

MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL

ESCUELA DE POSGRADO

Microzonificación, Caracterización de Terrenos para Diseño Sísmico y determinación de mapas de Intensidad Sísmica en el Distrito de Bellavista, Callao, Perú.”



PUCP

17/08/2017

INTEGRANTES:

Alvarez Ordoñez, Syndy Yesenia

Rios Leon, Julio Rolando

Cárdenas Mamani, Úrsula

Romero Leceta, Jose Ignacio

Castañeda Granda, David Israel

Salazar Manrique, Ramón Cronwell

Cordova Arias, Lisselyn Cristina

Salsavilca Pomacarhua, Jhoselyn Junny

Durán Ramírez, Gary Gary

Silva Mondragon, Guido Leonardo

Huamaní Rodríguez, Zenón Irving

Trillo Carbajal, Camilo Estebar

Ita Paico, Paola Isabel

Urteaga Tirado, Juan Numan

Lipa Cusi, Leonel

Valle Castro, Angely Paola

Lozano Chavez, Gonzalo Andre

Yacila Alvarado, Luciano Jhair

Melgar Cueva, Carlos Jesus

Zanelli Flores, Criss Talita

Paripanca Garcia, Yris Elisbet

Pino Mendoza, Mario Ivan

Resumen Ejecutivo

El informe presenta el estudio de microzonificación, caracterización de terrenos para diseño sísmico y determinación de mapas de intensidad sísmica en el distrito de Bellavista, Callao, Perú. En este trabajo se caracteriza dinámicamente el suelo de 27 puntos del distrito mediante registros de ruido ambiental y se obtienen sus funciones de transferencia empírica utilizando la técnica del cociente espectral H/V (Nakamura, 1989). De esta manera, se presentan gráficas de isoperíodos e isoamplitudes para la zona de estudio. Se observa que dinámicamente existen dos capas bien definidas, la del suelo superficial y la del conglomerado. Estas capas vibran en diferentes frecuencias, siendo entre 0.4 y 1.5 Hz la del conglomerado y alrededor de 8 y 10 Hz la del suelo. Además, utilizando el método de Haskell-Thompson se generaron espectros de respuesta y mapas de intensidad sísmica con los sismos de 1966 (8.1 Mw) y 1974 (8.0 Mw).

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. ANTECEDENTES	8
2.1 Regionalización o zonificación sísmica del Perú	8
2.2 Microzonificación del distrito de Bellavista	9
2.3 Hidrología	10
2.4 Paleovalles en la ciudad de Lima	11
2.5 Geología de Lima.....	12
2.6 Geología de Lima – Basamento Rocoso.....	13
2.7 Geotecnia de Lima – Estratos de Suelo.....	14
2.8 Geotecnia Bellavista.....	15
2.9 Sismicidad del Perú: Características de los sismos de 1966 y 1974	16
II.- EVALUACIÓN DEL EFECTO DE SITIO PARA LA MICROZONIFICACIÓN	18
2.1 Levantamiento de datos en campo	18
2.2 Procesamiento de datos	19
2.3 Determinación de la función de transferencia empírica.....	20
2.4 Mapa de isoperíodos ($T=0.1s, 0.5s, 1s$).....	21
IV. ESCENARIOS SISMICOS	23
4.1 Características geotécnicas del sitio	23
4.2 Mapa de aceleraciones máximas en suelo (gal)	24
4.3 Mapa de isoaceleraciones sismos de 1966 y 1974.....	25
4.4 Mapa de isoamplificaciones	26
V. ESTIMACIÓN DE LOS PERIODOS DOMINANTES DEL EDIFICIO MCGREGOR	27

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXO 1.....	36
ANEXO 2.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Factores de Zona	9
Tabla 2. Características de los Sismos de 1966 y 1974 registrados en la estación Parque de la Reserva	17
Tabla 3. Ejemplo de Ficha Técnica con los datos de campo registrados	19
Tabla 4. Parámetros ingresados en el software Geopsy	20
Tabla 5: Rango de velocidades de onda S por estrato	23
Tabla 6. Resumen de los periodos de los edificios de 5 y 12 pisos	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de factores de zona en el Perú.....	9
Figura 2. Microzonificación del Distrito de Bellavista.	10
Figura 3. Cuenca del río Rímac (SENAHMI, 2013)	11
Figura 4. Curvas topográficas de la Ciudad de Lima (Aguilar y Alva, SF.).....	11
Figura 5. Paleovalles en Lima.	12
Figura 6. Mapa geológico de la Ciudad de Lima.	13
Figura 7. Profundidad del basamento rocoso de la Ciudad de Lima.....	13
Figura 8. Distribución Geotécnica de suelos en Lima. Fuente: Calderón (2012). .	14
Figura 9. Unidades Geomorfológicas cercanas al área de estudio.	15
Figura 10. Perspectiva en digital de las pendientes de las zonas cercanas al área de estudio.....	15
Figura 11. Estratigrafía variable en subsuelo zona del C.C. Mall Aventura Plaza Bellavista. Fuente: Elaboración Propia.	16
Figura 12. Mapa Sísmico del Perú. Fuente IGP.	16
Figura 13. Sismicidad en el Perú. Sismos de 1966 y 1974. Elaboración Propia....	17
Figura 14. Mapa de Isoperíodos obtenidos a través de la microzonificación realizadas por Calderón (2012).....	18
Figura 15. Distribución de Puntos de medición en el Distrito de Bellavista.....	19
Figura 16. Registro de onda del punto 6 de las coordenadas Z, N y E respectivamente (Analizado con el Software Geopsy).....	20
Figura 17. Obtención de función de transferencia a partir del registro de onda del punto 6 (Software Geopsy).....	21
Figura 18. Función de transferencia empírica del punto 6 (Software Geopsy).	21
Figura 19 Mapa de isoperíodos (s)- Suelo.....	22
Figura 20 Mapa de isoperíodos (s)- Conglomerado.....	22
Figura 21: Rango de velocidades de ondas S	23
Figura 22: Perfil estratigráfico propuesto	24
Figura 23 Aceleración Máxima del suelo (PGA)- 1966	24
Figura 24 Aceleración Máxima del suelo (PGA)- 1974	25
Figura 25 Mapa de isoaceleraciones T=0.1 s - Sismo de 1966	25
Figura 26 Mapa de isoaceleraciones T=0.1 s - Sismo de 1974	26
Figura 27 Mapa de isoamplificaciones de suelo (veces).....	26
Figura 28: Mapa de isoamplificaciones de conglomerado (veces).....	27
Figura 29. Edificaciones evaluadas	28
Figura 30. Sismógrafo utilizado.....	29
Figura 31. Registro del ruido ambiental Norte - Sur y espectro de Fourier	29
Figura 32. Registro del ruido ambiental Este - Oeste y espectro de Fourier	29
Figura 33. Registro del ruido ambiental vertical y espectro de Fourier	29
Figura 34. Cociente de Fourier entre Norte – Sur y la vertical.....	30
Figura 35. Cociente de Fourier entre Este – Oeste y la vertical	30
Figura 36. Cociente de Fourier Norte – Sur del extremo y zona central del edificio	30
Figura 37. Registro del ruido ambiental Norte - Sur y espectro de Fourier	31
Figura 38. Espectro de Fourier Norte - Sur	31
Figura 39. Registro del ruido ambiental y espectro de Fourier	31

Figura 40. Espectro de Fourier Este - Oeste	31
Figura 41. Cociente de Fourier Norte – Sur del extremo y zona central del edificio	32
Figura 42. Mapa de isoaceleraciones T=0.5 s - Sismo de 1974	51
Figura 43. Mapa de isoaceleraciones T=1 s - Sismo de 1974	51
Figura 44. Mapa de isoaceleraciones T=0.5 s - Sismo de 1966	52
Figura 45. Mapa de isoaceleraciones T=1 s - Sismo de 1966	52

I. INTRODUCCIÓN

Bellavista es uno de los siete distritos de la provincia constitucional del Callao. Este distrito al igual que los demás se encuentra en peligro latente, debido a la brecha sísmica generada frente a sus costas que no descarga energía del orden de 8.0 Mw desde 1974. Los reportes de daño de este sismo catalogaron la provincia del Callao como afecta por los efectos del suelo y se evidenciaron varias zonas de daño. Según CISMID (2004), el distrito de Bellavista está dividido en 3 microzonas según el comportamiento dinámico del suelo.

Este trabajo tiene como objetivo general validar la existencia de estas tres microzonas, mediante la construcción de mapas de isoperíodos e isoamplificaciones a partir de funciones de transferencia empírica del suelo obtenidas con registros de ruido ambiental y la técnica del cociente espectral H/V. Con base en información previa sobre la geología, geomorfología, hidrología y otros estudios se interpretarán los resultados obtenidos y se generarán escenarios sísmicos para diferentes períodos estructurales con los sismos de 1966 (8.1 Mw) y 1974 (8.0 Mw).

II. OBJETIVOS Y ALCANCES

2.1. Objetivos Específicos

- Evaluar el comportamiento dinámico del suelo utilizando el método del cociente espectral (H/V) con registros de vibración ambiental en el distrito de Bellavista.
- Estimar mapas de respuesta sísmica del terreno y de períodos estructurales de 0.1s, 0.5s, 1.0s para dos terremotos de subducción (1966 y 1974).
- Estimar los períodos fundamentales de una estructura de concreto armado y su comparación con el reglamento

2.2. Alcance

Con los resultados de este estudio, se propone un nuevo mapa de isoperíodos del distrito de Bellavista que refleje el comportamiento del suelo y del conglomerado.

III. ANTECEDENTES

3.1. Regionalización o zonificación sísmica del Perú

El Perú está ubicado en una de las regiones con mayor actividad sísmica del planeta, lo cual proviene del resultado de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana y de los reacomodos que se producen en la corteza producto de las fallas y/o fracturas existentes en la cordillera andina.

