magdalena Del Mar.

- Cuadro N° 19:** Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección III.
- Cuadro N° 20:** Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección IV - Distrito de Miraflores.
- Cuadro N° 21:** Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección IV.
- Cuadro N° 22:** Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección V - Distrito de Miraflores.
- Cuadro N° 23:** Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección V.

## **LISTA DE PLANOS**

### **N° Plano**

- Plano N° 1:** Geología de la Ciudad de Lima
- Plano N° 2:** Geomorfología de la Ciudad de Lima
- Plano N° 3:** Ubicación de Sondajes Recopilados
- Plano N° 4:** Topografía de los Acantilados de Lima

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Por las referencias históricas de Silgado, E. (1978) y datos obtenidos instrumentalmente se conoce que la ciudad de Lima ha sido sometida a una serie de sismos de gran intensidad, durante los cuales en múltiples oportunidades ha sufrido cuantiosos daños materiales y pérdidas de vidas humanas. La principal fuente generadora de eventos sísmicos que afectan esta región es la zona de subducción, definida por la interacción de la Placa de Nazca y la Placa Continental. Los efectos de estos movimientos sísmicos se ven incrementados por las diferentes condiciones de sitio que se presentan en Lima. En la actualidad es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio es uno de los principales factores responsables de los daños sufridos durante un sismo. Una manera de determinar estas condiciones es evaluando la topografía, geología y geomorfología.

Los Acantilados de la ciudad de Lima, comúnmente llamados de la Costa Verde, presentan un potente depósito de suelo granular consolidado que pertenece al Conglomerado de Lima, intercalado con material de relleno y suelos finos. Los taludes presentan en algunas zonas pendientes de hasta 90°, las que asociadas a las características de los materiales que conforman el talud y a la actividad sísmica existente, podrían generar elevados niveles de amplificación y deformaciones.

En la presente tesis de investigación se ha efectuado un análisis dinámico bidimensional, considerándose para tal efecto diferentes secciones representativas de los acantilados de la ciudad de Lima, que fueron elegidas teniendo en cuenta el grado de peligro que representan, basado en los resultados de análisis pseudos estáticos realizados en investigaciones anteriores.

El área en estudio está conformada por aproximadamente 8.5 Km de los acantilados de la ciudad de Lima, desde San Miguel hasta la Bajada de Armendáriz, abarcando los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro y Miraflores.

En el presente estudio para determinar la estratigrafía de estas secciones se hizo uso de los trabajos realizados anteriormente en la zona y de la inspección visual del tipo de material y su variación en el perfil de cada uno de los taludes analizados.

Para el análisis dinámico se utilizó un modelo bidimensional apoyado por la metodología de elementos finitos.

El modelo constitutivo utilizado es el lineal equivalente, según el cual las características de rigidez y amortiguamiento del suelo son consideradas lineales inicialmente y luego son ajustadas hasta que sean compatibles con los niveles de deformación inducidos en el terreno. Para realizar este análisis se utilizó el programa de cómputo QUAKE/W de la compañía GEO-SLOPE Internacional Ltd.

## **1.2 OBJETIVOS**

- Determinar la respuesta dinámica de los taludes de los Acantilados de Lima frente a los sismos y evaluar las deformaciones permanentes que podrían generarse ante sollicitaciones sísmicas.
- Estimar el grado de amplificación que se podría generar en las estructuras ubicadas en el área de influencia de los taludes. Así mismo determinar a que distancia del borde del talud se encuentran los mayores grados de amplificaciones.

## **1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La zona en estudio se encuentra ubicada en el área costera de la ciudad de Lima, la cual es afectada por una gran actividad sísmica. Además de la amenaza sísmica, también se puede tener la ocasionada por las vibraciones generadas por la actividad humana, las que pueden ocasionar derrumbes y desprendimientos de

bloques de roca (cantos rodados) en los taludes. Estos problemas pueden ser previsibles y deben ser evitados con un permanente monitoreo de los taludes.

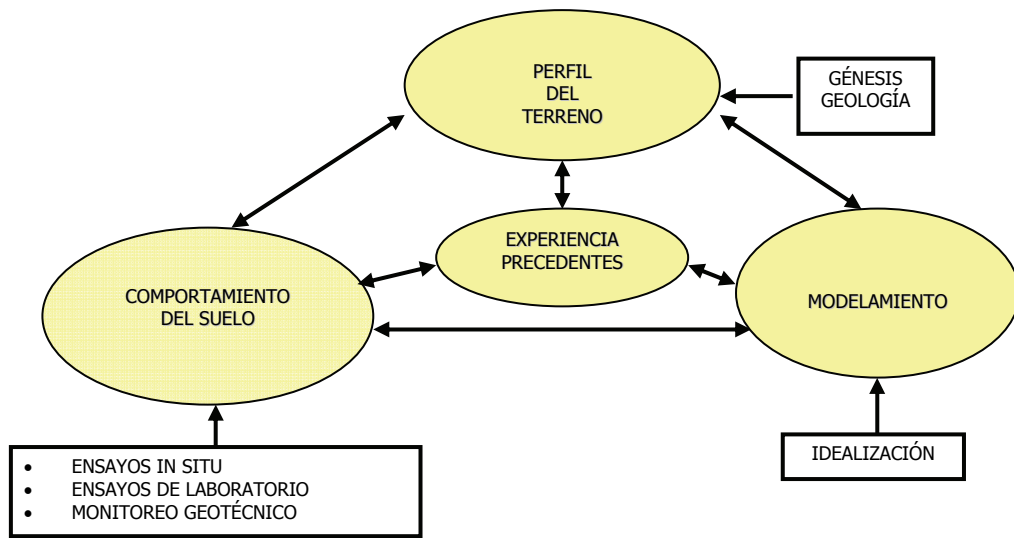
Otro problema que se presenta es la irregular estratigrafía de los taludes compuesto por gravas (intercaladas con lentes y/o estratos de material fino) y rellenos, tal como se puede apreciar en la Foto N° 1.



**Foto N° 1: Vista de un talud de los acantilados de la Costa Verde (San Miguel), donde se aprecia que está compuesto por material gravoso, intercalado con finos, además se pueden observar las construcciones aledañas al talud.**

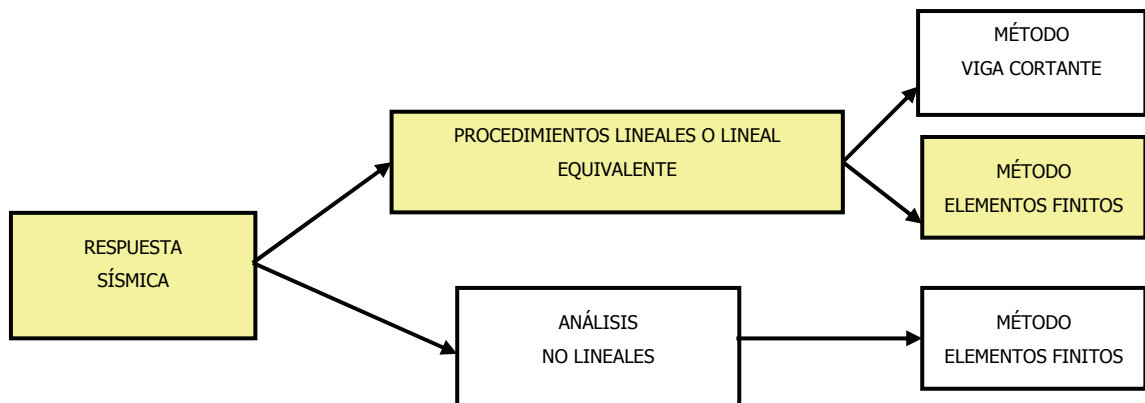
Para el desarrollo de la investigación se debió considerar un adecuado perfil del terreno, conocer el comportamiento de los suelos que lo conforman y realizar un modelamiento adecuado para poder entender el comportamiento en conjunto, todo esto se basó en los trabajos y experiencias precedentes. El procedimiento seguido en la investigación es mostrado mediante un esquema en la Figura N° 1.





**Figura N° 1: Esquema de los pasos realizados para evaluar la respuesta sísmica de los taludes del acantilado.**

La evaluación de la respuesta sísmica de los taludes se puede llevar a cabo mediante un análisis lineal o lineal equivalente, utilizando el método de la viga cortante o el de elementos finitos o mediante el análisis no lineal utilizando la metodología de elementos finitos, tal como se muestra en la Figura N° 2. En la presente tesis de investigación se ha considerado la evaluación de la respuesta sísmica de los taludes que conforman los Acantilados de la ciudad de Lima mediante un análisis lineal equivalente realizado con el método de elementos finitos.



**Figura N° 2: Diagrama de flujo donde se muestra la ruta utilizada para evaluar los taludes que conforman los Acantilados de la ciudad de Lima.**

Se debe tener presente que la investigación no pretende proponer medidas de estabilización sino evaluar la respuesta dinámica de los acantilados, analizando el

grado de amplificación, los espectros de respuesta y los desplazamientos máximos, utilizando para esta evaluación el registro de tiempo historia de aceleraciones del sismo ocurrido en la ciudad de Lima el 3 de octubre de 1974, que para el presente análisis ha sido escalado a las aceleraciones máximas de 0.20 y 0.40g que son valores esperados para el sismo de operación y el sismo máximo probable respectivamente. Los resultados muestran los probables valores de deformaciones permanentes que se generarían en los acantilados si estuvieran expuestos a un sismo de esas características.

#### 1.4 CONTENIDO DEL ESTUDIO

En este primer Capítulo se han detallado los objetivos y la descripción del problema, en los siguientes capítulos se describe la metodología empleada en el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo II **Evaluación del Comportamiento Dinámico de las Estructuras Geotécnicas**, se presentan los diferentes tipos de evaluación realizadas para determinar la respuesta dinámica de estructuras de tierra, en nuestro caso enfocado al análisis de taludes, además se explica el motivo por el que se utilizó un análisis bidimensional.

En el Capítulo III **Características de los Acantilados de la Ciudad de Lima**, se presentan las condiciones geológicas, geotécnicas y geomorfológicas de los acantilados en estudio, definiendo un perfil característico de los taludes, y mediante relaciones empíricas mostradas en la investigación se han adoptado parámetros dinámicos para los materiales que conforman los taludes.

En el Capítulo IV **Análisis Dinámico de los Acantilados de la Ciudad de Lima**, se muestra la descripción del modelamiento seguido para obtener resultados coherentes y justificados que nos permitan entender el comportamiento de los taludes. Así mismo, se presenta la discusión de los resultados obtenidos.

Finalmente en el Capítulo V **Conclusiones y Recomendaciones**, se presentan las conclusiones a las cuales se ha llegado con los resultados obtenidos de las secciones analizadas y se formulan recomendaciones para la realización de futuros estudios, que continúen y/o profundicen la investigación sobre el tema.

## CAPÍTULO II

### EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

Las estructuras geotécnicas, al igual que las estructuras de concreto o de metal, se comportan como cuerpos deformables cuando están sujetos a la acción de cargas estáticas y dinámicas. En el presente capítulo se muestran los diferentes sistemas de evaluación de la respuesta dinámica en las estructuras geotécnicas, dentro de esta evaluación se consideran el análisis unidimensional y bidimensional, así también se describen los criterios que se han venido utilizando para desarrollar estos análisis.

#### 2.2 RESPUESTA DINÁMICA DE LAS ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS

El interés generado para predecir el comportamiento de las estructuras geotécnicas, tales como presas, terraplenes y taludes frente a solicitaciones sísmicas, ha ocasionado el desarrollo de las diferentes formulaciones analíticas y matemáticas. En la actualidad se han venido realizando ensayos de laboratorio para evaluar estas estructuras, a tal punto que ahora es factible calibrar nuestros procedimientos usando valores reales.

La metodología desarrollada en el análisis de respuesta dinámica enfoca su análisis principalmente en determinar las deformaciones, aceleraciones y esfuerzos generados, en respuesta a las vibraciones debido a las perturbaciones de origen sísmico. Aunque su uso se ha desarrollado mayormente en estructuras geotécnicas construidas por el hombre, en este caso particular se ha realizado la evaluación dinámica de taludes naturales con la finalidad de obtener un patrón del comportamiento de los Acantilados de la Ciudad de Lima.

## 2.3 MODELOS DINÁMICOS

Los modelos dinámicos en sus inicios fueron desarrollados para evaluar presas de tierra, así tenemos como primer antecedente en el año 1936 a Mononobe, quien fue el primero en considerar a las presas de tierra como cuerpos deformables e introdujo los componentes para desarrollar el modelo denominado “Cuña de Corte” o modelo de “Viga de Corte”. Este modelo está basado en la suposición que la presa se deforma en un modelo de corte simple, produciendo así sólo desplazamientos horizontales. Hatanaka (1952) ha verificado la exactitud de esta suposición al menos para la condición de fundaciones rígidas. El modelo de la Viga de Corte también asume que cualquier esfuerzo cortante o deformación cortante sean uniformes a través de planos horizontales.

En la década de los 60, se realizó la primera prueba de este modelo en una clara medida de evaluar las vibraciones a escala natural de la Presa Bouquet. De esta prueba se obtuvieron que los valores previstos para las primeras cinco frecuencias naturales sólo fueron aproximadamente 10 a 20% más altos que aquellos realmente medidos, pero las amplitudes de oscilación que predice el modelo a cada una de estas frecuencias (es decir, las formas de modo) apenas pudieron igualarse al modelo observado de las amplitudes, que decrecen rápidamente con la profundidad de la corona. Esta discrepancia fue criticada en la suposición del modelo de Viga de Corte, pues se notó que la forma de flexión de la sección vertical de la presa es similar a la forma de una viga en voladizo que se deforma en flexión más que en corte.

Similares conclusiones fueron obtenidas por Okamoto et al (1969), quienes analizaron registros completos de la respuesta de la presa de tierra de Sannokai durante cinco sismos distintos. Una vez más, los valores del modelo de viga de corte para las primeras dos frecuencias naturales coincidían con las medidas. Sin embargo, las diferencias eran notorias para las formas de modo mayores. De hecho, el inesperado decaimiento de la amplitud con la profundidad para el primer modo resonante registrado, llevó a Okamoto et al a sospechar que este modo correspondía al segundo, mas que al primer modo natural. Sin embargo, cuando los registros de movimientos mayores mostraron un modelo similar de formas de modo, rechazaron su interpretación inicial. En cambio, concluyeron correctamente que el modelo usado no puede explicar lo que realmente se observa en el campo

y esto no se debe a la insuficiencia conceptual del modelo de viga de corte, sino es debido a la rigidez no - uniforme del terraplén, que presenta diferentes grados de consolidación a través del cuerpo de la presa.

En esta década (fines de los 60's) se dio también la primera aplicación y el subsiguiente desarrollo de la utilización del método de elementos finitos en el estudio de la respuesta dinámica de las estructuras de tierra. La popularidad inmediata de esta metodología se debe principalmente a factores tales como:

- Su capacidad para manejar cualquier número de zonas con diferentes materiales, teniendo que con el modelo de Viga de Corte, las propiedades elásticas podrían ser representadas por un valor medio.
- Su capacidad de reproducir racionalmente esfuerzos dinámicos en 2D y desplazamientos de fluencia durante el movimiento sísmico, considerando que la suposición simplificada de los esfuerzos uniformes cortantes horizontales en el análisis del modelo de Viga de Corte parecía violar la condición física de esfuerzos que se disipan en las dos caras de la presa.

Los profesores Takemiya H. y Adam M. (1997), evaluaron las amplificaciones provocadas por las ondas sísmicas debido a la topografía y geología de la ciudad de Kobe durante el sismo de Hyogo – Ken Nanbu ocurrido el 17 de enero de 1995. En este modelo se hizo uso de elementos finitos para modelar estratos conformados por un depósito aluvial en la superficie, seguido por material diluvial y finalmente por capas sedimentarias del grupo Osaka, alcanzando un espesor de 500 metros; para modelar la formación rocosa se hizo uso de elementos de borde. De la investigación, se determinó que los resultados obtenidos por el modelo con elementos finitos y los valores reales son similares.

La evaluación de la respuesta sísmica, utilizando la metodología de elementos finitos, ha sido de gran ayuda para mejorar el entendimiento del comportamiento de estructuras de tierra, por este motivo en el presente trabajo de investigación se hizo uso de esta metodología para desarrollar un modelo dinámico bidimensional de los acantilados de Lima. Debido a la complejidad de este análisis, se debe tener presente los siguientes parámetros:

- Característica del sismo (aceleración máxima, tiempo de duración, la dirección).
- Tipo de material de la estructura y donde se encuentra cimentada la misma.
- Propiedades estáticas y dinámicas de los materiales que conforman la estructura a ser evaluada y su cimentación.
- Las propiedades no lineales de los materiales.
- Métodos de análisis.

De los parámetros mencionados se debe tener cuidado en la evaluación de los sismos y su propagación, teniéndose presente que en la evaluación de la respuesta sísmica se tomará en cuenta el registro de aceleraciones, el cual es el resultado de una toma de datos instrumentales, en estaciones acelerográficas, dando un registro de tiempo – historia de aceleraciones, permitiendo observar características del sismo tales como la aceleración máxima y el tiempo de duración. También merecen una mención la determinación de las propiedades estáticas y dinámicas de los materiales que conforman la estructura y su cimentación.

Cuando evaluamos la amplificación en la superficie de la estructura, ésta puede deberse a la no homogeneidad de los materiales. Los efectos de no linealidad de los materiales en el comportamiento dinámico por ejemplo en el caso de presas están asociados a las amplitudes de los movimientos sísmicos. Teniendo así, que para excitaciones de pequeña amplitud el comportamiento del sistema es esencialmente lineal, en cuanto que las excitaciones de amplitud grande probablemente inducirán una respuesta no lineal.

## CAPÍTULO III

### CARACTERÍSTICA DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Una de las características importantes para el análisis de los acantilados es conocer la disposición de los diferentes tipos de formaciones geológicas y de los suelos que se aprecian en los taludes, los cuales están asociados a las condiciones geomorfológicas. Una vez definidos los tipos de materiales que se presentan y conocidas sus características geotécnicas, éstos serán asociados a sus respectivos parámetros dinámicos para realizar propiamente la evaluación dinámica de los taludes. En la definición de los parámetros dinámicos se utilizaron varias relaciones empíricas que se describirán mas adelante, apoyado también en la recopilación de bibliografía.

#### 3.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LOS ACANTILADOS DE LIMA

Para conocer las condiciones geológicas y geomorfológicas de los taludes que conforman los acantilados de la ciudad de Lima se recurrió a los estudios realizados por Lisson (1907, 1939), Martínez y Porturas (1975) e INGEMMET (1992), quienes han definido la composición geológica de la zona, la cual será descrita a continuación (A. Martínez, 1996).

##### 3.2.1 GEOLOGÍA

La ciudad de Lima está situada sobre el cono de deyección del río Rímac (Ver Plano P-01). Este cono está constituido por un material aluvial de estructura lentiforme entrelazada por depósitos superpuestos de cantos rodados, arena, arcilla y limos sin orden ni arreglo, lo que se puede notar claramente en la cara expuesta de los acantilados. Estos depósitos aluviales han sido depositados durante la última etapa del Pleistoceno y forman un abanico fluvial de más de 60 millones de años de antigüedad. El cono de deyección va desde la localidad de Santa Clara al Este, Morro

Solar al Sur y la zona de Bocanegra al Norte de la ciudad de Lima, siendo éste erosionado continuamente por el mar, apreciándose este fenómeno con mayor intensidad en la zona de Magdalena del Mar.

En la zona de San Miguel, por el sector de la Av. Bertolotto el abarrancamiento del acantilado es marcado, habiéndose ejecutado algunos rellenos. El porcentaje de cantos rodados constituyen más del 80%, encontrándose el nivel de sedimentos finos en la parte superficial del acantilado. Los cantos rodados están regularmente graduados y alterados en la superficie. En la base del talud existen lentes arcillosos.

En las zonas de San Miguel y Magdalena del Mar, la falla de los taludes del acantilado está gobernada principalmente por efecto de erosión o socavación marina al pie del talud, los debilitamientos por acción del agua a través de tuberías y por los excesivos rellenos que se han depositado en las coronas de los taludes. En ambas zonas puede observarse que la disposición de los estratos que se presentan en los taludes son semejantes y a la vez poco estables debido a la ausencia de las costras calcáreas en el pie de los taludes.

En la zona de Miraflores se aprecian taludes en cuya base se observa la presencia de paquetes de gravas con costras calcáreas. Estas gravas tienen diversas mezclas de material fino, arenas, limos y arcillas, algunos de estos materiales se encuentran oxidados. El mayor espesor de estos lentes de material fino se encuentra a los 20.00m de altura aproximadamente. En el acantilado se pueden distinguir hasta 3 capas. La capa superior del talud está cubierta por los suelos finos de 5.00 a 8.00m de espesor aproximadamente, notándose la presencia de arcillas de mediana a alta plasticidad. También se observan cárcavas que constituyen líneas de escurrimiento, estas líneas están próximas a los rellenos, parques y jardines. En las siguientes capas se observan el material predominante que son las gravas y los lentes de material fino cuyos espesores son variables.



También se observa que el perfil de los taludes no es uniforme en algunos sectores, los dos tercios inferiores son casi verticales, mientras que el tercio superior tiene un ángulo de aproximadamente 35°. El probable mecanismo de falla se puede atribuir a un tipo de falla escalonada, que se inicia en la parte superior del talud y progresivamente se transmite hacia abajo. Se ha podido identificar este tipo de falla en las inmediaciones del distrito de Miraflores.

### 3.2.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología que se presenta en los acantilados puede ser descrita sobre la base del Mapa Geomorfológico de Lima realizado por Martínez y Porturas (1975) y actualizado por Martínez y CISMID (2004) (Ver Plano P-02), en los cuales se observan las fases de evolución de los depósitos cuaternarios llamados terrazas. Según los mapas mencionados la terraza  $t_2$  termina en su parte frontal en los acantilados casi verticales que se presentan en la mayor parte de la longitud del área de estudio, producto de la erosión del mar. Esta terraza corresponde a las primeras épocas del Rímac, cuando su cauce seguía la dirección Sur - Oeste y va tomando mayor altura de Norte a Sur, adquiriendo mayor desarrollo en Miraflores, donde estaría situada la parte central del cono deyectivo, alcanzando una altura de 70.00m.

Tomando como referencia el Boletín N° 43 del INGEMMET (1992), el área en estudio pertenece a la región costera, en la que se desarrolló un cono producto de la erosión e incisión del drenaje del río Rímac. En la zona existen dos unidades morfológicas denominadas: playa - acantilado y planicies costeras - conos deyectivos.

La primera unidad corresponde al área adyacente a la línea litoral, expuesta a la acción de olas marinas, que se extiende de Nor - Este a Sur - Este en forma de una faja delgada cuya anchura va desde unos metros en algunos casos y en otros pueden alcanzar de 1.00 a 2.00Km. Primero se aprecia la formación de playas a través de corrientes litorales o por deriva litoral, seguido por los acantilados que se han formado por socavamientos y

erosión de la terraza aluvial, que va tomando mayor altura de Norte a Sur, presentando en mayor parte un relieve subvertical o reniforme.

La segunda unidad se desarrolló a lo largo de una franja paralela a la costa en forma de planicie que fue una antigua depresión ahora rellena por gravas, arenas y arcillas, la cual constituye el cono aluvial del río Rímac.

Las unidades estratigráficas existentes a lo largo de los acantilados, están relacionadas con los depósitos consolidados del cuaternario. Los depósitos del cuaternario están conformados por depósitos aluviales - fluviales, aluviales, mantos recientes, así como de costras calcáreas, material de relleno y vegetación existente, las que se describirán a continuación:

**Depósito aluvial-fluvial (Q<sub>pr</sub>-al-fl)**, cuya edad se encuentra entre el cuaternario antiguo y reciente; está conformado por conglomerados (decrece en potencia y en tamaño, de Norte a Sur) que tienen como matriz un material arenoso y/o arena limoso, con horizontes de material aluvial (Q<sub>r</sub>-al) y lentes compuestos por material aluvial o arenas cubriendo a estos conglomerados hasta una altura desde el pie que oscila en 20.00m. Se pueden apreciar costras calcáreas producto de anteriores filtraciones de agua que ha cementado el material en mención. Esto ocurre desde la playa Los Delfines (altura de la Av. Federico Villareal) hasta la playa Los Pavos (altura del Malecón Pasos).

**Depósito aluvial (Q<sub>r</sub>-al)**, que tiene como edad el cuaternario reciente y/o se puede decir que pertenece a las últimas avenidas aluviales del río Rímac. Este depósito, heterogéneo y errático está compuesto por arcillas, arenas y limos.

**Depósito marino (Q-m)**, cuya edad es del cuaternario reciente, que está compuesto por arenas marinas recientes.

**Depósito de relleno (Q-r)**, constituido por desmonte y/o basura, que se puede apreciar a lo largo del borde de las terrazas que muchas veces tienen potencias considerables (10.00 - 20.00m), otras veces se les puede encontrar entre las cárcavas o al pie del talud.

### 3.3 CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Para obtener las condiciones geotécnicas de los taludes que conforman los acantilados de la ciudad de Lima se recopilaron los trabajos e investigaciones realizadas en la zona y áreas cercanas, constituidos por registros de calicatas y trincheras (Ver Figuras N° 3 y 4), siendo complementada con el perfil estratigráfico observado en los taludes. Se pudo concluir que los taludes están compuestos por una estratigrafía irregular de una grava mal gradada, intercalados con lentes de suelos arenosos y limosos, con presencia de rellenos en algunos sectores. La ubicación de los estudios recopilados se muestran en los planos P-03A, P-03B y P-03C.

Asimismo, de los datos recopilados se obtuvieron valores de resistencia cortante de los materiales antes mencionados (Cuadro N° 1), estos fueron obtenidos de ensayos de corte directo In Situ realizados en el Malecón de la Marina – Miraflores y en Chorrillos (Cañari, 2001).

**Cuadro N° 1**  
**Valores obtenidos de los ensayos de corte directo in situ**

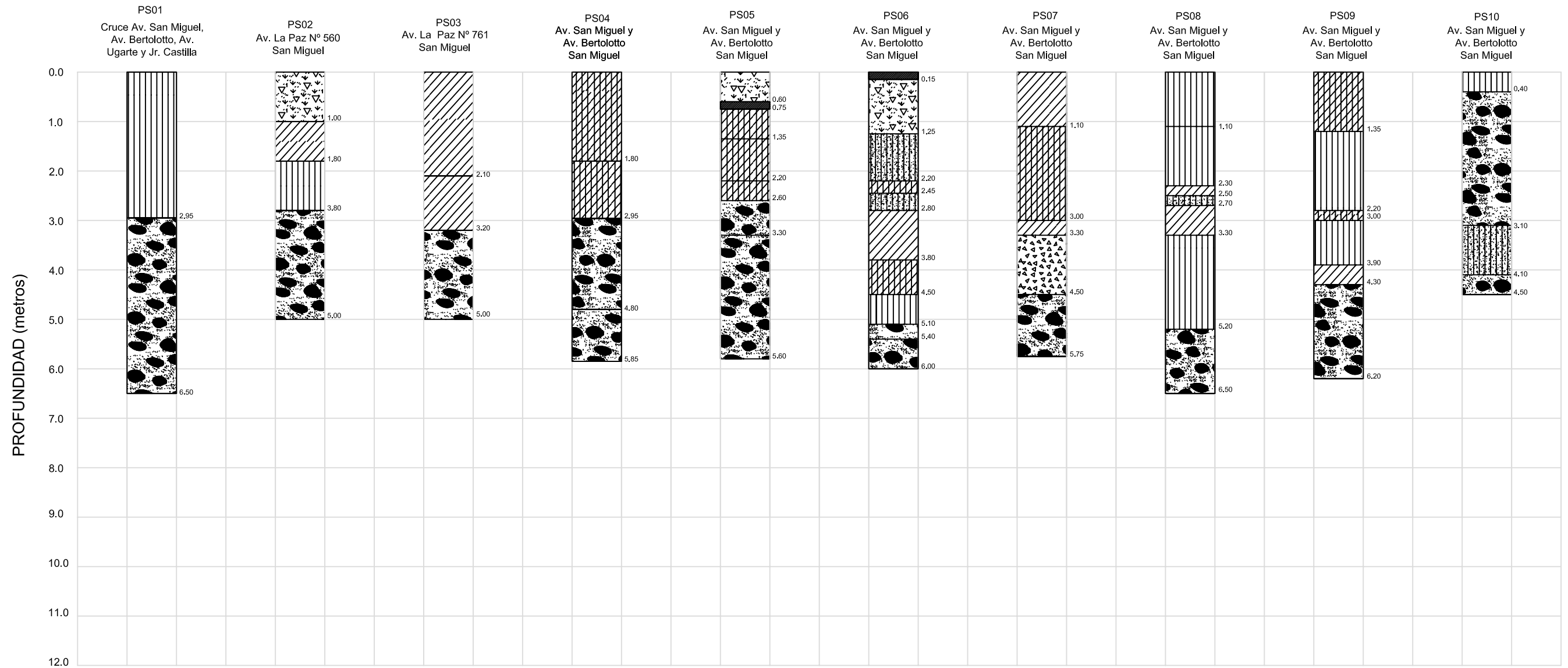
Valores	Grava	Material fino
Peso específico (KN/m <sup>3</sup> )	21	17
Cohesión (c) (kPa)	55	90
Phi ( $\phi$ ) (°)	39.9	28.5

Los valores de resistencia mostrados en el Cuadro N° 1 sirven de base para asignar los parámetros dinámicos de los materiales que conforman el talud.

### 3.4 PARÁMETROS DINÁMICOS

La propagación de las ondas sísmicas en una masa de suelo induce variaciones de los esfuerzos desviadores e isotrópicos. Por esta razón, cuando las condiciones de carga dinámica de los suelos están siendo analizadas, se debe prestar atención principalmente al comportamiento del esfuerzo y deformación

## Perfiles de suelos recopilados de trabajos efectuados en la zona de estudio - 01



LEYENDA			
PS01 : Perfil de suelo recopilado			
■	L	: Loza	
▒	R	: Relleno	▒
▒	GP	: Grava Mal Graduada	▒
▒	SP	: Arena Pobremente Gradada	▒
			▒
			SM : Arena Limosa
			▒
			ML : Limo de Baja Plasticidad
			▒
			CL : Arcilla de Baja plasticidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SECCIÓN DE POST-GRADO

TESIS: "ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"

PLANO: PERFILES DE SUELOS DE LA CIUDAD DE LIMA

Fecha: JULIO, 2006	Tesisista: Ing. RONALD MACAZANA E.	Asesor: Dr. ZENÓN AGUILAR BARDALES	Escala: S/E	Figura N° <b>03</b>
-----------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	----------------	------------------------



cortante. Las deformaciones cortantes para rangos prácticos en problemas de ingeniería geotécnica son ilustradas en el Cuadro N° 2, debiéndose señalar que estos rangos presentados se refieren al comportamiento idealizado de los suelos.

**Cuadro N° 2**

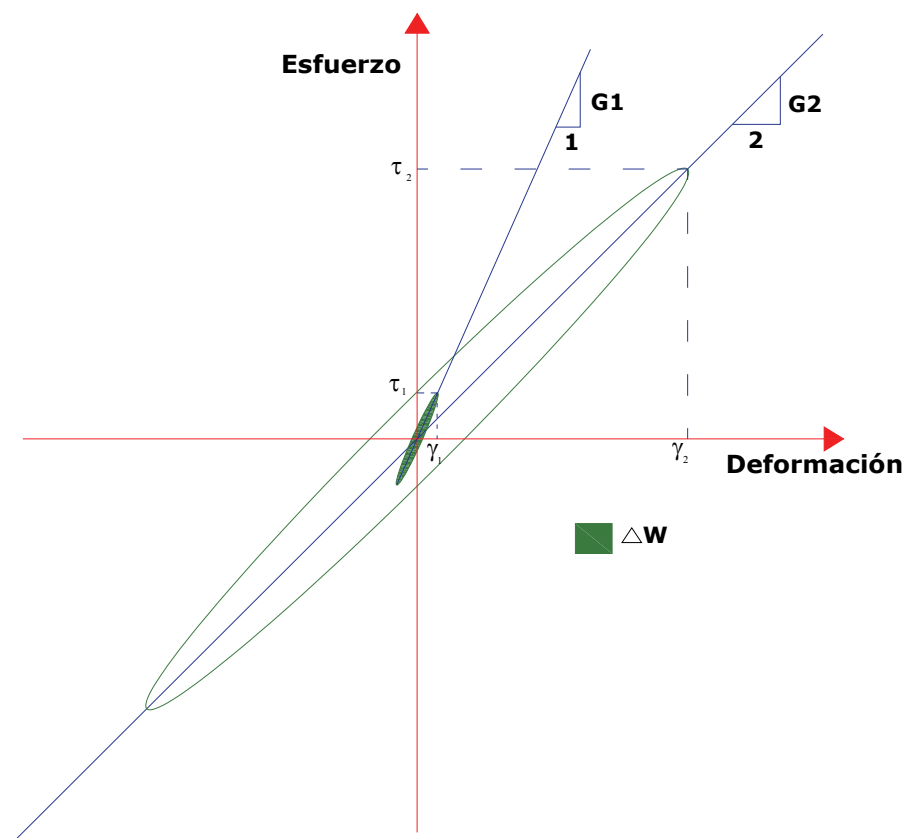
**Cambios de las propiedades de los suelos con la deformación cortante y su correspondiente modelo**  
(Según Ishihara, 1982)

Deformación cortante	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>
	Deformaciones Pequeñas	Deformaciones Medianas	Deformaciones Grandes	Deformaciones Asociadas a Falla		
Elástica						
Elasto - plástica						
Falla						
Efecto repetición de carga						
Efecto de porcentaje de carga						
Modelo	Lineal elástico	Visco elástico Lineal - equivalente		Dependiendo del tipo de cargas		

*Ref:– Baldovin y Paoliani (1994)*

Debido a las consideraciones antes mencionadas es necesario evaluar la respuesta de los suelos, para lo cual se debe determinar el módulo de corte y las características de amortiguamiento, bajo condiciones de cargas cíclicas. En muchos casos este análisis es realizado usando el método lineal – equivalente, en el cual los factores del módulo y amortiguamiento usados son compatibles con el desarrollo de las deformaciones en el depósito del suelo o estructura de tierra, debido a que la mayoría de los suelos tienen relaciones curvilíneas esfuerzo – deformación (Figura N° 5). El módulo de corte es usualmente expresado como el

módulo secante determinado por los puntos extremos sobre el lazo histerético, mientras que el factor de amortiguamiento es proporcional al área dentro del lazo histerético. Está claro que cada una de estas propiedades depende de la amplitud de la deformación para la cual el lazo histerético es determinado.



**Figura N° 5**  
**Histéresis de las relaciones esfuerzo - deformación**

En el caso de los acantilados, que es el interés del estudio, se realizó una recopilación en la bibliografía existente de las fórmulas empíricas que nos muestran la manera de calcular el módulo de corte ( $G$ ), estas fórmulas y sus respectivas referencias se muestran en el Cuadro N° 3.

**Cuadro N° 3**  
**Relaciones empíricas para calcular valores de módulo de corte**

Relación	Referencia	Comentario
$G = 1000K_2(\sigma'_m)^{0.5}$	Seed & Idriss (1970)	G en psf
$G_{\max} = 14760 \frac{(2.973 - e)^2}{1 + e} (OCR)^a (\sigma'_m)^{0.5}$	Hardin & Drnevich (1972)	G <sub>max</sub> en psf (a) : parámetro que depende de PI
$G_{\max} = 8400 \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} (\sigma'_m)^{0.5}$	Yoshimi et al (1977)	G <sub>max</sub> en psf
$G_{\max} = 20000(N_1)_{60}^{0.333} (\sigma'_m)^{0.5}$	Ohta y Goto (1976) Seed et al (1986)	G <sub>max</sub> en psf
$G_{\max} = \frac{\gamma}{g} V_s^2$		G <sub>max</sub> depende de la unidad de $\gamma$ y g.

En el cuadro anterior se muestran las fórmulas empíricas propuestas por varios investigadores para hallar el módulo cortante en suelos cohesivos y no cohesivos (Kramer, 1996). En el caso de suelos granulares (arenas) y finos las fórmulas arriba mencionadas pueden trabajar adecuadamente, ya que los parámetros necesarios pueden ser obtenidos mediante ensayos de laboratorio, pero no así en las gravas debido a su tamaño.

Ante tal problema, se plantearon otras teorías para calcular los valores del módulo de corte, una de ellas es calculando primero la velocidad de ondas de corte ( $V_s$ ). Estos valores pueden ser obtenidos mediante mediciones In Situ, tales como ensayos de Downhole o Crosshole y mediante técnicas geofísicas tales como el análisis espectral de ondas superficiales, que también puede ser utilizado para estos fines.

Si las mediciones In Situ no son posibles, se pueden estimar los valores realizando correlaciones con otras propiedades de los suelos. Claro que las aproximaciones son conseguidas para formaciones específicas de suelos. Muchas de estas correlaciones están definidas para suelos arcillosos, basadas en el porcentaje de sobreconsolidación (OCR) y la resistencia cortante no drenada,



(Weiler, 1988) y para suelos granulares, basadas en la resistencia a la penetración (SPT) y esfuerzos efectivos, Seed et al. (1986) para arenas y Rollins et al. (1998) para gravas.

En el siguiente cuadro se muestra la correlación empírica entre el número de golpes del ensayo SPT en función de la antigüedad del material.

**Cuadro N° 4**  
**Relaciones empíricas entre la velocidad de corte y  $N_{60}$**

Relación	Comentario
$V_s = 63(N_{60})^{0.43}$	Para gravas del periodo Holoceno
$V_s = 132(N_{60})^{0.32}$	Para gravas del periodo Pleistoceno

Ref: Rollins, K.; Evans, M.; Diehl, N. y Daily III, W. (1998)

Además de las correlaciones antes presentadas, se tienen otras donde se establece una relación entre la velocidad de ondas de corte y el ensayo de penetración. De los resultados obtenidos experimentalmente para diferentes estados de densidad y porcentaje de gravas obtenidos por autores tales como Imai (1982), se obtienen las relaciones que se muestran en el Cuadro N° 5. Estas relaciones pueden ser utilizadas para propósitos de diseño en la práctica.

**Cuadro N° 5**  
**Relaciones empíricas entre la velocidad de corte y N**

Relación	Comentario
$V_s = 90.03(N)^{0.36}$	Resultados encontrados experimentalmente
$V_s = 93.16(N)^{0.34}$	Resultados teóricos

Ref: Carrillo (1987)

Debido a que en los suelos gravosos no se pueden efectuar pruebas de SPT, se ha recopilado resultados de ensayos de placa realizados en la ciudad de Lima para obtener, por medio de relaciones empíricas, los parámetros de módulo de corte y módulo de elasticidad. Estos parámetros son utilizados para calcular el

módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto. Las relaciones utilizadas son conocidas como fórmulas de Wrinkle.

El módulo de reacción de la subrasante es expresada por  $k$ , siendo éste definido por la relación entre la presión ejercida durante el ensayo y las deflexiones de la placa, tal como se muestra en la ecuación 1.

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots (1)$$

Donde  $k$  es el módulo de la subrasante,  $p$  es la presión en la placa y  $\Delta$  es la deflexión de la placa. Una vez determinado el valor de  $k$ , con la ecuación 2 se relaciona el módulo resultante ( $K$ ) con el módulo de elasticidad ( $E_s$ ) y la relación de Poisson ( $\nu$ ):

$$E_s = kB(1 - \nu^2_s) \dots\dots\dots(2)$$

Donde  $E_s$  representa el módulo de elasticidad,  $k$  el módulo resultante,  $\nu_s$  el coeficiente de poisson y  $B$  el ancho de la placa utilizada en el ensayo. Luego, con las relaciones de elasticidad se correlaciona los valores de módulo de elasticidad ( $E$ ) y módulo de corte ( $G$ ).

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \dots\dots\dots(3)$$

Finalmente se usa la relación empírica para obtener valores de velocidad de corte ( $V_s$ ) en función al módulo cortante obtenido con la ecuación (3), mediante la siguiente relación:

$$V_s^2 = \frac{G}{\rho/g} \dots\dots\dots(4)$$

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro N° 6, donde se puede apreciar la profundidad a la que fue hecha el ensayo de placa, el tipo de suelo encontrado, el módulo de corte y finalmente el valor de la velocidad de corte obtenido a partir del módulo cortante ( $G$ ).

En la figura N° 6 se muestra la relación que existe entre el módulo elástico y el coeficiente de balasto (Carrillo, 1987).

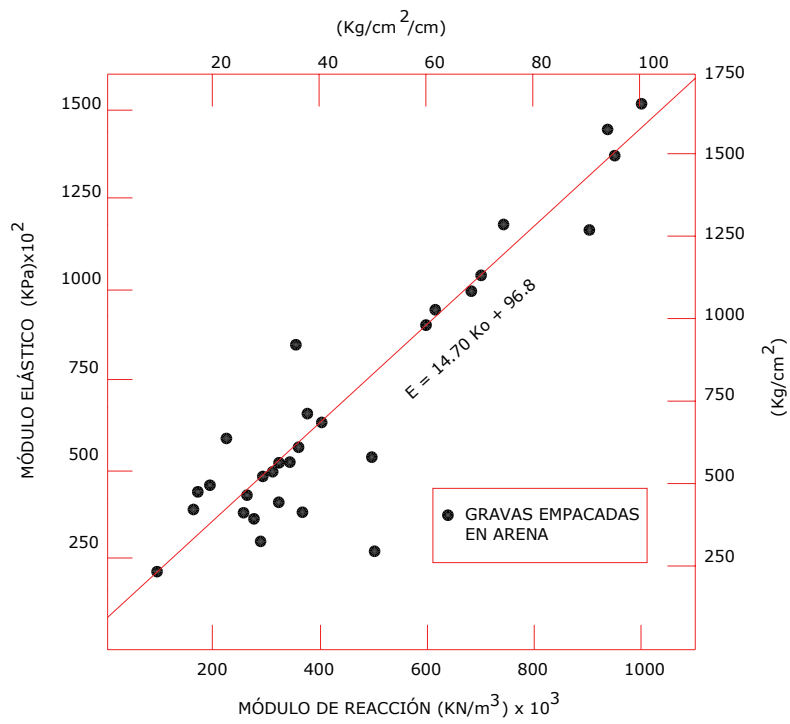


Figura N° 6

Correlación entre el módulo elástico y el coeficiente de balasto del suelo

**Cuadro N° 6**  
**Resultados de la evaluación de los ensayos de placa**

Ubicación	Profundidad de la prueba (m)	Tipo de suelo	G kPa	$V_s$ (m/s <sup>2</sup> )
Intersección Av. Universitaria y Av. Materiales	2.00	GP	449998.50	458.49
Intersección Av. Universitaria y Av. Materiales	2.00	GP	254541.00	344.83
Lima Polo Club Monterrico (1990)	2.00	GP – GM	258751.50	347.67
Intercambio Vial				
Av. Venezuela – Av. Universitaria (1996)	4.60	GP	84000.00	198.09
Hipermercado METRO – UNI (1999)	2.50	GP	349996.50	404.35
Hipermercado METRO – UNI (1999)	2.00	GP	420005.25	442.95
Edificio Multifamiliar _ Surco (1999)	1.70	GP	899986.50	648.40
Edificio Multifamiliar _ Surco (1999)	1.70	GP	599996.25	529.42
Videna San Luis _ Módulo Básquet (2003)	1.20	GP	420000.00	442.94
Videna San Luis _ Módulo Bochas (2003)	1.20	GP	367500.00	414.34
Av. Tomas Marsano _ Miraflores	1.50	GP	1575000.00	857.76
Anita Food _ Santa Anita (2000)	1.70	GP	1591170.00	862.15
Ministerio de Energía y Minas (1995)	2.00	GP	175003.50	285.92
Planta Gloria _ Huachipa (2000)	0.20	GP	111636.00	228.36
Planta Gloria _ Huachipa (2000)	0.20	GP	137812.50	253.73

Los resultados de módulo de corte y velocidad de ondas de corte mostrados en el cuadro N° 6 fueron comparados con el resultado obtenido en un ensayo de Down Hole realizado en el distrito de San Isidro, obteniéndose valores similares en ambos parámetros, necesarios para la evaluación dinámica.

En el pozo donde se efectuó el ensayo de Down Hole, se tuvo como perfil estratigráfico una grava mal gradada (GP) hasta los 9.35m de profundidad, grava bien gradada con pocos finos en los niveles de 9.35m a 9.80m y de 11.10m a 13.50m de profundidad; de 14.60m hasta 15.10m se ha detectado gravas bien gradadas con matriz limosa (GW -GM) (Ver Cuadro N° 7)

### Cuadro N° 7

#### Resultados obtenidos en un ensayo de downhole realizado en el distrito de San Isidro

Estratos	Profundidad aproximada	V <sub>s</sub>	G (KPa)
1	0.00 – 2.00m	300	165306
2	2.00 – 10.00m	630	850500
3	10.00 – 14.00m	655	919339

Ref: HIDROENERGÍA (1998)

Del mismo informe se concluyó que el valor para el módulo cortante promedio era de 645050kPa, considerando una densidad promedio de 20KN/m<sup>3</sup>.

Otro parámetro que se debe considerar para la evaluación de los parámetros dinámicos son las curvas de reducción del módulo y amortiguamiento con la deformación cortante. Estas relaciones de reducción del módulo y amortiguamiento pueden ser derivadas desde ensayos en materiales específicos por medio de mecanismos de corte simple o corte torsional. Para muchas aplicaciones, sin embargo, se utilizan curvas estándar para varios tipos de suelos y propiedades de los materiales. Estas curvas son generalmente obtenidas por dos maneras. La primera es obtenida de ensayos de laboratorio en donde encontramos aquellas que son sensibles a la plasticidad del suelo para materiales cohesivos tales como las arcillas y al esfuerzo efectivo de sobrecarga para materiales granulares tales como arenas, limos de baja plasticidad y gravas. La segunda forma es obtener las curvas de un análisis histórico de los registros de movimientos en el terreno (Silva et al, 1997). Actualmente no existe un

consenso acerca de cual curva se debe utilizar en los estudios de respuesta del terreno. Recientes estudios de Stewart y Baturay (2001) y Silva et al (1999, 2000) nos muestran una relación de criterios para este propósito, tal como se muestran en los Cuadros N° 8 y N° 9.

**Cuadro N° 8**  
**Criterio para la selección de las curvas de módulo de reducción y amortiguamiento**  
**(Según Stewart y Baturay, 2001)**

Tipo de suelo	Condición <sup>1</sup>	Referencia
Arenas y arenas limosas	$Z < 100\text{m}$	Seed et al. (1986), Valores altos de $G/G_{\text{max}}$ , valores bajos de amortiguamiento
	$Z > 100\text{m}$	EPRI(1993): $Z = 251\text{-}500\text{ft}$
Arcillas, arcillas con limos, margas	$IP = 15, Z < 100\text{m}$	Vucetic y Dobry (1991), $IP = 15^2$
	$IP = 15, Z > 100\text{m}$	Stokoe (1999), Curva de arcilla, $Z = 100\text{-}250\text{m}$
	$IP \geq 30$	Vucetic y Dobry (1991)
	Lodo	Sun et al. (1988)
	Lodo antiguo	Vucetic y Dobry (1991), $IP = 30^3$
Basamento Rocoso	$V_s < 900\text{m/s}$	Usar curvas de suelos apropiadas al tipo de material, profundidad y IP
	$V_s > 900\text{m/s}$	Schnabel (1973)

**Ref.:** Stewart, J. (2001)

<sup>1</sup> Z = Profundidad, IP = Índice de plasticidad

<sup>2</sup> Consistente con Stokoe (1999), Curva de arcilla,  $Z < 100\text{m}$

<sup>3</sup> Consistente con Guha et al (1993)

**Cuadro N° 9**  
**Criterio para la selección de las curvas de módulo de reducción y amortiguamiento**  
**(Según Silva et al, 1999,2000)**

Tipo de suelo	Condición	Referencia
Gravas, arenas, arcillas de baja plasticidad y rocas del cuaternario y terciario	Localizada en la región de San Francisco	EPRI (1993), Silva et al (1997)
Lodos, lodos arcillos antiguos	Todas	Vucetic y Dobry (1991), IP = 30
Material aluvial peninsular y roca del Cuaternario y Terciario	Localizada en la región de Los Angeles	Silva et al (1997)
Cualquiera	Z > 150m	Lineal

Ref.: Stewart, J. (2001)

Basados en estos criterios, para el presente estudio se han considerado las curvas mostradas en los Cuadros N° 10, 11 y 12 y las Figuras N° 7 y 8.

**Cuadro N° 10**  
**Factores de Reducción del módulo cortante y razón de amortiguamiento en función**  
**de la deformación cortante efectiva (gravas)**

Deformación cortante efectiva (%)	Factores de reducción del módulo cortante ( $G/G_{max}$ )	Razón de amortiguamiento (%)
0.0001	1.000	0.80
0.003	0.970	1.00
0.001	0.870	1.90
0.003	0.730	3.00
0.01	0.550	5.40
0.03	0.370	9.60
0.1	0.200	15.40
0.3	0.100	20.80
1.0	0.050	24.60

Ref.: Manual Shake 2000 (2001)

**Cuadro N° 11**  
**Factores de Reducción del módulo cortante y razón de amortiguamiento en función de la deformación cortante efectiva (arenas)**

Deformación cortante efectiva (%)	Factores de reducción del módulo cortante ( $G/G_{max}$ )	Razón de amortiguamiento (%)
0.0001	1.000	0.30
0.003	0.985	0.40
0.001	0.930	0.70
0.003	0.830	1.40
0.01	0.635	2.70
0.03	0.425	5.00
0.1	0.225	9.80
0.3	0.110	15.50
1.0	0.040	20.70

Ref.: Manual Shake 2000 (2001)

**Cuadro N° 12**  
**Factores de Reducción del módulo cortante y razón de amortiguamiento en función de la deformación cortante efectiva (finos)**

Deformación cortante efectiva (%)	Factores de reducción del módulo cortante ( $G/G_{max}$ )	Razón de amortiguamiento (%)
0.0001	1.000	2.00
0.001	0.974	2.50
0.00316	0.915	3.50
0.01	0.786	4.75
0.0316	0.574	6.50
0.10	0.312	9.25
0.316	0.160	13.75
1.0	0.060	20.00
3.16	0.020	26.00
10.0	0.006	29.00

Ref.: Manual Shake 2000 (2001)



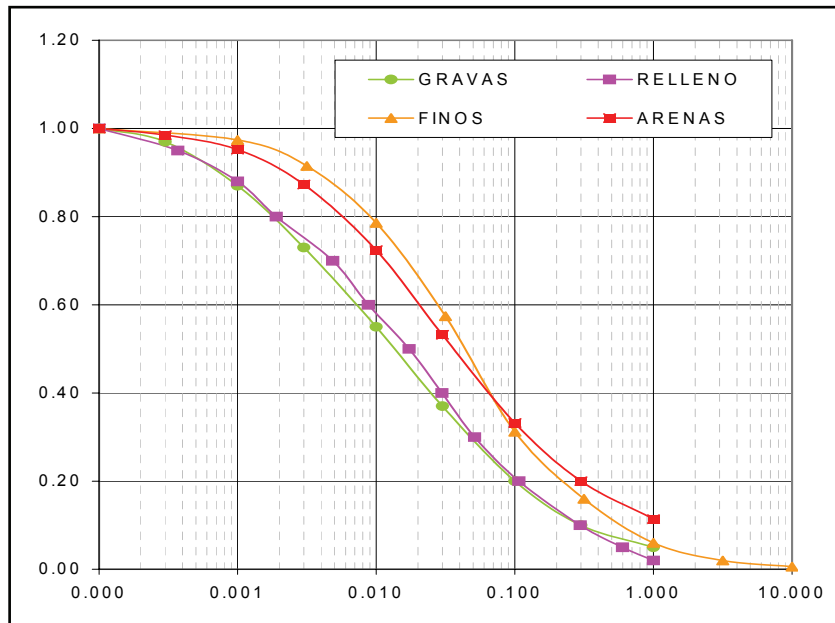


Figura N° 7

Relación de  $G/G_{max}$  de los diferentes tipos de suelos utilizados en la investigación

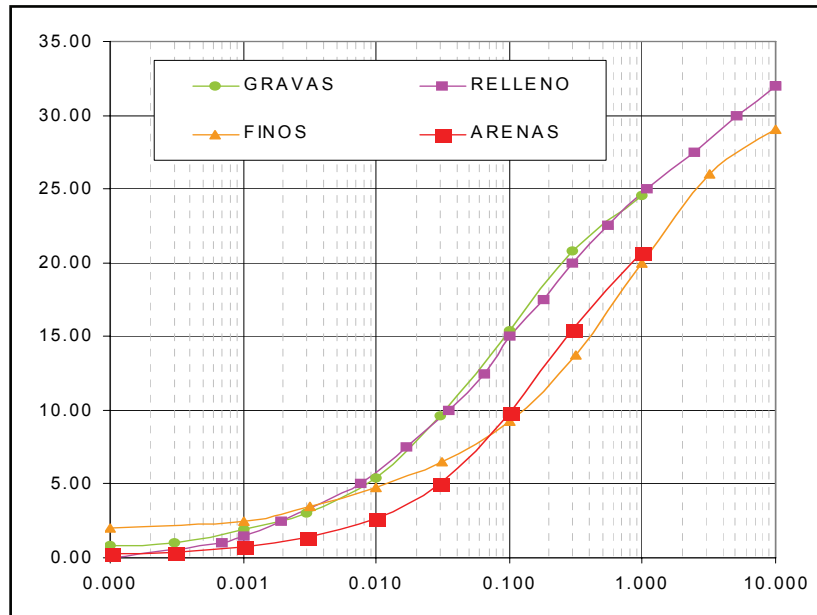


Figura N° 8

Relación de Amortiguamiento de los diferentes tipos de suelos utilizados en la investigación

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA

#### 4.1 GENERALIDADES

Las investigaciones realizadas acerca del análisis dinámico tienen sus orígenes en la evaluación de presas. La primera aproximación sistemática la realizó Newmark (1965), siendo ésta complementada después por Seed (1979). De ambas investigaciones se pudo determinar las bases para un adecuado procedimiento de diseño en la evaluación de presas. Siguiendo este procedimiento se ha realizado el análisis de los taludes que conforman los acantilados de la ciudad de Lima.

Para realizar este análisis se tuvo que considerar las características de los materiales que conforman los taludes, los que han sido mencionados en el capítulo anterior. Así también, para efectuar un conveniente modelamiento geométrico y numérico fue necesario realizar la sub división del talud y elegir un modelo matemático apropiado para poder obtener resultados adecuados a las perturbaciones sísmicas.

El presente estudio abarca los acantilados ubicados en los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro y Miraflores, de los cuales se han seleccionado cinco secciones, dos en el distrito de San Miguel, uno en el distrito de Magdalena del Mar y dos en el distrito de Miraflores (Ver Planos P-04A, P-04B, P-04C y P-04D). En el distrito de San Isidro no se han considerado secciones debido a la geometría de los taludes y los factores de seguridad que se han mostrado en investigaciones pasadas.

Una vez determinado el modelo y realizada la evaluación con la ayuda de un programa de cómputo, en nuestro caso el Quake/W, se muestran los resultados y la discusión de lo mismos.

## 4.2. MODELAMIENTO GEOMÉTRICO Y NUMÉRICO

En la evaluación de la respuesta dinámica sísmica de los taludes que conforman los acantilados de Lima, se tuvo que hacer uso de formulaciones analíticas y matemáticas. Este proceso implicó seguir dos pasos fundamentales, primero realizar el modelamiento geométrico del talud y luego el modelamiento numérico.

El modelamiento geométrico comprende la representación de la estructura de tierra (talud) a través de la subdivisión del medio continuo con una malla de elementos finitos, considerando condiciones de frontera y zonificación de los diferentes tipos de materiales. El modelamiento numérico consiste en realizar los cálculos numéricos utilizando modelos adecuados (Lineal, Lineal Equivalente, etc.) para representar el comportamiento de los materiales y resolver así las ecuaciones planteadas, tanto para el análisis estático como para el análisis dinámico, requiriendo para ello métodos numéricos. El esquema del procedimiento desarrollado en la investigación se muestra en la Figura N° 9.

### 4.2.1 MODELAMIENTO GEOMÉTRICO

El modelamiento geométrico de los taludes, se define como la representación de la estructura con una malla de elementos finitos, para lo cual se requiere idealizar una región, como consecuencia se debe tener en cuenta las condiciones de borde. Las condiciones de borde que pueden ser utilizados principalmente son: los bordes finitos y los bordes semi infinitos. La condición de bordes finitos simula que la estructura se encuentra dentro de un dominio definido, ello implica que la estructura está ubicada sobre un material altamente rígido que limita todo tipo de desplazamientos en los bordes de la estructura. En la condición de bordes semi infinitos la estructura se analiza utilizando una forma de truncar la malla en una distancia relativamente grande para simular la aproximación al infinito. En la presente investigación se ha realizado el modelo geométrico de los taludes considerando la condición de bordes finitos.

Los arreglos de elementos finitos, considerados para esta evaluación guardan relación con las características de homogeneidad, concordancia y el tamaño adecuado de cada elemento.

**DETERMINACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO**

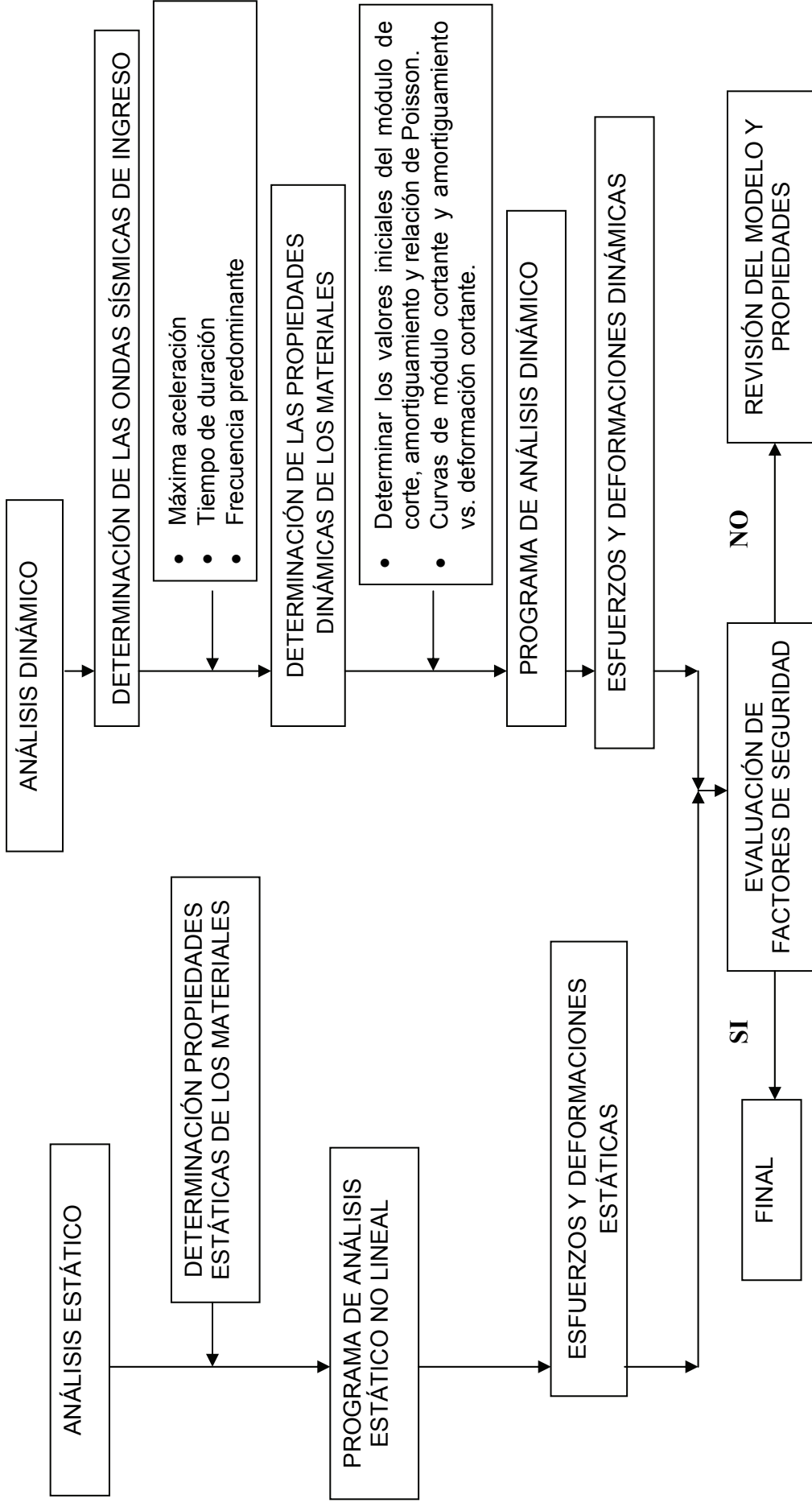


Figura N° 9: Representación esquemática de la manera como se evaluaron los acantilados siguiendo una metodología analítica

Además de las consideraciones antes mencionadas, se debe prestar una especial atención en seleccionar un adecuado tamaño de los elementos, para tal efecto se tiene la siguiente expresión matemática (Baldovin y Paoliani, 1994 – Parra, 2001):

$$\omega_{\max} = 2\pi f \dots\dots\dots(5)$$

$$\lambda = 2\pi V / \omega_{\max} \dots\dots\dots (6)$$

$$h \leq \lambda / 4 \dots\dots\dots(7)$$

Donde  $\omega_{\max}$  es la frecuencia natural (Hz),  $f$  es la frecuencia con la que se va a evaluar el sistema (Hz),  $V$  es la velocidad de la onda (m/s),  $\lambda$  es la longitud de onda (m) y  $h$  es la dimensión de cada elemento (m).

El sismo a considerar como parte de la evaluación es el ocurrido en Lima el 3 de octubre de 1974, así mismo se debe mencionar que los valores  $f$  de los sismos peruanos están en el orden de 6 a 7 Hz (Husid, 1976).

#### 4.2.2 MODELAMIENTO NUMÉRICO

El modelamiento numérico se puede dividir en dos: análisis estático y dinámico. En los siguientes párrafos se detallan los modelos que se utilizaron para estos fines.

##### 4.2.2.1 MODELAMIENTO NUMÉRICO PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO

El modelamiento numérico para realizar el análisis estático por elementos finitos en estructuras geotécnicas ha sido descrito en muchas publicaciones, por lo que el método no es exactamente expuesto aquí, sólo se muestran las características esenciales del procedimiento.

La teoría de elementos finitos se define como la idealización de las estructuras geotécnicas mediante el ensamblaje de elementos interconectados en sus puntos nodales. Para el análisis bidimensional esfuerzo – deformación la estructura es representada

convenientemente con elementos triangulares o cuadrangulares manteniendo la compatibilidad entre los lados de los elementos adyacentes.

En este procedimiento se asume que las deformaciones dentro de cada elemento varían linealmente en las direcciones vertical y horizontal; sobre la base de esta hipótesis, es posible calcular las propiedades de rigidez de los elementos (por ejemplo fuerza y desplazamiento nodal). Finalmente, la matriz de rigidez  $[K]$  de toda la estructura es obtenida por simple superposición de los coeficientes apropiados de la rigidez de cada elemento individual conectado a cada punto nodal.

Además, tenemos al vector que representa el desplazamiento de todos los puntos nodales en el ensamblaje, que es designado por  $\{r\}$  y el vector correspondiente a fuerzas nodales  $\{R\}$ . Así tenemos que en la ecuación 8, la matriz de rigidez de la estructura  $[K]$  es obtenida por la superposición de la rigidez de los elementos finitos.

$$\{R\} = [K]\{r\} \dots\dots(8)$$

En un análisis estándar elástico de elementos finitos, las ecuaciones lineales de equilibrio son resueltas por el desplazamiento de nodos, obtenidos de aplicar fuerzas en ellos. Entonces los esfuerzos en el total de los elementos  $\{\sigma\}$  son obtenidos de los desplazamientos de los nodos por la matriz de transformación  $[S]$ .

$$\{\sigma\} = [S]\{r\} \dots\dots (9)$$

Varios investigadores indican que la calidad de los resultados está en función del modo en que se han determinado las propiedades mecánicas y en menor grado de la técnica de incorporar estas características en el modelo numérico. En ese sentido se deben orientar hacia una mejor determinación experimental de las

propiedades mecánicas y en la selección posterior de módulos adecuados.

Finalmente, definimos como modelos matemáticos o leyes constitutivas a aquellas herramientas que nos permiten simular el comportamiento físico de los materiales y/o medios continuos. Por lo tanto, un modelo matemático juega un rol significativo en proporcionar resultados confiables de cualquier procedimiento de solución en el análisis de estructuras. Su importancia ha sido reforzada significativamente con el ingreso en el desarrollo y aplicaciones de muchos cálculos modernos basados en técnicas tales como elementos finitos y diferencias finitas. Como consecuencia, muy a menudo, el resultado obtenido de un procedimiento numérico, que hace uso de una ley constitutiva no apropiada puede ser limitado o no confiable. Existe una variedad de estos modelos, de allí que encontramos: el modelo de módulo constante o modelo lineal, el modelo de módulos variables (modelo hiperbólico) y el modelo de Ramberg-Osgood o modelos elasto-plásticos. Cual sea el método elegido se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Formulación matemática.
- Identificación de parámetros significativos.
- Determinación de parámetros de materiales a partir de ensayos de laboratorio.
- Selección de datos consistentes, observados a partir de los cuales los parámetros serán determinados.
- Verificación y evaluación con respecto a los problemas de borde.

Para el caso de la presente tesis de investigación se ha considerado analizar el comportamiento estático mediante el modelo lineal o de módulo constante.

### MODELO DE MÓDULO CONSTANTE O MODELO LINEAL

Es un modelo matemático simple usado en la ingeniería, el cual considera como principio la ley de Hooke. Este modelo es válido solamente para modelar el comportamiento elástico de un grupo muy limitado de materiales, debido a que la mayoría de materiales son no lineales y complejos.

Además se puede indicar que la influencia de la respuesta no lineal llega a ser más importante en el caso de materiales que son influenciados por factores tales como: el estado de esfuerzos, esfuerzo residual, cambio de volumen bajo corte, historia de esfuerzos o trayectoria de esfuerzos, anisotropía inducida, cambio de estado físico y flujo en los poros (Desai y Siriwardane, 1984).

Como se sabe la respuesta interna o el comportamiento del material ante la acción de cargas externas, puede ser expresado en términos de esfuerzos y deformaciones. Por lo tanto para un material que tiene un comportamiento elástico, el estado de esfuerzos es función solamente del estado de deformaciones, además se puede presentar que en un ciclo de carga y descarga, el material recupera su estado inicial. A continuación se muestra la relación empírica determinada por Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon \dots\dots\dots(10)$$

Donde  $\sigma$  representa al esfuerzo normal,  $\varepsilon$  a la deformación axial y E el módulo de Young.

#### 4.2.2.2 MODELAMIENTO NUMÉRICO PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO

Como se ha descrito anteriormente en el análisis estático se hizo uso de la teoría de elementos finitos, de igual modo se procederá para el análisis dinámico. Para este caso de evaluación de la respuesta dinámica, se desarrolla la ecuación de movimiento, dada por:



$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{R(t)\} \dots\dots(11)$$

Donde  $[M]$  representa la matriz de masa,  $\{\ddot{u}\}$  el vector de aceleraciones,  $[C]$  la matriz de amortiguamiento,  $\{\dot{u}\}$  el vector de velocidades,  $[K]$  la matriz de Rigidez,  $\{u\}$  el vector de desplazamientos nodales y finalmente  $\{R(t)\}$  representa al vector de carga sísmica

El modelamiento numérico para el análisis dinámico implica utilizar modelos adecuados que simulen el comportamiento del material, teniendo así que determinar los parámetros dinámicos de los materiales y el uso de modelos antes mencionados para la solución de la ecuación planteada. Esta ecuación puede ser resuelta mediante superposición nodal o mediante una integración directa utilizando algún método de integración como el propuesto por Wilson ( $\theta$ ) o por Newmark, entre otros. El programa Quake/W utilizado en la investigación, hace uso del método de integración propuesto por Wilson.

Asimismo cuando se desarrolla el análisis dinámico, se deben considerar los siguientes pasos, primero tener el estado de esfuerzos iniciales, elegir el modelo (en este caso el modelo lineal equivalente), determinar el módulo cortante, la deformación cortante efectiva, el amortiguamiento y realizar la integración en el dominio del tiempo. Estos pasos serán descritos a continuación.

### **ESTADO INICIAL DE ESFUERZOS**

Se debe tener en consideración que para el análisis sísmico es necesario determinar adecuadamente el estado de esfuerzos iniciales que viene a ser el estado de esfuerzos finales del análisis estático, debido a que los parámetros dinámicos de los materiales son dependientes de este estado de esfuerzos. En el caso de los acantilados se consideró los esfuerzos geoestáticos existentes.

## MÉTODO LINEAL EQUIVALENTE

Cuando se presentan deformaciones cortantes relativamente grandes en los materiales que conforman una estructura geotécnica, a causa de sismos fuertes, se generarán efectos no lineales significativos en estas estructuras, los cuales deben ser considerados en el método de análisis. Este problema fue estudiado por Seed e Idriss (1969) quienes introdujeron la noción del modelo lineal equivalente en geotecnia. El método propone que la solución no lineal aproximada puede ser obtenida mediante un análisis lineal en el cual las propiedades de rigidez y amortiguamiento del suelo sean compatibles con las amplitudes de las deformaciones cortantes efectivas en todos los puntos considerados del sistema. Seed e Idriss (1970), Seed et al (1984), Sun et al (1988), entre otros, publicaron varias investigaciones relacionando estas propiedades para suelos granulares y cohesivos, con deformaciones compatibles. Estos resultados, bajo la forma de curvas de variación del amortiguamiento y el módulo cortante, pueden ser incorporados en el programa a través de la siguiente metodología.

Los valores iniciales de módulo cortante y del amortiguamiento son estimados para cada elemento finito definido para la estructura de tierra. El sistema es entonces analizado utilizando estas propiedades, siendo la deformación cortante máxima calculada en el tiempo historia de deformación para cada elemento. A partir de estos resultados se estiman las amplitudes de la deformación cortante efectiva de cada elemento, consultándose luego las curvas del material correspondiente para observar si el nivel de deformación es compatible con los valores de las propiedades dinámicas utilizadas en el cálculo. Si las propiedades del suelo no fueran compatibles entonces se admiten de las curvas los valores del módulo cortante y del amortiguamiento para la próxima iteración. El proceso es repetido hasta alcanzar la convergencia que ocurre generalmente después de 3 a 5 iteraciones, la respuesta de la última iteración es considerada como la respuesta no lineal del sistema.

El modelo lineal equivalente fue utilizado en programas desarrollados por investigadores de la Universidad de California, Berkeley (SHAKE, QUAD-4M y FLUSH) y por la GEO-SLOPE International, Ltd. (QUAKE/W), entre otros.

### DETERMINACIÓN DEL MÓDULO CORTANTE MÁXIMO

La utilización de las curvas de variación del módulo cortante presentados por diversos autores, requiere el conocimiento previo del módulo cortante máximo. En la evaluación de este parámetro existen varias estimaciones según la teoría existente, tales como el criterio del módulo de Descarga – Recarga, las relaciones empíricas de Seed e Idriss (1970), entre otros.

En el presente caso, al utilizar como método de evaluación el lineal equivalente el software considera a la siguiente relación empírica:

$$G_{\max} = 1000(K_2)_{\max} (\sigma'_m)^{1/2} \dots\dots\dots (12)$$

Donde  $\sigma'_m$  representa el esfuerzo efectivo principal medio y  $K_2$  expresa la influencia del índice de vacíos y la amplitud de las deformaciones y  $G_{\max}$  es el módulo cortante máximo en lb/pies<sup>2</sup>. Recalcando que para deformaciones muy pequeñas de 10<sup>-4</sup>% se utiliza el coeficiente ( $K_{2\max}$ ). También el esfuerzo principal medio es calculado a partir del estado de esfuerzos finales resultantes de un análisis estático previo en condición de deformación plana de acuerdo a:

$$\sigma'_m = \frac{\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy} + \sigma'_{zz}}{3} \dots\dots\dots (13)$$

$$\sigma'_{xx} = \nu(\sigma'_{yy} + \sigma'_{zz}) \dots\dots\dots (14)$$

Donde  $\sigma'_{xx}$ ,  $\sigma'_{yy}$ ,  $\sigma'_{zz}$  representan los esfuerzos efectivos estáticos y  $\nu$  la relación de Poisson.

## DEFORMACIÓN CORTANTE EFECTIVA

La amplitud de la deformación cortante efectiva utilizada en el método lineal equivalente es asumido como:

$$\gamma_{ef} = 0.65|\gamma_{max}| \dots\dots\dots (15)$$

Esto es, la deformación cortante efectiva ( $\gamma_{ef}$ ) es el 65% del valor de la deformación cortante máxima ( $\gamma_{max}$ ), que es tomada como un valor pico del registro tiempo historia de las amplitudes de las deformaciones cortante máximas en cada intervalo de tiempo. El valor 0.65 en la ecuación anterior es puramente empírico (Seed e Idriss, 1970). Debido a la poca inclinación de las curvas de los materiales, el resultado final no es sensible a moderadas variaciones de ese factor  $\pm 10\%$  en la inclinación de las deformaciones cortantes máximas. Para la evaluación de la deformación cortante máxima existen dos procedimientos básicos, uno en el dominio del tiempo y otro en el dominio de la frecuencia.

### 4.3 ANÁLISIS DE RESPUESTA DINÁMICA DE LOS ACANTILADOS

El análisis unidimensional es la metodología que actualmente viene siendo utilizada para evaluar la respuesta dinámica del suelo, este procedimiento es útil cuando se tienen superficies horizontales y materiales que formen estratos aproximadamente horizontales. Sin embargo, cuando se tienen superficies que presentan suelos de topografía irregular y/o geología especial, el modelamiento unidimensional no suele ser el más adecuado, en tales casos resulta preferible usar un análisis bidimensional o incluso un análisis tridimensional. Por este motivo, para el estudio realizado en los acantilados de Lima, se consideró el análisis bidimensional, el cual fue realizado por medio del programa de cómputo Quake/W.

Seguidamente se presentan las secciones analizadas, donde se muestran los parámetros utilizados en la fase estática y dinámica, como también los resultados obtenidos y finalmente la discusión de los mismos.

### 4.3.1 SECCIONES ANALIZADAS

Para la presente investigación se han definido cinco secciones, las cuales se encuentran ubicadas en los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar y Miraflores. Estas secciones han sido seleccionadas teniendo en cuenta los factores de seguridad definidos mediante análisis pseudo estáticos, así como también el nivel de riesgo que presentan (Cañari, 2001).

La ubicación geográfica de las secciones analizadas se muestran en los planos P-04A, P-04B, P-04C Y P-04D (Hidroenergía, 1997). De este levantamiento topográfico realizado anteriormente en la zona, se han obtenido la pendiente y altura de los taludes.

Para determinar los materiales que conforman cada una de las secciones analizadas se hizo uso de los perfiles estratigráficos y de suelos, obtenidos de los trabajos recopilados en el área cercana a los taludes (Ver Capítulo III), así como de la inspección visual realizada, apoyada con las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de las diferentes zonas que comprenden la misma. Así mismo, siguiendo la teoría de elementos finitos, cada sección analizada se dividió en elementos triangulares y cuadriláteros. El cuadro N° 13 muestra las características de las secciones:

**Cuadro N° 13**  
**Características de las secciones analizadas para el análisis dinámico**

Sección	Altura del talud (m)	Número de elementos	Número de nodos
<b>Sección I (San Miguel I)</b>	50.00	1147	1222
<b>Sección II (San Miguel II)</b>	50.27	1394	1473
<b>Sección III (Magdalena del Mar I)</b>	46.60	1182	1256
<b>Sección IV (Miraflores I)</b>	63.18	1553	1638
<b>Sección V (Miraflores II)</b>	54.00	1275	1350

Con cada una de las secciones se realizó un análisis estático de esfuerzo – deformación para determinar los esfuerzos estáticos y sus respectivas deformaciones. La evaluación se realizó utilizando el modelo lineal elástico. Se debe mencionar que para el modelamiento se tomaron en cuenta los parámetros de módulo de elasticidad, relación de Poisson y peso específico definidos en el Capítulo III. Los valores de las propiedades dinámicas, los factores de reducción del módulo cortante y la razón de amortiguamiento en función de la deformación cortante efectiva, correspondiente a los materiales de los taludes, se muestran en los Cuadros N° 14, 15, 16, 17 y 18.

Para determinar las aceleraciones máximas y los esfuerzos dinámicos mediante el análisis bidimensional de respuesta dinámica se utilizó el registro tiempo – historia de aceleraciones del sismo ocurrido en Lima el año de 1974 escalado a las aceleraciones 0.20 y 0.40g respectivamente.



**Foto N° 2: Vista panorámica de los taludes ubicados en el distrito de Miraflores.**

Para evaluar la manera como se comportarían los taludes frente a un sismo de gran magnitud, se ha realizado el análisis bidimensional considerando el

registro tiempo - historia de aceleraciones del sismo ocurrido el 17 de enero de 1995 en Kobe – Japón.

A continuación se describen cada una de las secciones evaluadas, así como las condiciones particulares consideradas para cada una de ellas.

## SECCIÓN I

La Sección I está localizada en el distrito de San Miguel, en el área cercana a la bajada de Bertolotto (Ver Plano P-04A), las características del talud se pueden apreciar en la Foto N° 3.



**Foto N° 3: Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección I (distrito de San Miguel), como se puede apreciar el talud está compuesto por grava, intercalada con material fino.**

En el Cuadro N° 14 se muestran las propiedades asignadas a cada estrato considerado para realizar el análisis de respuesta dinámica. La sección analizada abarca una distancia de 150.00m desde el borde del talud hacia la ciudad. En el modelo se han considerado diez nodos de evaluación, estos nodos han sido ubicados en la dirección horizontal, dirección vertical y en la cara del talud, con la finalidad de obtener el comportamiento de éste. Los nodos horizontales se han colocado en la superficie y los nodos verticales se han distribuido en todo el perfil del talud, tal como se aprecia

en la Figura N° 10. Los nodos ubicados en la parte superior del talud son los nodos 1222, 1217, 1212, 1204 y 1196; el nodo 1222 se encuentra en el borde extremo del talud y los restantes están a una distancia del borde de 15.00, 30.00, 65.00 y 100.00m, respectivamente. Los nodos ubicados en dirección vertical son el 37, 493, 682, 1027 y 1222, el primero de ellos se ubicó en la base de la sección de talud y fue considerado como el registro de ingreso, el resto de los nodos se ubicaron a las distancias de 24.00, 36.70, 60.20, y 74.00m a partir del nodo de la base. El nodo en la cara del talud es el 1031.

En la Figura N° 11 se muestran los esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico, mostrando para esta sección los esfuerzos geoestáticos.

La Figura N° 12 muestra los desplazamientos que se generan en el talud cuando éste es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a la aceleración de 0.20g, obteniéndose que los desplazamientos no muestran gran variabilidad. Los desplazamientos relativos obtenidos son de 0.040m y los desplazamientos absolutos de 0.048m. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1222 y 1217, con valores de 0.64 y 0.61g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.57g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1027, 682, 493 y 37 son 0.48, 0.40, 0.35 y 0.20g respectivamente.

Cuando el talud es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, tal como se muestra en la Figura N° 13, se obtienen valores de desplazamientos relativos de 0.076m y desplazamientos absolutos de 0.110m. Se observa que los desplazamientos muestran variación en los nodos 1212 y 1196. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1222, 1217 y 1212 con valores de 0.97, 0.96 y 0.92g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.88g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1027, 682, 493 y 37 son 0.88, 0.74, 0.71 y 0.40g, respectivamente.



De igual modo, el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe en 1995, obteniéndose valores de desplazamientos relativos de 0.350m y desplazamientos absolutos de 0.482m, tal como se muestra en al Figura N° 14. Los desplazamientos muestran variación en los nodos 1217 y 1204. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en todos los nodos horizontales considerados en la superficie, hallándose valores de 2.60, 2.50, 2.40 y 2.30g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1027, 682, 493 y 37 son 2.20, 1.29, 0.92 y 0.83g respectivamente.

También se calcularon los probables valores de deformaciones permanentes, utilizando la teoría de Newmark (1965) con la ayuda del programa de cómputo Slope/W. Este cálculo se realizó considerando el sismo de Lima del año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, obteniendo como resultado los valores de 0.11 y 0.74m respectivamente; así mismo, se obtuvo el valor de 1.55m de deformación cuando el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe el año 1995.

Para la evaluar de la respuesta dinámica de esta sección, en cada uno de los diez nodos de evaluación se hallaron los registros tiempo - historia de aceleraciones inducidos por la excitación de la base, generada por el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En base a los registros tiempo – historia obtenidos, se calcularon los espectros de respuesta en cada uno de los diez nodos, tanto en la dirección horizontal como vertical.

**Cuadro N° 14**  
**Parámetros utilizados para el análisis dinámico en la Sección I**  
**Distrito de San Miguel**

Parámetros	Estratos					
	1	2	3	4	5	6
Peso específico (KN/m <sup>3</sup> )	22.00	21.00	21.00	20.00	20.00	18.00
Módulo de Poisson ( $\nu$ )	0.25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28
Módulo de elasticidad (E) (kPa)	170 000	160 000	140 000	120 000	90 000	70 000
Módulo de rigidez (G) (kPa)	1 200 000	800 000	750 000	580 450	384 540	284 000
Velocidad cortante (V <sub>s</sub> ) (m/s)	731.50	611.32	591.91	533.58	434.30	393.42

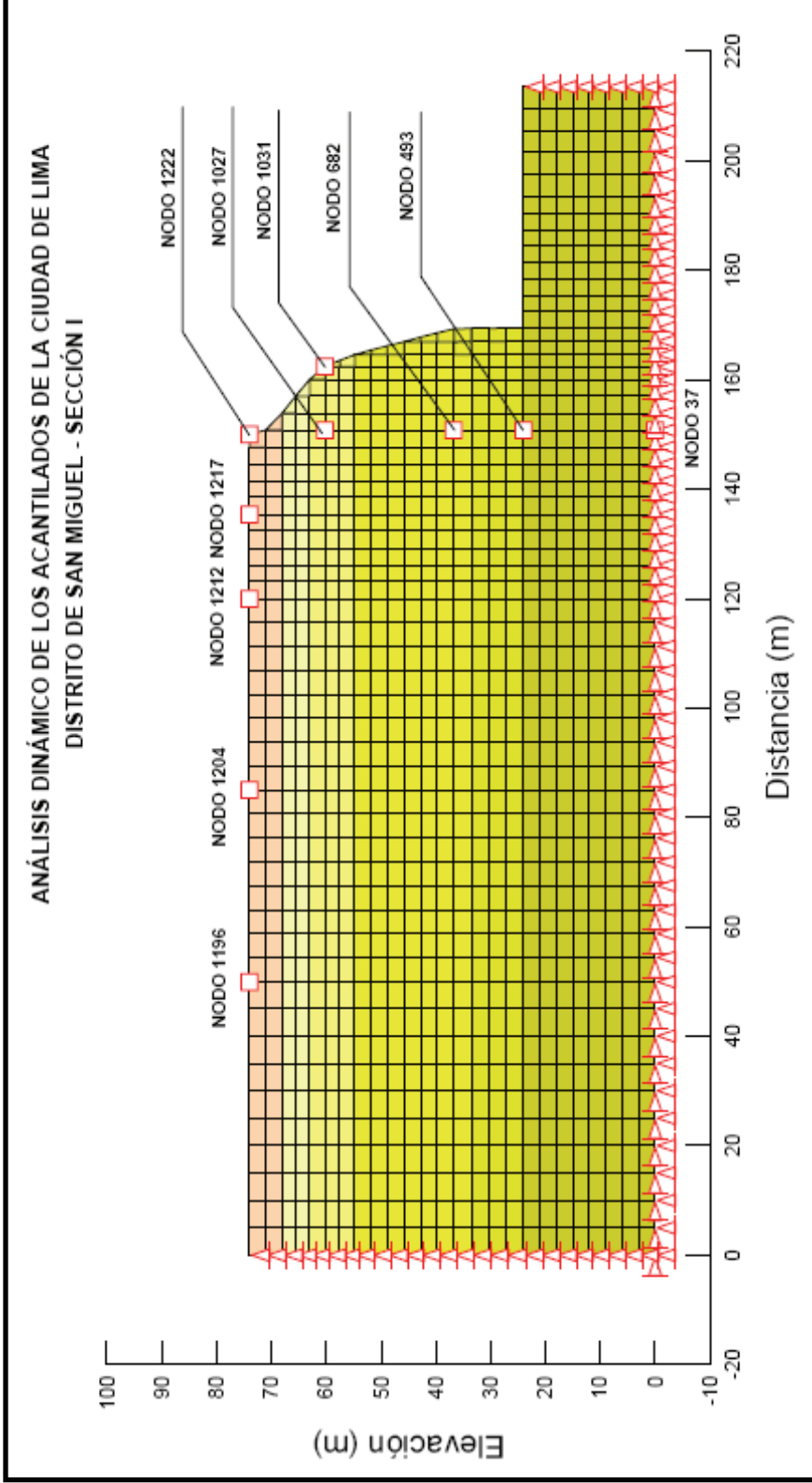


Figura N° 10: Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel.

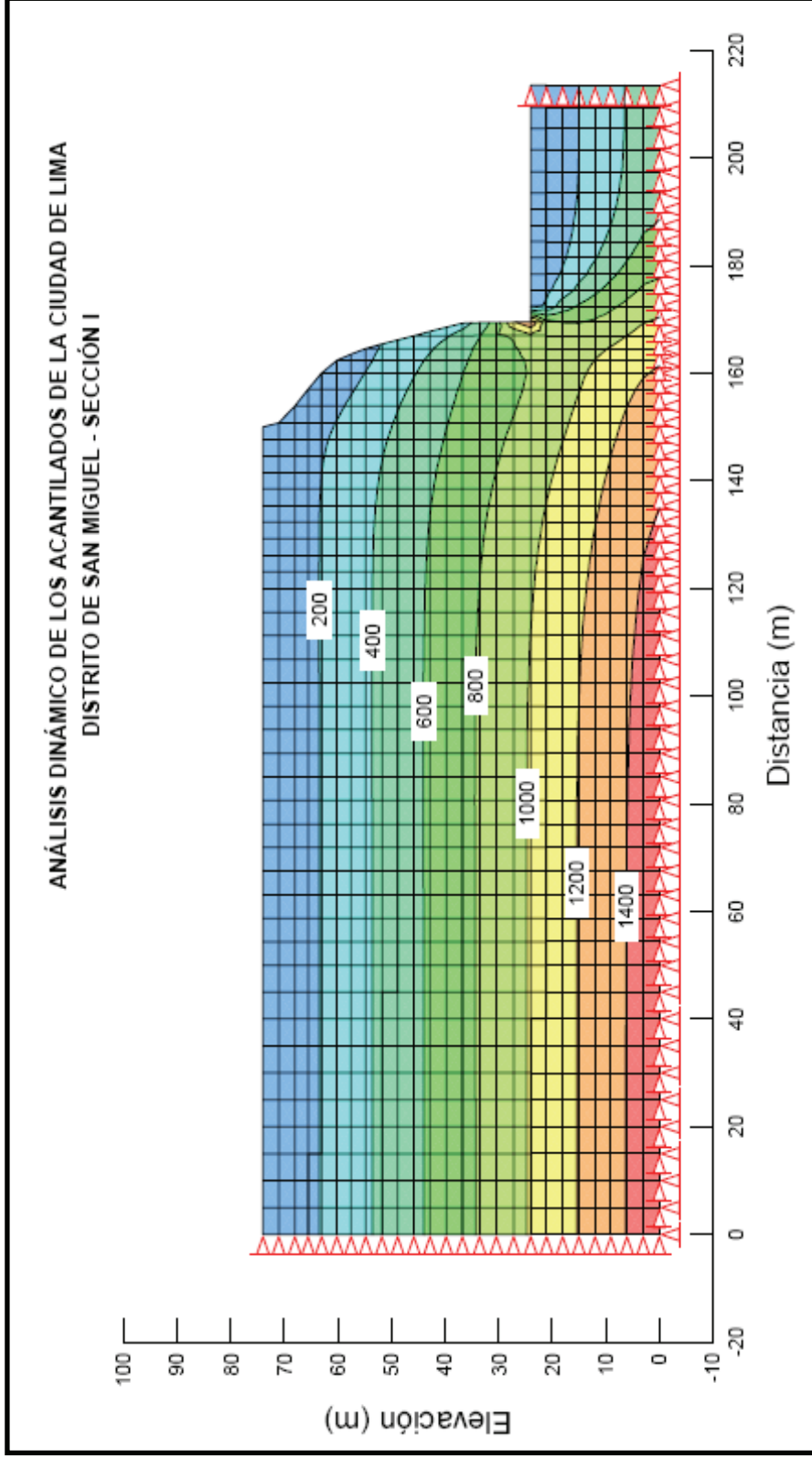


Figura N° 11: Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1400 kPa.