En ese sentido, el territorio peruano está dividido en cuatro zonas sísmicas definidas de acuerdo con la *distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos, la atenuación de estos con la distancia epicentral y la información de procesos geológicos y geomorfológicos existentes* (Norma de Diseño Sismorresistente E.030).



Figura 1. Mapa de factores de zona en el Perú.

Fuente: Extraido de Norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2016)

De acuerdo con la Norma E.030 cada zona tiene especificado un valor Z, valor que se interpreta como la aceleración máxima horizontal en **suelo rígido** (*rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte entre 500 y 1500 m/s*) con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años. El valor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 1. Factores de Zona.

Fuente: Norma de Diseño Sismoresistente E.030 (2016)

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Basándose en el Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, la zona en la que se encuentra el distrito de Bellavista es la 4 y le correspondería un valor Z de 0.45.

IV. Microzonificación del distrito de Bellavista

De acuerdo con los trabajos de zonificación realizados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) para Lima Metropolitana en los años 2004 y 2012, el distrito de Bellavista se encuentra dividido en tres zonas sísmicas: I, II y III.

Según Aguilar (2005) las zonas anteriormente mencionadas se describen de la siguiente manera:

Zona I: zona conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial – aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por

un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones (registros de vibración ambiental) que varían entre 0.1 y 0.3 s.

Zona II: en esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por un estrato superficial de suelos granulares finos y suelos arcillosos, cuyas potencias varían entre 3.0 y 10.0 m. Subyaciendo a estos estratos se encuentra la grava aluvial o coluvial. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de microtrepidaciones en esta zona varían entre 0.3 y 0.5s

Zona III: esta zona está conformada, en su mayor parte, por los depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor, que se encuentran en estado suelto. Los periodos encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s.

A continuación se presenta una imagen de la microzonificación del distrito de Bellavista en la cual se muestran las zonas detalladas anteriormente.



Figura 2. Microzonificación del Distrito de Bellavista.

Fuente: Extraido de CISMID (cemos.cismid-uni.org/cemos-redacis.html)

Al final del presente trabajo, y con los resultados procesados de la información recabada en campo, se podrá contrastar la microzonificación propuesta por los estudios anteriores y discutir la idoneidad de la misma o proponer algunas mejoras o cambios.

V. Hidrología

La recopilación de información sobre la hidrología del área de estudio es importante debido a que la presencia de ríos cercanos influye en las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Por lo tanto, se optó por recopilar información concerniente a la hidrología de la zona. Esta información hidrológica ayudará a ejecutar una correcta interpretación de los resultados obtenidos en la microzonificación sísmica. El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Rímac (ver Figura 3). La cuenca del río Rímac está dividida en nueve unidades hidrográficas. El distrito de Bellavista se encuentra dentro de la unidad hidrográfica “Bajo Rímac” que tiene una superficie de 441.03 km² según un informe del ANA (ANA, 2010).

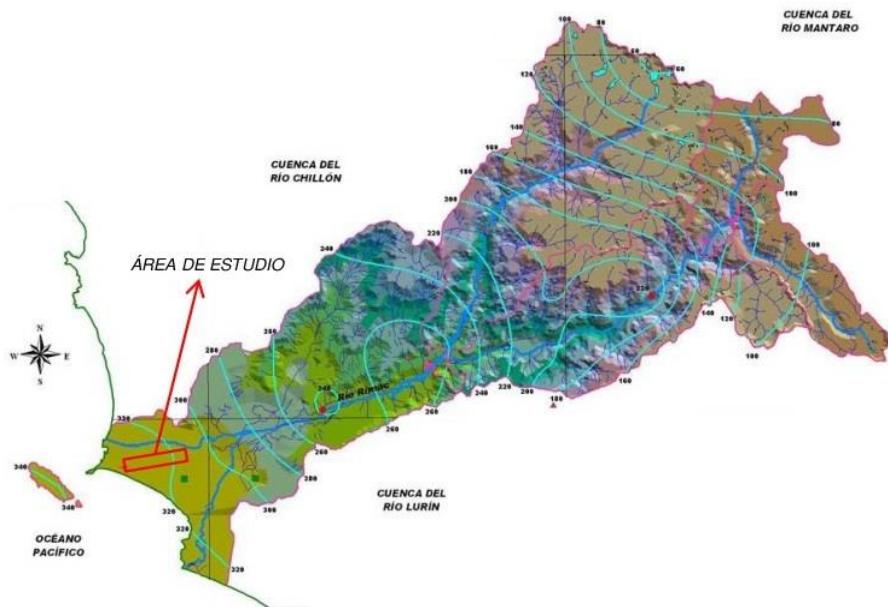


Figura 3. Cuenca del río Rímac (SENAHMI, 2013)

Asimismo, la Figura 4 muestra el posible paso de un antiguo canal dentro de la zona de estudio, representado por flechas de color azul. El paso de este canal puede haber causado la división del distrito en dos zonas de suelo con diferentes propiedades físicas y mecánicas. Si esta suposición es correcta, se podrá apreciar estas dos zonas de diferentes propiedades en los mapas de microzonificación sísmica.

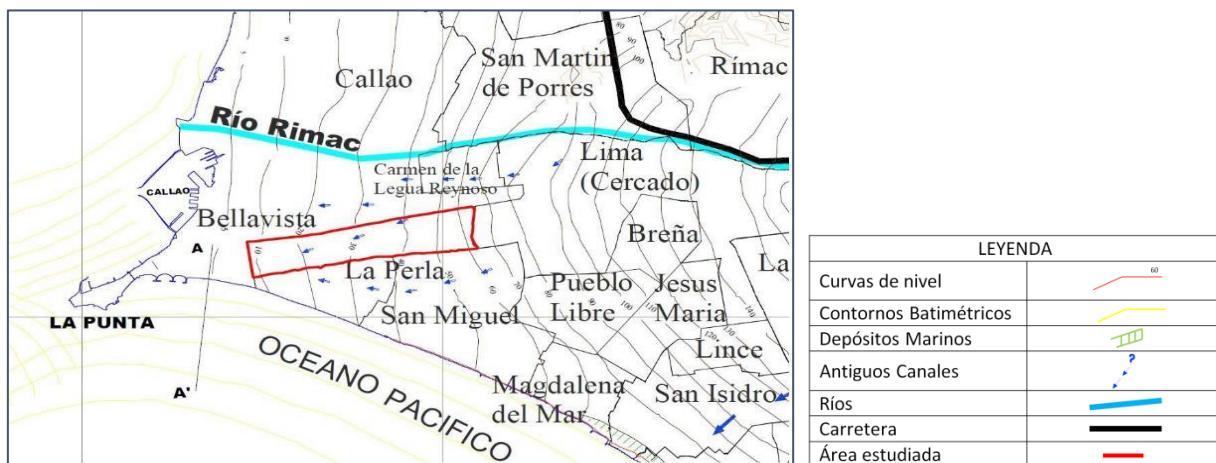


Figura 4. Curvas topográficas de la Ciudad de Lima (Aguilar y Alva, SF.)

VI. Paleovalles en la ciudad de Lima

En la Figura 5 se observa la existencia de un paleovalle próximo a la zona Este del Distrito de Bellavista (zona líneal azul). Esto puede explicar la diferencia entre los períodos de los estratos de suelo ubicados en la zona Este de Bellavista y la zona Oeste (Ver Figura 19 y Figura 20). La influencia del curso de agua antiguo (paleovalle) en los estratos de suelo se refleja en los tipos de depósitos presentes, así como los espesores superficiales de estos depósitos. Además en la formación los depósitos se debe tomar

en cuenta la filtración del agua, la cual modifica las características físicas y mecánicas del suelo (densidad, humedad, grado de saturación, módulo de elasticidad).

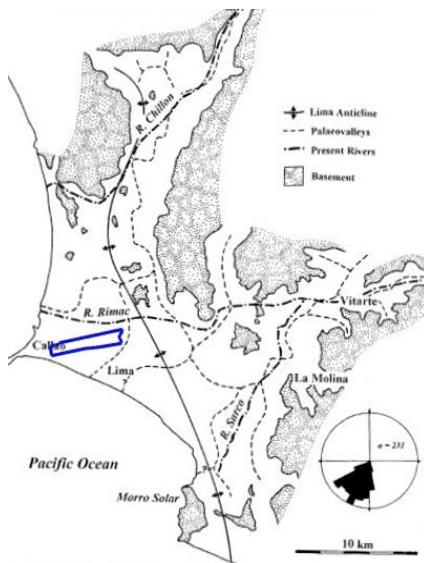


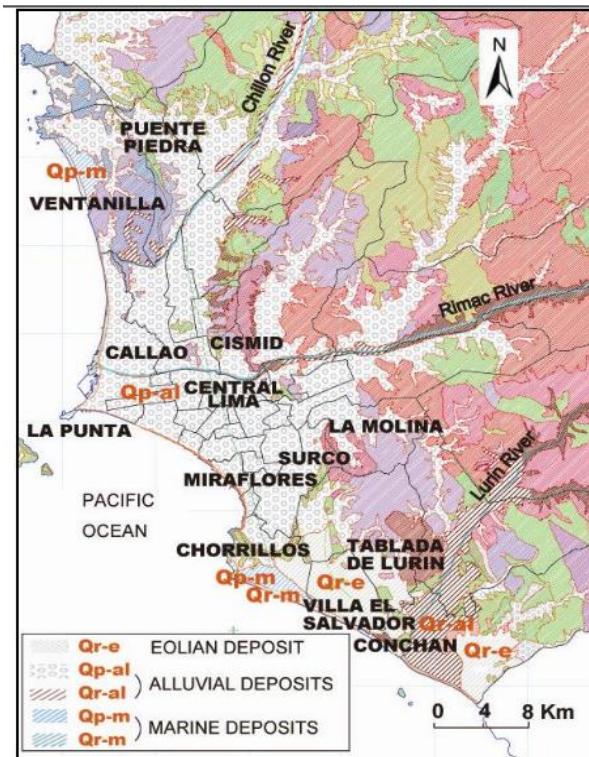
Figura 5. Paleovalles en Lima.
Fuente: Le Roux et al (2000).