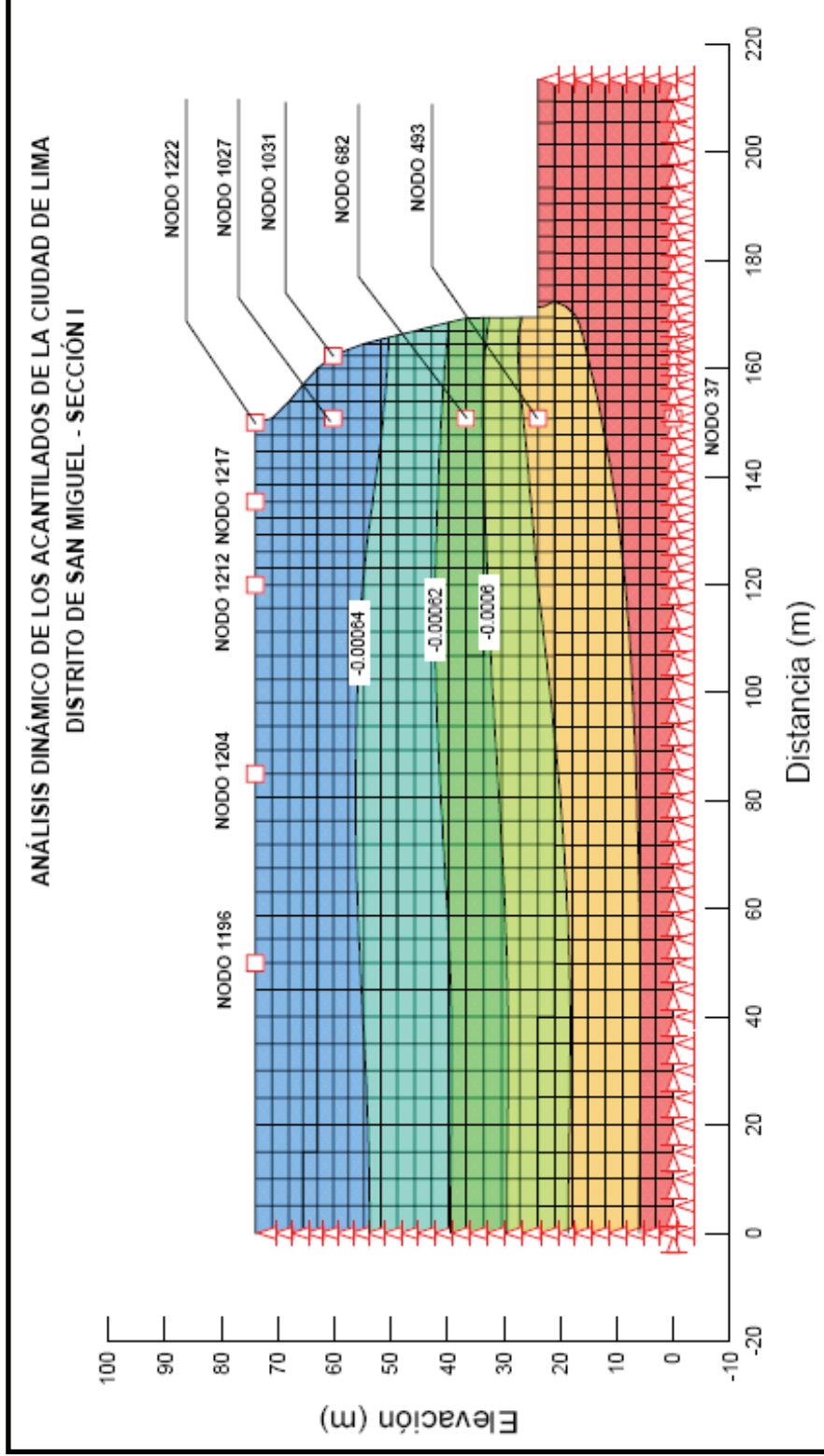


Figura N° 12: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel. Los valores fueron obtenidos de la evaluación del talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

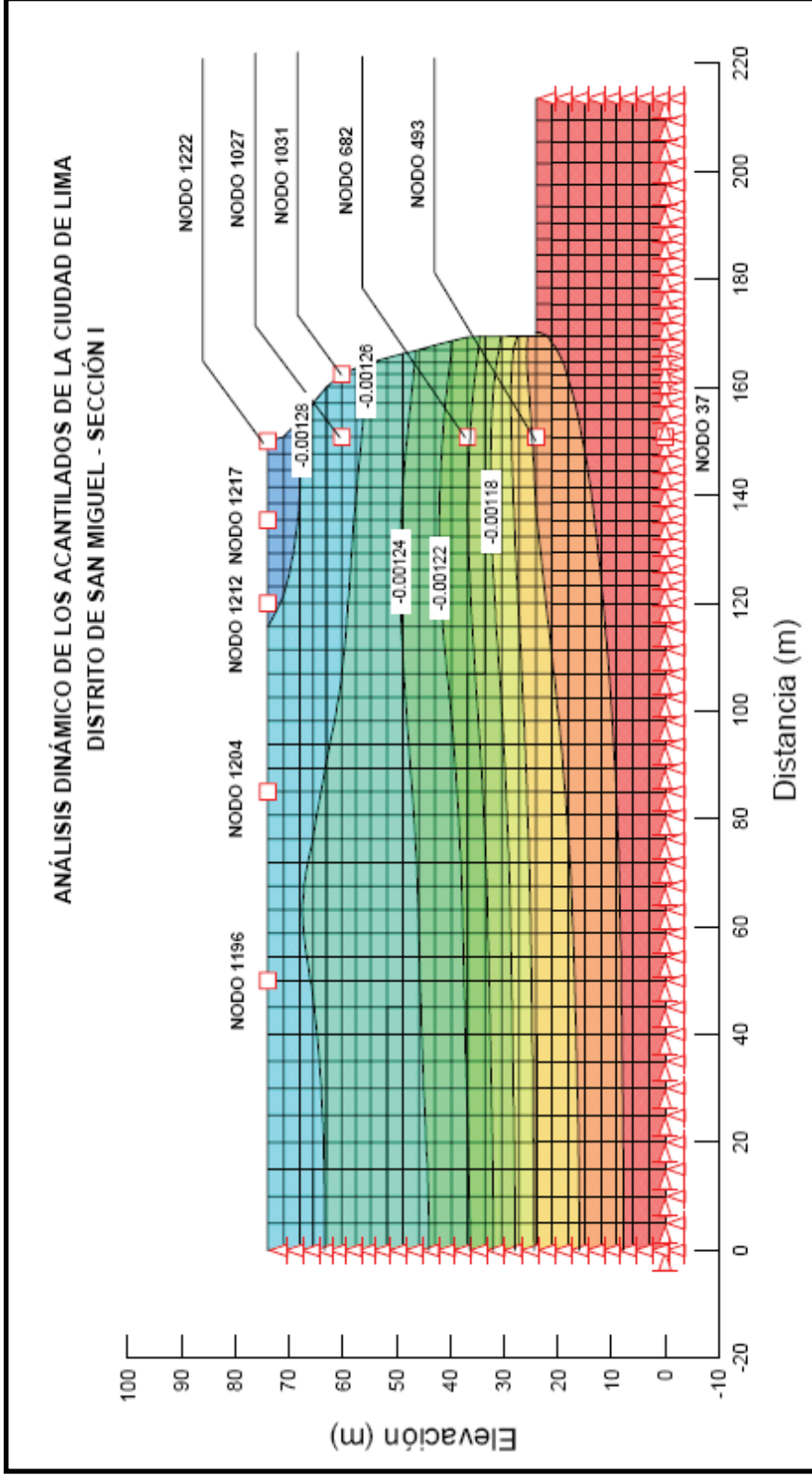


Figura N° 13: Desplazamientos calculados (en m) de la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de la evaluación del talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

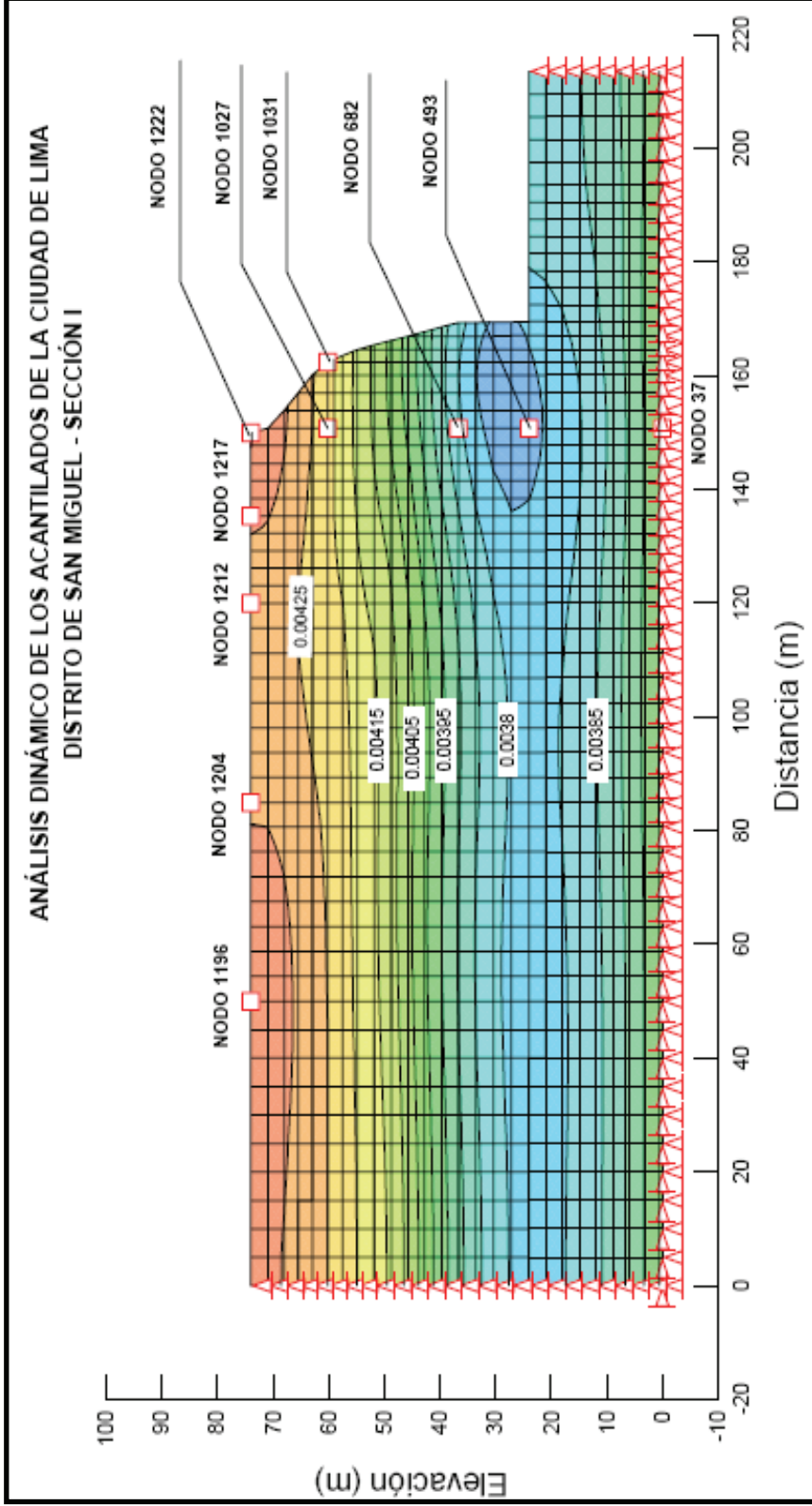


Figura N° 14: Desplazamientos calculados (en m) de la Sección I correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de la evaluación del talud con el sismo de Kobe de 1995 cuya aceleración máxima fue de 0.83g.

En las Figuras N° 15 y 16 se muestran los espectros de respuesta obtenidos con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g. Las Figuras N° 17 y 18 muestran los espectros obtenidos con el mismo sismo, pero escalado a una aceleración de 0.40g.

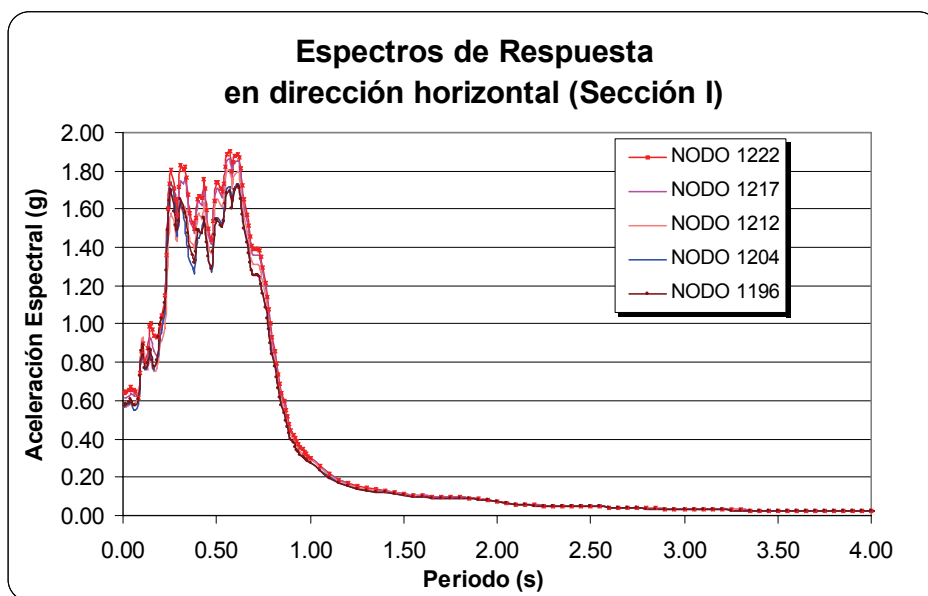
En el Cuadro N° 15 se muestran las aceleraciones espectrales obtenidas en cada uno de los nodos de esta sección, observándose que el nodo 1222 ubicado en el borde del talud presenta una aceleración espectral de 1.90 y 3.28g para la evaluación realizada con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20g y 0.40g respectivamente, se debe notar que las aceleraciones espectrales en los nodos evaluados van decreciendo según el nodo se va alejando del borde del talud y que existe una relativa diferencia con los nodos ubicados a más de 65.00 m de distancia del borde. En los nodos ubicados en la dirección vertical la diferencia es mayor.

Posteriormente se calcularon las relaciones espectrales entre el nodo ubicado en el borde del talud (nodo 1222) y el nodo base (nodo 37), con el objeto de calcular la función de amplificación correspondiente, para los análisis realizados con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En las Figuras N° 19 y 20 se presenta el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.20g, en la Figura N° 40 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 6.00 con un periodo de 0.62s. Las Figuras N° 21 y 22 presentan el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.40g, en la Figura N° 22 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 5.40 con un periodo de 0.82s. En los resultados obtenidos se observa que en el análisis realizado con el sismo escalado a la aceleración de 0.40g la amplificación es menor a la presentada en el análisis con el sismo escalado a 0.20g, pero no así el valor del periodo.



**Cuadro N° 15**  
**Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección I**

Nodos		Aceleración espectral (g)		
N°	Ubicación en sección	Sismo 0.20g	Sismo 0.40g	
1222	Superficie del talud	Borde	1.90	3.28
1217		a 15m del borde	1.86	3.20
1212		a 30m del borde	1.80	2.08
1204		a 65m del borde	1.74	2.97
1196		a 100m del borde	1.72	3.03
1031	Cara del talud	---	1.67	2.71
1027	Interior del talud	a 60.20m de la base	1.66	2.70
682		a 36.70m de la base	1.23	2.48
493		a 24.00m de la base	0.95	1.90
37		Base del talud	0.48	0.95



**Figura N° 15: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.**

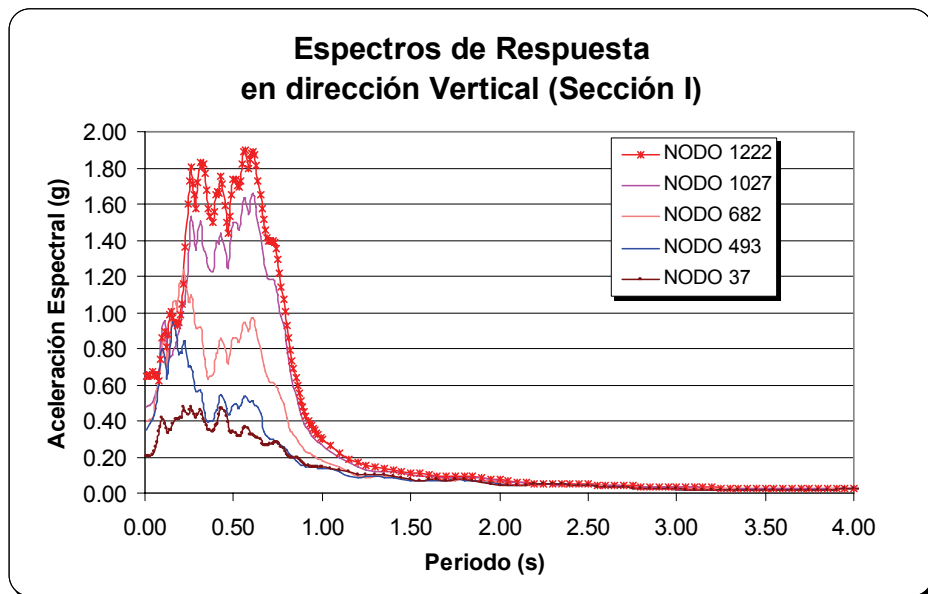


Figura N° 16: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

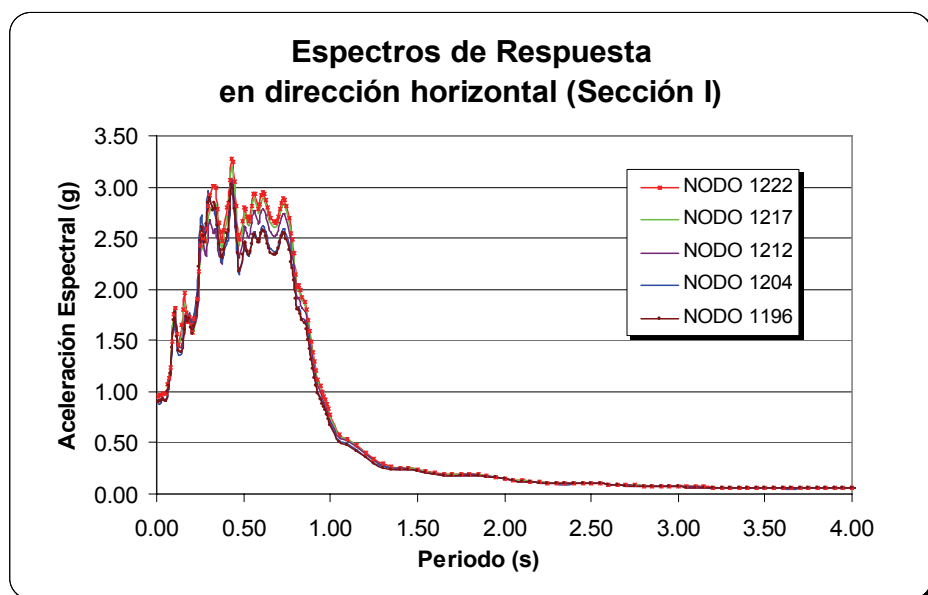


Figura N° 17: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

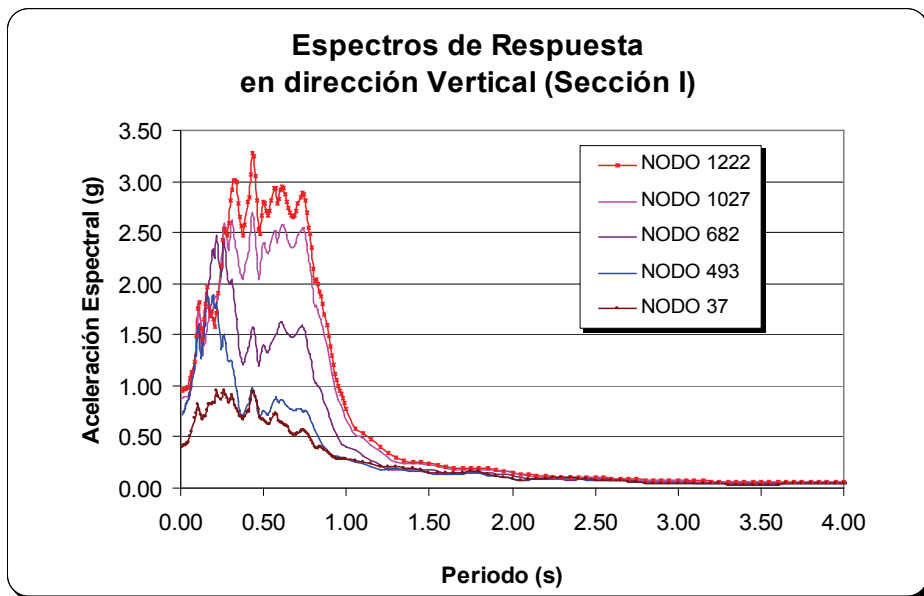


Figura N° 18: Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

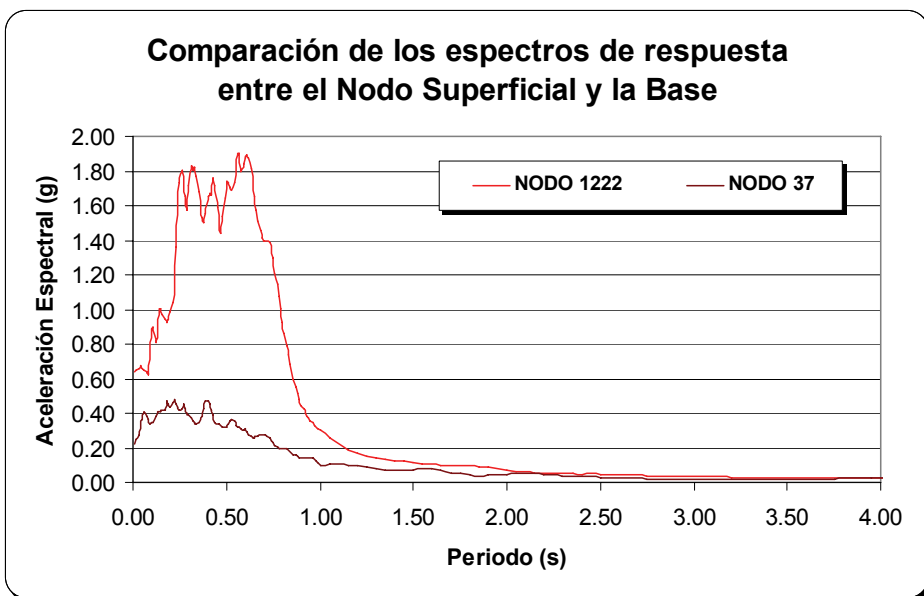


Figura N° 19: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

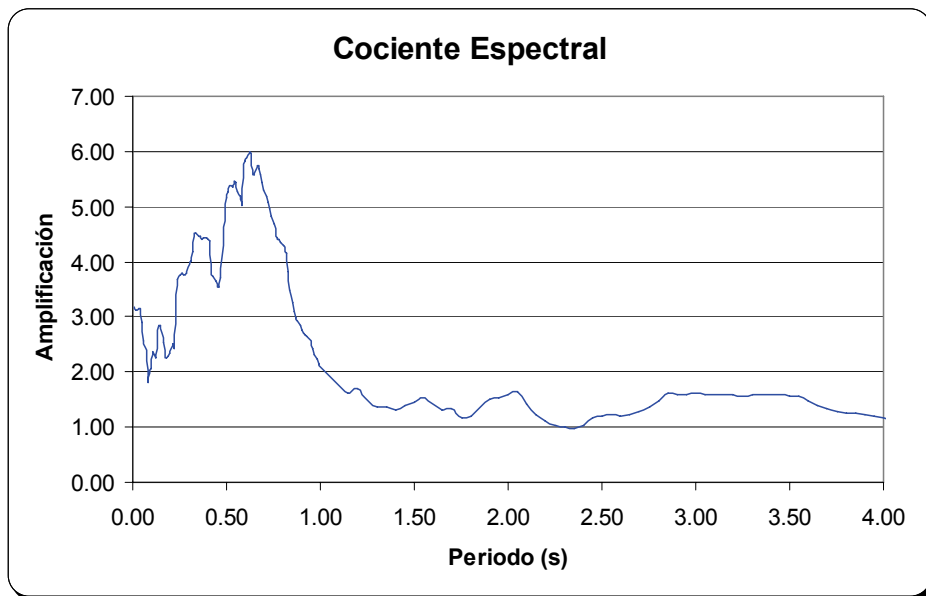


Figura N° 20: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

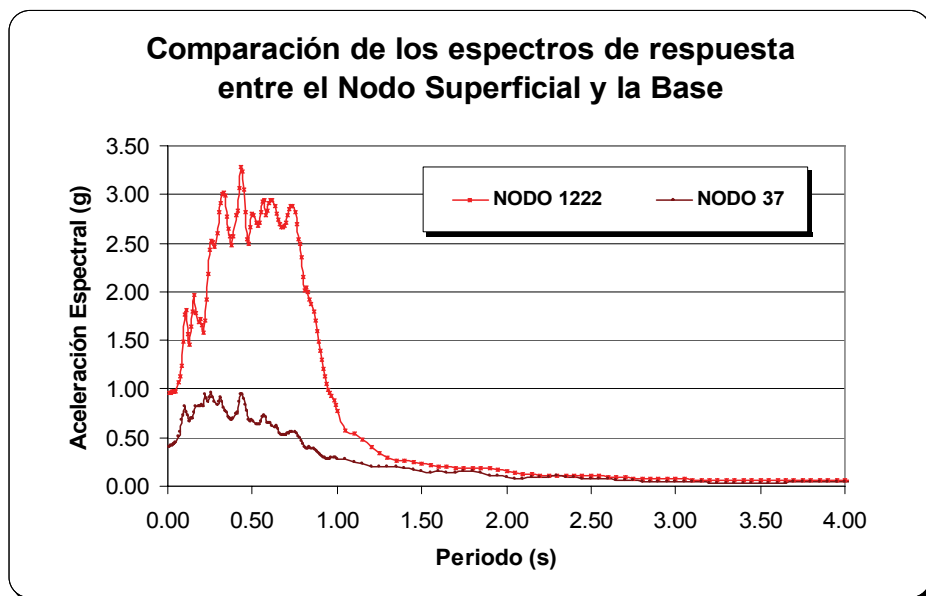


Figura N° 21: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

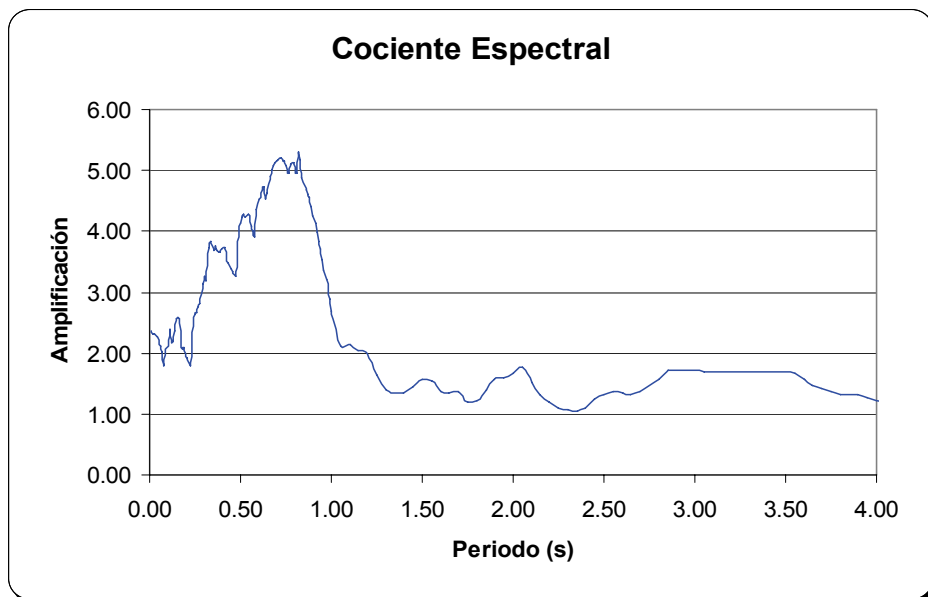


Figura N° 22: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

## SECCIÓN II

La segunda sección evaluada está localizada en el límite entre los distritos de San Miguel y Magdalena del Mar (Ver Plano P-04A), a la altura de la calle Diego de Agüero, tal como se aprecia en la Foto N° 4.



**Foto N° 4: Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección II (distrito de San Miguel), como se puede apreciar el talud está compuesto por grava, intercalado con material fino.**

En el Cuadro N° 15 se muestran las propiedades asignadas a cada estrato considerado, para realizar el análisis de respuesta dinámica. La sección

analizada abarca una distancia de 150.00m desde el borde del talud hacia la ciudad. En el modelo se han considerado diez nodos de evaluación, estos nodos han sido ubicados en la dirección horizontal, dirección vertical y en la cara del talud, con la finalidad de obtener el comportamiento de éste. Los nodos horizontales se han colocado en la superficie y los nodos verticales se han distribuido en todo el perfil del talud, tal como se aprecia en la Figura N° 23. Los nodos ubicados en la parte superior del talud son los nodos 1473, 1468, 1463, 1455 y 1447 el nodo 1473 se encuentra en el borde extremo del talud y los restantes están a una distancia del borde de 15.00, 30.00, 65.00 y 100.00m, respectivamente. Los nodos ubicados en dirección vertical son el 37, 541, 901, 1225 y 1473, el primero de ellos se ubicó en la base de la sección de talud y fue considerado como el registro de ingreso, el resto de los nodos se ubicaron a las distancias de 24.00, 41.12, 60.27, y 74.27m a partir del nodo de la base. El nodo en la cara del talud es el 1232.

En la Figura N° 24 se muestran los esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico, mostrando para esta sección los esfuerzos geostáticos.

La Figura N° 25 muestra los desplazamientos que se generan en el talud cuando éste es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a la aceleración de 0.20g, obteniéndose que existe una variación del valor de desplazamiento en el nodo 1468. Los desplazamientos relativos obtenidos son de 0.044m y los desplazamientos absolutos de 0.055m. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1473 y 1463, con valores de 0.52 y 0.50g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.50g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1225, 901, 541 y 37 son 0.47, 0.42, 0.35 y 0.20g respectivamente.

Cuando el talud es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, tal como se muestra en la Figura N° 26, se obtienen valores de desplazamientos relativos de 0.068m y desplazamientos absolutos de 0.110 m. Se observa que los desplazamientos muestran

variación en los nodos 1468 y 1447. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1473, 1468 y 1463 con valores de 0.92, 0.88 y 0.85g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.85g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1225, 901, 541 y 37 son 0.82, 0.78, 0.70 y 0.40g, respectivamente.

De igual modo, el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe en 1995, obteniéndose valores de desplazamientos relativos de 0.290m y desplazamientos absolutos de 0.480m, tal como se muestra en la Figura N° 27. Los desplazamientos muestran variación en el nodo 1468. Las aceleraciones máximas no presentan cambio en los nodos horizontales considerados en la superficie, hallándose el valor de 2.40g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1225, 901, 541 y 37 son 2.20, 1.32, 0.97 y 0.83g respectivamente.

También se calcularon los probables valores de deformaciones permanentes, utilizando la teoría de Newmark (1965) con la ayuda del programa de cómputo Slope/W. Este cálculo se realizó considerando el sismo de Lima del año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, obteniendo como resultado los valores de 0.36 y 0.38m respectivamente; así mismo, se obtuvo el valor de 0.70m de deformación cuando el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe el año 1995.

Para la evaluar de la respuesta dinámica de esta sección, en cada uno de los diez nodos de evaluación se hallaron los registros tiempo - historia de aceleraciones inducidos por la excitación de la base, generada por el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En base a los registros tiempo – historia obtenidos, se calcularon los espectros de respuesta en cada uno de los diez nodos, tanto en la dirección horizontal como vertical.



**Cuadro N° 16**  
**Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección II**  
**Distrito de San Miguel**

parámetros	estratos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Peso Especifico</b> (KN/m <sup>3</sup> )	22	21	19	20	19	20	21	21	20	18
<b>Módulo de Poisson</b> ( $\nu$ )	0.25	0.30	0.28	0.30	0.28	0.30	0.30	0.30	0.30	0.27
<b>Módulo de elasticidad (E)</b> (kPa)	170 000	160 000	50 000	120 000	40 000	132 000	130 000	125 000	100 000	60 000
<b>Módulo de rigidez (G)</b> (kPa)	1 200 000	800 000	350 000	580 450	320 000	560 000	540 000	520 000	480 000	300 000
<b>Velocidad cortante (V<sub>s</sub>)</b> (m/s)	731.50	611.32	425.10	533.58	406.47	524.10	502.25	492.86	485.22	404.35

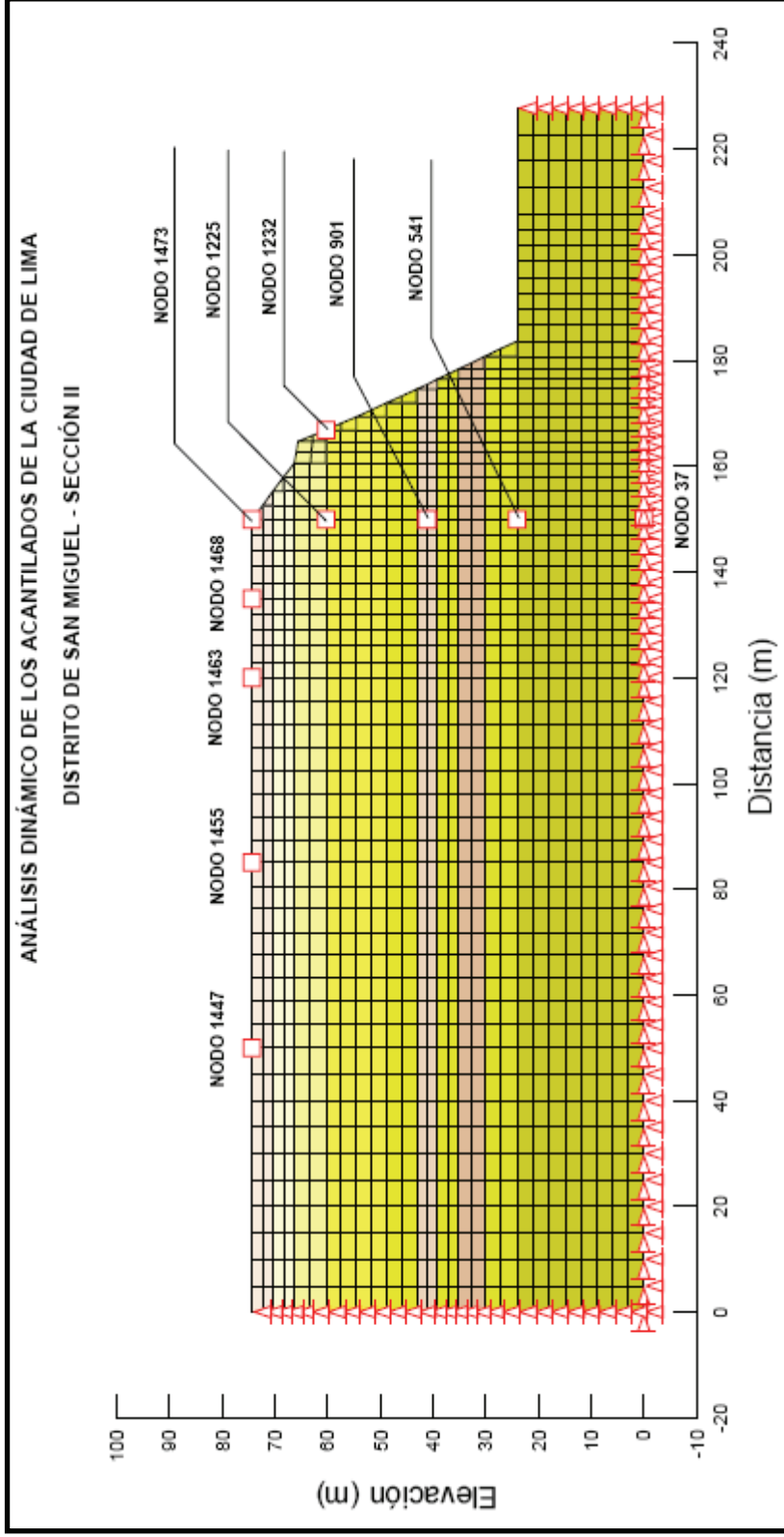


Figura N° 23: Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel.

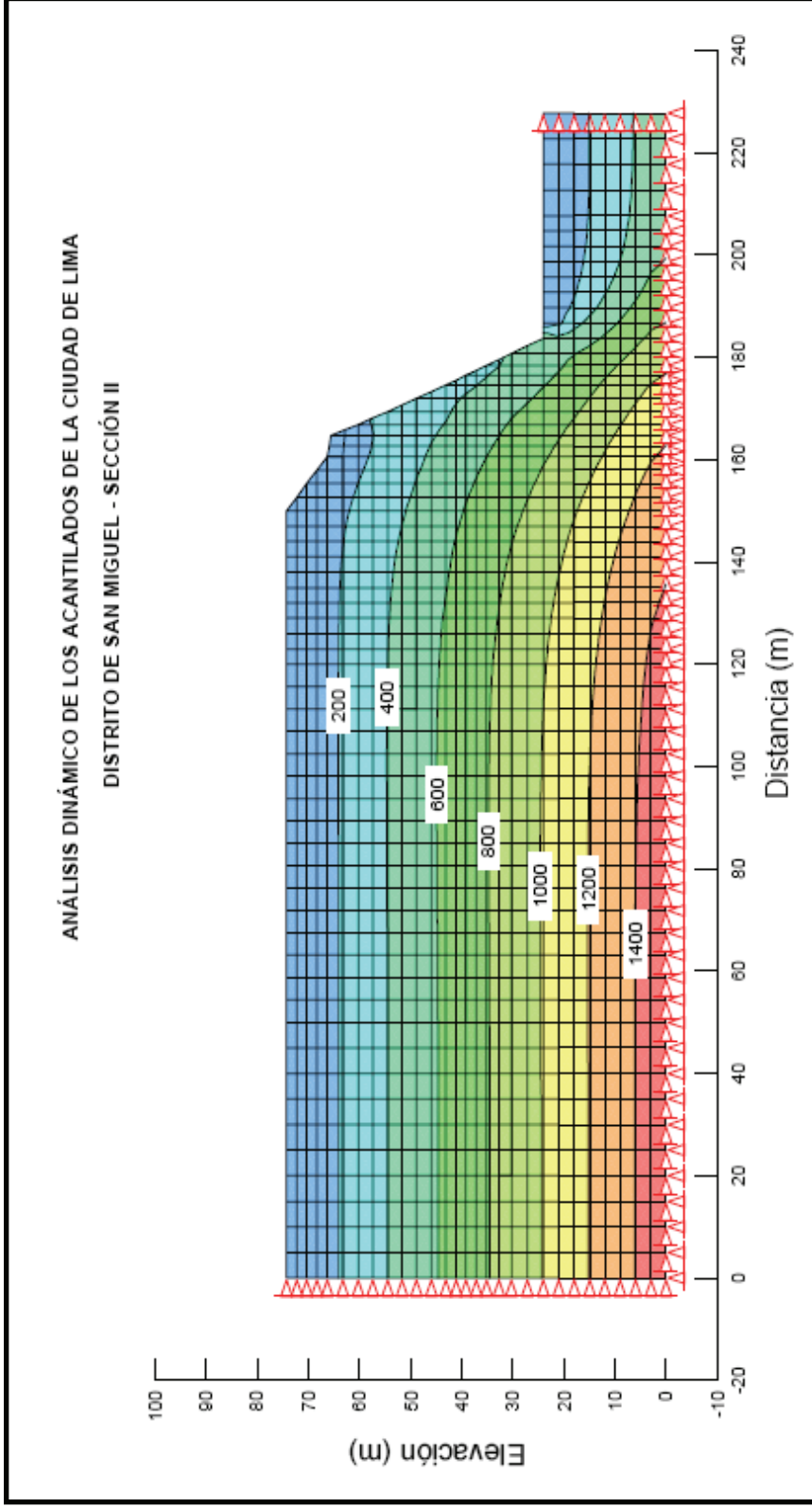


Figura N° 24: Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel. Se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1400 kPa.