VII. Geología de Lima

Según Calderón et. al. (2014), la geología en el área de la ciudad de Lima es el resultado de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Las unidades geológicas que la conforman son rocas sedimentarias, intrusivas y depósitos no consolidados. Los depósitos no consolidados provienen del periodo cuaternario y consisten en depósitos aluviales, coluviales, eólicos y marinos.

La mayor parte de la ciudad de Lima se asiente en depósitos aluviales, los cuales son consecuencia del transporte y acumulación de sedimentos por causa de los ríos Rímac y Chillón. Estos depósitos aluviales, según la norma técnica peruana E.050 son clasificados como GP (grava mal gradada), donde las partículas que la conforman se distribuyen entre bolones desde 20 hasta 50 cm de diámetro envueltas por una matriz de arena y limo. Lentes de arena fina, limo y arcilla son parte de la estratigrafía del suelo de Lima.

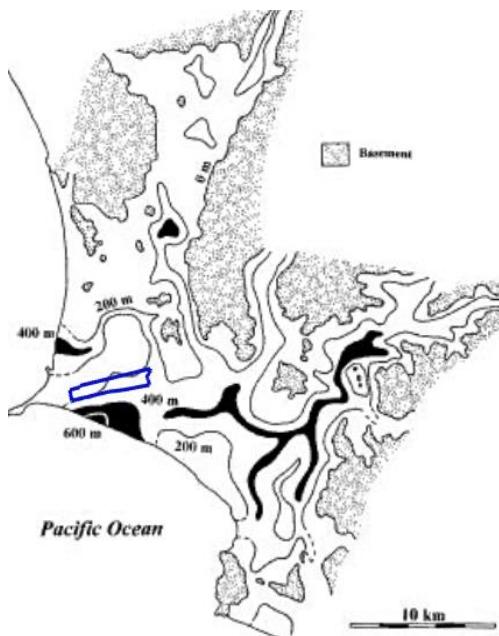
La Figura 6 presenta la distribución de los depósitos de suelos transportados en la Ciudad de Lima



*Figura 6. Mapa geológico de la Ciudad de Lima.
Fuente: INGEMMET (1992) y Martínez Vargas (1995)*

VIII. Geología de Lima – Basamento Rocoso

Esta Figura 7 es el resultado de mediciones de resistividad eléctrica realizado por J.E. Arce en 1984 y presentado por le Roux et. al. (2000). La figura presenta la ubicación del basamento rocoso en Lima según la profundidad. Según esta figura, la andesita en el distrito de Bellavista se encuentra a 300 metros de profundidad.



*Figura 7. Profundidad del basamento rocoso de la Ciudad de Lima.
Fuente:Le Roux et al (2000).*

IX. Geotecnia de Lima – Estratos de Suelo

La Figura 8 presenta la distribución de los tipos de suelo desde el enfoque geotécnico. Se puede apreciar que en la zona Este del Bellavista predomina la grava aluvial y conforme se el área de estudio se aproxima al mar el suelo predominante pasa de arena limosa a arcilla y suelo orgánico.

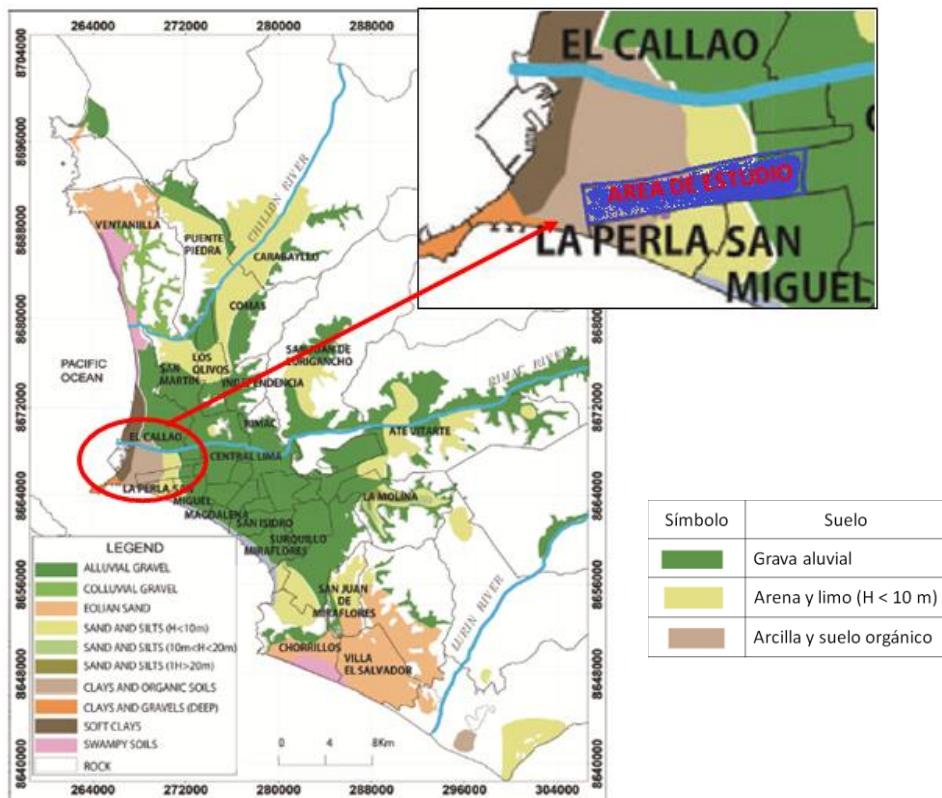


Figura 8. Distribución Geotécnica de suelos en Lima. Fuente: Calderón (2012).

En el área de estudio (ver Figura 9), se puede observar que a las unidades geomorfológicas le corresponden a 6 niveles de terrazas aluviales. En los alrededores se observan unidades correspondientes a un origen denudacional, eólico, marino, gravitacional y fluvial (Villacorta, 2015). En la Figura 10 se puede observar una perspectiva digital de las pendientes de las zonas cercanas al área de estudio.

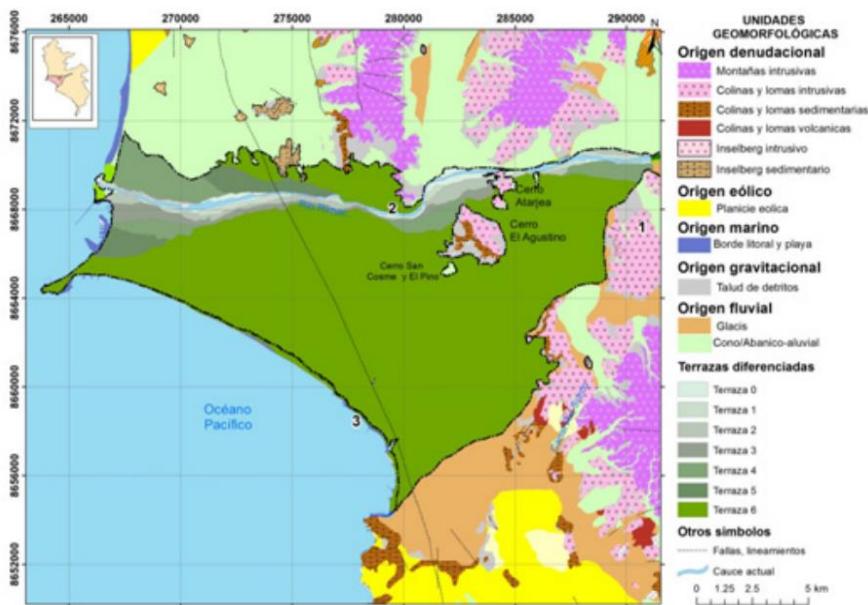


Figura 9. Unidades Geomorfológicas cercanas al área de estudio.

Fuente: Villacorta (2012)



Figura 10. Perspectiva en digital de las pendientes de las zonas cercanas al área de estudio.

Fuente: Google Earth 2017.

X. Geotecnia Bellavista

Tomando como referencia un estudio de suelos en la zona del actual C.C. Mall Aventura Plaza Bellavista (P-10 y P-23) se aprecia una estratigrafía donde la grava puede encontrarse a partir de 5.00 m de profundidad y en otra ubicación este estrato inicia prácticamente en la superficie. Lo anterior indica la variación de los estratos de suelo en la zona de Bellavista, lo cual se refleja en los valores variables de aceleraciones y períodos a lo largo del distrito (Ver Figura 19, Figura 23 y Figura 24).

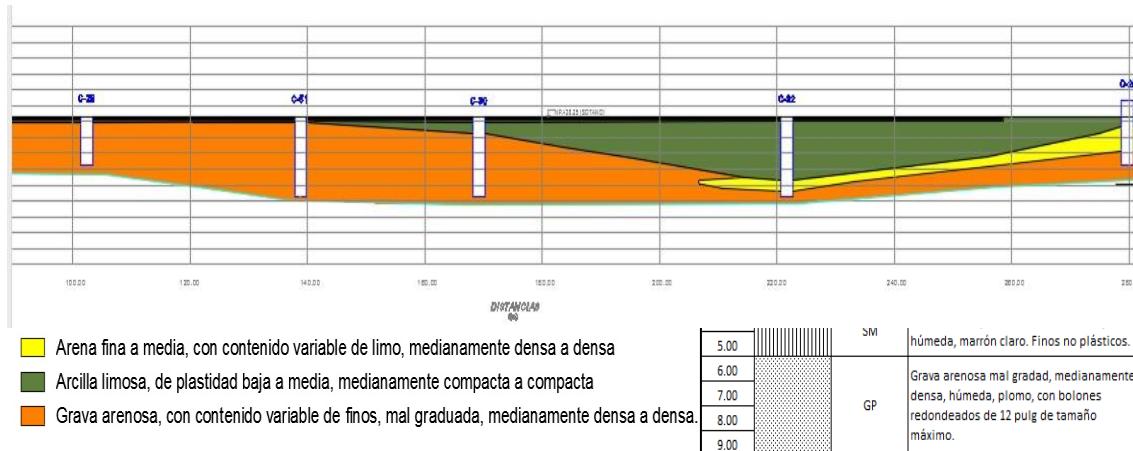


Figura 11. Estratigrafía variable en subsuelo zona del C.C. Mall Aventura Plaza Bellavista. Fuente: Elaboración Propia.

XI. Sismicidad del Perú: Características de los sismos de 1966 y 1974

a. Sismicidad histórica del Perú

La información sobre la sismicidad histórica del Perú se remonta a los años 1513 - 1532. La calidad de estos datos depende fundamentalmente de la distribución y densidad de la población en las regiones afectadas por los terremotos (Tavera y Buforn, 1998).

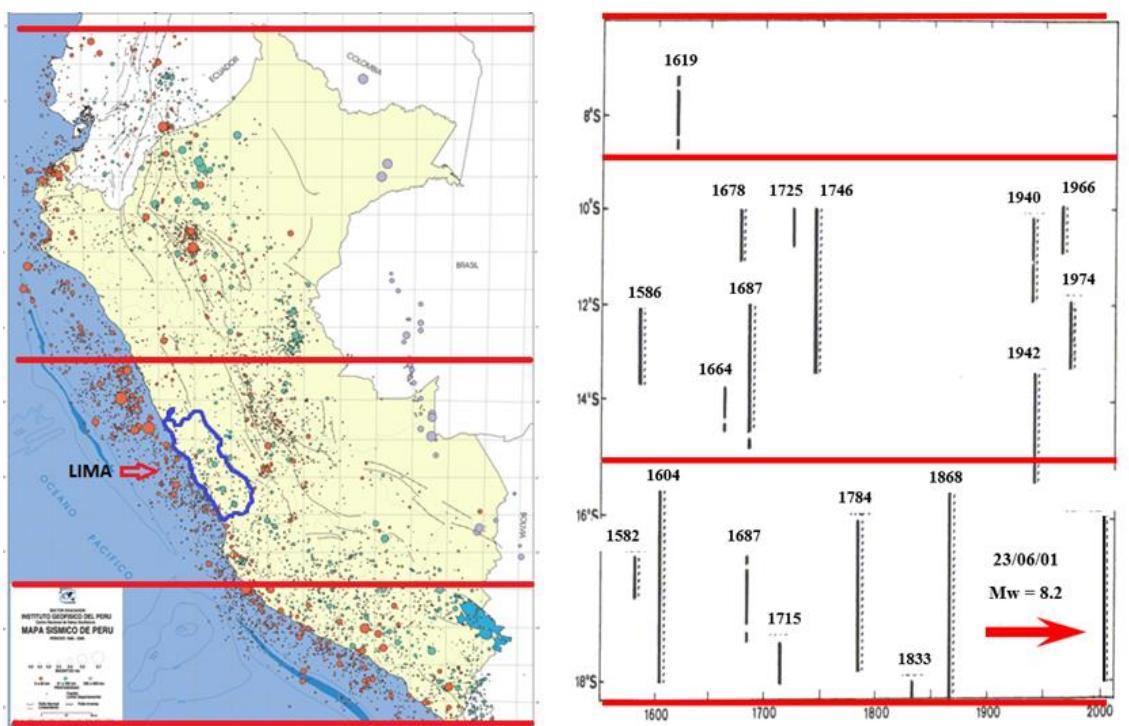


Figura 12. Mapa Sísmico del Perú. Fuente IGP.

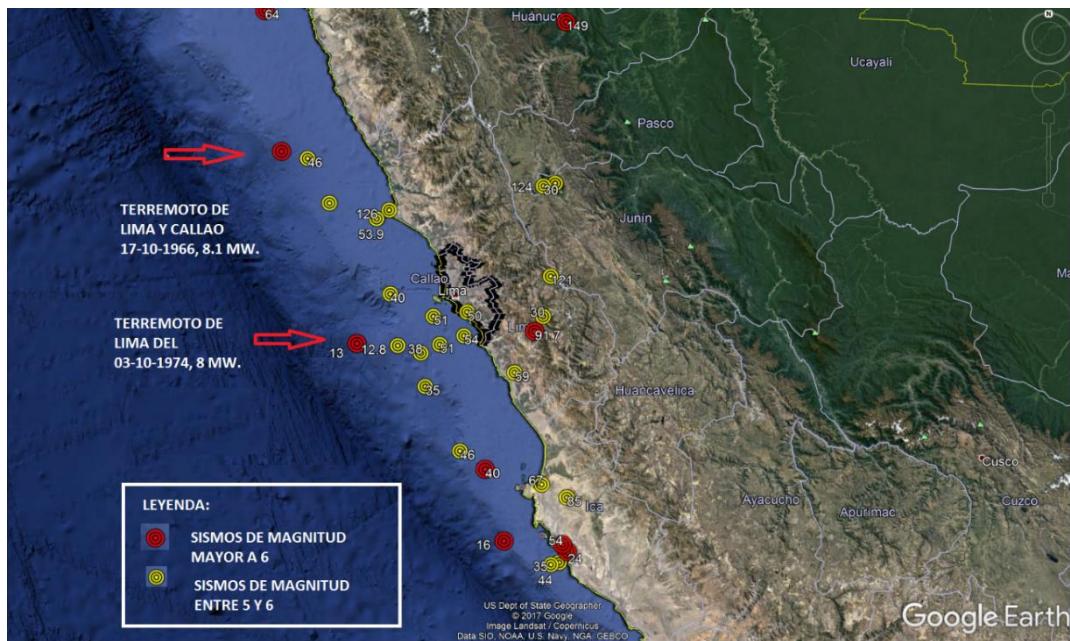


Figura 13. Sismicidad en el Perú. Sismos de 1966 y 1974. Elaboración Propia

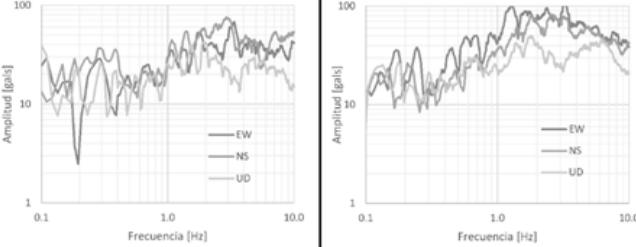
b. Sismos de 1966

El 17 de octubre de 1966 a las 21:41 UTC un fuerte sismo remeció Lima y Callao. Su epicentro se ubicó en el mar, frente a Huacho que tuvo una severidad de sacudimiento de VIII a IX MM (Jiménez et al., 2016)

c. Sismos de 1974

El 3 de Octubre de 1974 se produjo a las 9:21 (hora local) un fuerte sismo remeció Lima y toda la Costa hacia el Sur, hasta la ciudad de Pisco. Con una magnitud de 8 Mw o 6.6 mb.

Tabla 2. Características de los Sismos de 1966 y 1974 registrados en la estación Parque de la Reserva

Estación	Parque de la Reserva (PQR)	
Fecha	17 de Octubre 1966	03 de Octubre de 1974
Magnitud	8.1 Mw	6.6 mb
Distancia a epicentro (Km)	236	114
PGA (gals)	268	194
Espectro de Fourier		

Se ha elegido a los sismos de Lima 1966 y Lima 1974 debido a que se ocurrieron

relativamente cerca de la zona de Bellavista. El sismo de Lima de 1970 no fue considerado porque su mecanismo de ruptura corresponde a una falla normal dentro de la placa de subducción en lugar del área de interplacas.

De los espectros de Fourier se puede ver que, para ambos sismos, el contenido de frecuencias predomina en el intervalo de 1 a 10 Hz.

1.8 Mediciones de periodos realizado por D. Calderón (2014)

En el año 2014, en la tesis doctoral de Calderón (2014) se realizaron estudios de microzonificación basado en puntos de exploración geotécnicos y geofísicos distribuidos alrededor de la zona de estudio que fue Lima y Callao. La figura 2 muestra la distribución de los puntos que se analizaron así como el periodo de vibración que define la respuesta sísmica del suelo. Se llegó a determinar la magnitud de los períodos gracias a la exploración geofísica, la cual consistió en medidas de microtemor de un punto. Los microtemor son definidos como vibración ambiental y ruido (Lermo et al., 1988 y 1994). Luego de realizar los registros con microtremor, se empleó el método de Nakamura para el cálculo del periodo fundamental de vibración de los suelos. Este método también es conocido como método del espectro H / V, el cual consiste en la división de la componente de Fourier horizontal con la componente de Fourier vertical. El período fundamental es el período correspondiente al valor máximo del espectro H / V.



Figura 14. Mapa de Isoperíodos obtenidos a través de la microzonificación realizadas por Calderón (2012)

II.- EVALUACIÓN DEL EFECTO DE SITIO PARA LA MICROZONIFICACIÓN

2.1 Levantamiento de datos en campo

El levantamiento de datos de campo se llevó a cabo el día 10 de agosto del 2017. El trabajo consistió en el registro de 27 puntos de medición mediante el empleo del sismómetro CMG-6TD dentro de una zona delimitada del distrito de Bellavista como se puede observar en la Figura 15. La medición fue realizada por dos cuadrillas conformadas por 11 y 12 personas, bajo la guía y supervisión del Ing. Javier Lermo. Una

de las estrategias empleadas durante el registro del ruido fue alejar la ubicación del sismómetro de las avenidas principales con el fin de evitar perturbaciones en el registro.