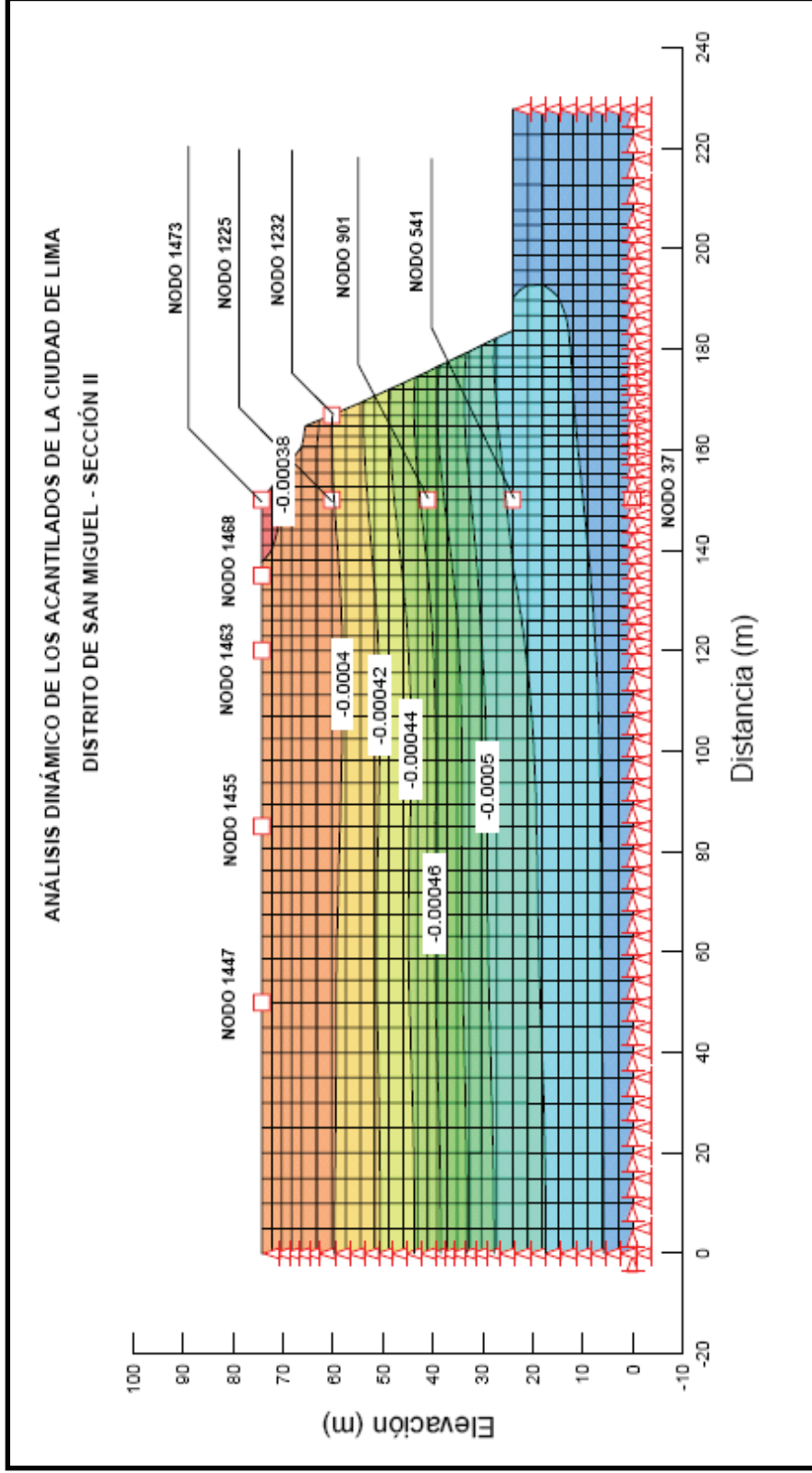


Figura N° 25: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

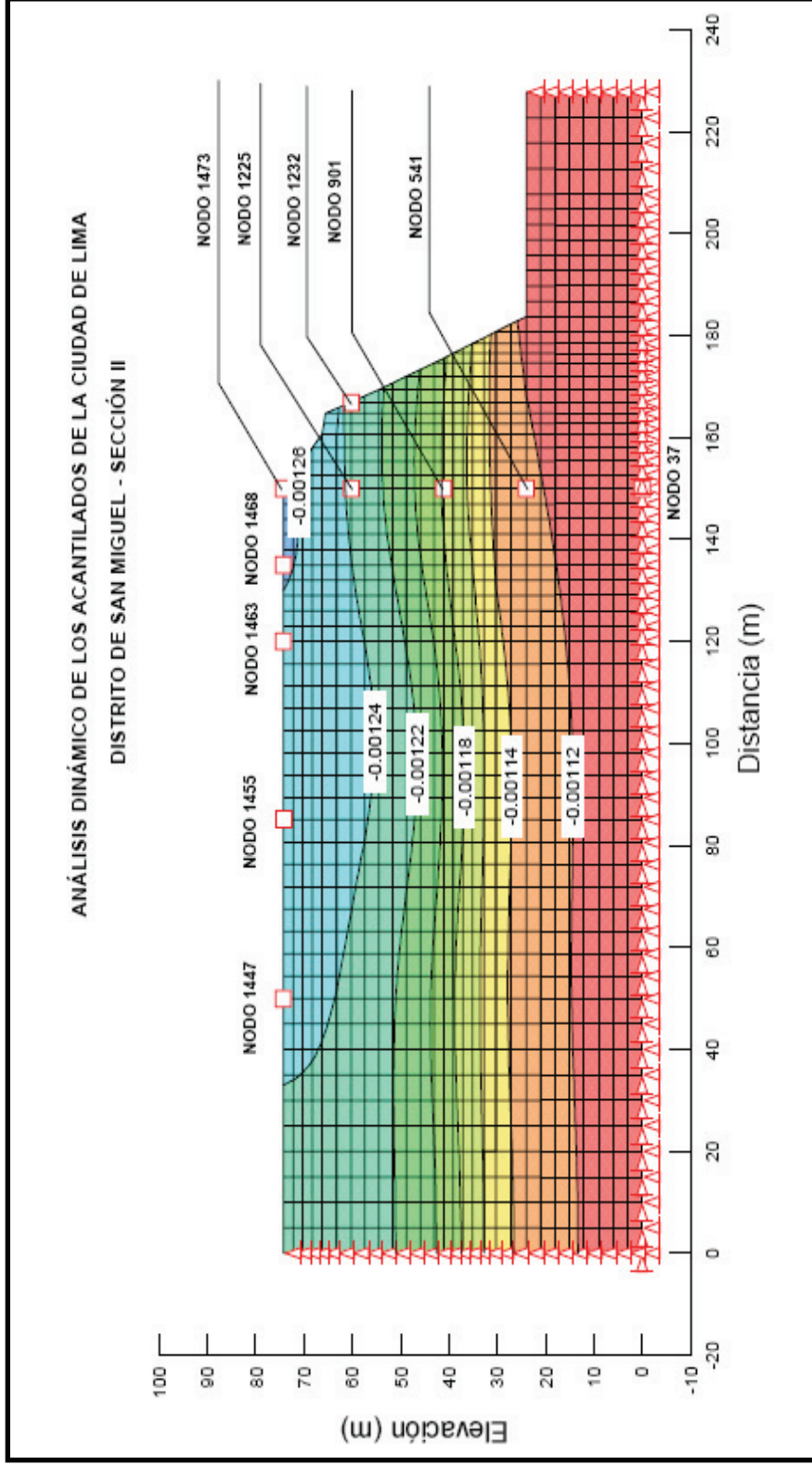


Figura N° 26: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

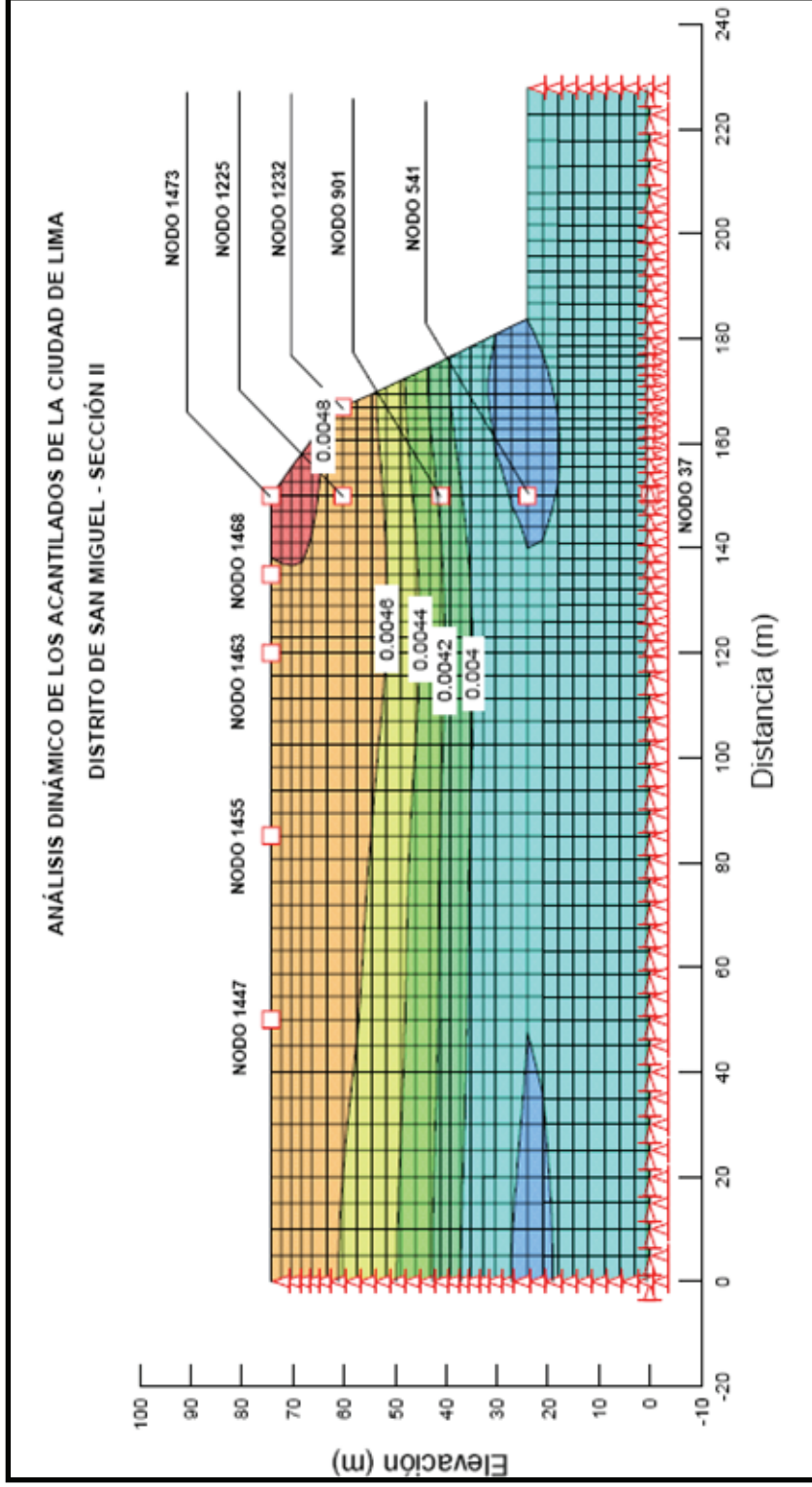


Figura N° 27: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección II correspondiente al distrito de San Miguel, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.

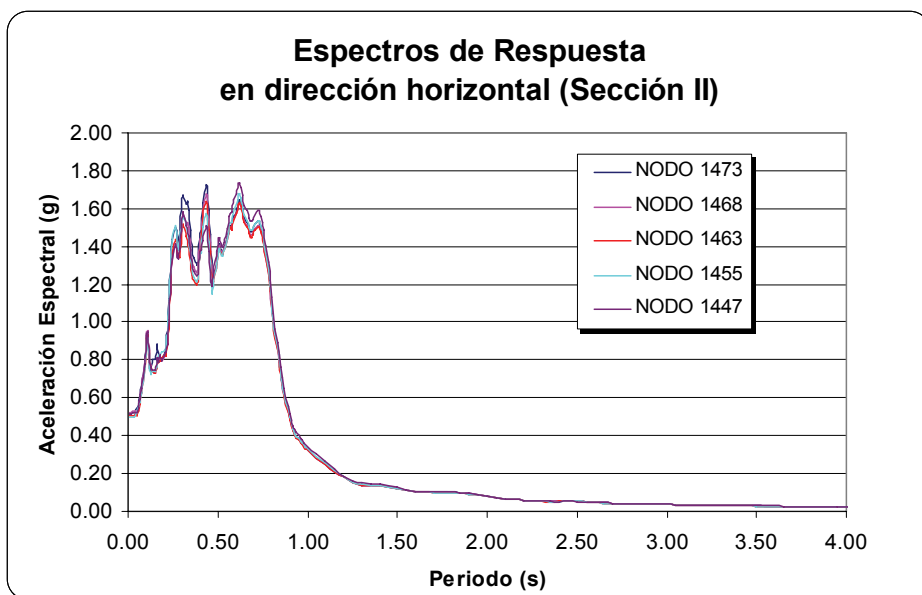
En las Figuras N° 28 y 29 se muestran los espectros de respuesta obtenidos con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g. Las Figuras N° 30 y 31 muestran los espectros obtenidos con el mismo sismo, pero escalado a una aceleración de 0.40g.

En el Cuadro N° 17 se muestran las aceleraciones espectrales obtenidas en cada uno de los nodos de esta sección, observándose que el nodo 1473 ubicado en el borde del talud presenta una aceleración espectral de 1.73 y 3.33g para la evaluación realizada con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20g y 0.40g respectivamente, se debe notar que las aceleraciones espectrales en los nodos evaluados van decreciendo según el nodo se va alejando del borde del talud y que existe una relativa diferencia con los nodos ubicados a más de 65.00 m de distancia del borde. En los nodos ubicados en la dirección vertical la diferencia es mayor.

Posteriormente se calcularon las relaciones espectrales entre el nodo ubicado en el borde del talud (nodo 1222) y el nodo base (nodo 37), con el objeto de calcular la función de amplificación correspondiente, para los análisis realizados con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En las Figuras N° 32 y 33 se presenta el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.20g, en la Figura N° 33 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 5.68 con un periodo de 0.69s. Las Figuras N° 34 y 35 presentan el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.40g, en la Figura N° 35 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 5.67 con un periodo de 0.83s. En los resultados obtenidos se observa que en el análisis realizado con el sismo escalado a la aceleración de 0.40g la amplificación es menor a la presentada en el análisis con el sismo escalado a 0.20g, pero no así el valor del periodo.

**Cuadro N° 17**  
**Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección II**

Nodos			Aceleración espectral (g)	
N°	Ubicación en sección		Sismo 0.20g	Sismo 0.40g
1473	Superficie del talud	borde	1.73	3.33
1468		a 15m del borde	1.68	3.23
1463		a 30m del borde	1.64	3.12
1455		a 65m del borde	1.68	2.92
1447		a 100m del borde	1.74	2.86
1232	Cara del talud	---	1.50	2.80
1225	Interior del talud	a 60.27m de la base	1.51	2.81
901		a 41.12 m de la base	1.33	2.73
541		a 24.00 m de la base	0.95	1.99
37		base del talud	0.48	0.95



**Figura N° 28: Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.**



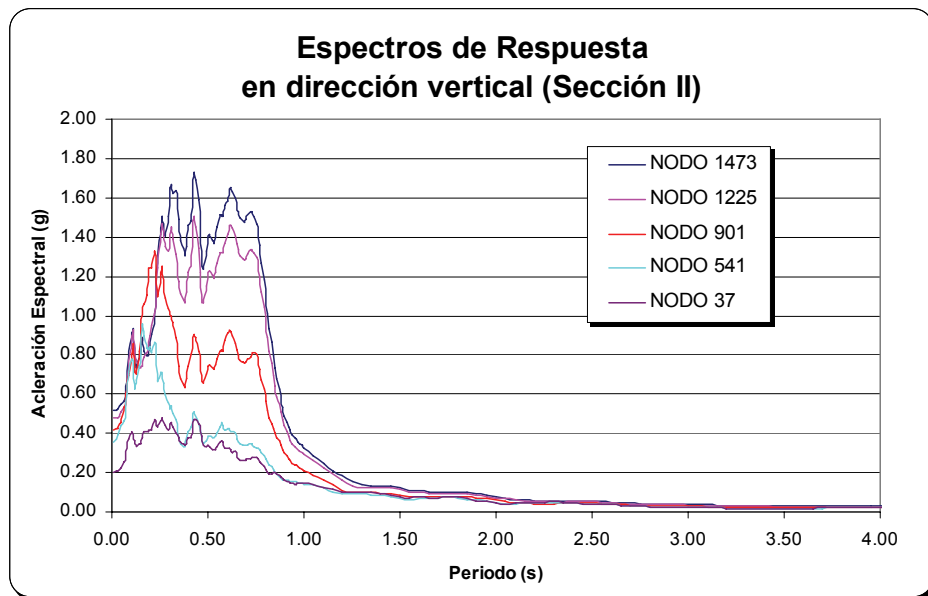


Figura N° 29: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

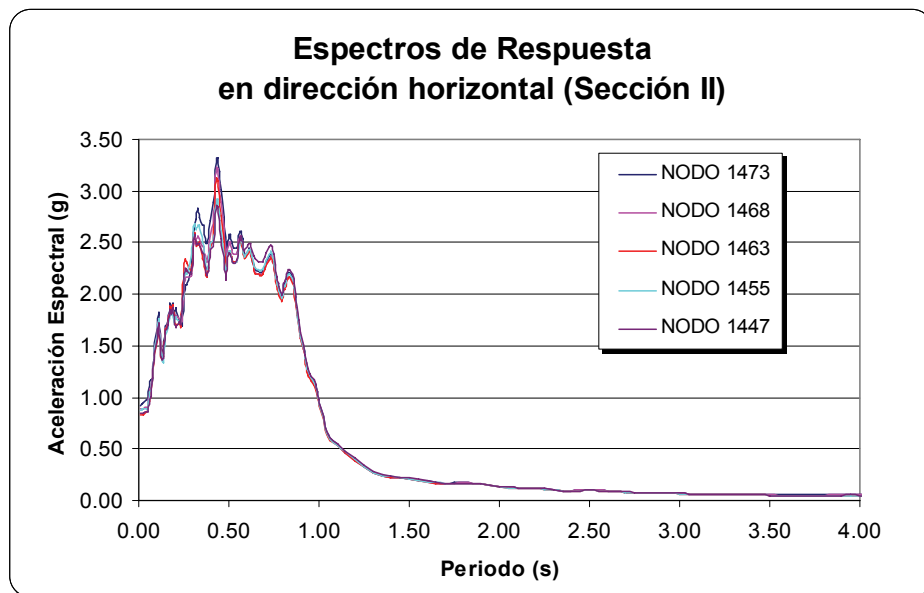


Figura N° 30: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

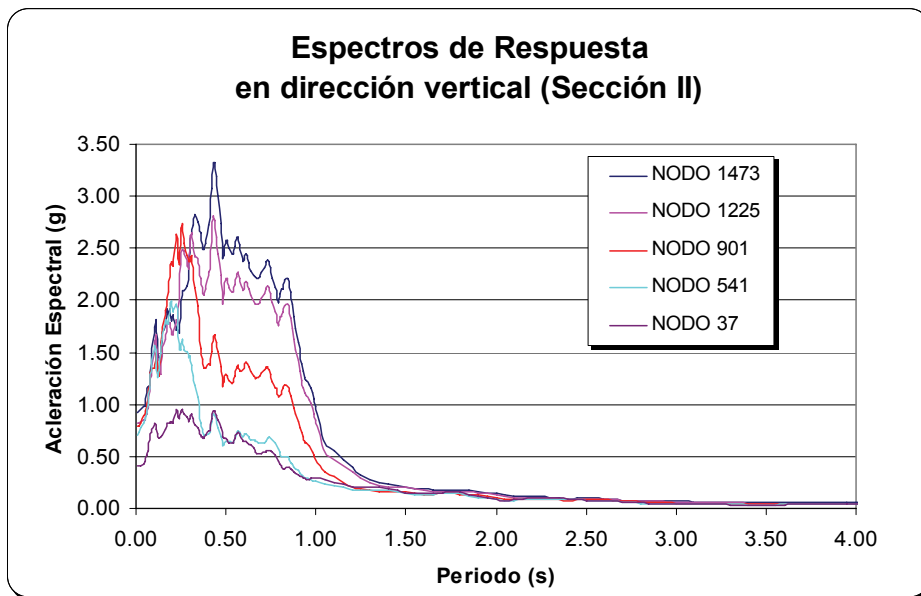


Figura N° 31: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

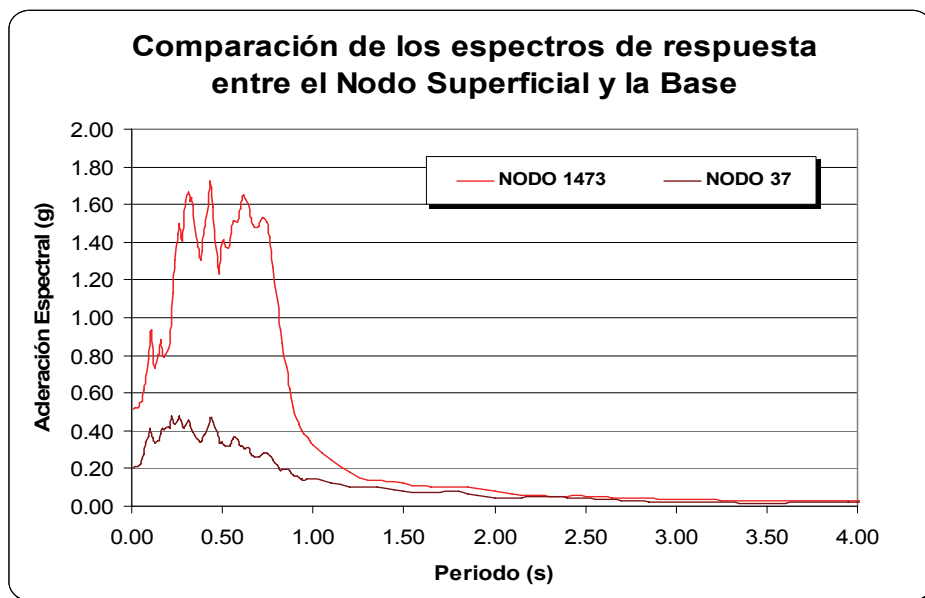


Figura N° 32: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

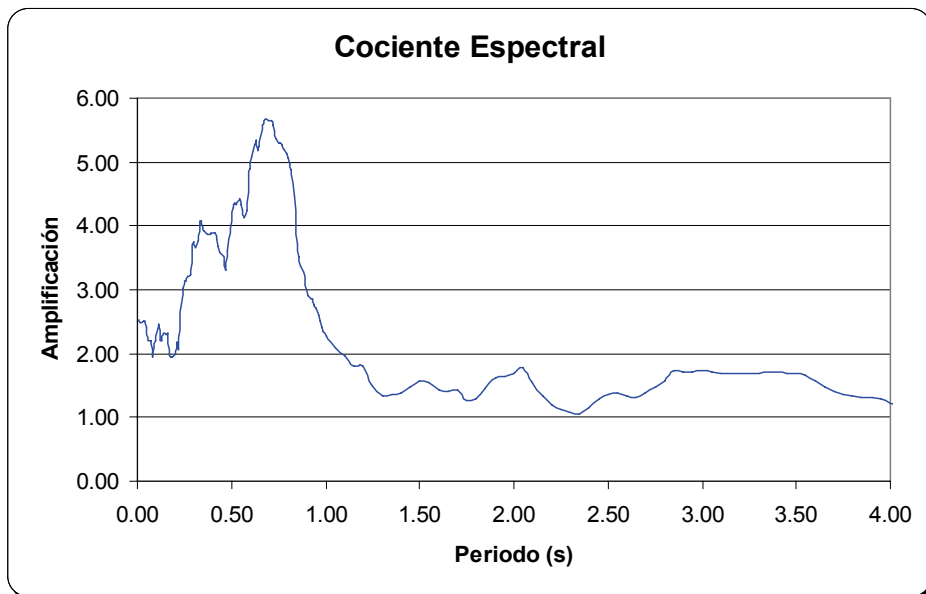


Figura N° 33: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

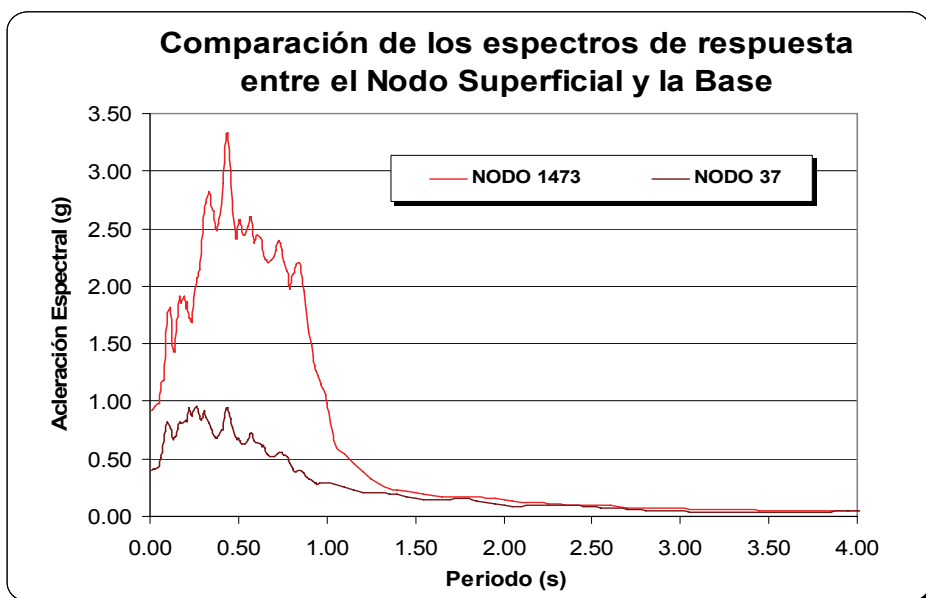


Figura N° 34: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

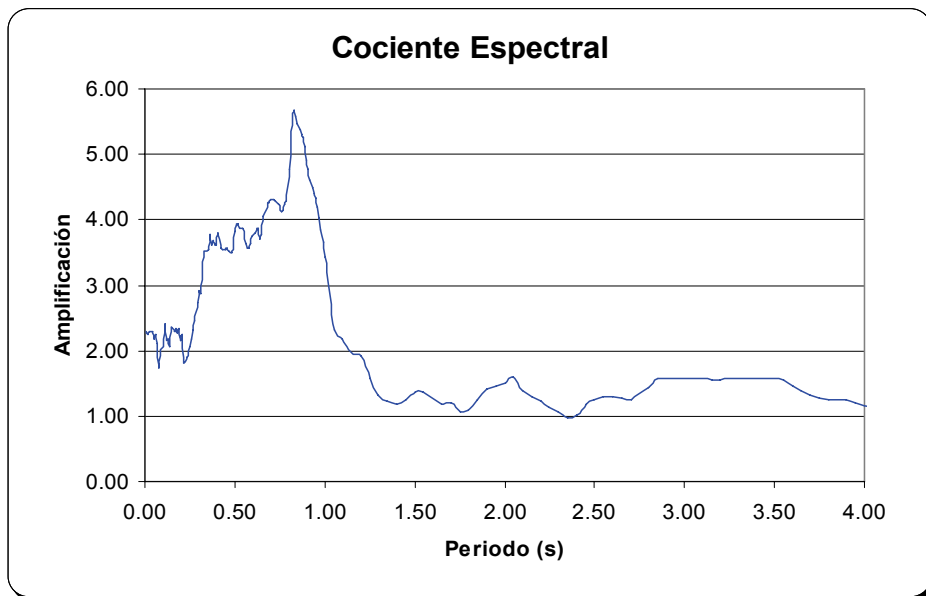


Figura N° 35: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección II), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

### SECCIÓN III

La tercera sección evaluada está localizada en el distrito de Magdalena del Mar (Ver Plano P-04B), a la altura del Poricultorio Pérez Aranibar, como se aprecia en la Foto N° 5.



**Foto N° 5:** Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección III (distrito de Magdalena del Mar), como se puede apreciar el talud está compuesto por grava, en la parte intermedia se observa un estrato de material fino.

En el Cuadro N° 18 se muestran las propiedades asignadas a cada estrato considerado, para realizar el análisis de respuesta dinámica. La sección analizada abarca una distancia de 150.00m desde el borde del talud hacia la ciudad. En el modelo se han considerado diez nodos de evaluación, estos nodos han sido ubicados en la dirección horizontal, dirección vertical y en la cara del talud, con la finalidad de obtener el comportamiento de éste. Los nodos horizontales se han colocado en la superficie y los nodos verticales se han distribuido en todo el perfil del talud, tal como se aprecia en la Figura N° 36. Los nodos ubicados en la parte superior del talud son los nodos 1256, 1251, 1246, 1238 y 1230 el nodo 1256 se encuentra en el borde extremo del talud y los restantes están a una distancia del borde de 15.00, 30.00, 65.00 y 100.00m, respectivamente. Los nodos ubicados en dirección vertical son el 37, 501, 697, 1013 y 1256, el primero de ellos se ubicó en la base de la sección de talud y fue considerado como el registro de ingreso, el resto de los nodos se ubicaron a las distancias de 24.00, 35.84, 56.59, y 70.59m a partir del nodo de la base. El nodo en la cara del talud es el 1019.

En la Figura N° 37 se muestran los esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico, mostrando para esta sección los esfuerzos geostáticos.

La Figura N° 38 muestra los desplazamientos que se generan en el talud cuando éste es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a la aceleración de 0.20g, obteniéndose que existe una variación del valor de desplazamiento en el nodo 1251. Los desplazamientos relativos obtenidos son de 0.041m y los desplazamientos absolutos de 0.052m. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1256 y 1251, con valores de 0.56 y 0.51g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.50g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1013, 697, 501 y 37 son 0.48, 0.41, 0.35 y 0.20g respectivamente.

Cuando el talud es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, tal como se muestra en la Figura N° 39, se obtienen valores de desplazamientos relativos de 0.069m y desplazamientos absolutos de 0.110m. Se observa que los desplazamientos muestran variación en los nodos 1251 y 1230. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1256, 1251 y 1246 con valores de 0.91, 0.90 y 0.84g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.83g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1013, 697, 501 y 37 son 0.81, 0.77, 0.70 y 0.40g, respectivamente.

De igual modo, el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe en 1995, obteniéndose valores de desplazamientos relativos de 0.290m y desplazamientos absolutos de 0.467m, tal como se muestra en la Figura N° 40. Los desplazamientos muestran variación en el nodo 1251. Las aceleraciones máximas no presentan cambio en los nodos horizontales considerados en la superficie, hallándose el valor de 2.40g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1013, 697, 501 y 37 son 2.14, 1.33, 0.90 y 0.83g respectivamente.

También se calcularon los probables valores de deformaciones permanentes, utilizando la teoría de Newmark (1965) con la ayuda del programa de cómputo Slope/W. Este cálculo se realizó considerando el sismo de Lima del año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, obteniendo como resultado los valores de 0.36 y 0.40m respectivamente; así mismo, se obtuvo el valor de 0.73m de deformación cuando el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe el año 1995.

Para la evaluación de la respuesta dinámica de esta sección, en cada uno de los diez nodos de evaluación se hallaron los registros tiempo - historia de aceleraciones inducidos por la excitación de la base, generada por el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En base a los registros tiempo – historia obtenidos, se calcularon los espectros de respuesta en cada uno de los diez nodos, tanto en la dirección horizontal como vertical.

**Cuadro N° 18**  
**Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección III**  
**Distrito de Magdalena Del Mar**

Parámetros	Estratos						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Peso específico (KN/m<sup>3</sup>)</b>	22	21	19	21	21	20	20
<b>Módulo de Poisson (ν)</b>	0.25	0.30	0.28	0.30	0.30	0.30	0.30
<b>Módulo de elasticidad (E) (kPa)</b>	170 000	150 000	60 000	140 000	130 000	110 000	90 000
<b>Módulo de rigidez (G) (kPa)</b>	1 200 000	800 000	325 820	580 450	530 000	480 000	450 000
<b>Velocidad cortante (V<sub>s</sub>) (m/s)</b>	731.50	611.32	410.15	520.72	497.58	485.22	469.81



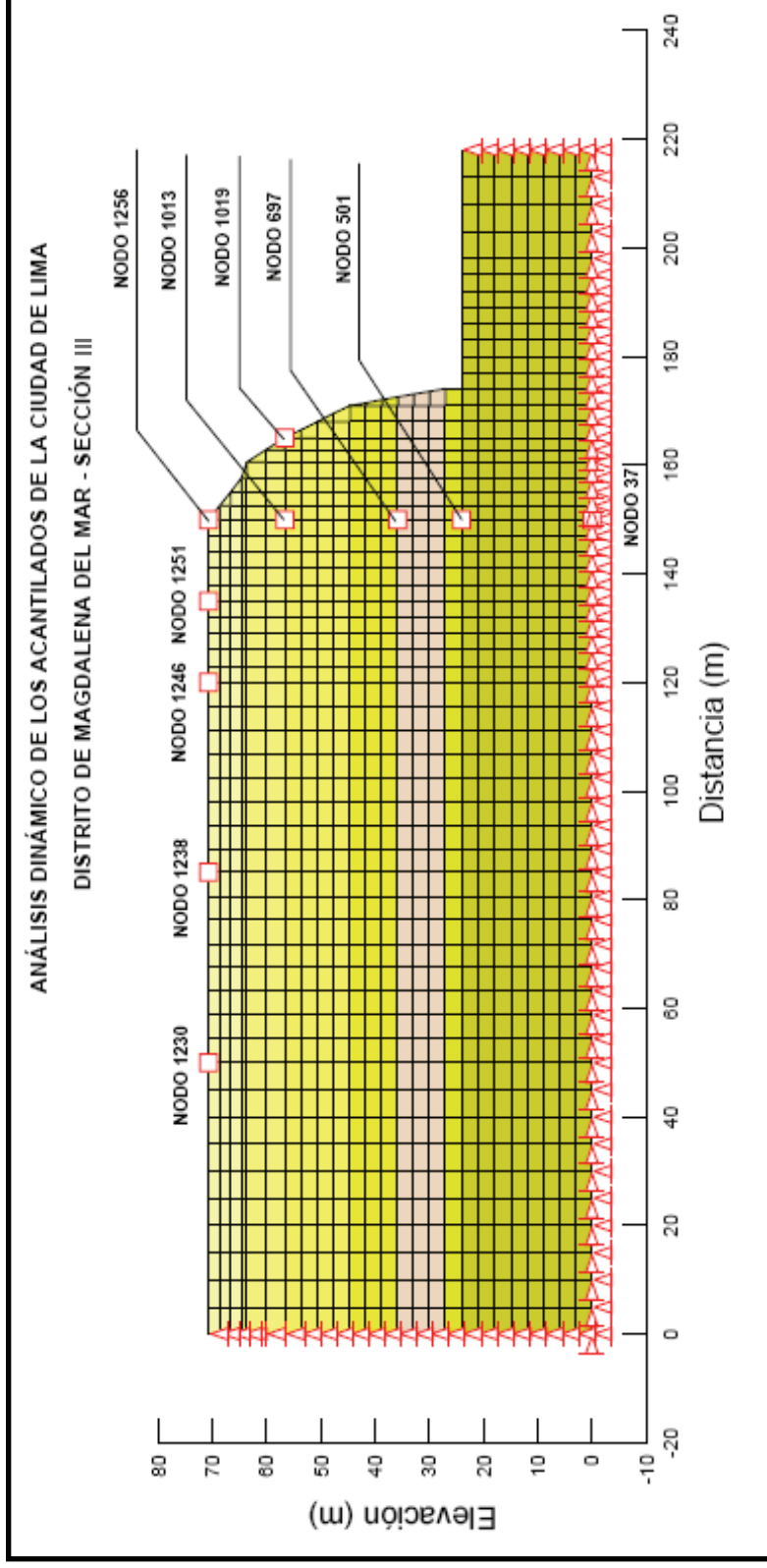


Figura N° 36: Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar.

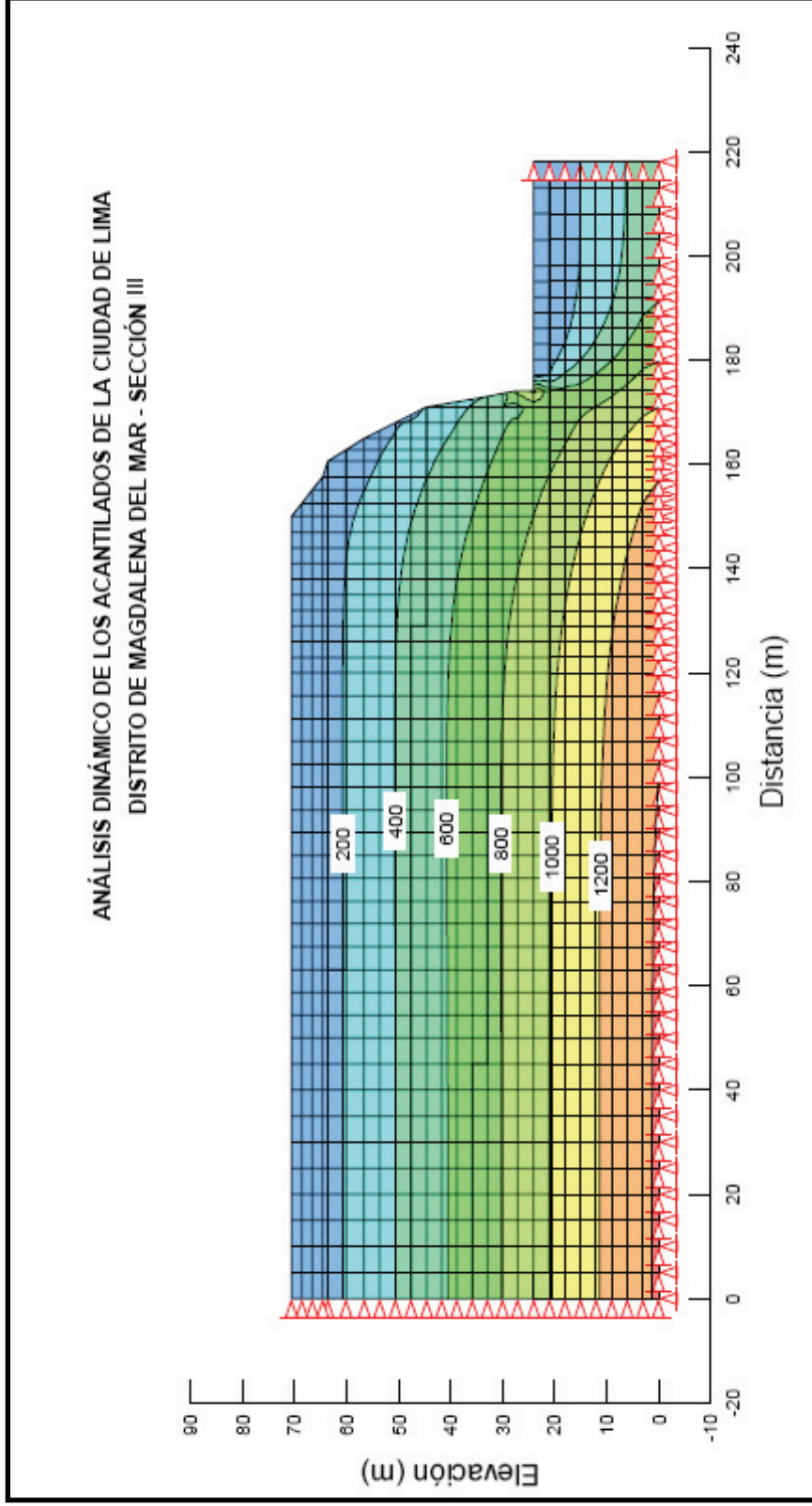


Figura N° 37: Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1200 kPa.

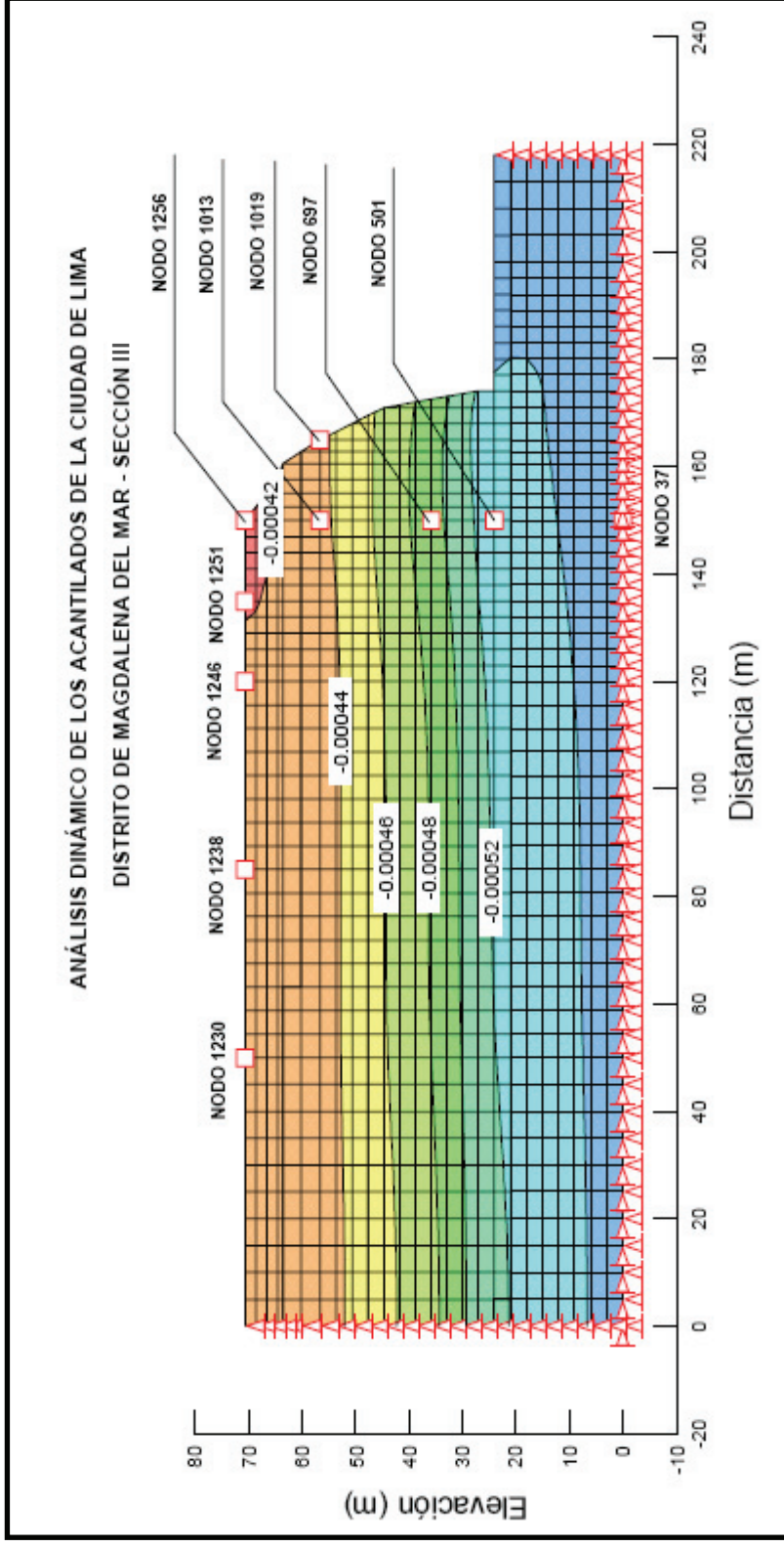


Figura N° 38: Desplazamientos calculados (en m) de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

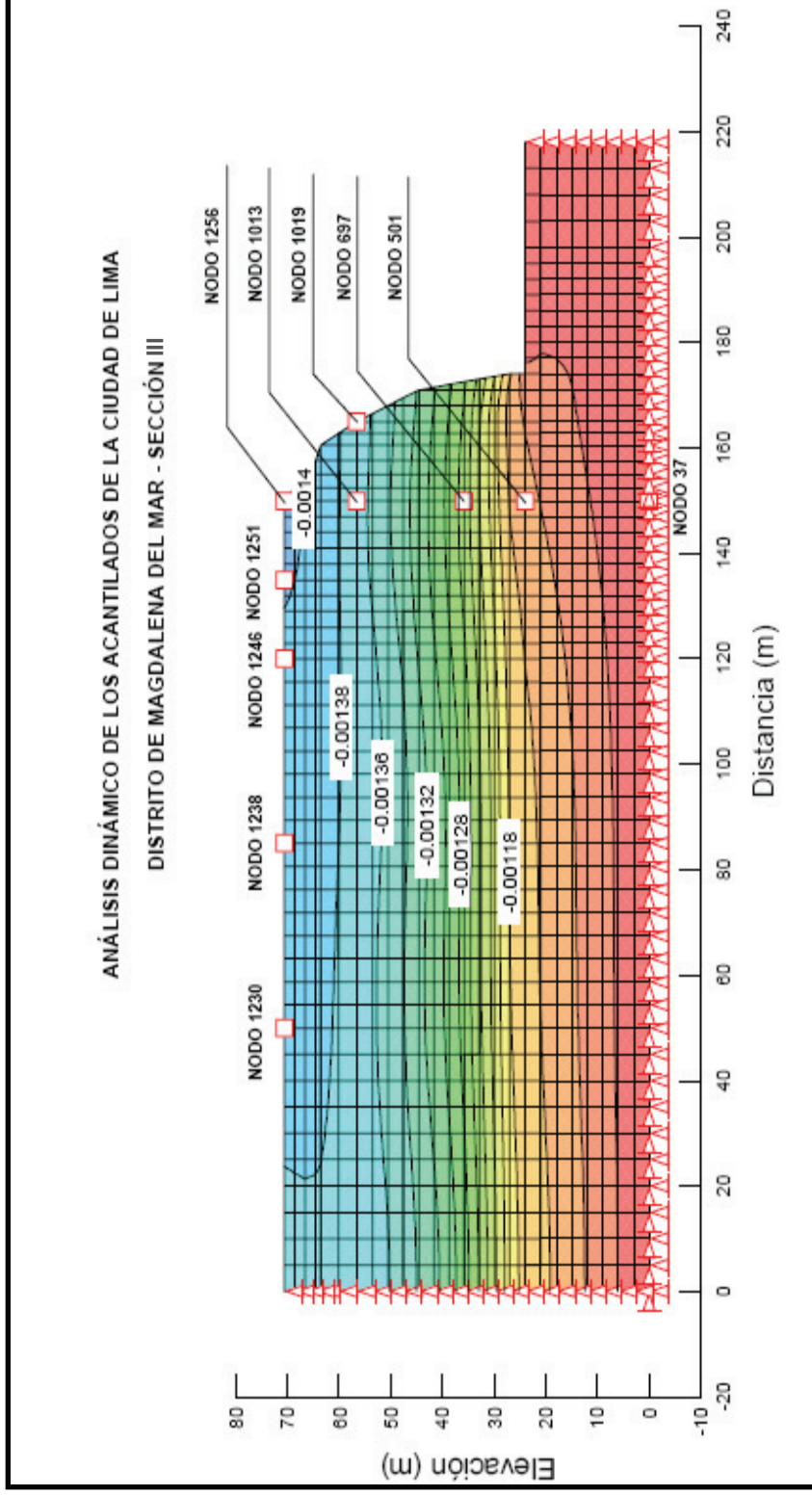


Figura N° 39: Desplazamientos calculados (en m) de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, con una aceleración escalada de 0.40g.