Figura 15. Distribución de Puntos de medición en el Distrito de Bellavista

En la Tabla 3. Ejemplo de Ficha Técnica con los datos de campo registrados se observa un ejemplo de Ficha Técnica con los datos de campo más importantes. Las funciones dentro de las cuadrillas de trabajo se distribuyeron pertinentemente para lograr que la información recolectada sea los más precisa posible. En el Anexo 2 se encuentran las fichas técnicas de los 27 puntos de medición.

Tabla 3. Ejemplo de Ficha Técnica con los datos de campo registrados

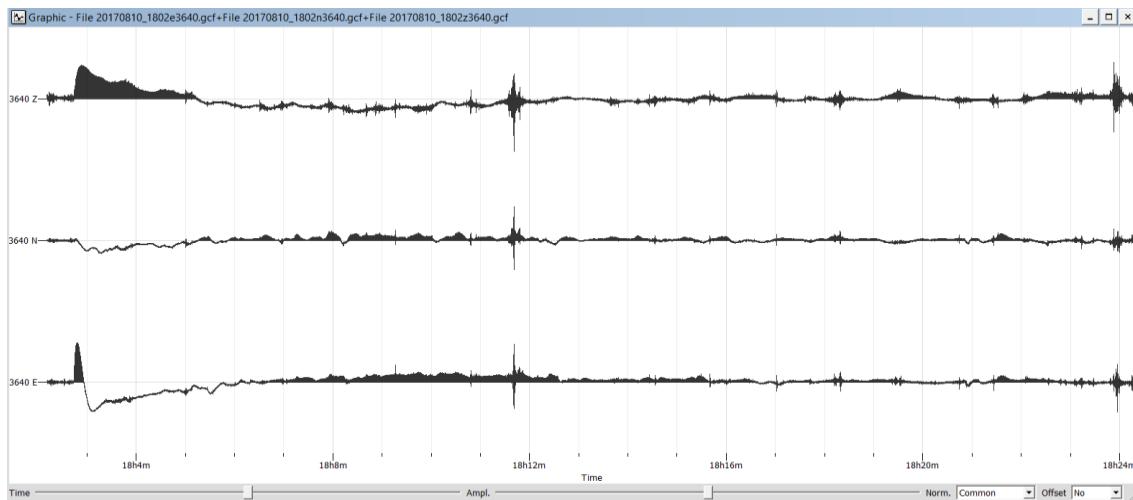
Punto:	P-15	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	9:08	Hora fin:	9:29
Longitud:	-77.133118	Latitud:	-12.067033
Referencia:	Intersección de Jr. Vigil y Jr. Atahualpa		




2.2 Procesamiento de datos

Después del registro de datos se realizó el procesamiento de los mismos. Para cada punto registrado se obtuvieron tres registros para cada coordenada N, E y Z (Figura 16) y se cargaron en el software Geopsy v2.9.0. Este software posee una interfaz gráfica

para organizar, ver y procesar señales geofísicas (Bard, 1999).



*Figura 16. Registro de onda del punto 6 de las coordenadas Z, N y E respectivamente
(Analizado con el Software Geopsy)*

2.3 Determinación de la función de transferencia empírica

La influencia de la geología local y las condiciones de suelo sobre la intensidad y daño de un terremoto es una realidad conocida desde hace muchos años (Kramer, 1996). Esta influencia proviene del efecto de sitio. Una forma de evaluar el efecto de sitio es determinar la amplificación de una señal de un determinado punto respecto a otro con características geológicas distintas mediante la función de transferencia. La función de transferencia nos indica el número de veces que se amplifica una onda sísmica identificando su intervalo de frecuencias (Bard, 1999; Tsige et. al, 2016).

El cociente de las amplitudes espectrales de las mediciones del ruido ambiental H/V (horizontal sobre vertical) planteado por Nakamura (1989) ha sido utilizado como base para determinar la función de transferencia empírica de cada punto. Un total de 27 registros fueron procesados mediante esta técnica con la ayuda del software Geopsy que permite calcular las razones espectrales de manera rápida. Los parámetros ingresados en el software son los siguientes:

Tabla 4. Parámetros ingresados en el software Geopsy

Parámetro	Valor
Longitud de ventanas	40.96 s
Overlap	50%
Suavizado	Konno & Ohmachi
Ancho de espesor del taper coseno	5%
Frecuencia	0.1 Hz a 10 Hz
Número de ventanas	34

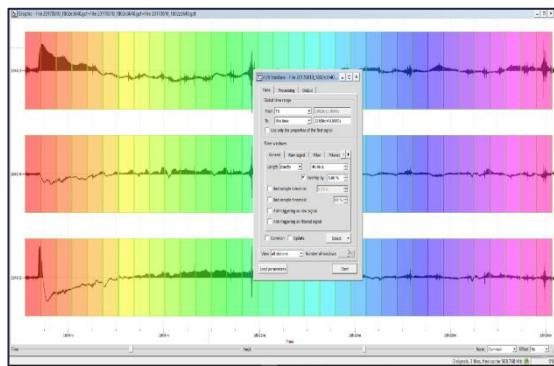


Figura 17. Obtención de función de transferencia a partir del registro de onda del punto 6 (Software Geopsy)

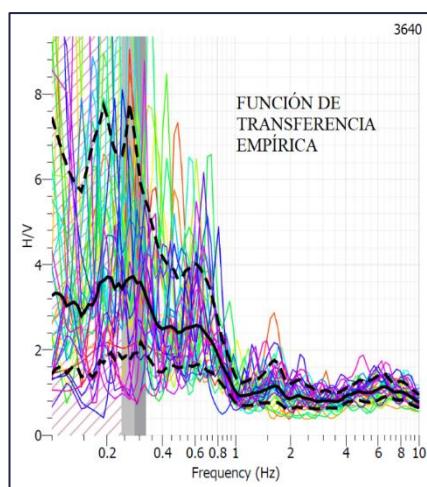


Figura 18. Función de transferencia empírica del punto 6 (Software Geopsy).

2.4 Mapa de isoperiodos ($T=0.1\text{s}, 0.5\text{s}, 1\text{s}$)

La Figura 19 muestra el mapa de isoperiodos del suelo. Los valores en la zona de estudio están entre 0.1s a 0.2s a excepción de 2 puntos (P 8 y P11) en los cuales el periodo es 0.6s.

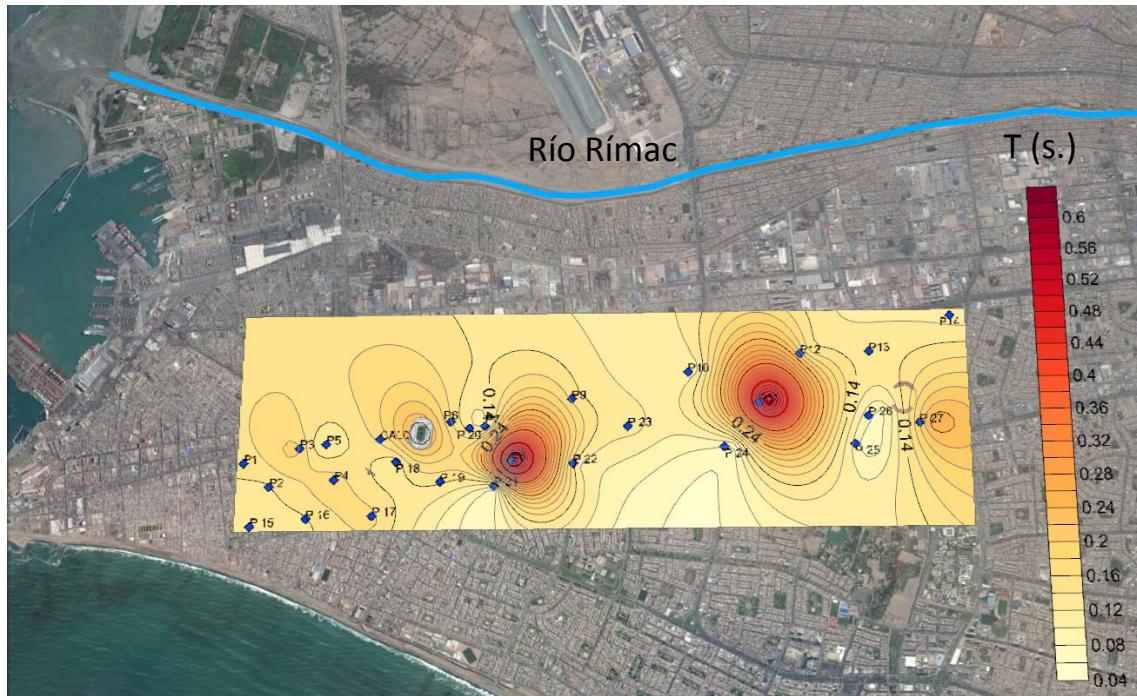


Figura 19 Mapa de isoperiodos (s)- Suelo

La Figura 20 muestra el mapa de isoperiodos en el conglomerado. Los valores en la zona de estudio están entre 0.7s a 3s. Los valores más altos se encuentran en los puntos P15, P17 y P19.