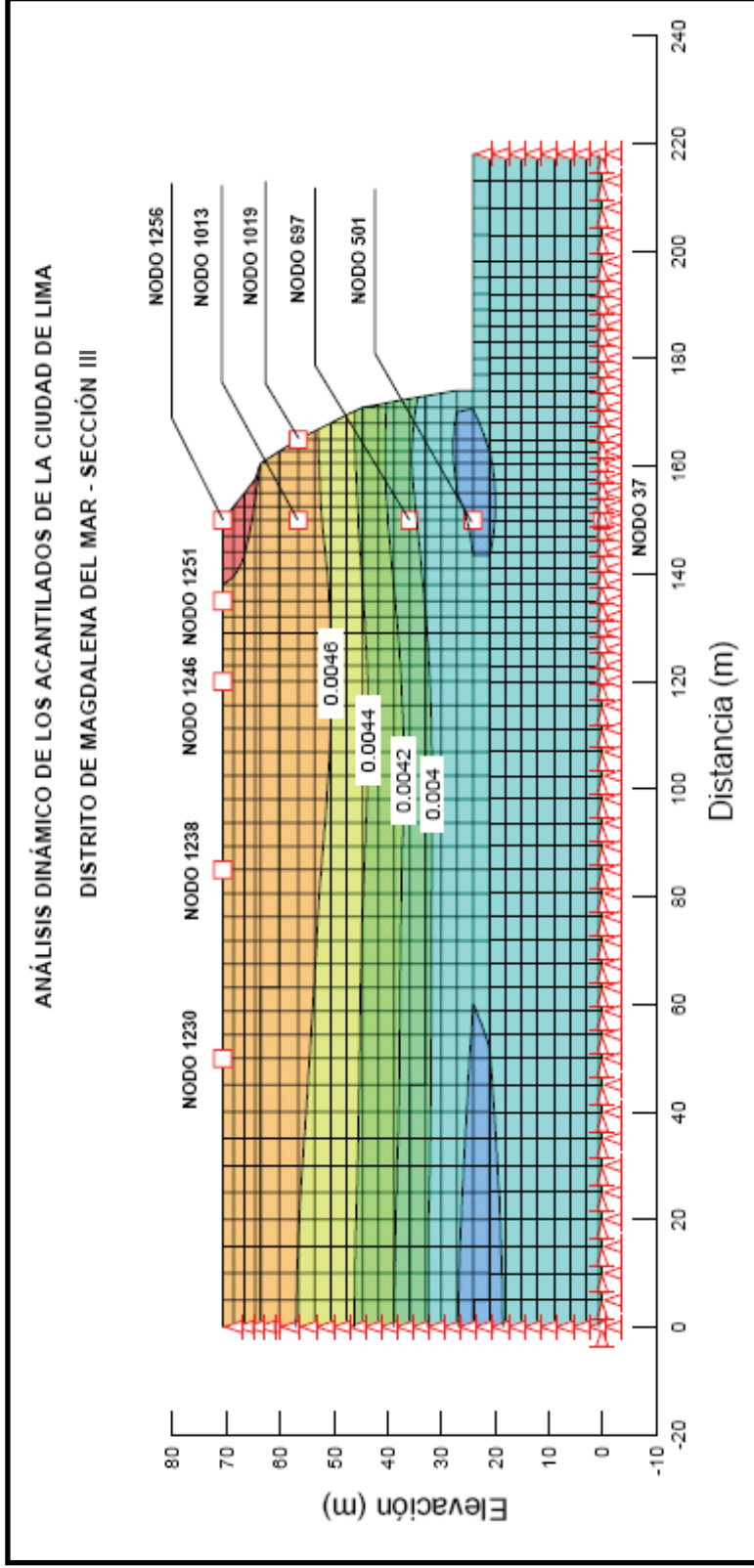


Figura N° 40: Desplazamientos calculados (en m) de la Sección III correspondiente al distrito de Magdalena del Mar, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.

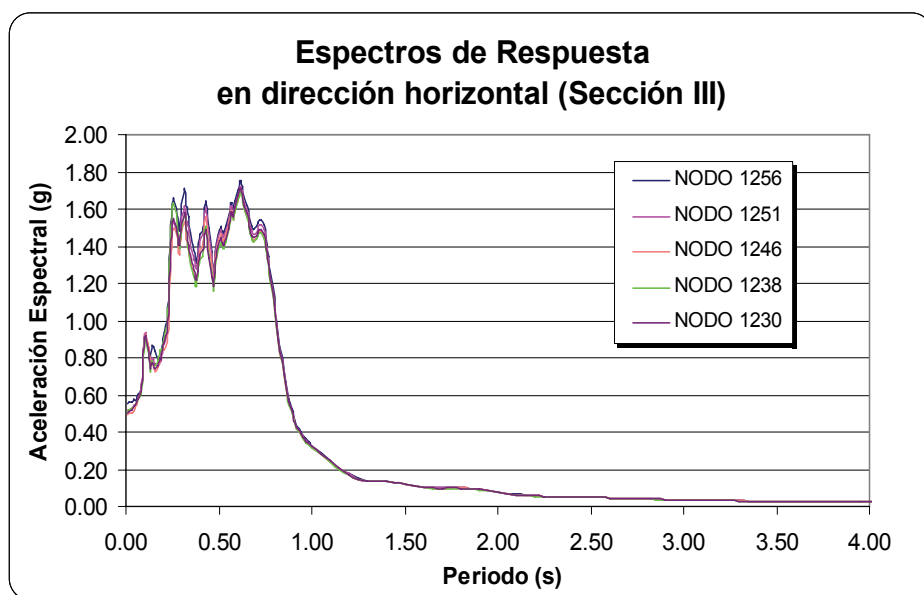
En las Figuras N° 41 y 42 se muestran los espectros de respuesta obtenidos con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g. Las Figuras N° 43 y 44 muestran los espectros obtenidos con el mismo sismo, pero escalado a una aceleración de 0.40g.

En el Cuadro N° 19 se muestran las aceleraciones espectrales obtenidas en cada uno de los nodos de esta sección, observándose que el nodo 1256 ubicado en el borde del talud presenta una aceleración espectral de 1.75 y 3.29g para la evaluación realizada con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20g y 0.40g respectivamente, se debe notar que las aceleraciones espectrales en los nodos evaluados van decreciendo según el nodo se va alejando del borde del talud y que existe una relativa diferencia con los nodos ubicados a más de 65.00 m de distancia del borde. En los nodos ubicados en la dirección vertical la diferencia es mayor.

Posteriormente se calcularon las relaciones espectrales entre el nodo ubicado en el borde del talud (nodo 1222) y el nodo base (nodo 37), con el objeto de calcular la función de amplificación correspondiente, para los análisis realizados con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En las Figuras N° 45 y 46 se presenta el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.20g, en la Figura N° 46 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 5.77 con un periodo de 0.67s. Las Figuras N° 47 y 48 presentan el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.40g, en la Figura N° 48 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 5.80 con un periodo de 0.82s. En los resultados obtenidos se observa que en el análisis realizado con el sismo escalado a la aceleración de 0.20g la amplificación es menor a la presentada en el análisis con el sismo escalado a 0.40g, como también el valor del periodo.

**Cuadro N° 19**  
**Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección III**

Nodos			Aceleración espectral (g)	
N°	Ubicación en sección		Sismo 0.20g	Sismo 0.40g
1256	Superficie del talud	borde	1.75	3.29
1251		a 15m del borde	1.72	3.19
1246		a 30m del borde	1.70	3.07
1238		a 65m del borde	1.69	2.91
1230		a 100m del borde	1.71	2.90
1019	Cara del talud	---	1.54	2.71
1013	Interior del talud	a 56.59m de la base	1.54	2.71
697		a 35.84m de la base	1.29	2.62
501		a 24.00m de la base	0.99	1.94
37		base del talud	0.48	0.95



**Figura N° 41:** Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

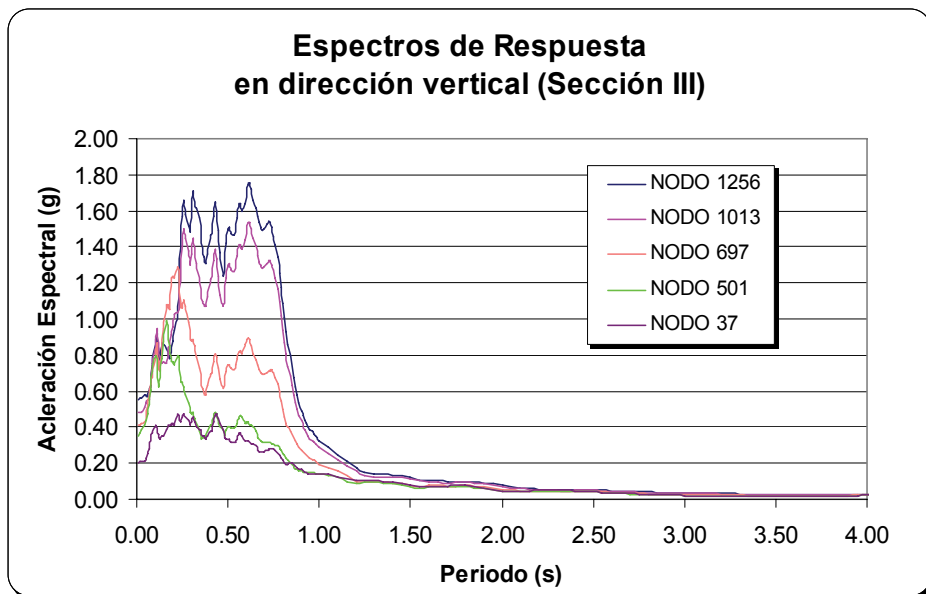


Figura N° 42: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

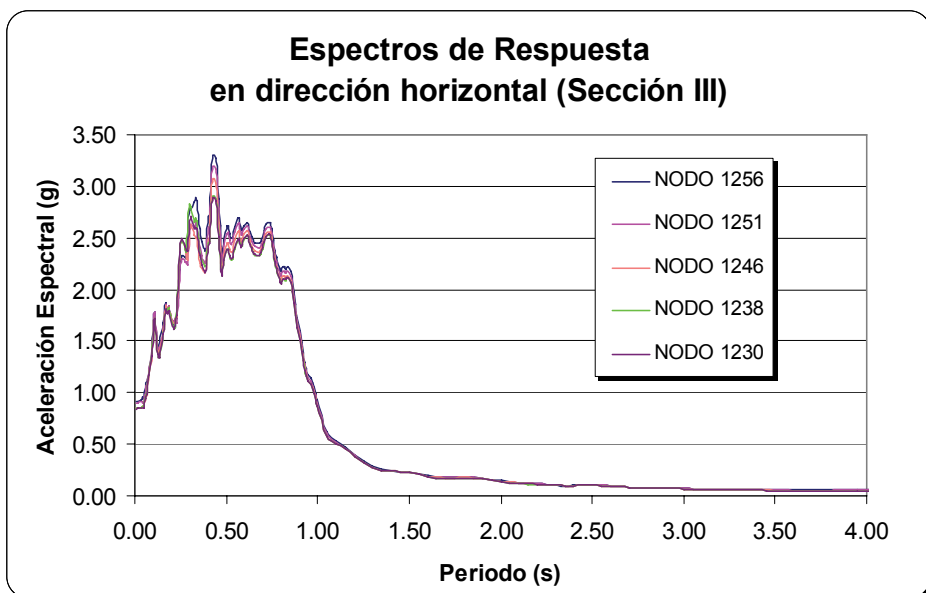


Figura N° 43: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.



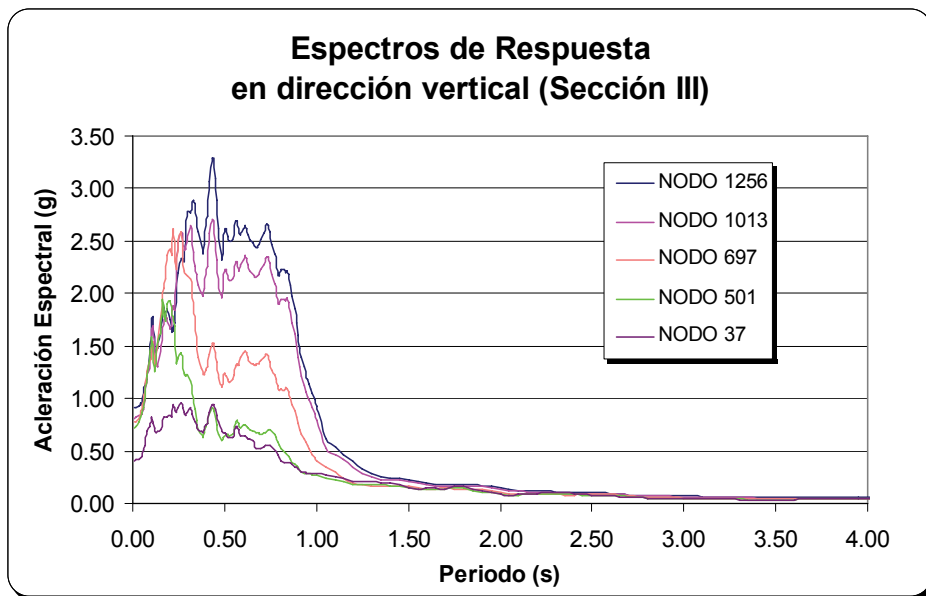


Figura N° 44: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

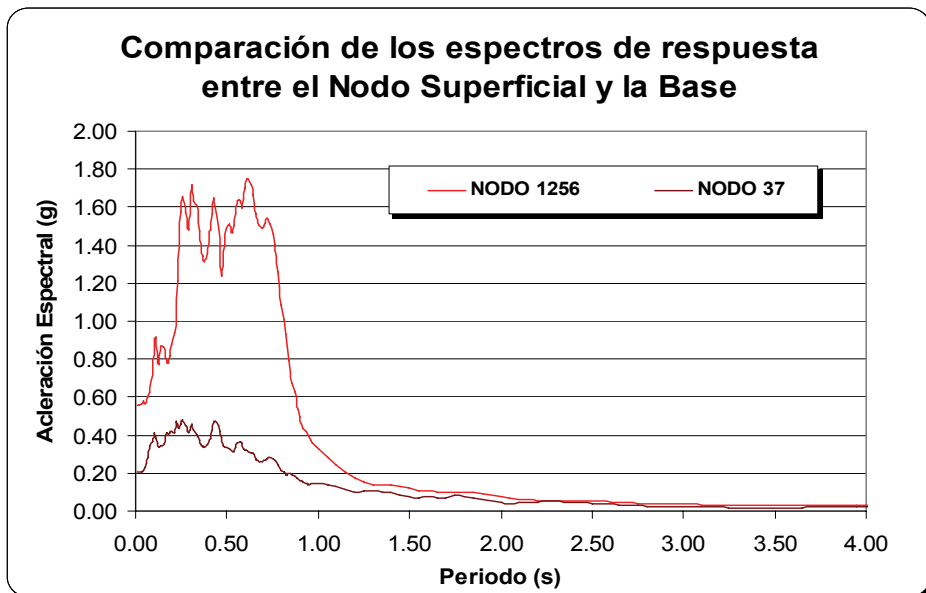


Figura N° 45: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

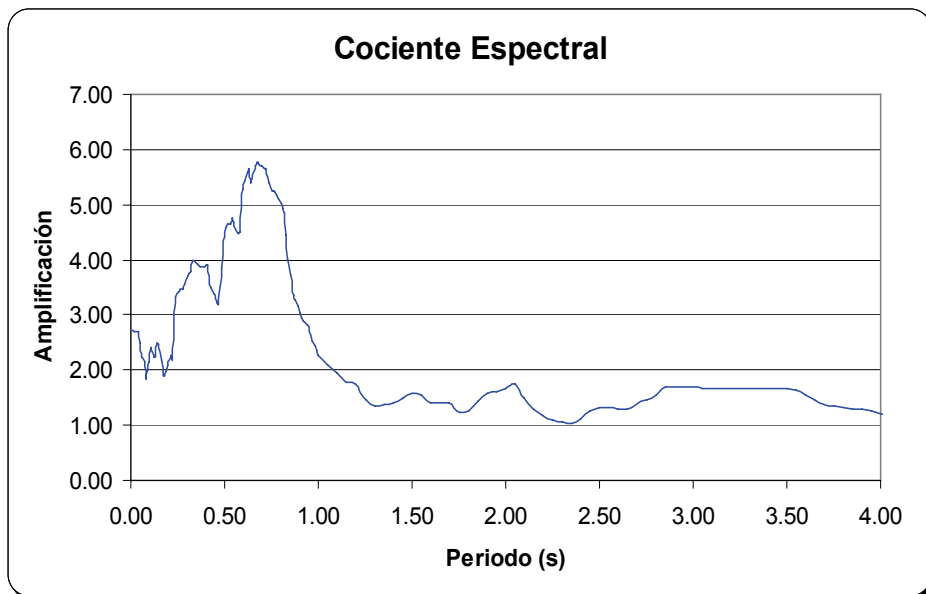


Figura N° 46: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

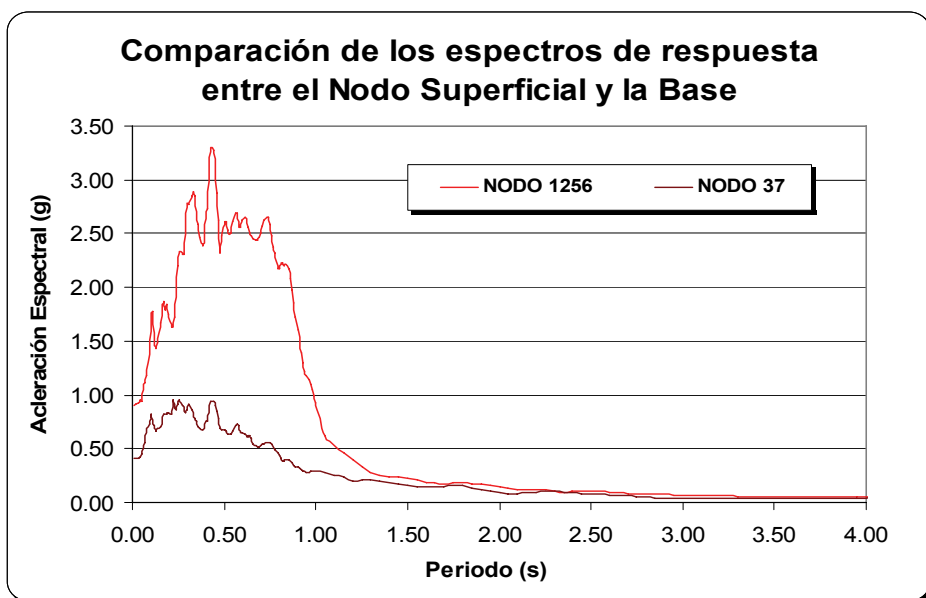


Figura N° 47: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

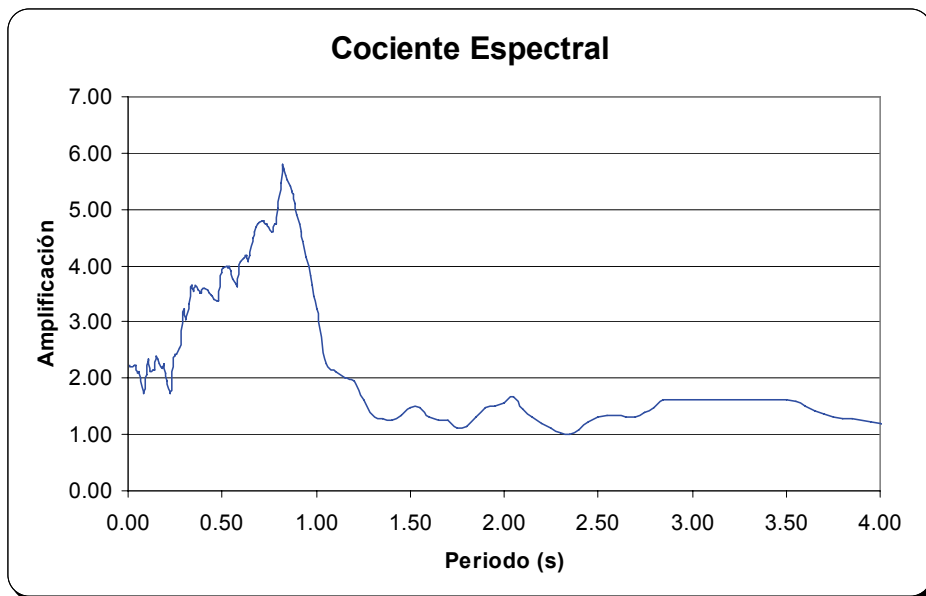


Figura N° 48: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección III), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

## SECCIÓN IV

La cuarta sección evaluada está localizada en el distrito de Miraflores (Ver Plano P-04C), a la altura de la playa Los Delfines como se aprecia en la Foto N° 6.



**Foto N° 6:** Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección IV (distrito de Miraflores), como se puede apreciar el talud está compuesto en su mayoría por gravas.

En el Cuadro N° 20 se muestran las propiedades asignadas a cada estrato considerado, para realizar el análisis de respuesta dinámica. La sección analizada abarca una distancia de 150.00m desde el borde del talud hacia la ciudad. En el modelo se han considerado diez nodos de evaluación, estos nodos han sido ubicados en la dirección horizontal, dirección vertical y en la cara del talud, con la finalidad de obtener el comportamiento de éste. Los nodos horizontales se han colocado en la superficie y los nodos verticales se han distribuido en todo el perfil del talud, tal como se aprecia en la Figura N° 49. Los nodos ubicados en la parte superior del talud son los nodos 1638, 1633, 1628, 1620 y 1612 el nodo 1638 se encuentra en el borde extremo del talud y los restantes están a una distancia del borde de 15.00, 30.00, 65.00 y 100.00m, respectivamente. Los nodos ubicados en dirección vertical son el 37, 573, 1076, 1319 y 1638, el primero de ellos se ubicó en la base de la sección de talud y fue considerado como el registro de ingreso, el resto de los nodos se ubicaron a las distancias de 24.00, 50.18, 64.18, y 87.18m a partir del nodo de la base. El nodo en la cara del talud es el 1326.

En la Figura N° 50 se muestran los esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico, mostrando para esta sección los esfuerzos geostáticos.

La Figura N° 51 muestra los desplazamientos que se generan en el talud cuando éste es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a la aceleración de 0.20g, obteniéndose que existe una variación del valor de desplazamiento en los nodos 1633 y 1620. Los desplazamientos relativos obtenidos son de 0.042 m y los desplazamientos absolutos de 0.057m. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1638, 1633, 1628 y 1620, con valores de 0.57, 0.55, 0.51 y 0.50g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.49g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1319, 1076, 573 y 37 son 0.44, 0.43, 0.34 y 0.20g respectivamente.

Cuando el talud es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, tal como se muestra en la Figura N° 52, se obtienen valores de desplazamientos relativos de 0.081m y desplazamientos absolutos de 0.120m. Se observa que existe una variación del valor de desplazamiento en el nodo 1620. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1638, 1633 y 1628 con valores de 0.93, 0.89 y 0.86g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.60g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1319, 1076, 573 y 37 son 0.79, 0.77, 0.70 y 0.40g, respectivamente.

De igual modo, el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe en 1995, obteniéndose valores de desplazamientos relativos de 0.330m y desplazamientos absolutos de 0.474m, tal como se muestra en la Figura N° 53. Los desplazamientos muestran variación en el nodo 1636. Las aceleraciones máximas no presentan cambio en los nodos horizontales considerados en la superficie, hallándose el valor de 2.20g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1319, 1076, 573 y 37 son 1.95, 1.52, 0.97 y 0.83g respectivamente.

También se calcularon los probables valores de deformaciones permanentes, utilizando la teoría de Newmark (1965) con la ayuda del programa de cómputo Slope/W. Este cálculo se realizó considerando el sismo de Lima del año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, obteniéndose valores menores a 0.001m para ambas evaluaciones.

Para la evaluación de la respuesta dinámica de esta sección, en cada uno de los diez nodos de evaluación se hallaron los registros tiempo - historia de aceleraciones inducidos por la excitación de la base, generada por el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En base a los registros tiempo – historia obtenidos, se calcularon los espectros de respuesta en cada uno de los diez nodos, tanto en la dirección horizontal como vertical.

**Cuadro N° 20**  
**Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección IV**  
**Distrito de Miraflores**

Parámetros	Estratos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Peso específico (KN/m<sup>3</sup>)</b>	22	21	19	20	19	20	20	20
<b>Módulo de Poisson (v)</b>	0.25	0.30	0.28	0.30	0.28	0.30	0.30	0.30
<b>Módulo de elasticidad (E) (kPa)</b>	170 000	160 000	68 000	150 000	60 000	105 000	100 000	90 000
<b>Módulo de rigidez (G) (kPa)</b>	1 200 000	800 000	380 000	650 000	340 000	540 000	450 000	400 000
<b>Velocidad cortante (V<sub>s</sub>) (m/s)</b>	731.50	611.32	442.94	564.65	418.98	514.66	469.81	442.94

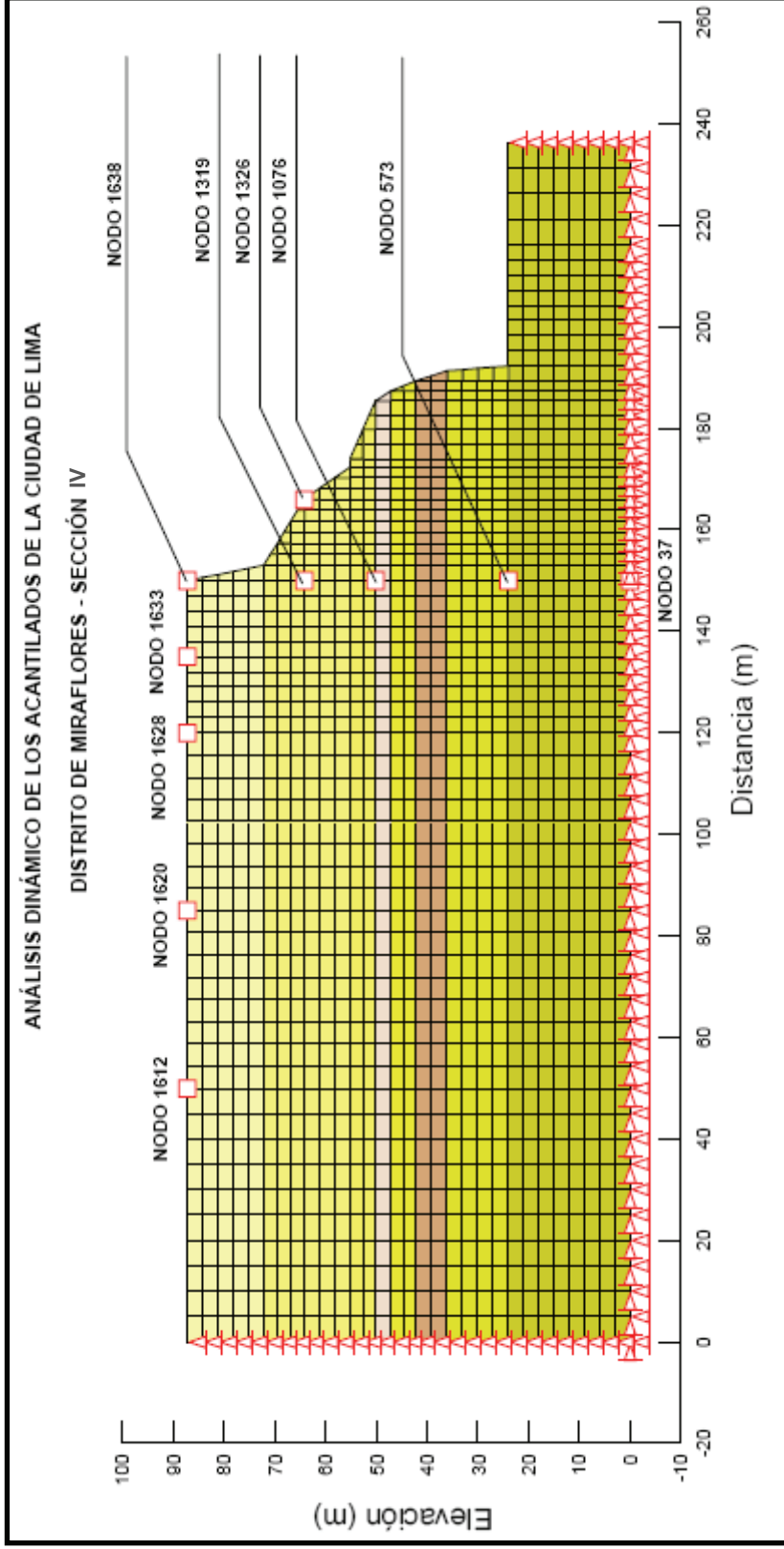


Figura N° 49: Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores.



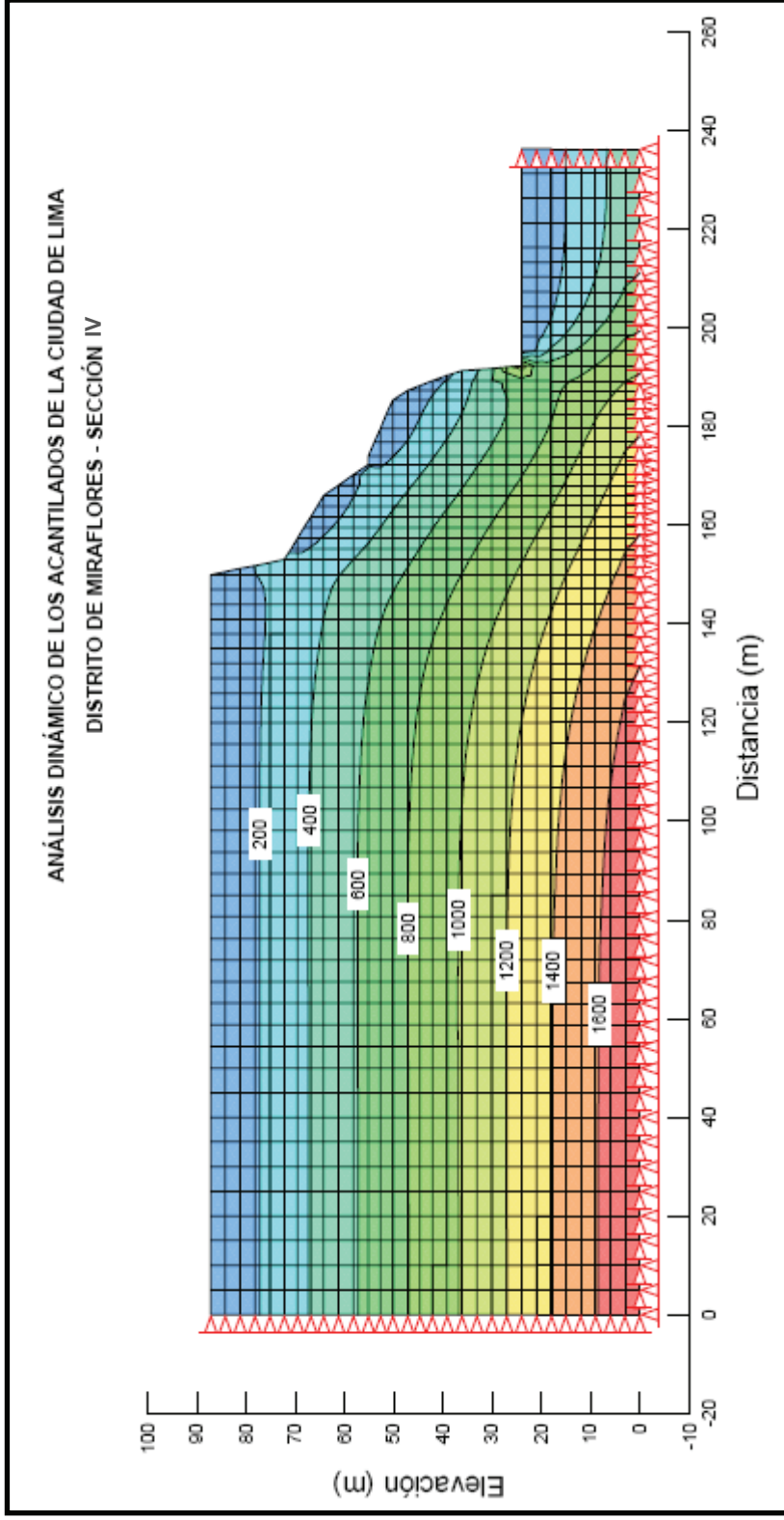


Figura N° 50: Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1600 kPa.

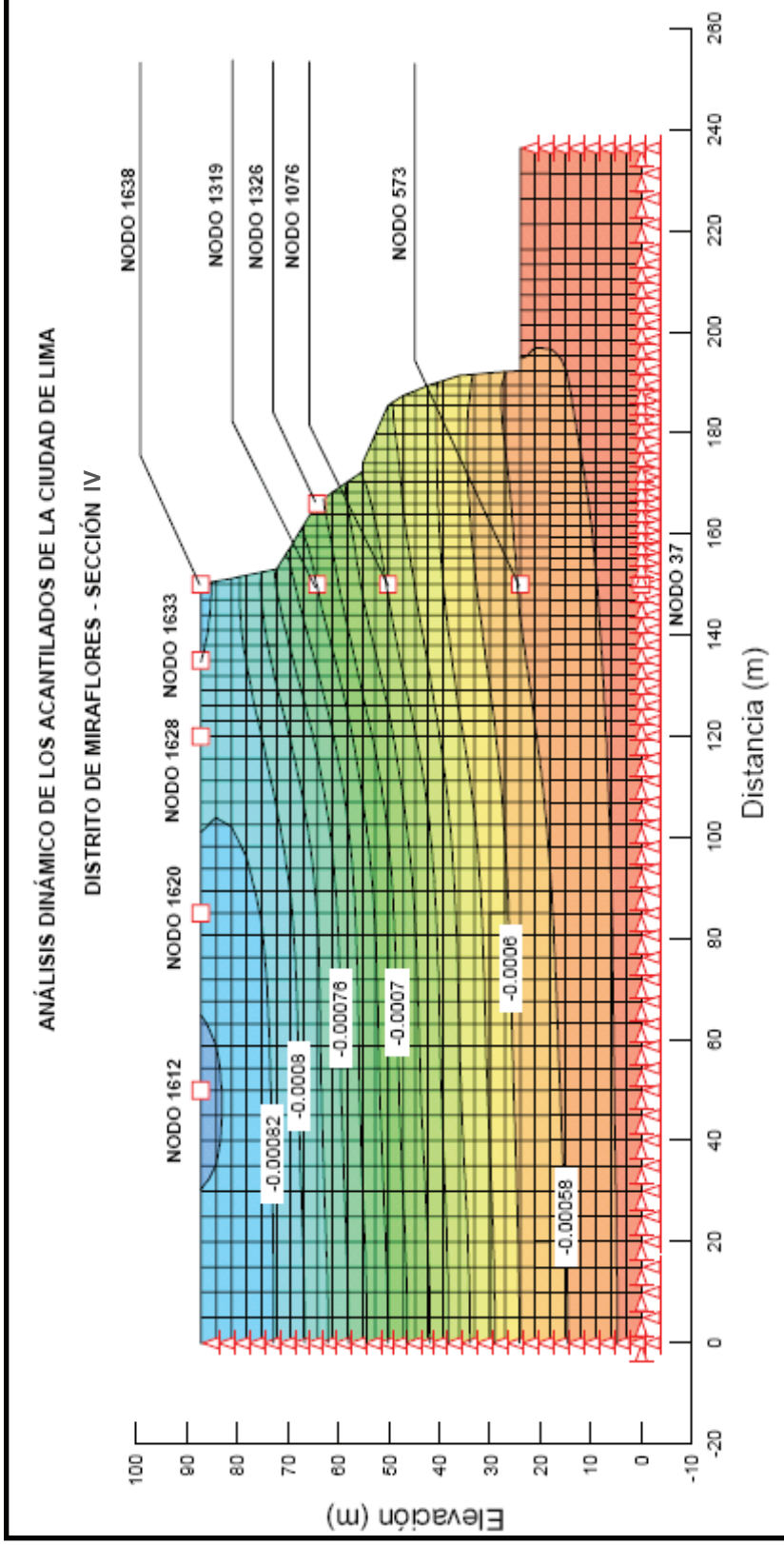


Figura N° 51: Desplazamientos calculados (en m) de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

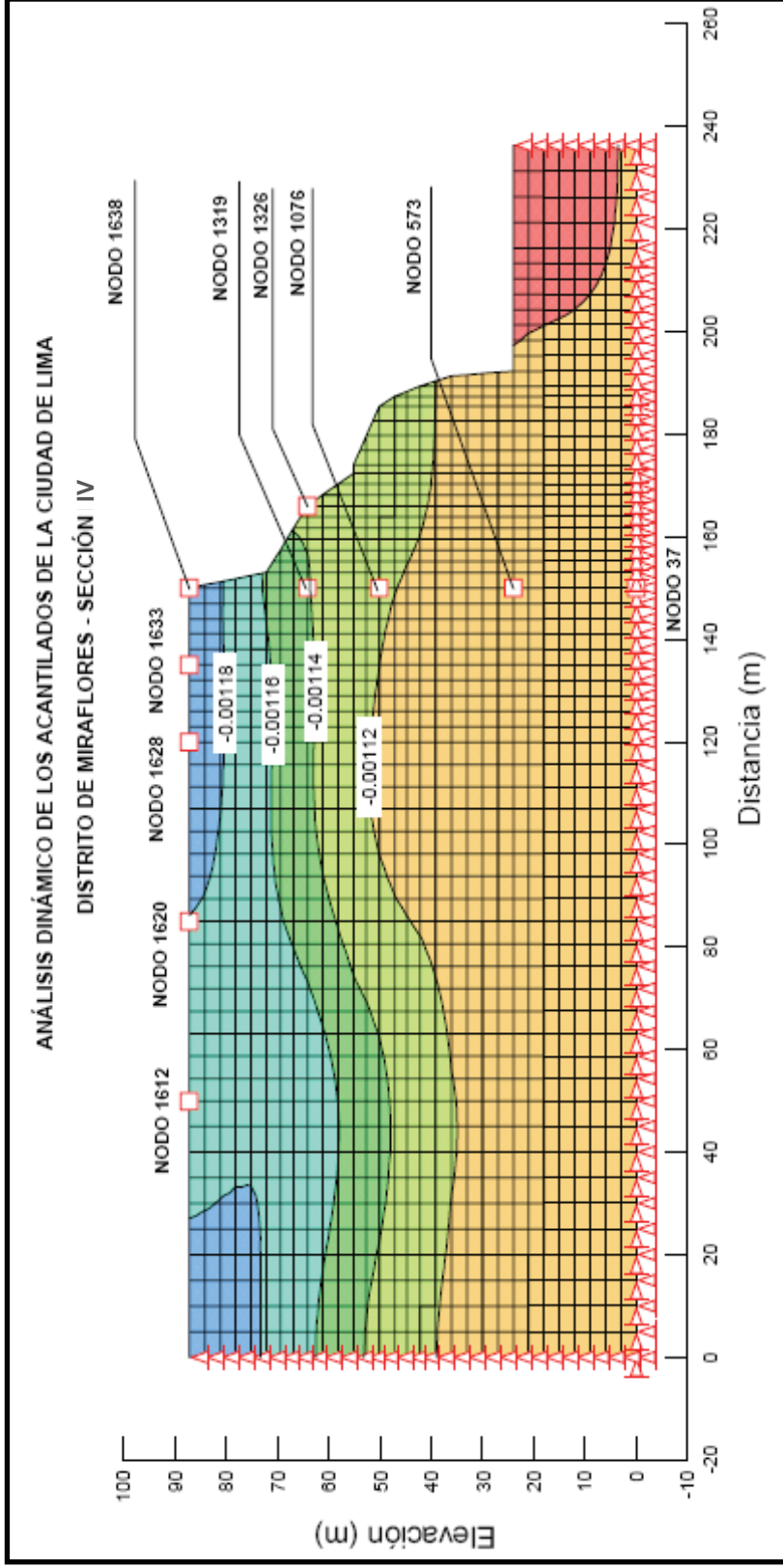


Figura N° 52: Desplazamientos calculados (en m) de la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

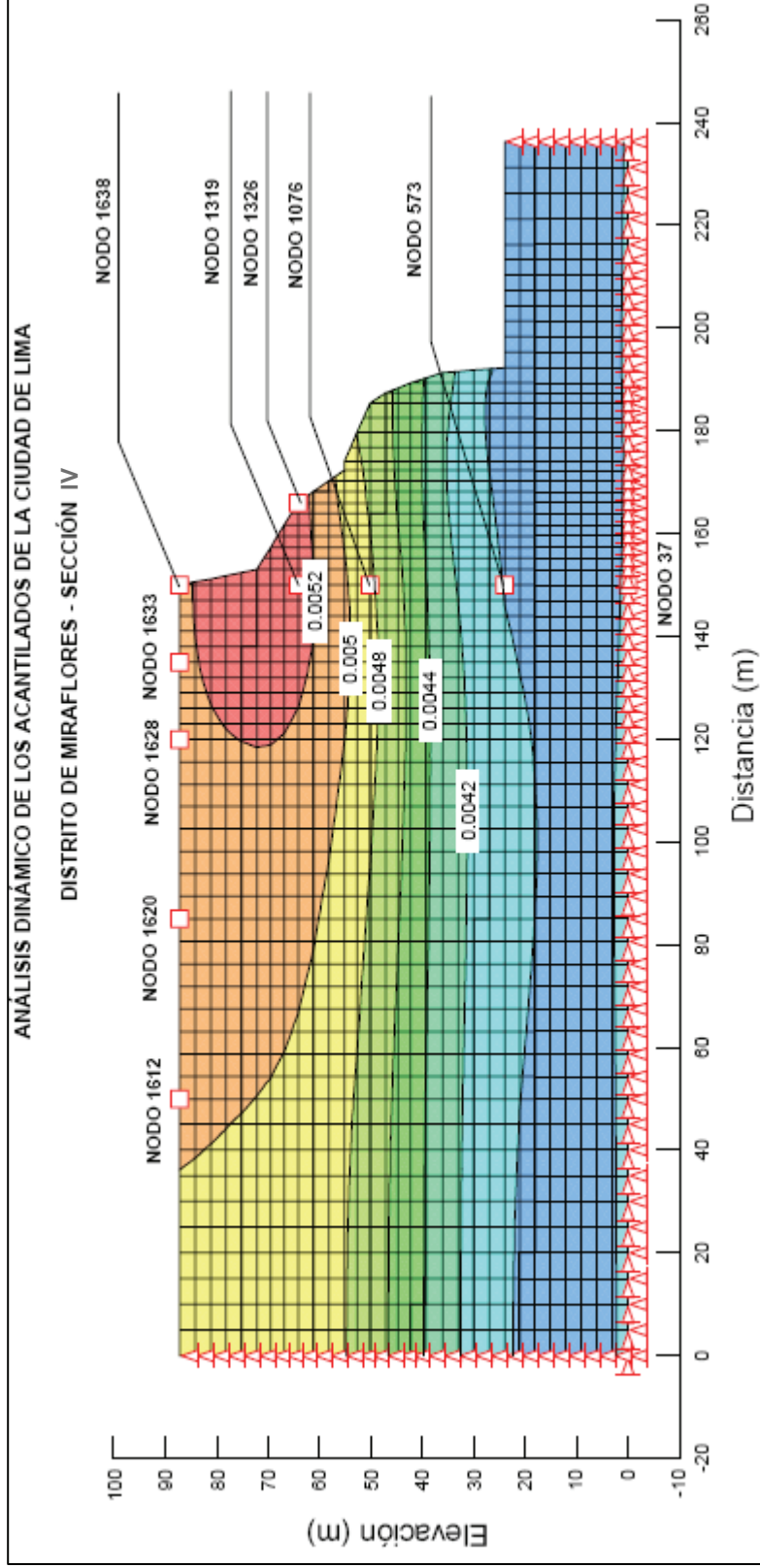


Figura N° 53: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección IV correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.

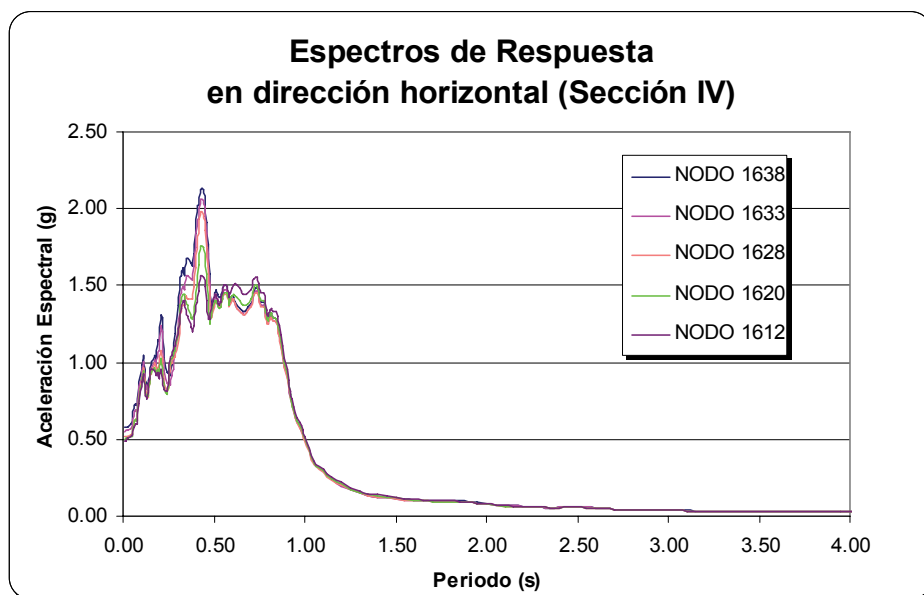
En las Figuras N° 54 y 55 se muestran los espectros de respuesta obtenidos con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g. Las Figuras N° 56 y 57 muestran los espectros obtenidos con el mismo sismo, pero escalado a una aceleración de 0.40g.

En el Cuadro N° 21 se muestran las aceleraciones espectrales obtenidas en cada uno de los nodos de esta sección, observándose que el nodo 1638 ubicado en el borde del talud presenta una aceleración espectral de 2.13 y 4.09g para la evaluación realizada con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20g y 0.40g respectivamente, se debe notar que las aceleraciones espectrales en los nodos evaluados van decreciendo según el nodo se va alejando del borde del talud y que existe una relativa diferencia con los nodos ubicados a más de 65.00 m de distancia del borde. En los nodos ubicados en la dirección vertical la diferencia es mayor.

Posteriormente se calcularon las relaciones espectrales entre el nodo ubicado en el borde del talud (nodo 1222) y el nodo base (nodo 37), con el objeto de calcular la función de amplificación correspondiente, para los análisis realizados con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En las Figuras N° 58 y 59 se presenta el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.20g, en la Figura N° 59 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 6.86 con un periodo de 0.82s. Las Figuras N° 60 y 61 presentan el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.40g, en la Figura N° 61 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 5.17 con un periodo de 0.83s. En los resultados obtenidos se observa que en el análisis realizado con el sismo escalado a la aceleración de 0.40g la amplificación es menor a la presentada en el análisis con el sismo escalado a 0.20g, pero no así el valor del periodo.

**Cuadro N° 21**  
**Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección IV**

Nodos		Aceleración espectral (g)		
N°	Ubicación en sección	Sismo 0.20g	Sismo 0.40g	
1638	Superficie del talud	Borde	2.13	4.09
1633		a 15m del borde	2.06	3.90
1628		a 30m del borde	1.98	3.63
1620		a 65.m del borde	1.75	3.39
1612		a 100m del borde	1.56	3.18
1326	Cara del talud	---	1.67	2.92
1319	Interior del talud	a 66.85m de la base	1.57	2.73
1076		a 50.18m de la base	1.50	2.88
573		a 24.00m de la base	0.88	1.99
37		base del talud	0.48	0.95



**Figura N° 54: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.**

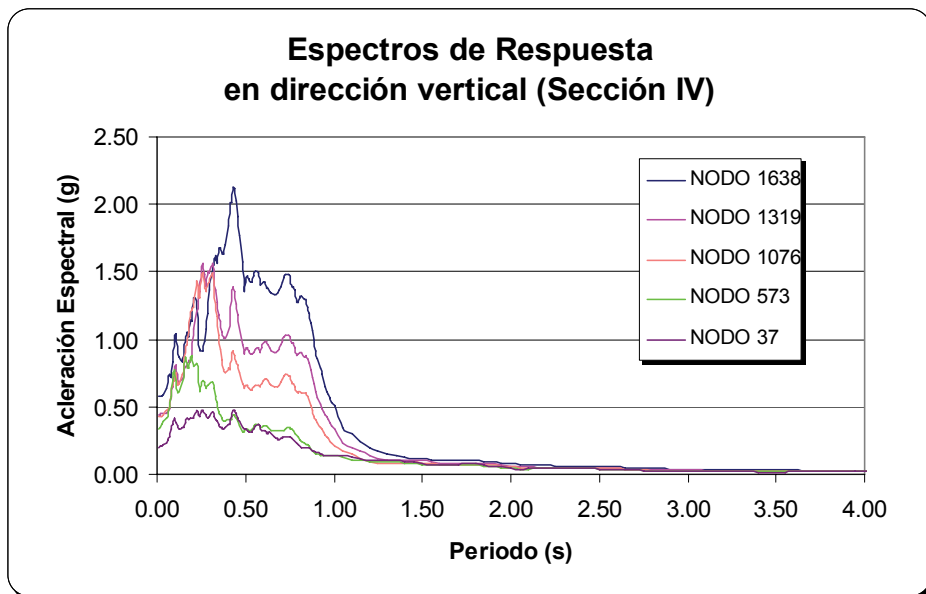


Figura N° 55: Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

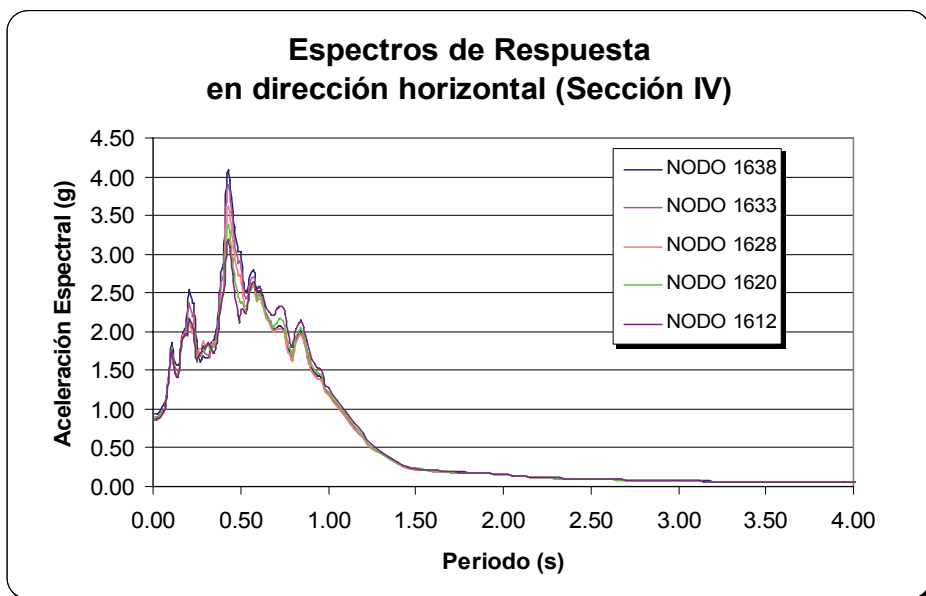


Figura N° 56: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

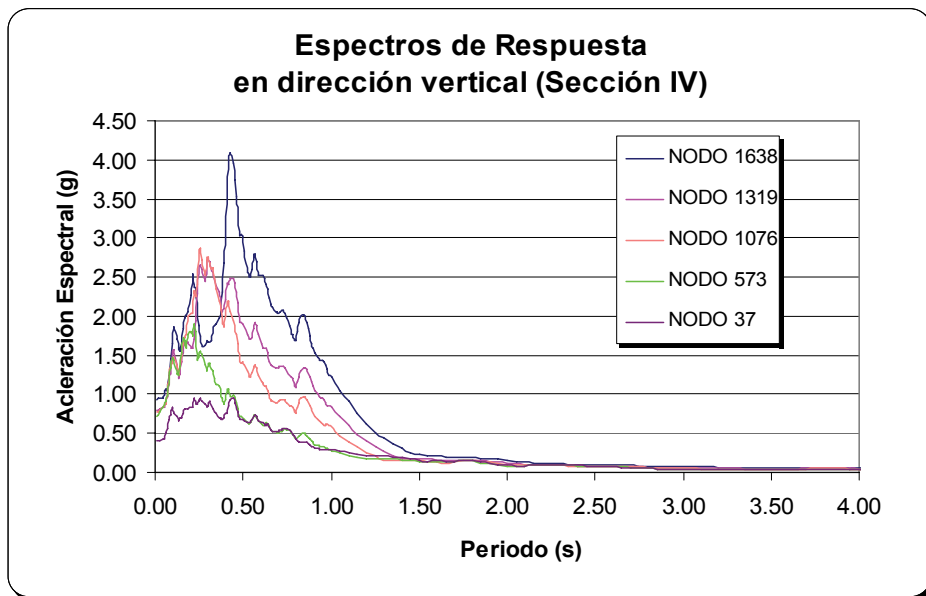


Figura N° 57: Espectros de respuesta, obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

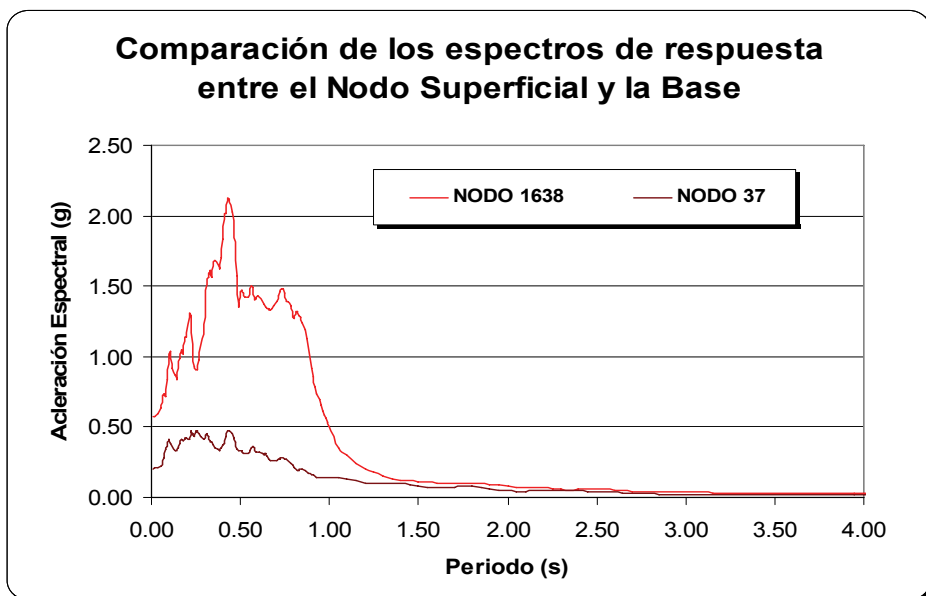


Figura N° 58: Comparación entre espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.



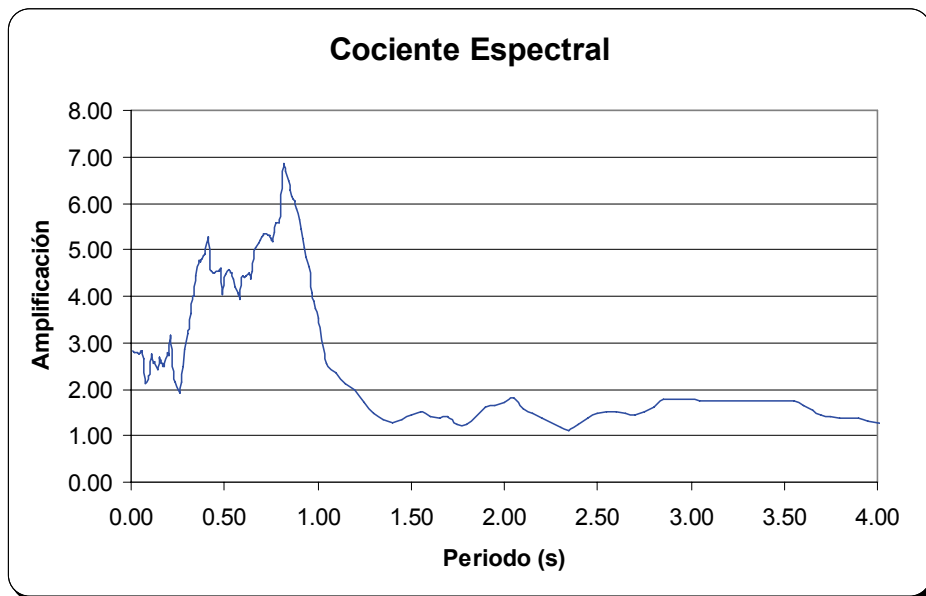


Figura N° 59: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

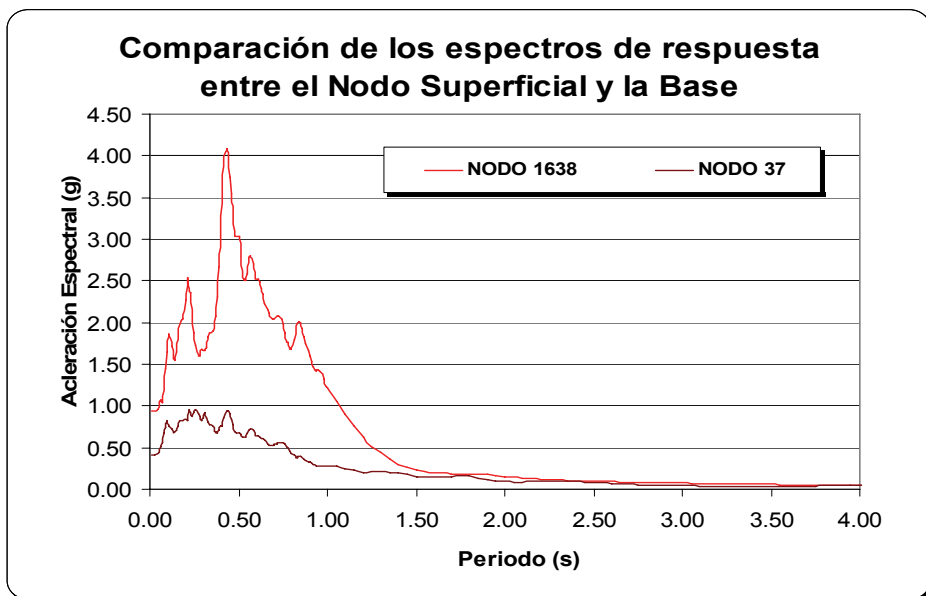
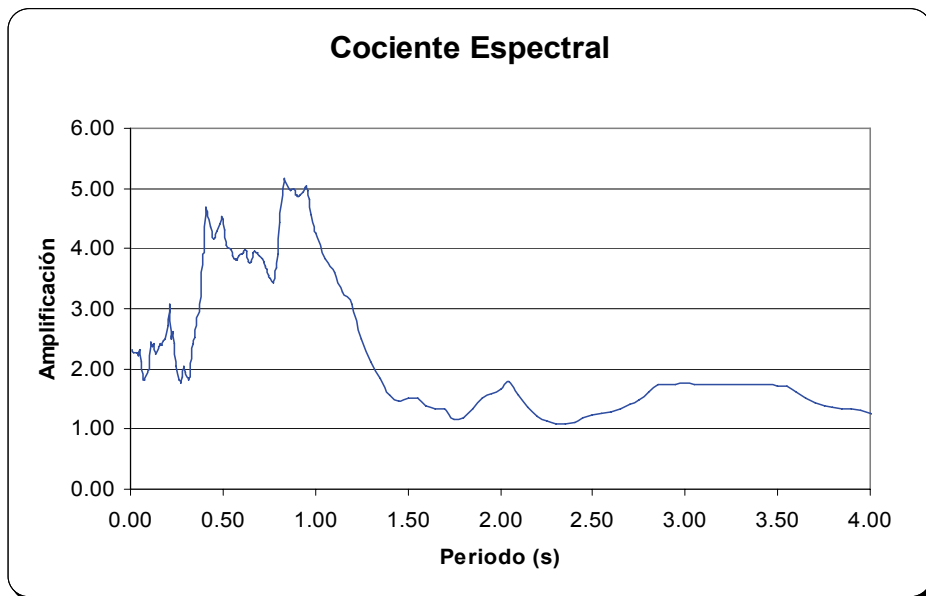


Figura N° 60: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.



**Figura N° 61: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección IV), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.**

## SECCIÓN V

La última sección evaluada está localizada en el distrito de Miraflores (Ver Plano P-04D), a la altura de la playa La Estrella como se aprecia en la Foto N° 7.



**Foto N° 7: Vista panorámica de los taludes que corresponden a la Sección V (distrito de Miraflores), como se puede apreciar el talud está compuesto en su mayoría por gravas. Se observa también la presencia de cárcavas.**

En el Cuadro N° 22 se muestran las propiedades asignadas a cada estrato considerado, para realizar el análisis de respuesta dinámica. La sección analizada abarca una distancia de 150.00m desde el borde del talud hacia

la ciudad. En el modelo se han considerado diez nodos de evaluación, estos nodos han sido ubicados en la dirección horizontal, dirección vertical y en la cara del talud, con la finalidad de obtener el comportamiento de éste. Los nodos horizontales se han colocado en la superficie y los nodos verticales se han distribuido en todo el perfil del talud, tal como se aprecia en la Figura N° 62. Los nodos ubicados en la parte superior del talud son los nodos 1320, 1315, 1350, 1342 y 1334 el nodo 1320 se encuentra en el borde extremo del talud y los restantes están a una distancia del borde de 15.00, 30.00, 65.00 y 100.00m, respectivamente. Los nodos ubicados en dirección vertical son el 36, 524, 876, 1050 y 1320, el primero de ellos se ubicó en la base de la sección de talud y fue considerado como el registro de ingreso, el resto de los nodos se ubicaron a las distancias de 24.00, 44.00, 56.00 y 75.00m a partir del nodo de la base. El nodo en la cara del talud es el 1055.

En la Figura N° 63 se muestran los esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico, mostrando para esta sección los esfuerzos geoestáticos.

La Figura N° 64 muestra los desplazamientos que se generan en el talud cuando éste es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a la aceleración de 0.20g, obteniéndose que existe una variación del valor de desplazamientos en los nodos 1350 y 1334. Los desplazamientos relativos obtenidos son de 0.044m y los desplazamientos absolutos de 0.051m. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1320 y 1350, con valores de 0.56 y 0.53g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.52g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1050, 876, 524 y 36 son 0.44, 0.40, 0.35 y 0.20g respectivamente.

Cuando el talud es evaluado con el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, tal como se muestra en la Figura N° 65, se obtienen valores de desplazamientos relativos de 0.076m y desplazamientos absolutos de 0.110m. Se observa que existe variación del valor de los

desplazamientos en los nodos 1315, 1350 y 1342. Las aceleraciones máximas presentan un cierto cambio en los nodos horizontales 1320 y 1315 con valores de 0.97 y 0.96g respectivamente; los nodos restantes considerados en la superficie tienen una aceleración aproximada de 0.95g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1050, 876, 524 y 36 son 0.80, 0.79, 0.69 y 0.40g, respectivamente.

De igual modo, el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe en 1995, obteniéndose valores de desplazamientos relativos de 0.326m y desplazamientos absolutos de 0.484m, tal como se muestra en la Figura N° 66. Los desplazamientos muestran variación en los nodos 1320, 1350, 1342 y 1334. Las aceleraciones máximas no presentan cambio en los nodos horizontales considerados en la superficie, hallándose el valor de 2.40g. En la dirección vertical, los valores de aceleración para los nodos 1050, 876, 524 y 36 son 1.83, 1.30, 0.97 y 0.83g respectivamente.

También se calcularon los probables valores de deformaciones permanentes, utilizando la teoría de Newmark (1965) con la ayuda del programa de cómputo Slope/W. Este cálculo se realizó considerando el sismo de Lima del año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, obteniéndose como el caso de la sección IV valores menores a 0.001m para ambas evaluaciones.

Para la evaluación de la respuesta dinámica de esta sección, en cada uno de los diez nodos de evaluación se hallaron los registros tiempo - historia de aceleraciones inducidos por la excitación de la base, generada por el sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En base a los registros tiempo – historia obtenidos, se calcularon los espectros de respuesta en cada uno de los diez nodos, tanto en la dirección horizontal como vertical.

**Cuadro N° 22**  
**Parámetros utilizados para el análisis dinámico del talud para la Sección V**  
**Distrito de Miraflores**

Parámetros	Estratos					
	1	2	3	4	5	6
Peso específico (KN/m <sup>3</sup> )	22	21	21	20	20	20
Módulo de Poisson ( $\nu$ )	0.25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28
Módulo de elasticidad (E) (kPa)	170 000	160 000	150 000	130 000	115 000	100 000
Módulo de rigidez (G) (kPa)	1 200 000	800 000	740 000	610 000	500 000	490 000
Velocidad cortante (V <sub>s</sub> ) (m/s)	731.50	611.32	587.95	547.00	495.23	490.25

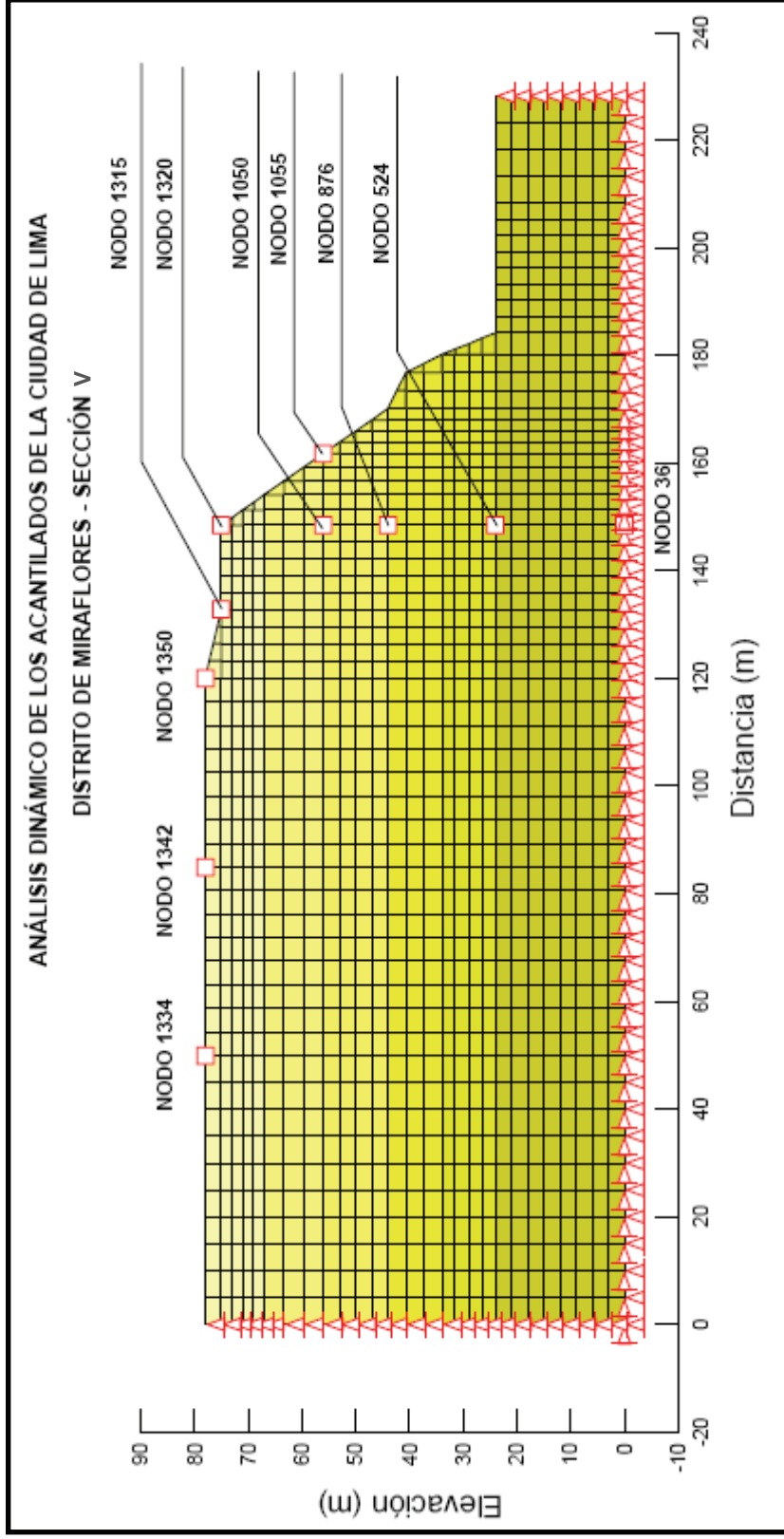


Figura N° 62: Ubicación de los nodos de evaluación, así como los diferentes tipos de materiales considerados en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores.

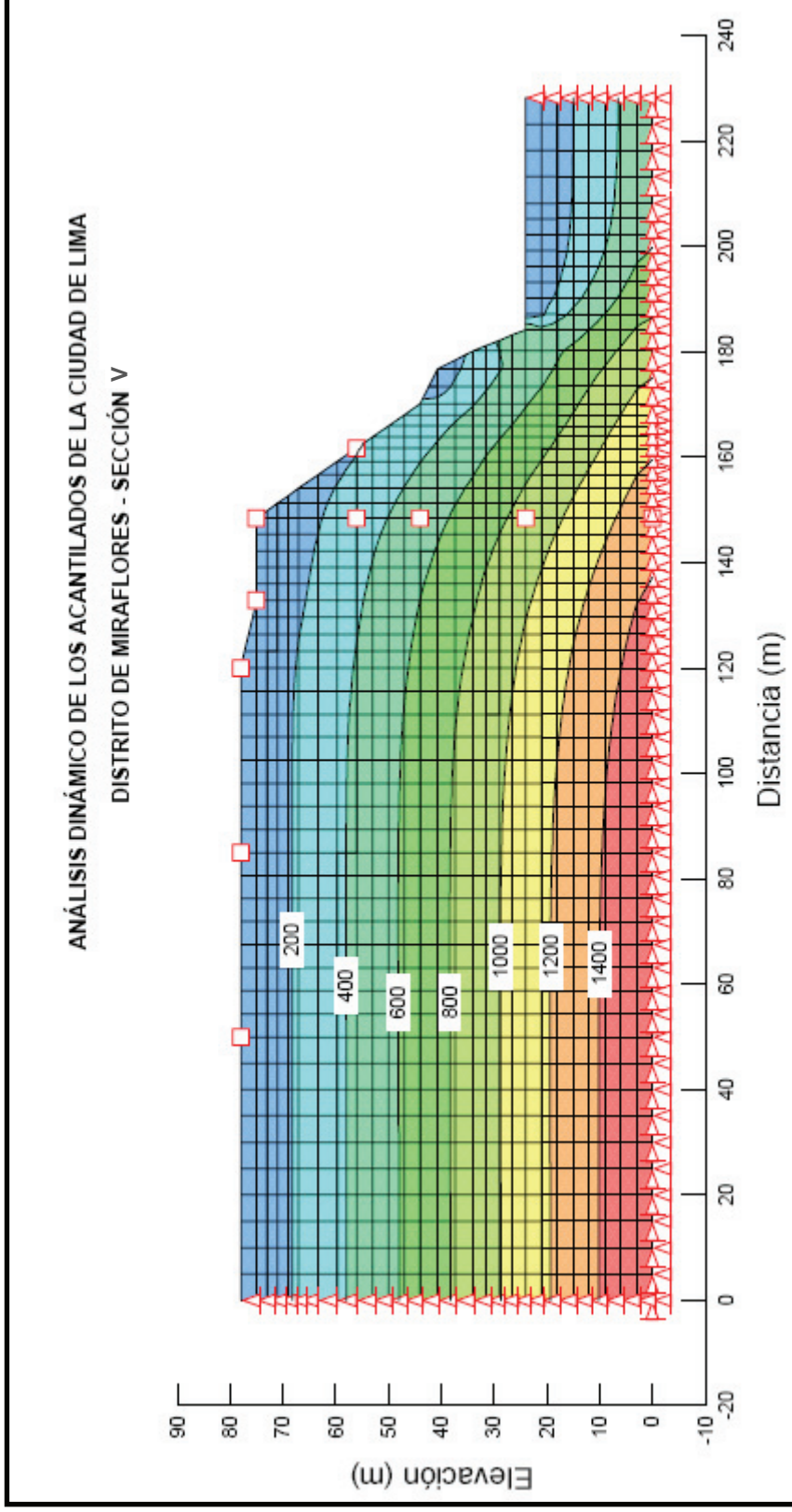


Figura N° 63: Esfuerzos iniciales calculados para realizar el análisis dinámico en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, se puede apreciar que el valor máximo está en el orden de 1400 kPa.



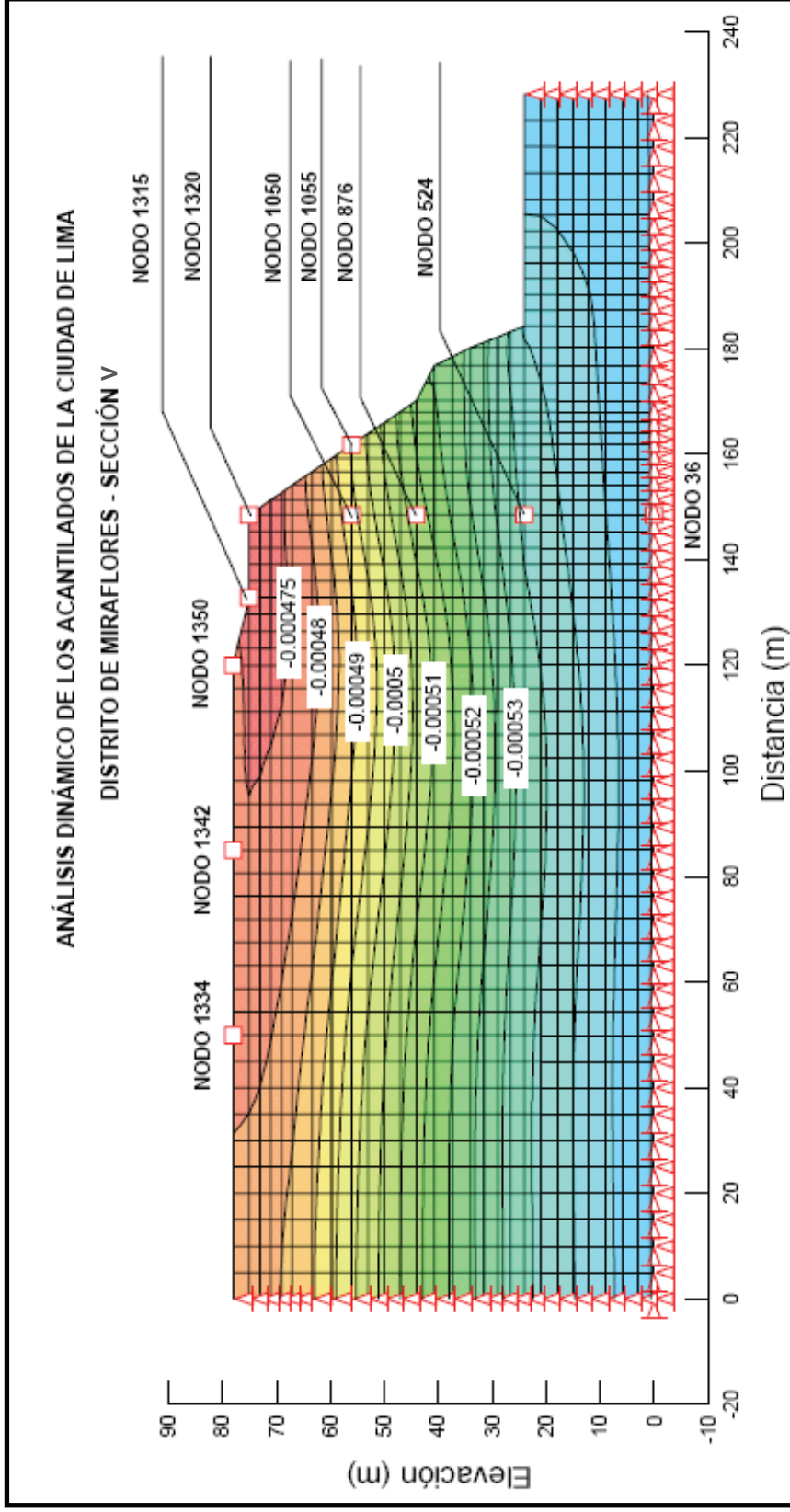


Figura N° 64: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.20g.

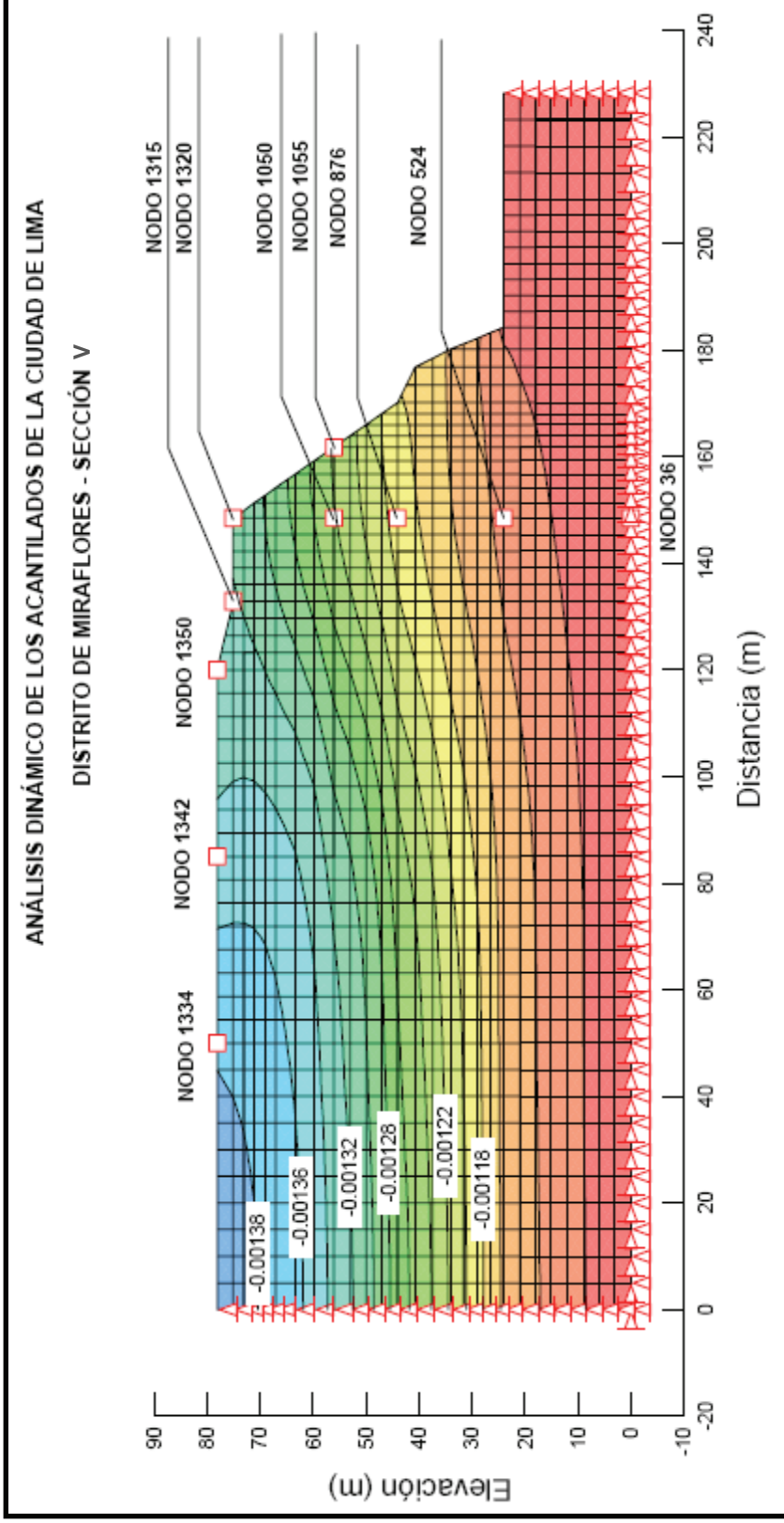


Figura N° 65: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g.

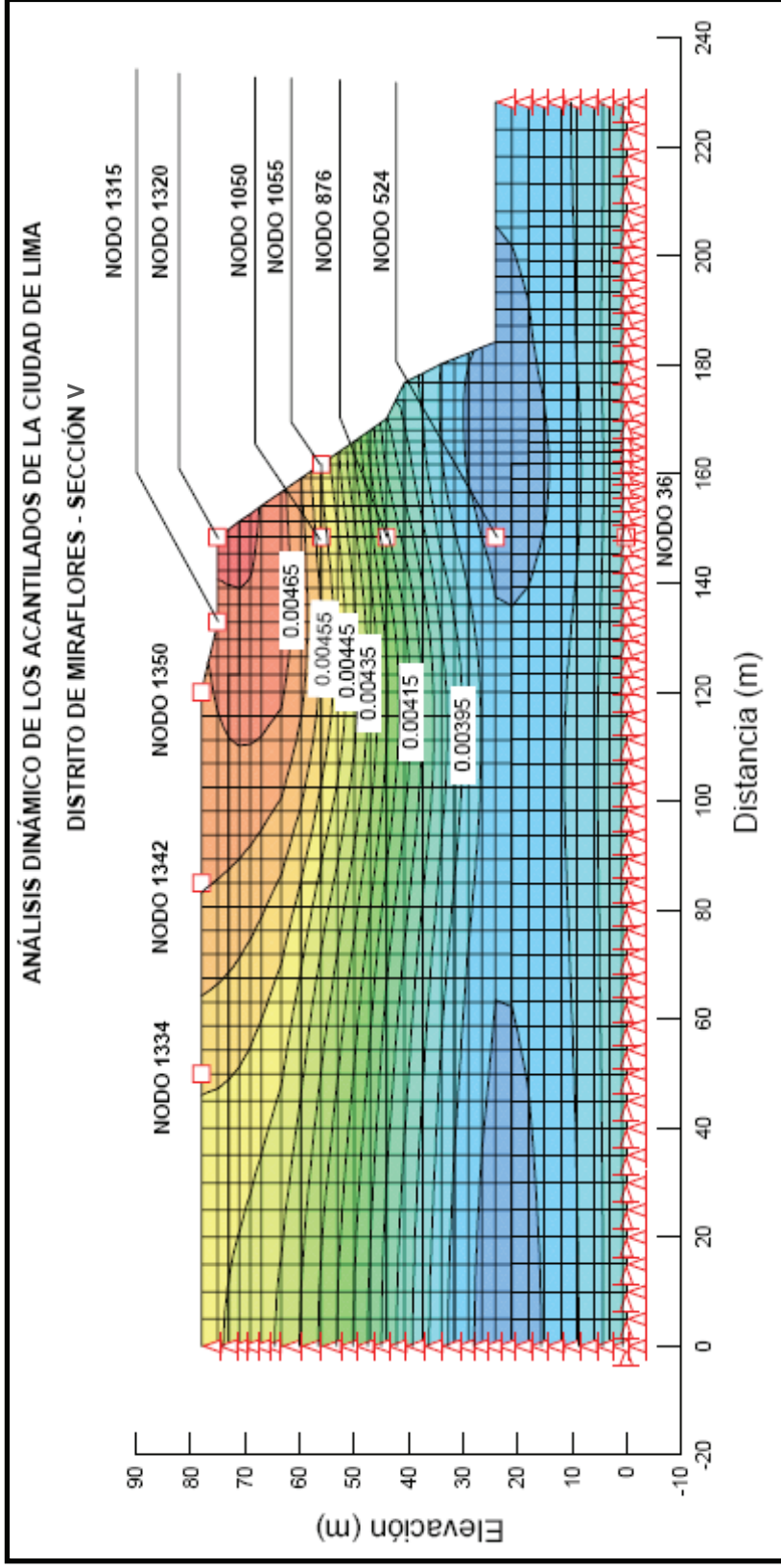


Figura N° 66: Desplazamientos calculados (en m) en la Sección V correspondiente al distrito de Miraflores, obtenidos de evaluar el talud con el sismo de Kobe de 1995, cuya aceleración máxima fue de 0.83g.

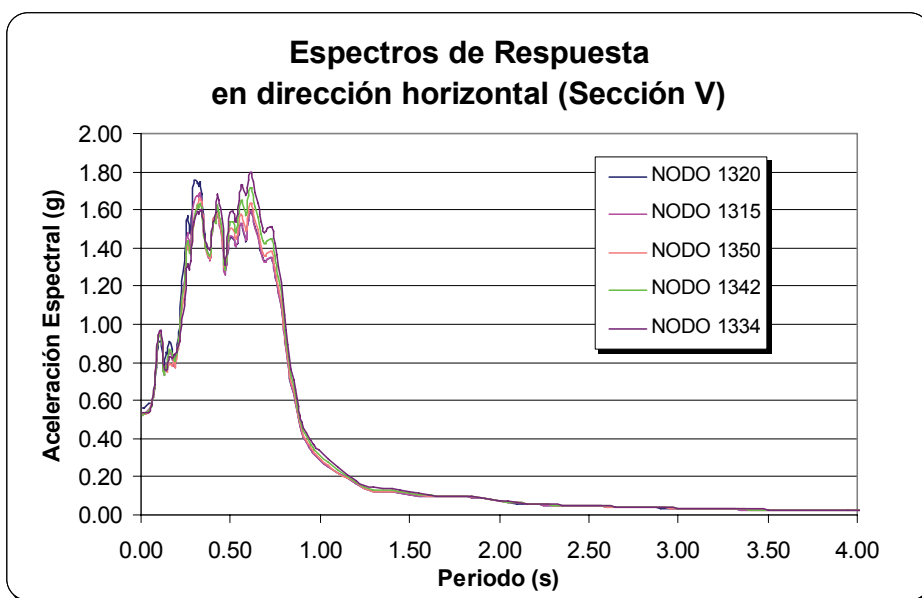
En las Figuras N° 67 y 68 se muestran los espectros de respuesta obtenidos con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g. Las Figuras N° 69 y 70 muestran los espectros obtenidos con el mismo sismo, pero escalado a una aceleración de 0.40g.

En el Cuadro N° 23 se muestran las aceleraciones espectrales obtenidas en cada uno de los nodos de esta sección, observándose que el nodo 1320 ubicado en el borde del talud presenta una aceleración espectral de 1.75 y 3.66g para la evaluación realizada con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20g y 0.40g respectivamente, se debe notar que las aceleraciones espectrales en los nodos evaluados van decreciendo según el nodo se va alejando del borde del talud y que existe una relativa diferencia con los nodos ubicados a más de 65.00 m de distancia del borde. En los nodos ubicados en la dirección vertical la diferencia es mayor.

Posteriormente se calcularon las relaciones espectrales entre el nodo ubicado en el borde del talud (nodo 1222) y el nodo base (nodo 37), con el objeto de calcular la función de amplificación correspondiente, para los análisis realizados con el sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g. En las Figuras N° 71 y 72 se presenta el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.20g, en la Figura N° 72 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 5.18 con un periodo de 0.67s. Las Figuras N° 73 y 74 presentan el análisis realizado para el sismo escalado a las aceleración de 0.40g, en la Figura N° 74 se observa la ocurrencia de una amplificación estimada del orden de 4.82 con un periodo de 0.82s. En los resultados obtenidos se observa que en el análisis realizado con el sismo escalado a la aceleración de 0.40g la amplificación es menor a la presentada en el análisis con el sismo escalado a 0.20g, pero no así el valor del periodo.