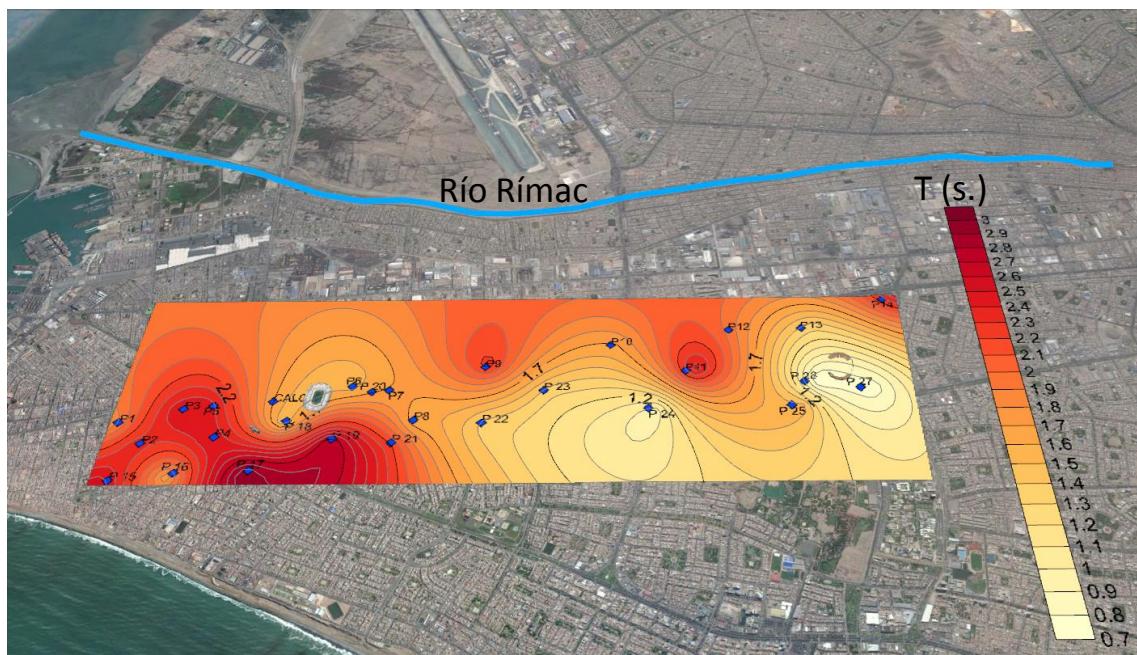


Figura 20 Mapa de isoperiodos (s)- Conglomerado

IV. ESCENARIOS SISMICOS

4.1 Características geotécnicas del sitio

A partir de las gráficas de función de transferencias empíricas, se propuso funciones de transferencia teóricas suponiendo diferentes velocidades de corte Vs y distintos espesores de estrato para cada punto de medición.

Como iteración inicial, se utilizó la estratigrafía propuesta en la Tesis de Diana Calderón (2011) para luego sobre ésta aumentar los espesores del conglomerado que afectan a la función de transferencia en las frecuencias más bajas.

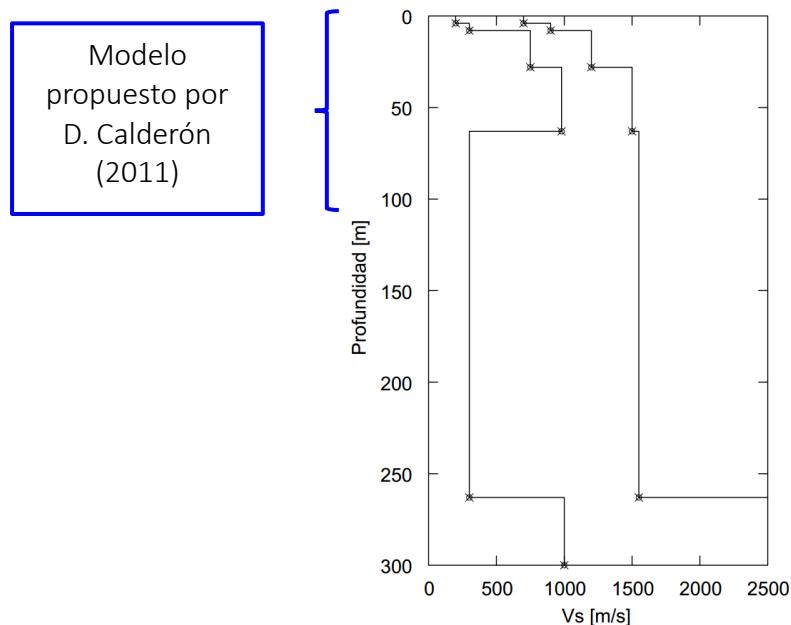


Figura 21: Rango de velocidades de ondas S

Los de las estratigrafías estimadas en la Figura 21 para todos los puntos se resumen en la siguiente Tabla 5

Tabla 5: Rango de velocidades de onda S por estrato

Estrato	Velocidad [m/s]
Suelo	200 - 900
Conglomerado 1	750 - 1200
Conglomerado 2	980 - 1500
Conglomerado 3	300 - 1500
Roca	1000 - 5000

Se observa que el espesor estimado de conglomerado es de alrededor de 250 metros sin embargo se identifican tres tipos de acuerdo con la velocidad que viajan las ondas S.

Es entonces que la estratigrafía propuesta es la que se observa en la Figura 22 donde

se visualiza que el espesor del suelo es de alrededor de 8 metros, del conglomerado de 250 metros y por debajo de eso se encuentra el basamento rocoso de andesita.

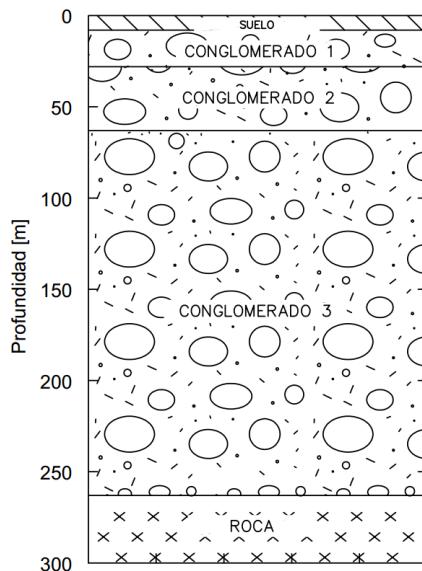


Figura 22: Perfil estratigráfico propuesto

4.2 Mapa de aceleraciones máximas en suelo (gal)

En las Figura 23 y Figura 24 muestran los mapas de aceleraciones máximas en el suelo (PGA) para los sismos de 1966 y 1974 respectivamente.

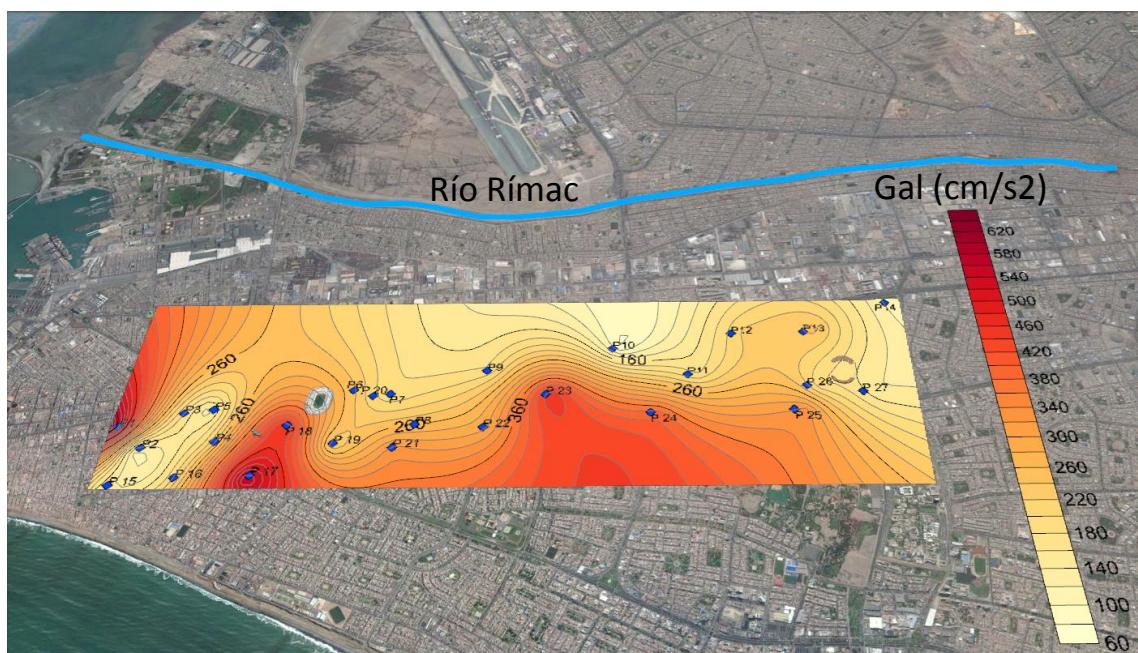


Figura 23 Aceleración Máxima del suelo (PGA)- 1966

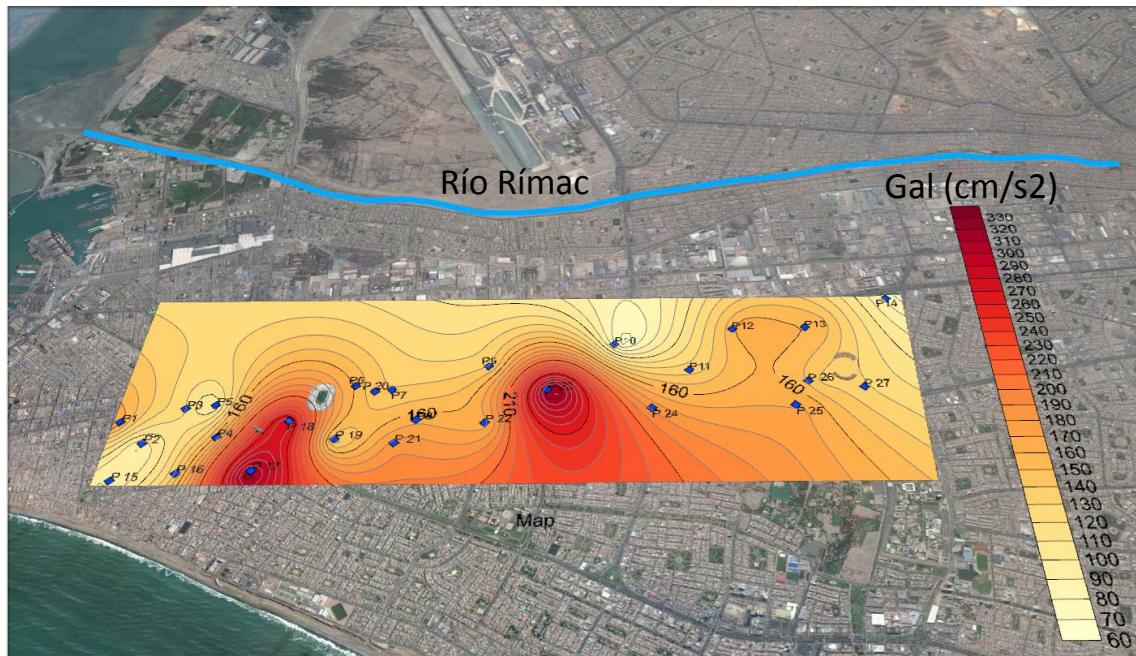


Figura 24 Aceleración Máxima del suelo (PGA)- 1974

4.3 Mapa de isoaceleraciones sismos de 1966 y 1974

En las Figura 25 y Figura 26 muestran los mapas de isoaceleraciones ($T=0.1\text{s}$) para los sismos de 1966 y 1974 respectivamente. En ambos mapas de observa que los puntos P18 y P23 presentan los mayores valores. En consecuencia, se distinguen dos zonas de aceleraciones predominantes.