**Cuadro N° 23**  
**Aceleraciones espectrales obtenidas para la Sección V**

Nodos			Aceleración espectral (g)	
N°	Ubicación en sección		Sismo 0.20g	Sismo 0.40g
1320	Superficie del talud	Borde	1.75	3.66
1315		a 15m del borde	1.69	3.58
1350		a 30m del borde	1.66	3.54
1342		a 65.m del borde	1.71	3.31
1334		a 100m del borde	1.80	2.99
1055	Cara del talud	---	1.51	2.90
1050	Interior del talud	a 59.67m de la base	1.52	2.87
876		a 44.00m de la base	1.36	2.78
524		a 24.00m de la base	0.90	1.93
36		Base del talud	0.48	0.95



**Figura N° 67: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.**

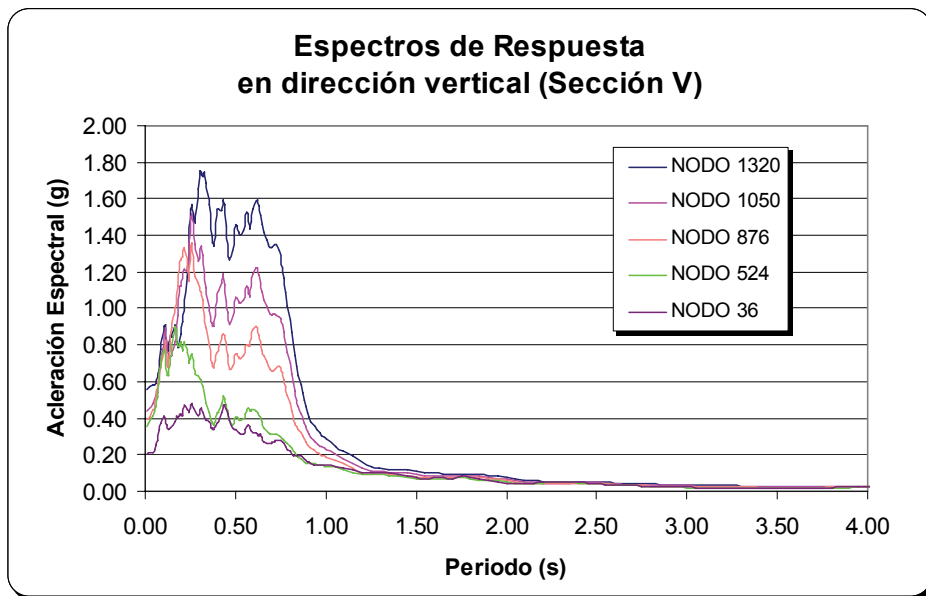


Figura N° 68: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

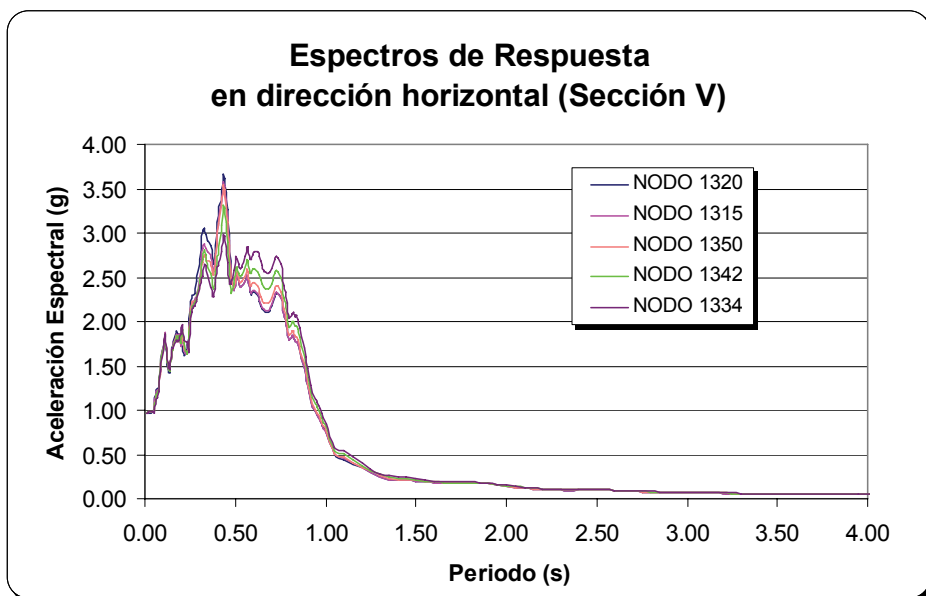


Figura N° 69: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

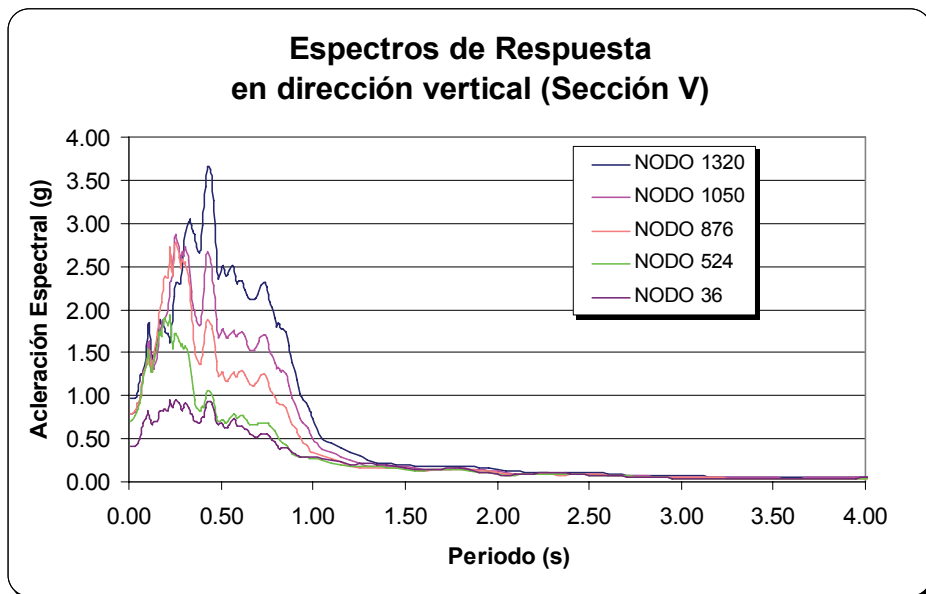


Figura N° 70: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.

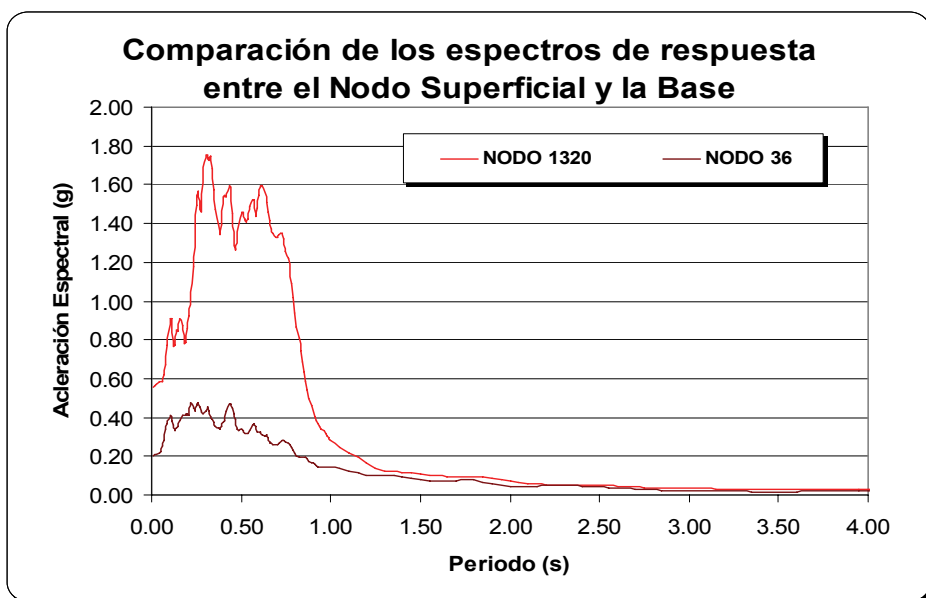


Figura N° 71: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

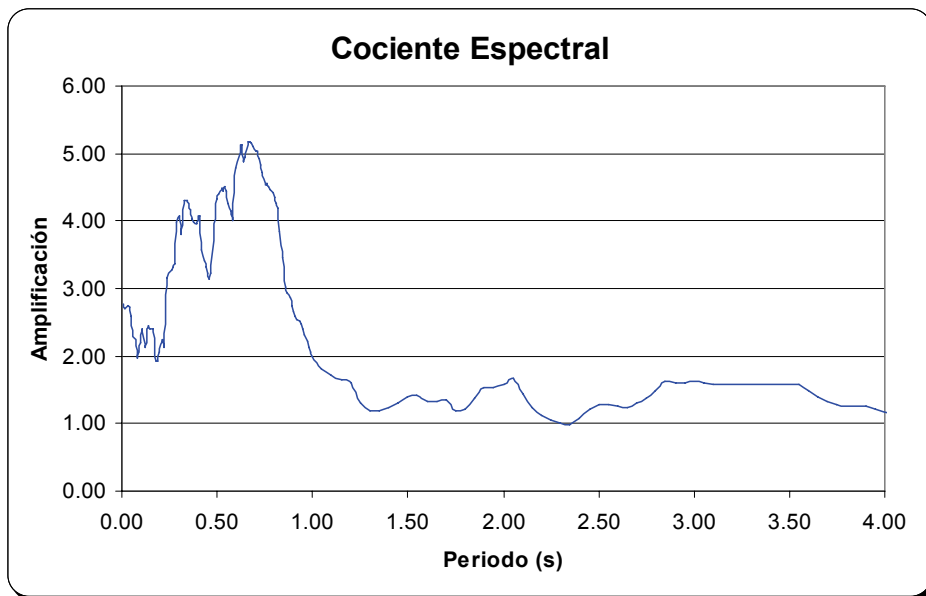


Figura N° 72: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g.

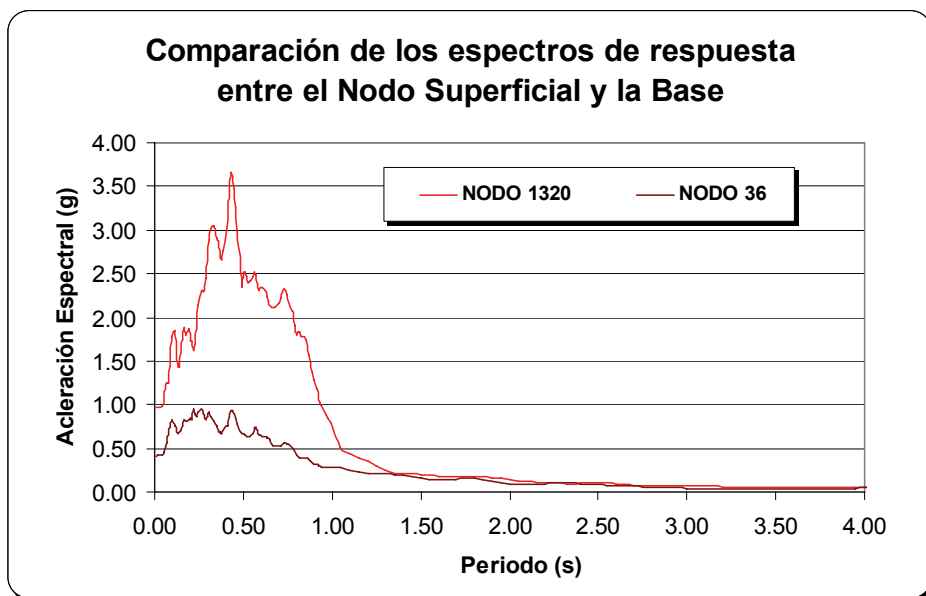
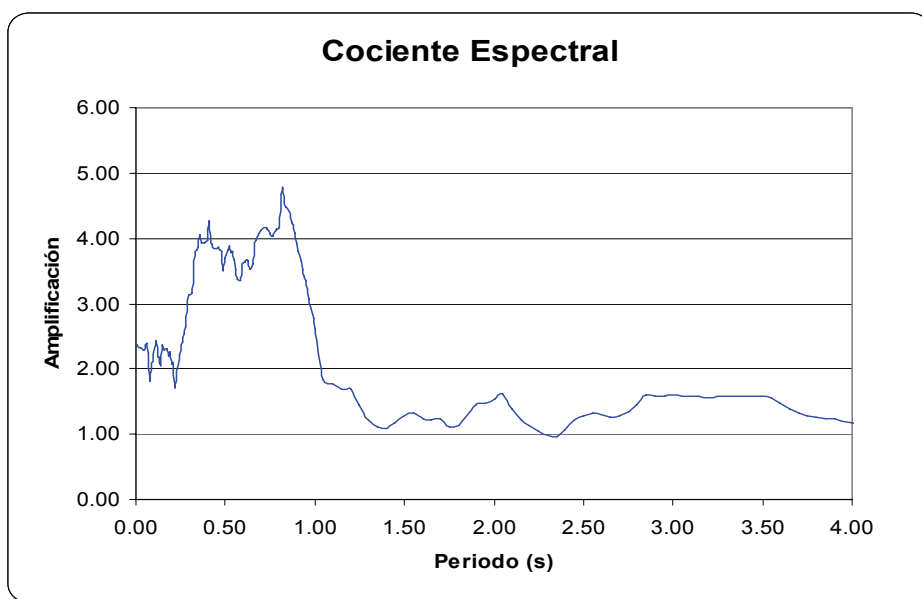


Figura N° 73: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.





**Figura N° 74: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección V), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.40g.**

Siguiendo la metodología bidimensional, también se evaluó el comportamiento de los taludes utilizando el modelo lineal elástico, para lo cual se tomó como base la **sección I**. Los resultados obtenidos son como sigue: con respecto al nivel de aceleraciones espectrales se debe notar que existe una mayor diferencia entre el valor obtenido para uno y otro nodo., así mismo los valores de amplificación están en el orden de 12.22 en un periodo de 0.41s. A continuación se muestran las gráficas donde se aprecia el comportamiento de los espectros de respuesta en los diferentes nodos tanto para el sismo ocurrido en Lima en 1974, escalado a 0.20g y 0.40g respectivamente.

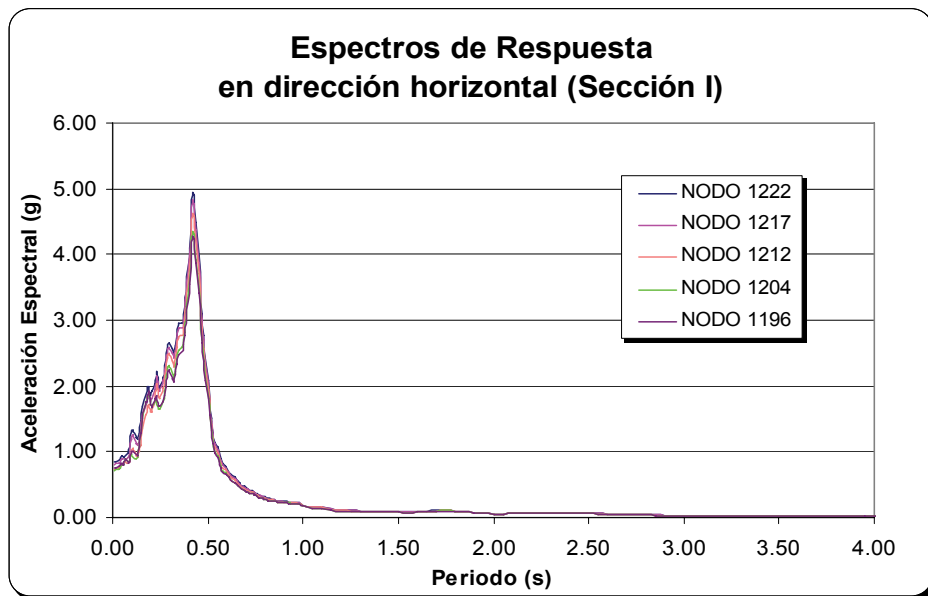


Figura N° 75: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.

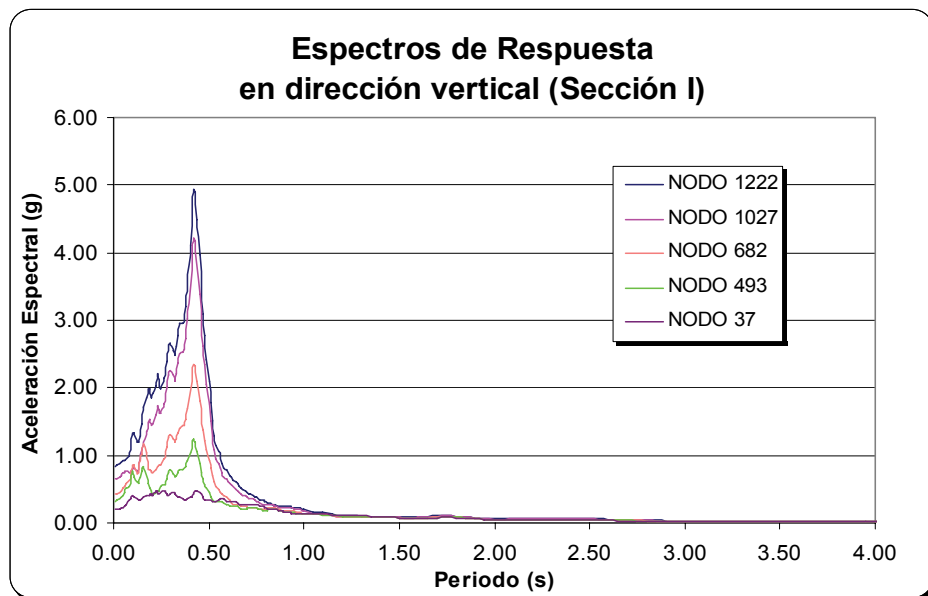


Figura N° 76: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a la aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.

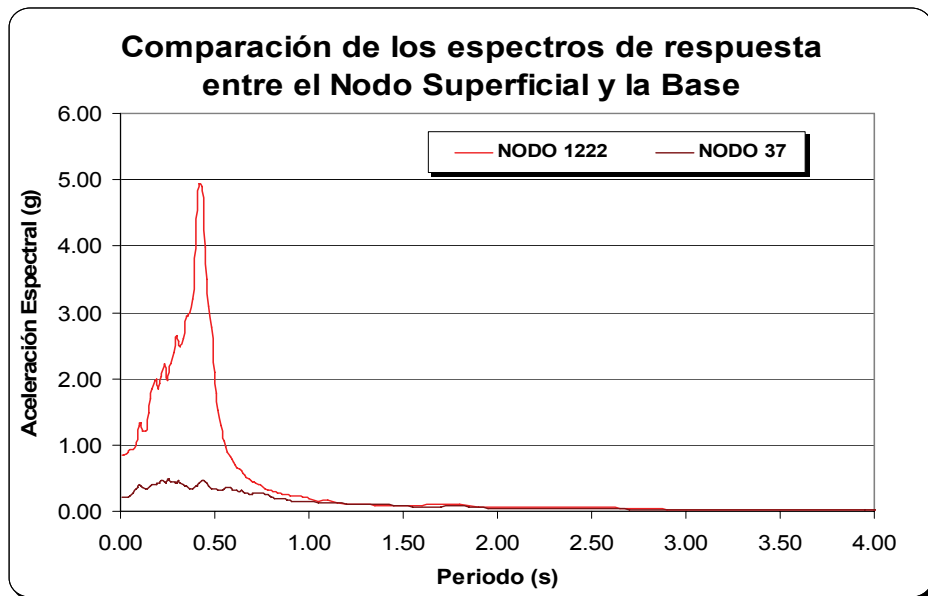


Figura N° 77: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.

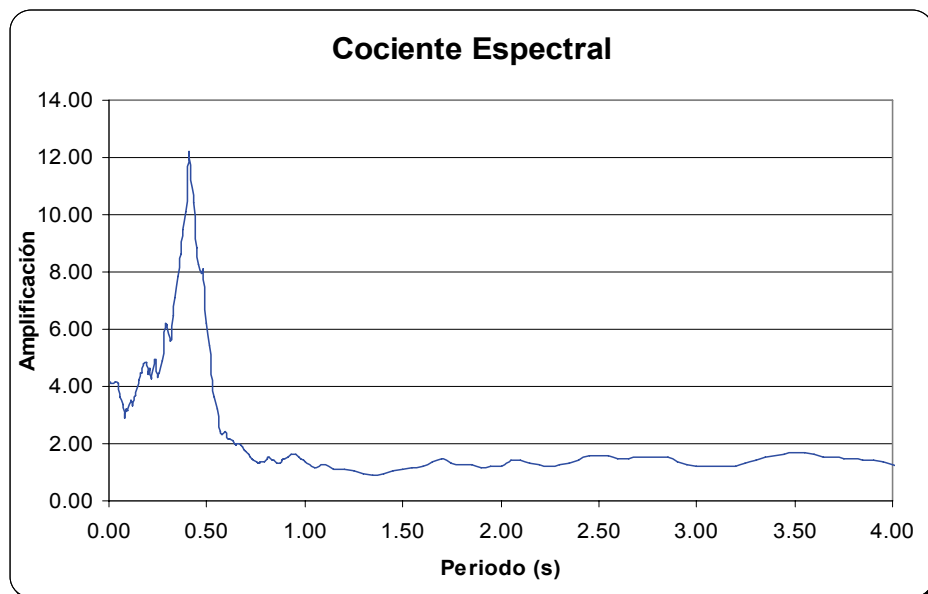


Figura N° 78: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.20g – a través de un modelo lineal elástico.

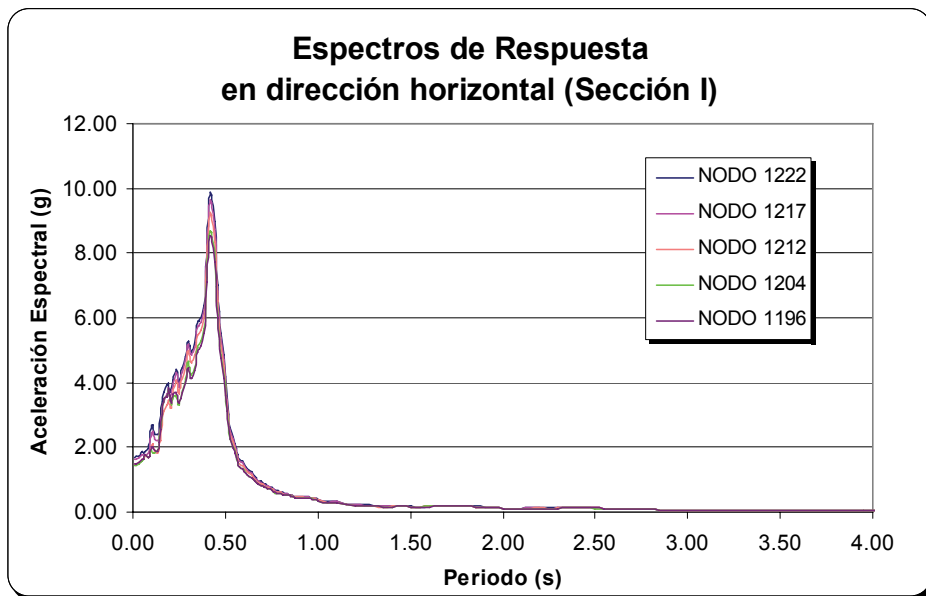


Figura N° 79: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados horizontalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

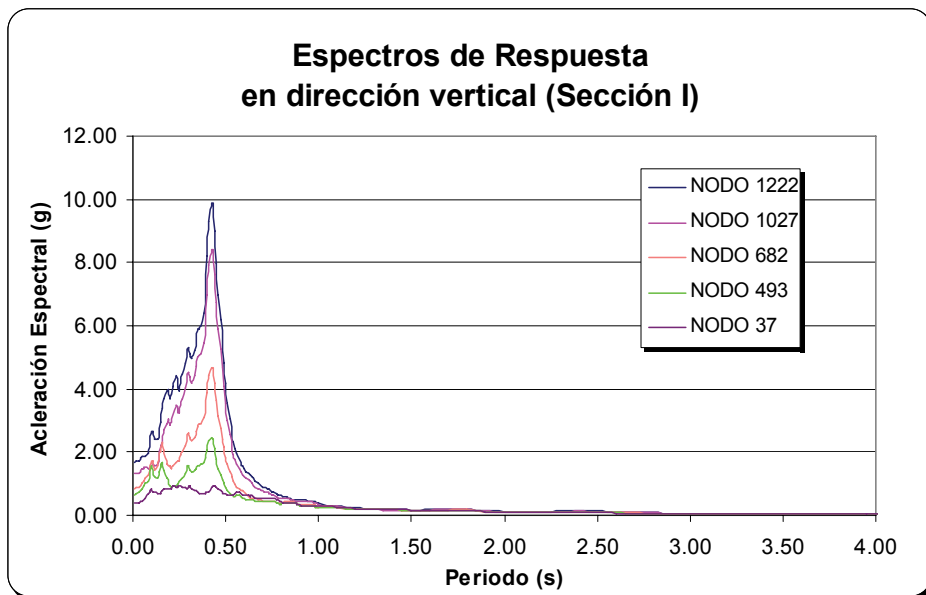


Figura N° 80: Espectros de respuesta obtenidos en los nodos ubicados verticalmente (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

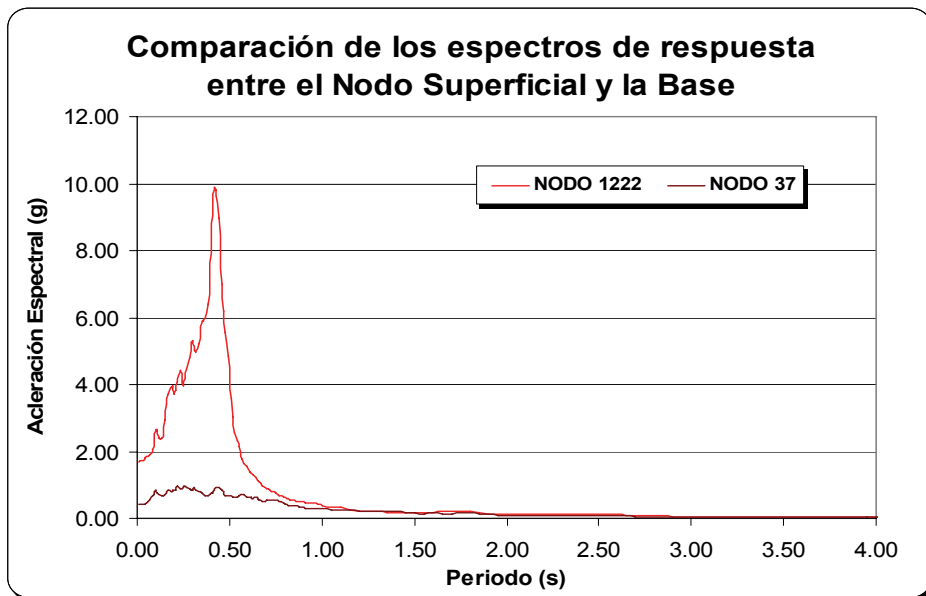


Figura N° 81: Comparación entre el espectro obtenido en el nodo ubicado en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

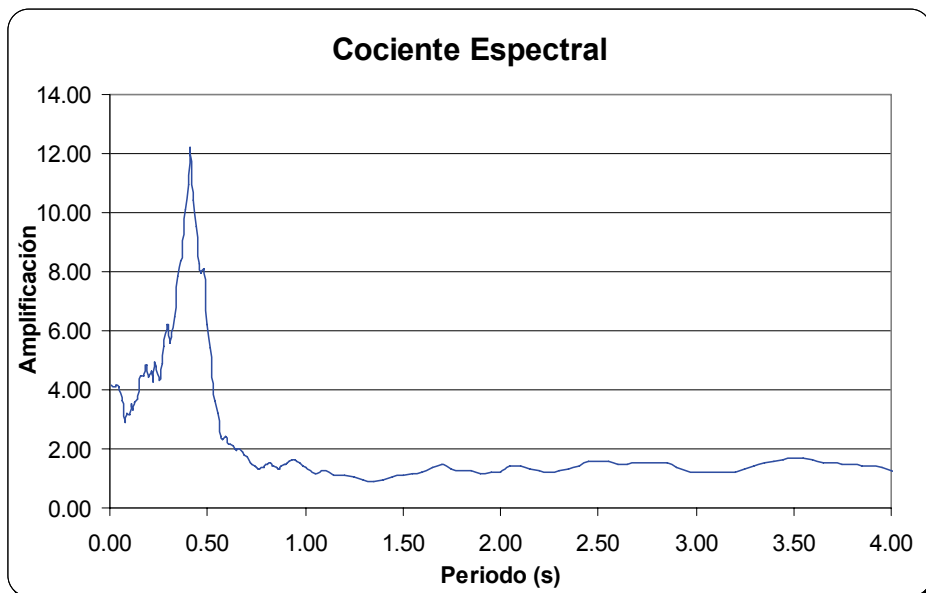


Figura N° 82: Cociente espectral obtenido de la relación entre el Nodo en la base y la superficie (Sección I), considerando el sismo de Lima de 1974, escalado a una aceleración de 0.40g – a través de un modelo lineal elástico.

### 4.3.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos de la evaluación realizada en la Sección I correspondiente a una de las zonas críticas de los acantilados en el distrito de San Miguel, se puede observar que cuando el talud es analizado con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g, no se presentan desplazamientos considerables, es decir no se generan fallas. Al realizar el análisis con el mismo registro, pero escalado a la aceleración de 0.40g, las curvas de contorno que muestran el comportamiento de los desplazamientos indican que existen zonas de debilidad desde el borde del talud hasta una distancia horizontal de 30.0 metros y 5.0 metros medidos en dirección vertical, pudiéndose originar fallas en esa zona. Cuando el talud es analizado con el sismo ocurrido en Kobe, que presentó una aceleración máxima de 0.83g, la zona de debilidad o falla se incrementa en la dirección vertical, hasta una profundidad de 7.0 metros con valores de desplazamientos máximos de 0.43 cm; se observa que las zonas de debilidad generadas se encuentran en el estrato conformado por rellenos y material fino.

Las deformaciones permanentes obtenidas cuando se realiza el análisis con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, alcanzan valores máximos de 0.11 y 0.74 m respectivamente; así mismo, se obtuvo el valor de 1.55 m de deformación cuando el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe el año 1995.

Los espectros de respuesta obtenidos presentan variaciones a los largo del modelo bidimensional, éstos van variando conforme se van alejando del borde del talud y en función a su altura. Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.20g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 4.5 veces para periodos cortos ( $T < 0.5s$ ) y de 6.0 para periodos intermedios ( $0.5 < T < 1.0s$ ), estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 3.7 para periodos cortos y de 5.5 para

periodos intermedios. Se observa la variación de los cocientes espectrales, a la profundidad aproximada de 15.0 metros, donde se tiene que la amplificación es de 2.8 para periodos cortos y de 5.2 para periodos intermedios, es decir existe una diferencia de 0.7 con el cociente obtenido en la cresta.

Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 3.8 veces para periodos cortos y de 5.3 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 3.2 para periodos cortos y de 4.7 para periodos intermedios.

Al analizar los resultados se puede concluir que en la Sección I, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de San Miguel, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 7.0 metros del estrato superior del talud, conformado por material de relleno y finos. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.43 cm y deformaciones permanentes de 1.55 m para un sismo extremo con aceleración máxima de 0.83g.

De los resultados obtenidos de la evaluación realizada en la Sección II correspondiente a una de las zonas críticas de los acantilados en el distrito de San Miguel, se puede observar que cuando el talud es analizado con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g, las curvas de contorno que muestran el comportamiento de los desplazamientos indican que existen zonas de debilidad desde el borde del talud hasta una distancia horizontal de 15.0 metros y 5.0 metros medidos en dirección vertical, pudiéndose originar fallas en esa zona. Al realizar el análisis con el mismo registro, pero escalado a la aceleración de 0.40g, las curvas de contorno que muestran el comportamiento de los desplazamientos indican que existen zonas de debilidad desde el borde del talud hasta una distancia horizontal de 20.0

metros y 5.0 metros medidos en dirección vertical, pudiéndose originar fallas en esa zona. Cuando el talud es analizado con el sismo ocurrido en Kobe, que presentó una aceleración máxima de 0.83g, la zona de debilidad o falla se incrementa en la dirección vertical, hasta una profundidad de 13.0 metros con valores de desplazamientos máximos de 0.48 cm; se observa que las zonas de debilidad generadas se encuentran en el estrato conformado por rellenos y material fino.

Las deformaciones permanentes obtenidas cuando se realiza el análisis con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, alcanzan valores máximos de 0.36 y 0.38 m respectivamente; así mismo, se obtuvo el valor de 0.70 m de deformación cuando el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe el año 1995.

Los espectros de respuesta obtenidos presentan variaciones a lo largo del modelo bidimensional, éstos van variando conforme se van alejando del borde del talud y en función a su altura. Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.20g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 4.1 veces para periodos cortos y de 5.7 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 3.5 para periodos cortos y de 5.5 para periodos intermedios. Se observa la variación de los cocientes espectrales, a la profundidad aproximada de 15.0 metros, donde se tiene que la amplificación es de 3.0 para periodos cortos y de 4.9 para periodos intermedios, es decir existe una diferencia de 0.7 con el cociente obtenido en la cresta.

Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 3.8 veces para periodos cortos y de 5.7 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose



amplificaciones del orden de 3.2 para periodos cortos y de 5.6 para periodos intermedios.

Al analizar los resultados se puede concluir que en la Sección II, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de San Miguel, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 13.0 metros del estrato superior del talud, conformado por material de relleno y finos. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.48 cm y deformaciones permanentes de 0.70 m para un sismo extremo con aceleración máxima de 0.83g.

De los resultados obtenidos de la evaluación realizada en la Sección III correspondiente a una de las zonas críticas de los acantilados en el distrito de Magdalena del Mar, se puede observar que cuando el talud es analizado con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g, las curvas de contorno que muestran el comportamiento de los desplazamientos indican que existen zonas de debilidad desde el borde del talud hasta una distancia horizontal de 15.0 metros y 5.0 metros medidos en dirección vertical, pudiéndose originar fallas en esa zona. Al realizar el análisis con el mismo registro, pero escalado a la aceleración de 0.40g, las curvas de contorno que muestran el comportamiento de los desplazamientos indican que existen zonas de debilidad desde el borde del talud hasta una distancia horizontal de 20.0 metros y 7.0 metros medidos en dirección vertical, pudiéndose originar fallas en esa zona. Cuando el talud es analizado con el sismo ocurrido en Kobe, que presentó una aceleración máxima de 0.83g, la zona de debilidad o falla se incrementa en la dirección vertical, hasta una profundidad de 10.0 metros con valores de desplazamientos máximos de 0.48 cm; se observa que las zonas de debilidad generadas se encuentran en el estrato superior la cual está influenciado directamente por el estrato de material fino.

Las deformaciones permanentes obtenidas cuando se realiza el análisis con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, alcanzan valores máximos de 0.36 y 0.40 m respectivamente; así mismo, se obtuvo el valor de 0.73 m de

deformación cuando el talud fue evaluado con el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Kobe el año 1995.

Los espectros de respuesta obtenidos presentan variaciones a lo largo del modelo bidimensional, éstos van variando conforme se van alejando del borde del talud y en función a su altura. Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.20g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 4.0 veces para periodos cortos y de 5.7 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 3.6 para periodos cortos y de 5.5 para periodos intermedios. Se observa la variación de los cocientes espectrales, a la profundidad aproximada de 15.0 metros, donde se tiene que la amplificación es de 3.2 para periodos cortos y de 4.9 para periodos intermedios, es decir existe una diferencia de 0.8 con el cociente obtenido en la cresta.

Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 3.7 veces para periodos cortos y de 5.8 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 3.3 para periodos cortos y de 5.5 para periodos intermedios.

Al analizar los resultados se puede concluir que en la Sección III, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de Magdalena del Mar, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 10.0 metros del estrato superior del talud, conformado por grava. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.48 cm y deformaciones permanentes de 0.73 m para un sismo extremo con aceleración máxima de 0.83g.

De los resultados obtenidos de la evaluación realizada en la Sección IV correspondiente a una de las zonas críticas de los acantilados en el distrito de Miraflores, se puede observar que cuando el talud es analizado con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g, las curvas de contorno que muestran el comportamiento de los desplazamientos indican que existen zonas de debilidad desde el borde del talud hasta una distancia horizontal de 15.0 metros y 3.0 metros medidos en dirección vertical, pudiéndose originar fallas en esa zona. Al realizar el análisis con el mismo registro, pero escalado a la aceleración de 0.40g, las curvas de contorno que muestran el comportamiento de los desplazamientos indican que existen zonas de debilidad desde el borde del talud hasta una distancia horizontal de 20.0 metros y 7.0 metros medidos en dirección vertical, pudiéndose originar fallas en esa zona. Cuando el talud es analizado con el sismo ocurrido en Kobe, que presentó una aceleración máxima de 0.83g, la zona de debilidad o falla se incrementa en la dirección vertical, hasta una profundidad de 20.0 metros con valores de desplazamientos máximos de 0.52 cm; se observa que las zonas de debilidad generadas se encuentran en los estrato superior la cual está influenciado directamente por el estrato de material fino y presenta una pendiente mayor a 70°.

Las deformaciones permanentes obtenidas cuando se realiza el análisis con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, alcanzan valores menores a 0.001 m para ambas evaluaciones.

Los espectros de respuesta obtenidos presentan variaciones a los largo del modelo bidimensional, éstos van variando conforme se van alejando del borde del talud y en función a su altura. Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.20g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 5.3 veces para periodos cortos y de 6.9 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 4.7 para periodos cortos y de 6.7 para periodos intermedios. Se observa la

variación de los cocientes espectrales, a la profundidad aproximada de 20.0 metros, donde se tiene que la amplificación es de 3.6 para periodos cortos y de 4.7 para periodos intermedios, es decir existe una diferencia de 2.2 con el cociente obtenido en la cresta.

Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 4.7 veces para periodos cortos y de 5.1 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 4.0 para periodos cortos y de 5.1 para periodos intermedios.

Al analizar los resultados se puede concluir que en la Sección IV, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de Miraflores, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 20.0 metros del estrato superior del talud, conformado por grava. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.52 cm y deformaciones permanentes son menores a 0.001 m para un sismo de extremo con aceleración máxima de 0.40g. La diferencia de valores de deformaciones permanentes en comparación a las secciones I, II y III, se puede explicar por la conformación del talud, que en este caso es mucho más rígido.

De los resultados obtenidos de la evaluación realizada en la Sección V correspondiente a una de las zonas críticas de los acantilados en el distrito de Miraflores, se puede observar que cuando el talud es analizado con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974, escalado a la aceleración de 0.20g y 0.40g, no presentan desplazamientos considerables, es decir no se generan fallas. Cuando el talud es analizado con el sismo ocurrido en Kobe, que presentó una aceleración máxima de 0.83g, la zona de debilidad o falla se incrementa en la dirección vertical, hasta una profundidad de 10.0 metros con valores de desplazamientos

máximos de 0.47 cm; se observa que las zonas de debilidad generadas se encuentran en los estrato superior.

Las deformaciones permanentes obtenidas cuando se realiza el análisis con el registro tiempo-historia del sismo ocurrido en Lima el año 1974 escalado a las aceleraciones de 0.20 y 0.40g, alcanzan valores menores a 0.001 m para ambas evaluaciones.

Los espectros de respuesta obtenidos presentan variaciones a lo largo del modelo bidimensional, éstos van variando conforme se van alejando del borde del talud y en función a su altura. Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.20g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 4.3 veces para periodos cortos y de 5.2 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 4.2 para periodos cortos y de 5.3 para periodos intermedios. Se observa la variación de los cocientes espectrales, a la profundidad aproximada de 25.0 metros, donde se tiene que la amplificación es de 3.2 para periodos cortos y de 3.9 para periodos intermedios, es decir existe una diferencia de 1.3 con el cociente obtenido en la cresta.

Los cocientes espectrales determinados al analizar el comportamiento del talud frente a un sismo similar al ocurrido en Lima el año 1974 escalado a 0.40g, presentan valores de amplificación máxima en el orden de 4.3 veces para periodos cortos y de 4.7 para periodos intermedios, estos valores máximos se obtienen en el borde del talud y van disminuyendo conforme el lugar de evaluación se aleja del borde del mismo, alcanzándose amplificaciones del orden de 4.1 para periodos cortos y de 4.9 para periodos intermedios.

Al analizar los resultados se puede concluir que en la Sección V, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de Miraflores, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 10.0 metros del estrato superior del talud, conformado por grava. Del mismo modo, en

esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.47 cm y deformaciones permanentes son menores a 0.001 m para un sismo extremo con aceleración máxima de 0.40g. La diferencia de valores de deformaciones permanentes en comparación a las secciones I, II y III, se puede explicar por la conformación del talud, que en este caso es mucho más rígido y de menor altura.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la investigación realizada se presentan las siguientes conclusiones:

- La estratigrafía del talud ha sido idealizada, para poder realizar el análisis bidimensional.
- Una vez determinados los estratos, se han subdividido en elementos pequeños para poder evaluar con mejor detalle el comportamiento de los materiales. El criterio utilizado es que deben tener relación con la geometría del talud y que los elementos tengan el tamaño ideal para el análisis. Este tamaño fue hallado teniendo en cuenta que el rango de frecuencias en que se encuentran los sismos ocurridos en el Perú presentan valores entre 6 a 7 Hz. Para la presente investigación se consideró elementos con tamaños en el orden de 3.0 - 3.5m.
- Para el análisis se ha utilizado el registro tiempo – historia del sismo ocurrido en Lima el 3 de octubre de 1974, escalado a las aceleraciones de 0.20g y 0.40g, que son valores esperados para los sismos de operación y máximo probable, respectivamente. Así mismo se ha utilizado el registro sísmico de Kobe de 1995, con una aceleración máxima de 0.83g, para representar la sollicitación sísmica del sismo extremo (Quiñónez, 2002).
- Se ha observado que el comportamiento de los taludes es variado y que este comportamiento depende de su altura y estratigrafía.
- En la Sección I, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de San Miguel, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 7.0 metros del estrato superior del talud, conformado por material de relleno y finos. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.43 cm y deformaciones permanentes de 1.55 m para un sismo de extremo con aceleración máxima de 0.83g. Los resultados muestran que para sismos con aceleraciones mayores a 0.40g se pueden presentar zonas de debilidad de 30.0 metros de ancho y 7.0 metros de profundidad.
- En la Sección II, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de San Miguel, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 13.0 metros del estrato superior del talud, conformado por material de relleno y finos. Del mismo modo, en esta zona se presentarán

desplazamientos máximos de 0.48 cm y deformaciones permanentes de 0.70 m para un sismo de extremo con aceleración máxima de 0.83g. Los resultados muestran que para sismos con aceleraciones mayores a 0.40g se pueden presentar zonas de debilidad de 20.0 metros de ancho y 13.0 metros de profundidad.

- En la Sección III, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de Magdalena del Mar, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 10.0 metros del estrato superior del talud, conformado por grava. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.48 cm y deformaciones permanentes de 0.73 m para un sismo de extremo con aceleración máxima de 0.83g. Los resultados muestran que para sismos con aceleraciones mayores a 0.40g se pueden presentar zonas de debilidad de 20.0 metros de ancho y 10.0 metros de profundidad.
- En la Sección IV, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de Miraflores, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 20.0 metros del estrato superior del talud, conformado por grava. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.52 cm y deformaciones permanentes son menores a 0.001 m para un sismo de extremo con aceleración máxima de 0.40g, siendo menores que las secciones I, II y III debido a la rigidez del talud. Los resultados muestran que para sismos con aceleraciones mayores a 0.40g se pueden presentar zonas de debilidad de 20.0 metros de ancho y 20.0 metros de profundidad.
- En la Sección V, correspondiente al acantilado ubicado en el distrito de Miraflores, los mayores valores de amplificación se presentan en los primeros 10.0 metros del estrato superior del talud, conformado por grava. Del mismo modo, en esta zona se presentarán desplazamientos máximos de 0.47 cm y deformaciones permanentes son menores a 0.001 m para un sismo de extremo con aceleración máxima de 0.40g, siendo menores que las secciones I, II y III debido a la rigidez y altura del talud. Los resultados muestran que para sismos con aceleraciones mayores a 0.40g se pueden presentar zonas de debilidad de 10.0 metros de ancho y 10.0 metros de profundidad.
- El valor de los desplazamientos absolutos obtenidos en los taludes son pequeños, variando en un rango de 4.0 a 6.0 cm para las diferentes



secciones analizadas con el sismo escalado a la aceleración de 0.20g y en el orden de 6.0 a 11.0 cm cuando es analizado con el sismo escalado a la aceleración de 0.40g.

- En la dirección vertical de los taludes se presentan factores de amplificación de hasta 6.0 para 0.80s de periodo, observándose que las aceleraciones máximas se incrementan desde 0.20g en la base hasta 0.52g en la superficie del talud. Sin embargo, en la dirección horizontal los factores de amplificación son considerablemente menores, existiendo pequeñas variaciones hasta los 65.00m de distancia desde el borde del talud.
- El grado de amplificación sísmica se presenta en un rango de periodos que varían entre 0.25 a 0.62s.
- Las amplificaciones máximas alcanzadas están en el rango de 6 en periodo de 0.70 s. Estas amplificaciones generarán una mayor sollicitación sísmica a las estructuras ubicadas en el área de influencia de los taludes y cuyos periodos fundamentales están alrededor de 0.70 s.
- El grado de inestabilidad que se observa en los acantilados es debido al material suelto o el relleno que se encuentra emplazado en la superficie del talud y no por una deformación permanente.
- Se recomienda que en futuras investigaciones se obtengan parámetros dinámicos de las gravas, material que más predomina en los taludes, para evaluar la respuesta sísmica con mayor aproximación.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALPHA CONSULT (1996)**, “Evaluación Geotécnica del Intercambio Vial Av. Universitaria y Venezuela”, Informe Técnico, Lima, Perú.

**ABDEL – GHAFAR, A. y SCOUT, R. (1979)**, “Analysis of Earth Dam Response to Earthquake”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 105, No. GT12, pp. 1379 – 1403.