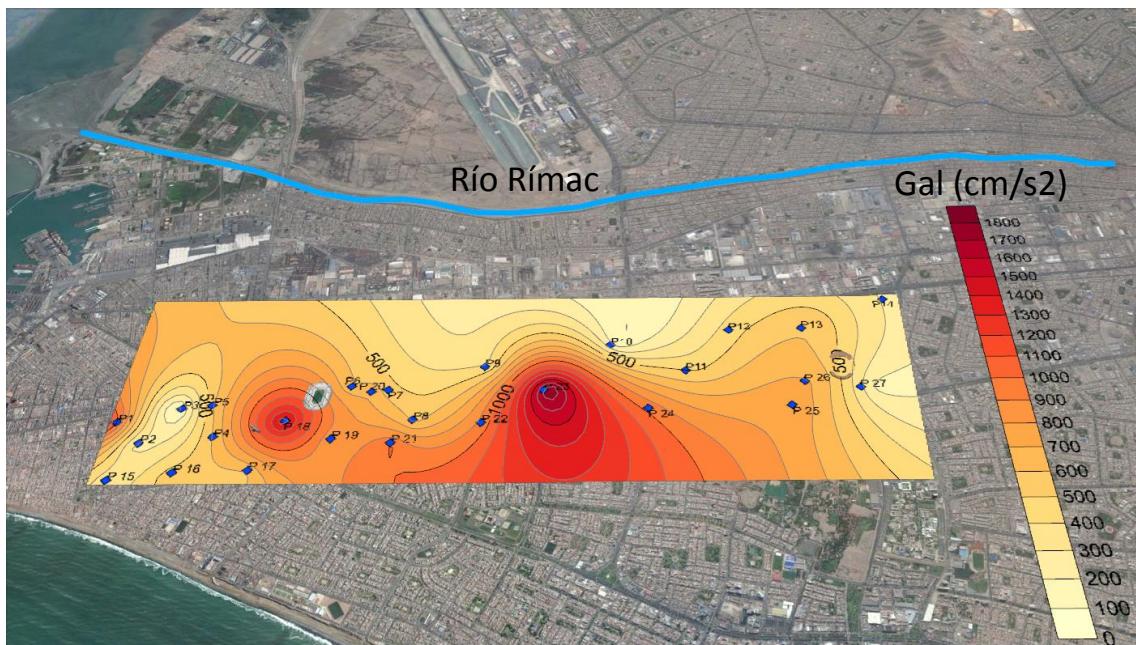


Figura 25 Mapa de isoaceleraciones $T=0.1\text{s}$ - Sismo de 1966

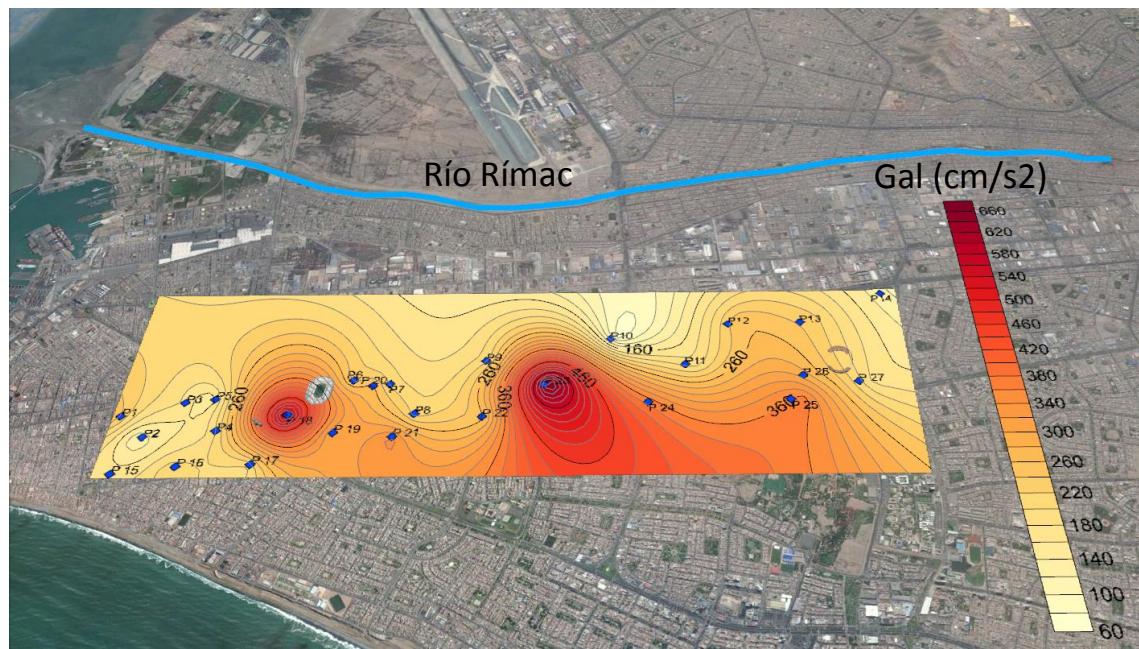


Figura 26 Mapa de isoaceleraciones $T=0.1$ s - Sismo de 1974

4.4 Mapa de isoamplificaciones

La Figura 27 muestra el mapa de isoamplificaciones del suelo. Los valores en la zona de estudio están entre 0.7 y 4.7. El punto con mayor amplificación es P25.

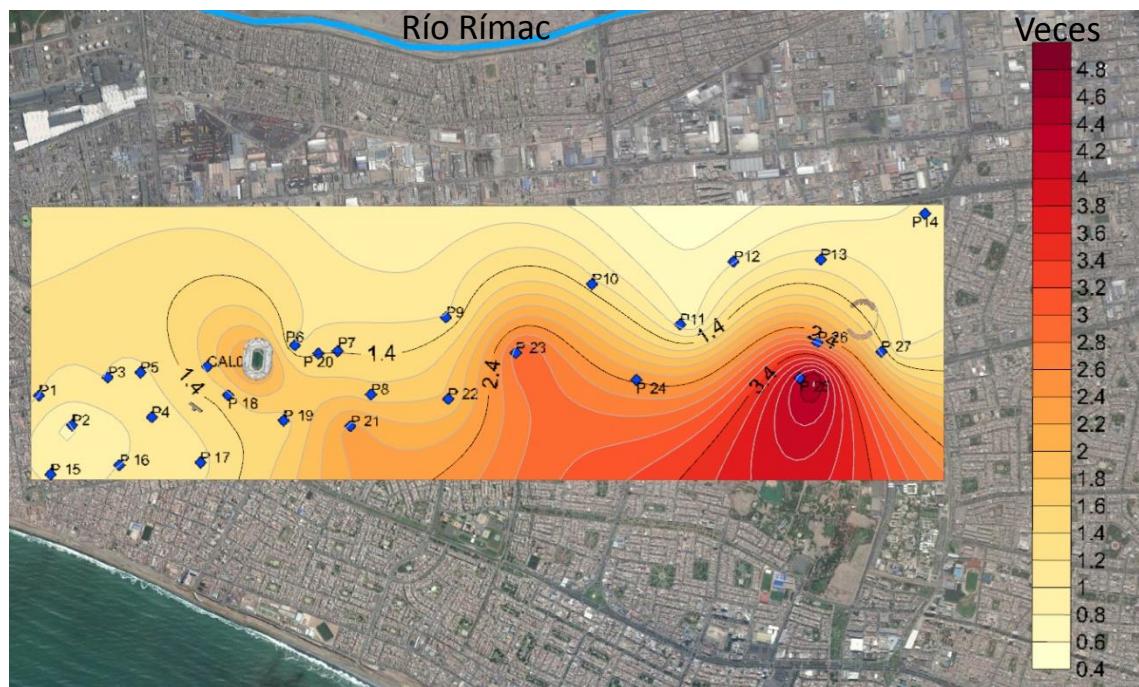


Figura 27 Mapa de isoamplificaciones de suelo (veces)

La Figura 28Figura 27 muestra el mapa de isoamplificaciones del conglomerado. Los valores en la zona de estudio están entre 1 y 4.6 veces. El punto con mayor amplificación es P17.