**BALDOVIN, E. y PAOLIANI P. (1994)**, “Dynamic Analysis of Embankment Dams”; Soil Structure Iteration Numerical Analysis and Modelling, pp 119 – 162, Edited by Jhon w. Bull & E. Fin

**CAÑARI, M. (2001)**, “Análisis de la Estabilidad de Taludes de la Costa Verde”, Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú.

**CARRILLO – GIL, A. (1987)**, “Gravas del Conglomerado de Lima”, VIII CPMSIF – PCSMFE, 16 – 21 Agosto, Cartagena, Colombia.

**CISMID (1995)**, “Exploración Geotécnica con Fines de Cimentación de las Instalaciones del Ministerio de Energía y Minas”, Informe Técnico, San Borja - Lima, Perú.

**CISMID (1999)**, “Exploración Geotécnica con Fines de Cimentación del Hipermercado Metro de la UNI”, Informe Técnico, Rímac - Lima, Perú.

**CISMID (1999)**, “Exploración Geotécnica con Fines de Cimentación de Edificio Multifamiliar - Surco”, Informe Técnico, Surco - Lima, Perú.

**CISMID (2000)**, “Exploración Geotécnica con Fines de Cimentación Planta Gloria”, Informe Técnico, Huachipa - Lima, Perú.

**CISMID (2000)**, “Exploración Geotécnica con Fines de Cimentación Chifa Anita Food – Santa Anita”, Informe Técnico, Huachipa - Lima, Perú.

**CISMID (2004)**, “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Lima”, Informe Técnico, Lima, Perú.

**DESAI y SIRIWARDANE (1984)**, “Constitutive Laws for Engineering Materials with Emphasis on Geologic Materials”, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, University of Arizona, Tucson, Arizona.

**ELECTRICAL POWER RESEARCH INSTITUTE, EPRI (1993)**, “Guidelines for Determining Design Basis Ground Motions. Volume 1: Method and Guidelines for Estimating Earthquake Ground Motion in Eastern North America,” Rpt. No. EPRI TR-102293, Palo Alto, CA.

**HARDIN, B y DRNEVICH, V. (1972)**, “Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, N° SM7.

**HATANAKA, M. (1952)**, “3-Dimensional Consideration on the Vibration of Earth Dams”, Journal Japan Society Civil Engineering, N° 37.

**HATANAKA, M. (1955)**, “Fundamental Consideration on the Earthquake Resistant Properties of the Earth Dam”, Bulletin N°11, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.

**MUSID, R. (1976)**, “Análisis de los Terremotos Peruanos”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

**HIDROENERGÍA CONSULTORES EN INGENIERÍA (1997)**, “Estudio de Estabilización de la Costa Verde – Geotecnia y Obras de Estabilización”, Planos Topográficos, Lima, Perú.

**HIDROENERGÍA CONSULTORES EN INGENIERÍA (1998)**, “Estudio Geotécnico de Cimentación Edificio Banco Latino – Ripley”, Informe Geotécnico, San Isidro, Lima, Perú.

**HIDROENERGÍA CONSULTORES EN INGENIERÍA (2000)**, “Exploración Geotécnica con Fines de Cimentación de la Fábrica de Procter & Gamble Perú S.A.”, Informe Geotécnico, Lima, Perú.

**INFANTES, M. (1999)**, “Análisis Sísmico de Estructuras de Tierra”, Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú.

**INGEMMET (1992)**, “Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica”, Boletín N°43.

**IMAI, T. y TONOUCHI, K. (1982)**, “Correlation of N-Value with S-Wave Velocity and Shear Modulus”, Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, The Netherlands, pp. 67-72.

**ISHIHARA, K. (1982)**, “Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis”, Num. Geom., R. Dungar, G. N. Pande and J.A. Studer. Mod. Geom., R. Dungar, G.N. Pande & J. A. Studer (eds.), pp 237-259.

**KRAHN, J. (2004)**, “Dynamic Modeling with QUAKE/W”, An Engineering Methodology, GEO-SLOPE International Ltd, Calgary, Alberta, Canada.

**KRAMER, S. (1996)**, “Geotechnical Earthquake Engineering”, Prentice Hall, New Jersey, USA.

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (1990)**, “Ensayos de Placa para Lima Polo Club Monterrico”, Informe Técnico, Lima, Perú.

**LISSON, C. (1907)**, “Contribuciones al Conocimiento de la Geología de Lima y Alrededores”, Librería e Imprenta Gil.

**LISSON, C. (1939)**, “Esquema Geológico de los Alrededores de Lima”, Museo de Historia Natural, Año 3, N° 3, pp. 3 –17.

**MARTÍNEZ, A. (1996)**, “Estabilidad de los Acantilados de la Costa Verde”, Lima, Perú.

**MARTÍNEZ, A y PORTURAS, F. (1975)**, “Planos Geotécnicos para Lima – Perú, Análisis y Visión en Ingeniería Sísmica”, Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima - Perú.

**MONONOBE, H. et al (1936)**, “Seismic Stability of the Earth Dam”, Proc. 2<sup>nd</sup> Congress on Large Dams, Washington DC, USA.

**NEWMARK, N. (1965)**, “Effects of Earthquakes on Dams and Embankments”, Geotechnique, 15(2), pp 139-160.

**OHTA, Y. y GOTO, N. (1976)**, “Estimation of S-Wave Velocity un Terms of Characteristic Indices of Soil”, Butsuri – Tanko, Vol. 29, N° 24, 1976, pp. 34-41.

**OKAMOTO, S. et al (1969)**, “On the Dynamical Behavior of an Earth Dam During Earthquakes”, Proc. 4<sup>th</sup> World Conference Earthquake Engineering, Santiago.

**OKAMOTO, S. (1973)**, “Earthquake Resistance of Embankment Dams”, Chapter 15 in Introduction to Earthquake Engineering, Jhon Wiley and Sons, pp 427–490.

**PARRA, D. (2001)**, “Modelagem Numérica do Comportamento Estático e Sísmico de Barragens de Terra”, Tesis de Post - grado, Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, Departamento de Ingeniería Civil Río, Brasil.

**QUIÑONES, A. (2002)**, “Simulación de Acelerogramas para el Terremoto del 3 de Octubre de 1974 Registrado en la Ciudad de Lima - Perú”, Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú.

**RODRIGUEZ, J. (2005)**, “Respuesta Dinámica de Suelos Blandos de Bogota”, Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, XI Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción, Chile.

**ROLLINS, K.; EVANS, M.; DIEHL, N. y DAILY III, W. (1998)**, “Shear Modulus and Damping Relationships for Gravels”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering – Volume 124, pp 396 – 404, USA.

**SCHNABEL, P., LYSMER, J. y SEED, H. (1972)**, “SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites”, Report No. EERC 72/12, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley.

**SCHNABEL, P. (1973)**, “Effects of Local Geology and Distance from Source on Earthquake Ground Motions”, Ph.D. Dissertation, Univ. of California, Berkeley.

**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.

**SEED, H. e IDRIS, I. (1969)**, “Influence of Soils Conditions on Ground Motions During Earthquake”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 95, N° SM1, pp 99 – 137.

**SEED, H. e IDRIS, I. (1970)**, “Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses”, Report N°. EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

**SEED, H. (1979)**, “Considerations in the Earthquake Design of Earth and Rockfill Dams”, Geotechnique, N° 29, pp 215-263.

**SEED, H., WONG, R., IDRIS, I. y TOKIMATSU, K. (1984)**, “Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils”, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California, USA.

**SEED, H., WONG, R., IDRIS, I, y TOKIMATSU, K. (1986),** “Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils,” J. Geotech. Engrg., ASCE, 112 (11), pp. 1016-1032.

**SHAKE 2000 (2000),** “A Computer Program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems”, User’s Manual.

**SILVA, W., ABRAHAMSON, N., TORO, G., y COSTANTINO, C. (1997),** “Description and Validation of the Stochastic Ground Motion Model”, Report to Brookhaven National Laboratory, Associated Universities, Inc., Upton, NY.

**SILVA, W., LI, S., DARRAGH, R., y GREGOR, N. (1999),** “Surface Geology Based Strong Motion Amplification Factors for the San Francisco Bay and Los Angeles areas”, Report to Pacific Earthquake Engineering Research Center.

**SILVA, W., DARRAGH, R., GREGOR, N., MARTIN, G., ABRAHAMSON, N., y KIRCHER, C. (2000),** “Reassessment of Site Coefficients and Near-Fault Factors for Building Code Provisions”, Report to U.S. Geological Survey, National Earthquake Hazards Reduction Program.

**STEWART, J. (2001),** “Ground Motion Evaluation Procedures for Performance – Based Design”, PEER Report 2001/09, Berkeley, California, USA.

**STEWART, J., y BATURAY, M. (2001),** “Uncertainties and Residuals in Ground Motion Estimates at Soil Sites”, Proc. 4th Int. Conf. Recent Advances in Geotech. Eqk. Engrg. Soil Dyn., San Diego, CA. Paper 3.14.

**STOKOE, K., DARENDELI, M., ANDRUS, R. y BROWN, L. (1999),** “Dynamic Soil Properties: Laboratory, Field and Correlation Studies”, Earthquake Geotechnical Engineering, S. Pinto (ed.), Balkema, Rotterdam, Vol. 3, pp. 811-845.

**SUN, J.; GOLESORKHI, R. y SEED, H. (1988),** “Dynamic Moduli and Damping Ratios for Cohesive Soils”, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California, USA.

**TAKAHASHI, C. (2004)**, “Effect of Dynamic Analysis Methods on Response of Piles in Liquefiable Sandy Grounds”, The First International Conference on Construction IT, Beijing, China, August 12<sup>th</sup> – 14<sup>th</sup> .

**TAKEMIYA, H. y ADAM, M. (1997)**, “Seismic Wave Amplification Due to Topography and Geology in Kobe During Hyogo-Ken Nanbu Earthquake”, Structural Eng./ Earthquake Eng., JSCE, Vol. 14, N° 2, pp 129 -138.

**TERZAGHI, K. (1950)**, “Mechanics of Landslides”, The Geological Survey of America Engineering Geology , Berkley.

**VERRÚJT, A. (2005)**, “Earthquakes in Soft Layers”, Soil Dynamics, Chapter 5, pp 77 – 79, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.

**VUCETIC, M. y DOBRY, R. (1991)**, “Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response,” J. Geotech. Engrg., ASCE, 117(1), pp. 89-107.

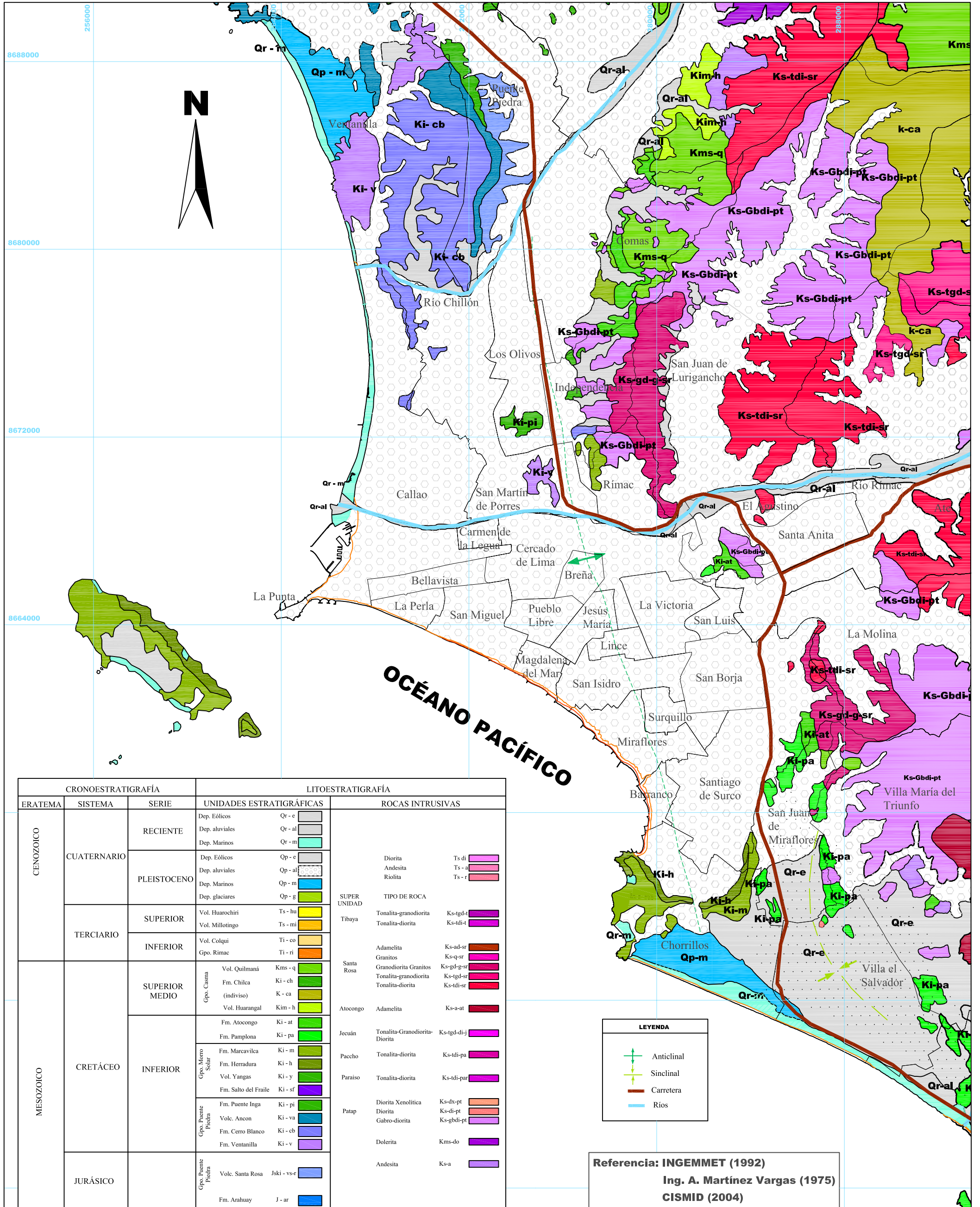
**WEILER, W. (1988)**, “Small Strain Shear Modulus of Clay,” Proc. ASCE Conf. Earthquake Engineering & Soil Dynamics II: Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, ASCE, New York, pp. 331-335.

**YOSHIMI, Y., RICHARD, F., PRAKASH, S., BARKAN, D. y ILYICHEV, V. (1977)**, “Soil Dynamics and Its Application to Foundation Engineering”, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokio, Japón.

**ZER GEOSYSTEM PERÚ S.A.C (2003)**, “Exploración Geotécnica con Fines de Cimentación de La Videna de San Luis”, Informe Técnico, San Luis - Lima, Perú.



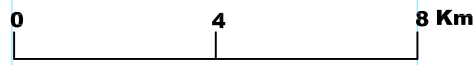
# **PLANOS**




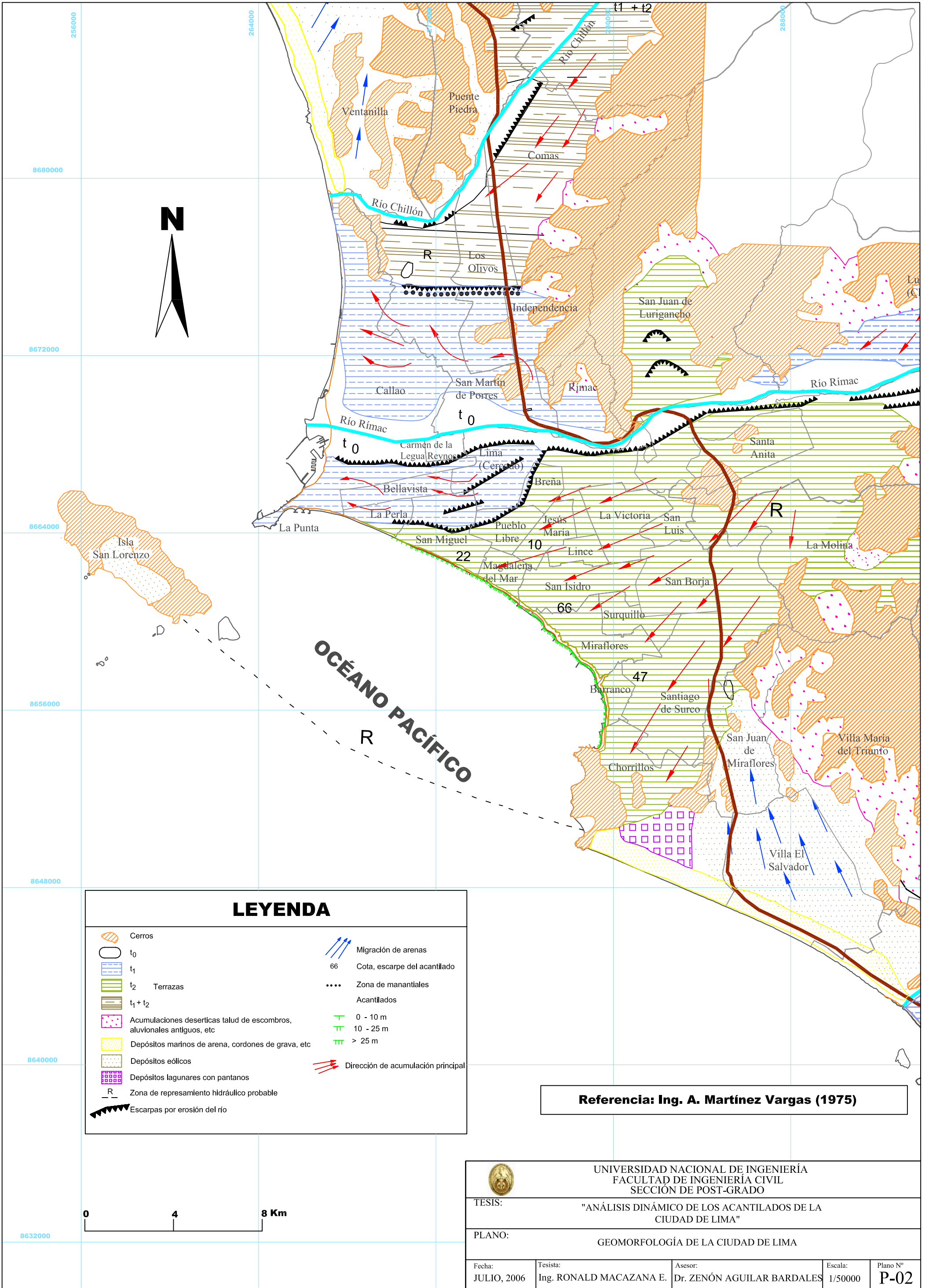
CRONOESTRATIGRAFÍA			LITOESTRATIGRAFÍA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. Eólicos	Qr - e	SUPER UNIDAD TIPO DE ROCA Tonalita-granodiorita Ks-tgd-l Tonalita-diorita Ks-tdi-l Adamelita Ks-ad-sr Granitos Ks-q-sr Granodiorita Granitos Ks-gd-gsr Tonalita-granodiorita Ks-tgd-sr Tonalita-diorita Ks-tdi-sr Atocongo Adamelita Ks-a-at Jecuan Tonalita-Granodiorita-Diorita Ks-tgd-di-j Paccho Tonalita-diorita Ks-tdi-pa Paraiso Tonalita-diorita Ks-tdi-par Patap Diorita Xenolítica Ks-dx-pt Diorita Ks-di-pt Gabro-diorita Ks-gbdi-pt Dolerita Kms-do Andesita Ks-a
			Dep. aluviales	Qr - al	
			Dep. Marinos	Qr - m	
		PLEISTOCENO	Dep. Eólicos	Qp - e	
			Dep. aluviales	Qp - al	
			Dep. Marinos	Qp - m	
	TERCIARIO	SUPERIOR	Vol. Huarochiri	Ts - hu	
			Vol. Millotíngo	Ts - mi	
		INFERIOR	Vol. Colqui	Ti - co	
			Gpo. Rimac	Ti - ri	
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR MEDIO	Gpo. Casma	Vol. Quilmaná Kms - q	
			Fm. Chilca Ki - ch		
			K - ca (indiviso)		
			Vol. Huarangal Kim - h		
		INFERIOR	Fm. Atocongo Ki - at		
			Fm. Pamplona Ki - pa		
			Gpo. Morro Solar	Fm. Marcavilca Ki - m	
			Fm. Herradura Ki - h		
	Vol. Yangas Ki - y				
	Fm. Salto del Fraile Ki - sf				
	Gpo. Puente Piedra	Fm. Puente Inga Ki - pi			
	Volc. Ancon Ki - va				
	Fm. Cerro Blanco Ki - cb				
	Fm. Ventanilla Ki - v				
JURÁSICO	Gpo. Puente Piedra	Volc. Santa Rosa Jski - vs-r			
	Fm. Arahuy J - ar				

LEYENDA	
	Anticlinal
	Sinclinal
	Carretera
	Ríos

Referencia: INGEMMET (1992)  
 Ing. A. Martínez Vargas (1975)  
 CISMID (2004)



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL SECCIÓN DE POST-GRADO				
TESIS:		"ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"		
PLANO:		GEOLOGÍA DE LA CIUDAD DE LIMA		
Fecha:	Tesista:	Asesor:	Escala:	Plano N°
JULIO, 2006	Ing. RONALD MACAZANA E.	Dr. ZENÓN AGUILAR BARDALES	1/50000	P-01

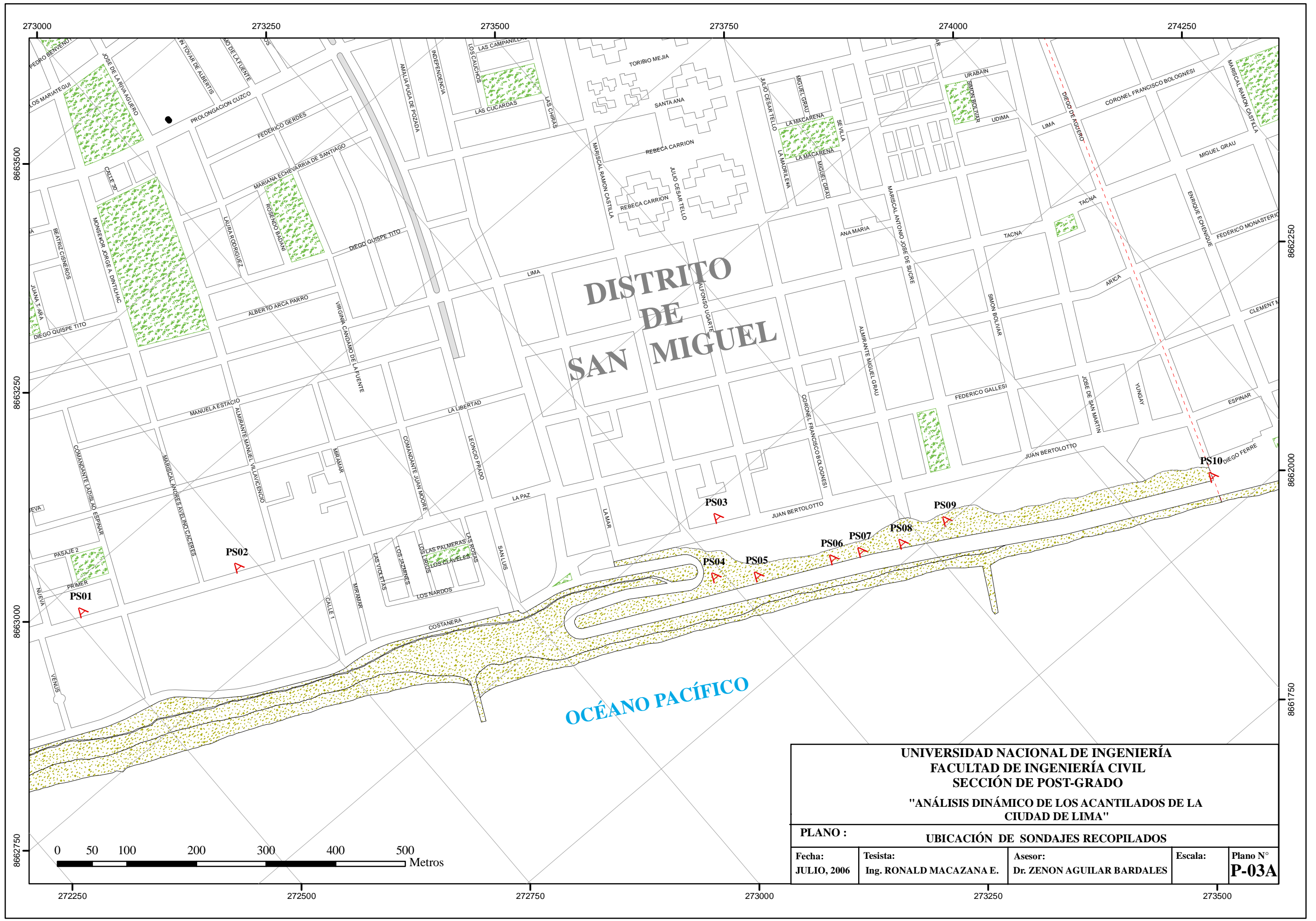


**LEYENDA**

	Cerros		Migración de arenas
	t <sub>0</sub>		Cota, escarpe del acantilado
	t <sub>1</sub>		Zona de manantiales
	t <sub>2</sub> Terrazas		Acantilados
	t <sub>1</sub> + t <sub>2</sub>		0 - 10 m
	Acumulaciones desérticas talud de escombros, aluvionales antiguos, etc		10 - 25 m
	Depósitos marinos de arena, cordones de grava, etc		> 25 m
	Depósitos édicos		Dirección de acumulación principal
	Depósitos lagunares con pantanos		
	Zona de represamiento hidráulico probable		
	Escarpas por erosión del río		

**Referencia: Ing. A. Martínez Vargas (1975)**

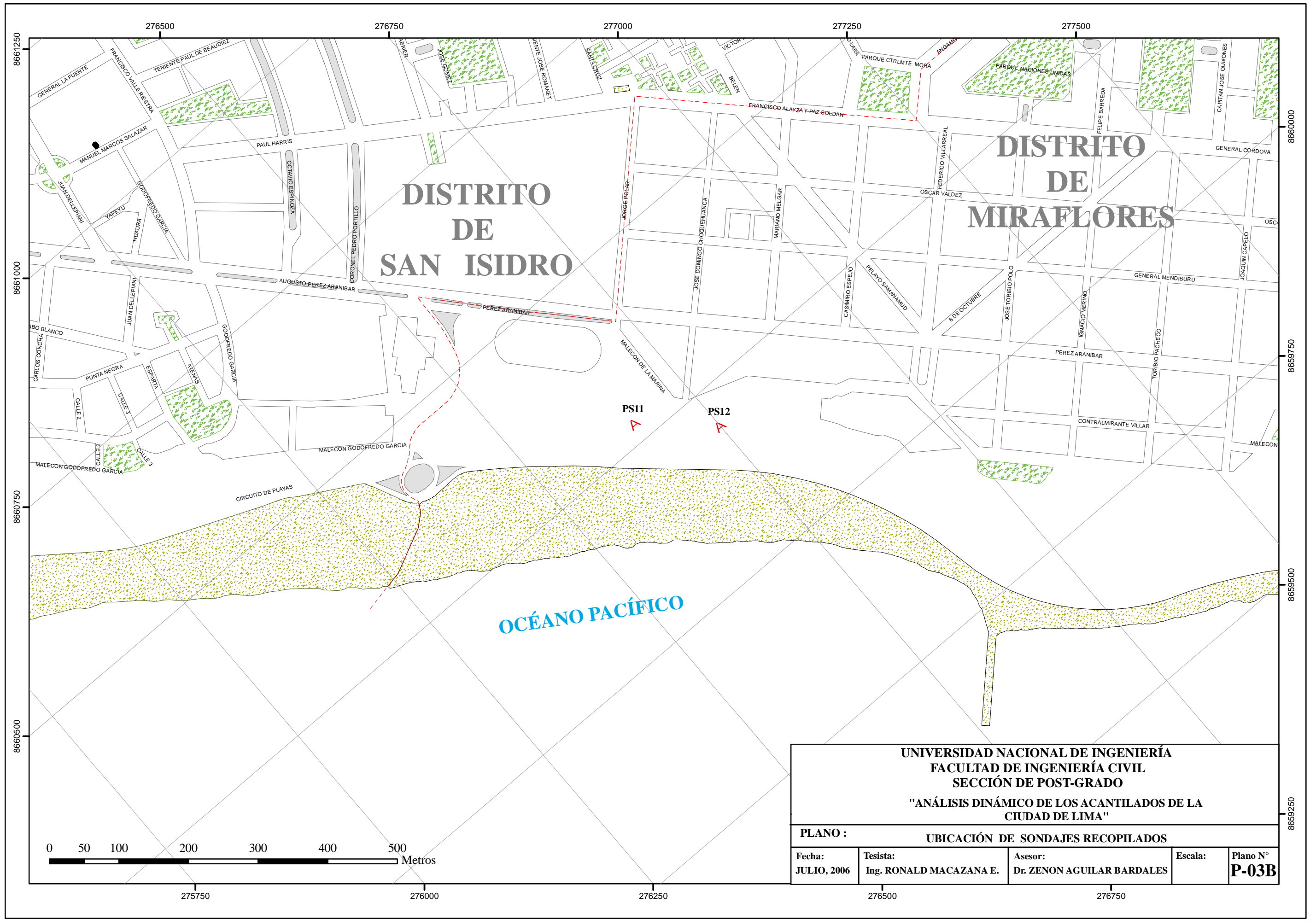
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL SECCIÓN DE POST-GRADO				
TESIS:		"ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"		
PLANO:		GEOMORFOLOGÍA DE LA CIUDAD DE LIMA		
Fecha:	Tesista:	Asesor:	Escala:	Plano N°
JULIO, 2006	Ing. RONALD MACAZANA E.	Dr. ZENÓN AGUILAR BARDALES	1/50000	<b>P-02</b>



# DISTRITO DE SAN MIGUEL

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**SECCIÓN DE POST-GRADO**  
**"ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"**

<b>PLANO :</b>		<b>UBICACIÓN DE SONDAJES RECOPIRADOS</b>		
Fecha:	Tesisista:	Asesor:	Escala:	Plano N°
JULIO, 2006	Ing. RONALD MACAZANA E.	Dr. ZENON AGUILAR BARDALES		<b>P-03A</b>



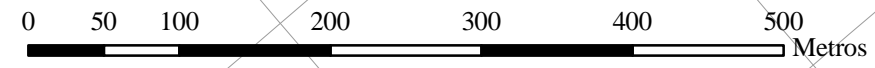
**DISTRITO DE SAN ISIDRO**

**DISTRITO DE MIRAFLORES**

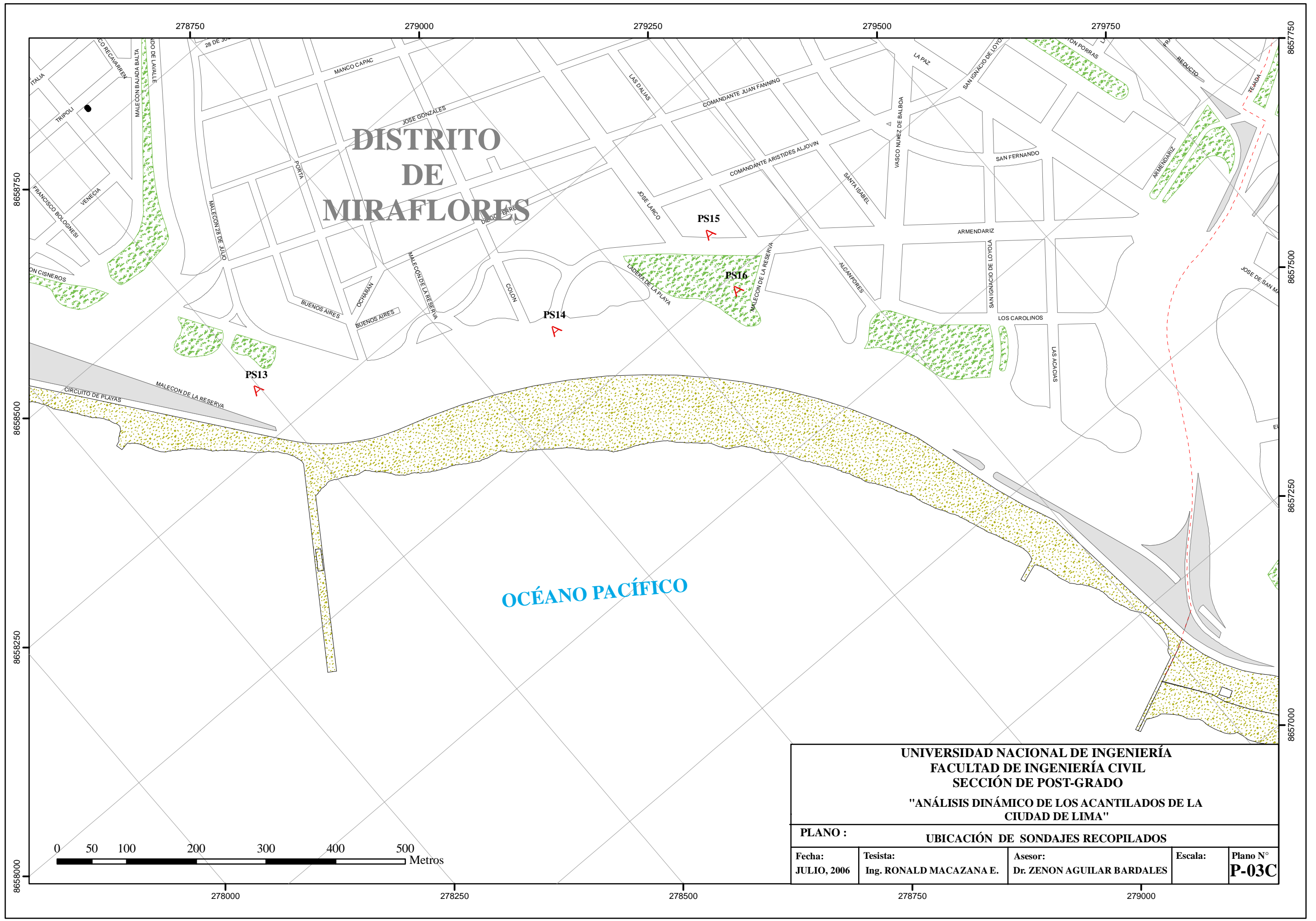
**OCEANO PACÍFICO**

PS11  
A

PS12  
A

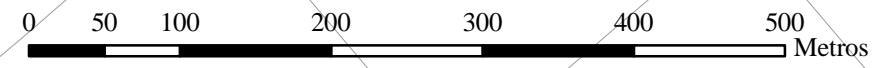


<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>SECCIÓN DE POST-GRADO</b> <b>"ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"</b>				
<b>PLANO :</b>		<b>UBICACIÓN DE SONDAJES RECOPIRADOS</b>		
<b>Fecha:</b> JULIO, 2006	<b>Tesista:</b> Ing. RONALD MACAZANA E.	<b>Asesor:</b> Dr. ZENON AGUILAR BARDALES	<b>Escala:</b>	<b>Plano N°</b> <b>P-03B</b>

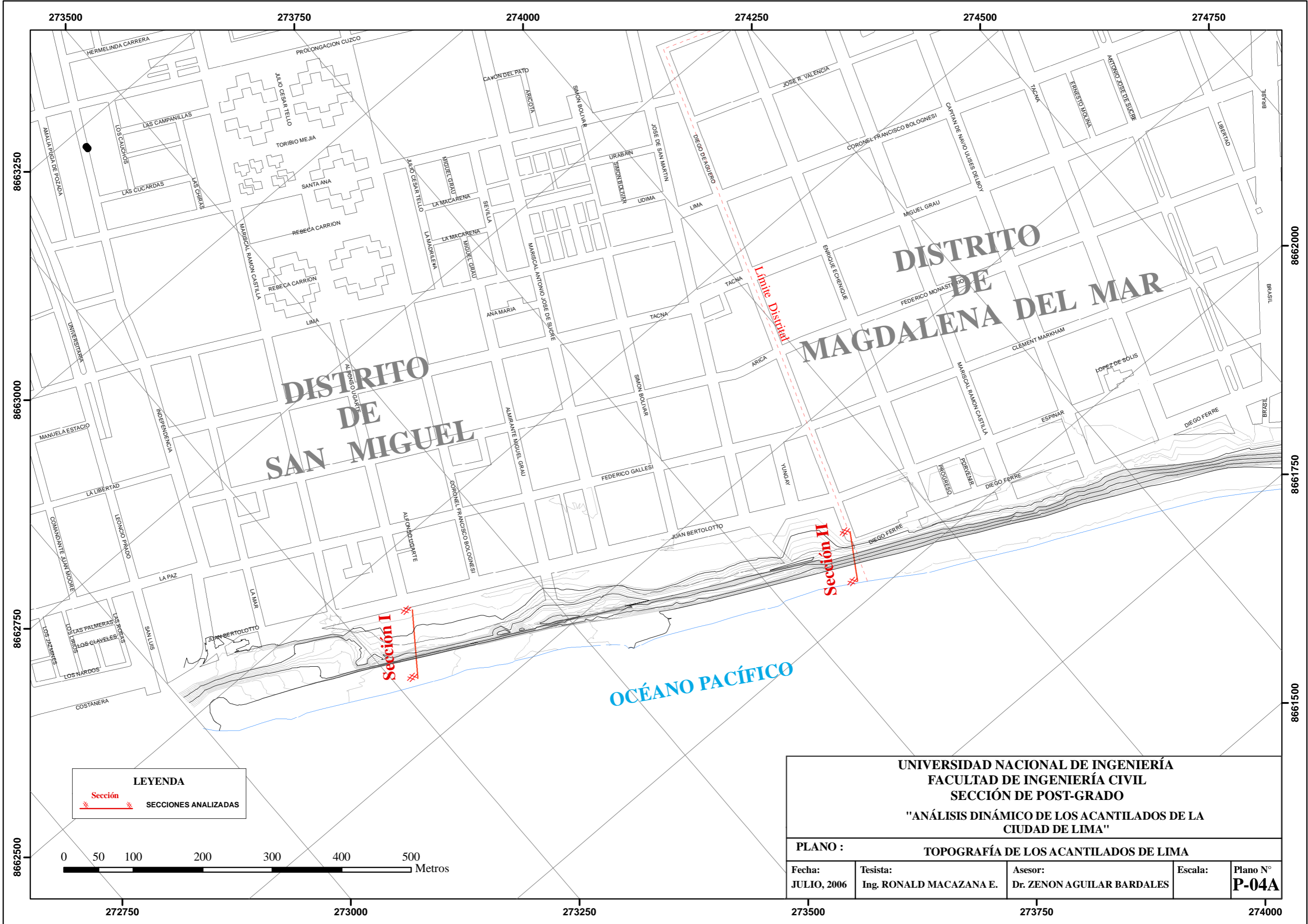


# DISTRITO DE MIRAFLORES

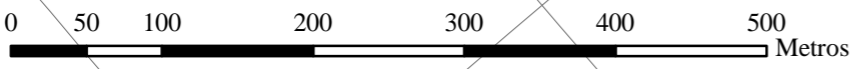
OCEANO PACIFICO



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>SECCIÓN DE POST-GRADO</b> <b>"ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"</b>				
<b>PLANO : UBICACIÓN DE SONDAJES RECOPIRADOS</b>				
<b>Fecha:</b> JULIO, 2006	<b>Tesista:</b> Ing. RONALD MACAZANA E.	<b>Asesor:</b> Dr. ZENON AGUILAR BARDALES	<b>Escala:</b>	<b>Plano N°</b> <b>P-03C</b>



**LEYENDA**  
 Sección  
 SECCIONES ANALIZADAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 SECCIÓN DE POST-GRADO  
 "ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"

PLANO : TOPOGRAFÍA DE LOS ACANTILADOS DE LIMA

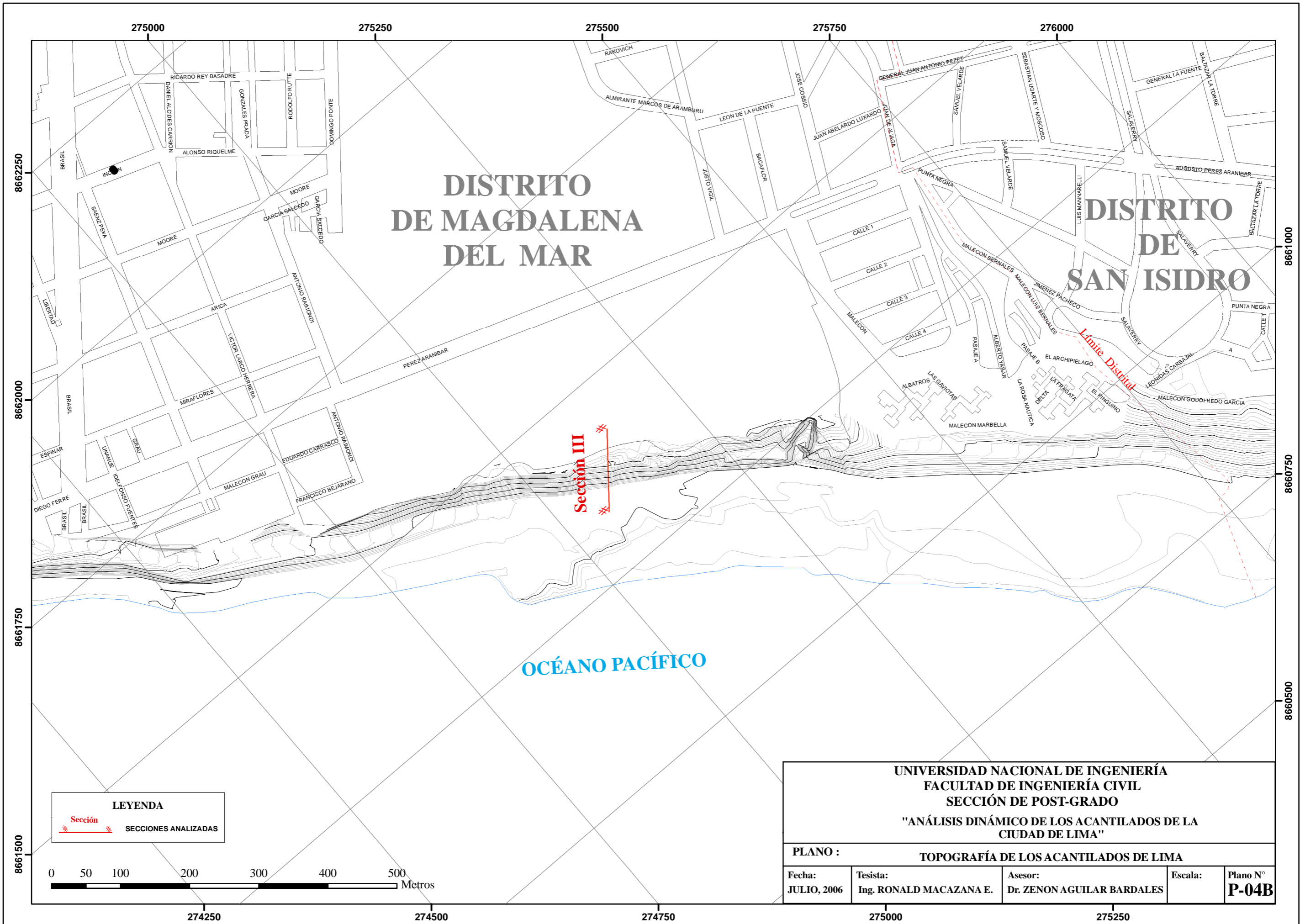
Fecha: JULIO, 2006	Tesista: Ing. RONALD MACAZANA E.	Asesor: Dr. ZENON AGUILAR BARDALES	Escala:	Plano N° <b>P-04A</b>
-----------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	---------	--------------------------

273500      273750      274000      274250      274500      274750

8663250  
8663000  
8662750  
8662500

8662000  
8661750  
8661500

272750      273000      273250      273500      273750      274000



# DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR

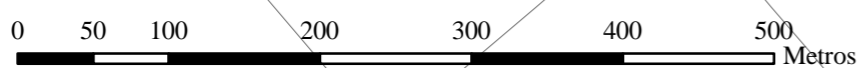
# DISTRITO DE SAN ISIDRO

**Sección III**

**Límite Distrital**

OCEANO PACÍFICO

**LEYENDA**  
 Sección SECCIONES ANALIZADAS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 SECCIÓN DE POST-GRADO**

**"ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ACANTILADOS DE LA CIUDAD DE LIMA"**

**PLANO : TOPOGRAFÍA DE LOS ACANTILADOS DE LIMA**

Fecha: JULIO, 2006	Tesista: Ing. RONALD MACAZANA E.	Asesor: Dr. ZENON AGUILAR BARDALES	Escala:	Plano N° <b>P-04B</b>
-----------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	---------	--------------------------