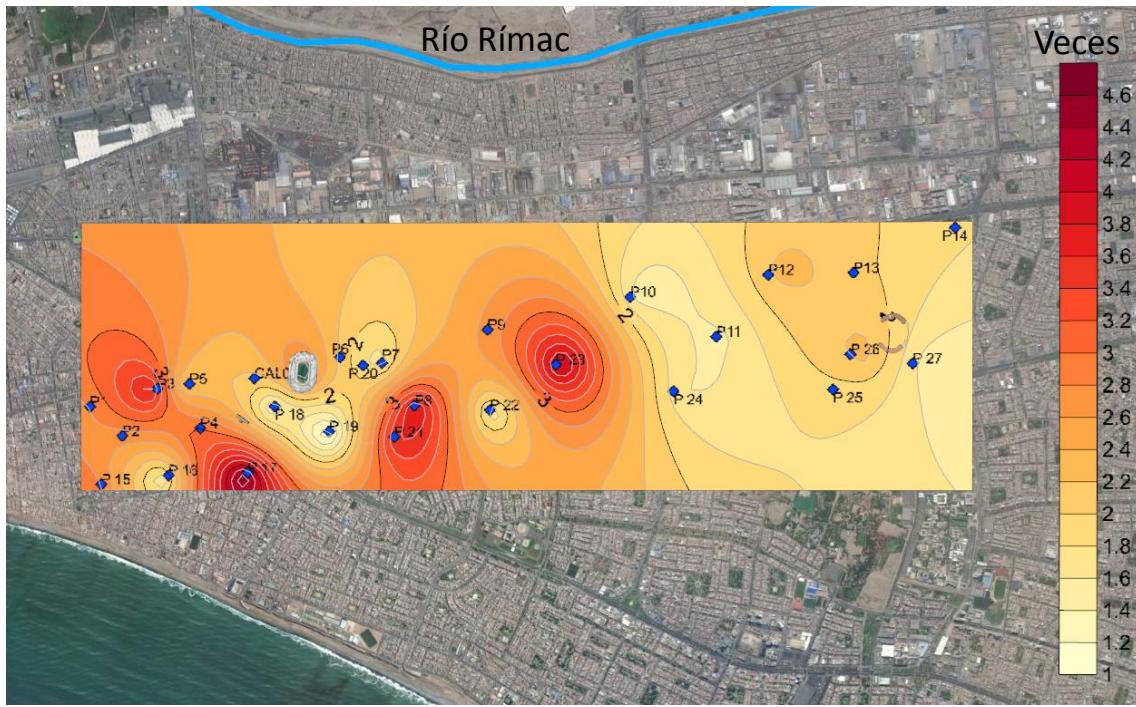


Figura 28: Mapa de isoamplificaciones de conglomerado (veces)

V. ESTIMACIÓN DE LOS PERIODOS DOMINANTES DEL EDIFICIO MCGREGOR

5.1 Edificación evaluada

Se evaluó el edificio McGregor de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La estructura consta de dos edificios de 5 pisos conectados con otro edificio de 12 pisos. El análisis solo se hizo para el edificio A y B. Se estimó el periodo según la norma y de manera experimental utilizando sismómetros los cuales fueron colocados en la parte superior de la estructura en la ubicación mostrada en la siguiente imagen.

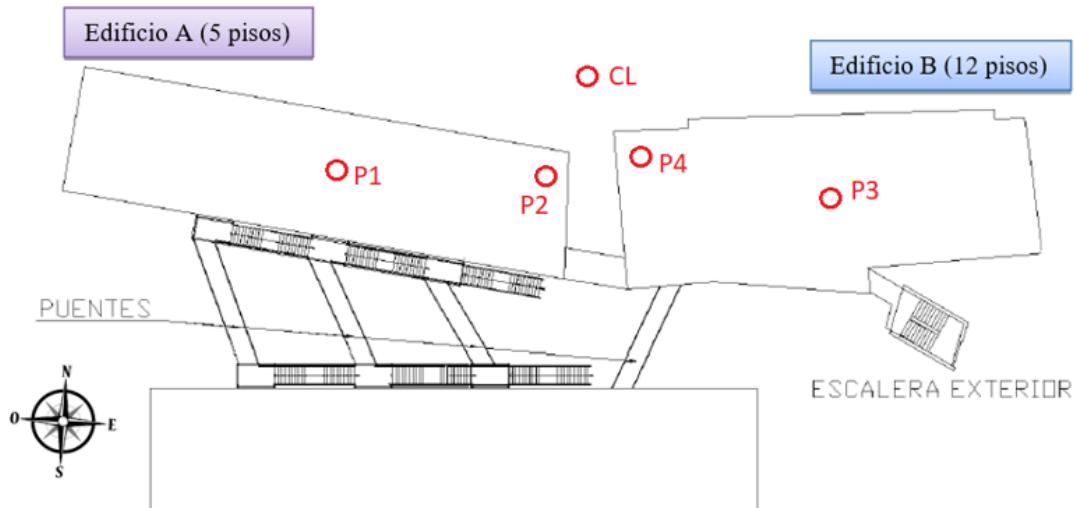


Figura 29. Edificaciones evaluadas

Leyenda de registros:

- P1 : Parte central del edificio A. (Nivel quinto piso)
- P2 : Esquina del edificio A. (Nivel quinto piso)
- P3 : Parte central del edificio B. (Nivel de azotea)
- P4 : Esquina del edificio B. (Nivel de azotea)
- CL : Nivel del terreno natural.

5.2 Estimación teórica con la norma E.030

La norma técnica peruana E.030 “Diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones” sugiere una fórmula para poder estimar el periodo de la edificación:

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

Donde:

h_n : Altura de la edificación

C_T : Factor que depende del sistema estructural utilizado

Para el caso del edificio McGregor de 12 pisos se tiene una altura de la edificación $h_n = 3 * 12 = 36$, al multiplicar la altura de entrepiso (3) por el número de pisos (12). El sistema utilizado en la estructura es de pórticos de concreto armado con muros de corte para lo cual corresponde un valor $C_T = 60$.

El periodo estimado utilizando el RNE será $T=36/60 = 0.6$ segundos.

De manera similar para el edificio de 5 pisos tendremos $T= 15/60 = 0.25$ segundos.

La norma no propone una manera de estimar el periodo torsional de un edificio.

5.3 Estimación experimental

Se tomaron registros del ruido ambiental utilizando sismómetros ubicados en la parte superior de las estructuras de 5 y 12 pisos.



Figura 30. Sismógrafo utilizado

Edificio de 5 pisos

Por medio del equipo se obtiene los registros de vibración ambiental en las direcciones Norte – Sur, Este – Oeste y vertical en el edificio de 5 pisos. Estas señales son procesadas por medio de una línea base, como también se obtuvo el espectro de Fourier de cada señal. En las siguientes imágenes se muestra el procesamiento de una ventana de 40 segundos de cada señal.

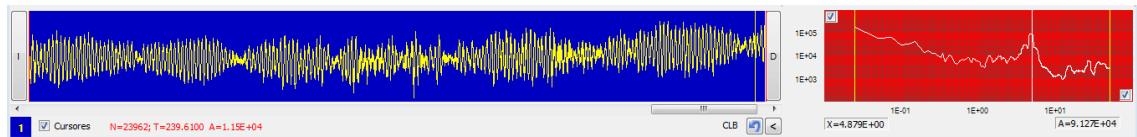


Figura 31. Registro del ruido ambiental Norte - Sur y espectro de Fourier



Figura 32. Registro del ruido ambiental Este - Oeste y espectro de Fourier

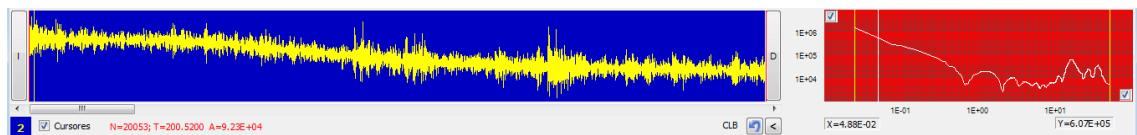
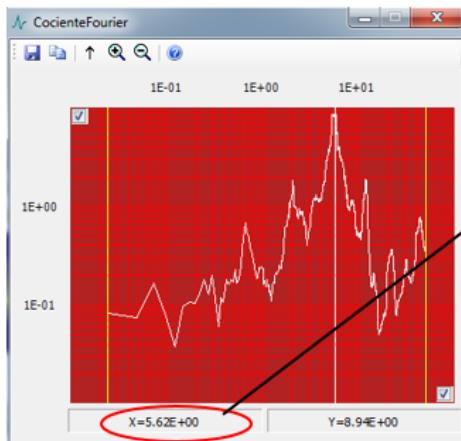
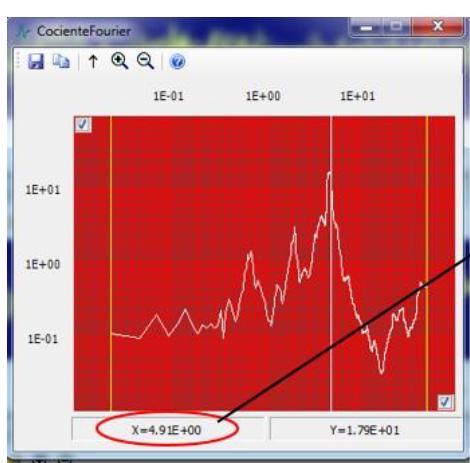


Figura 33. Registro del ruido ambiental vertical y espectro de Fourier

Por medio de estos espectros se obtuvo el cociente de Fourier para obtener los períodos fundamentales de este edificio en cada dirección.



Norte – Sur:
 Frecuencia fundamental: 5.62 Hz
 Periodo fundamental: 0.18 segundos



Este – Oeste:
 Frecuencia fundamental: 4.91 Hz
 Periodo fundamental: 0.20 segundos

Figura 34. Cociente de Fourier entre Norte – Sur y la vertical

Además, se realizó un cociente de Fourier de las señales Norte – Sur tomadas en el extremo y la zona central del edificio, para así obtener el periodo de torsión de la estructura.

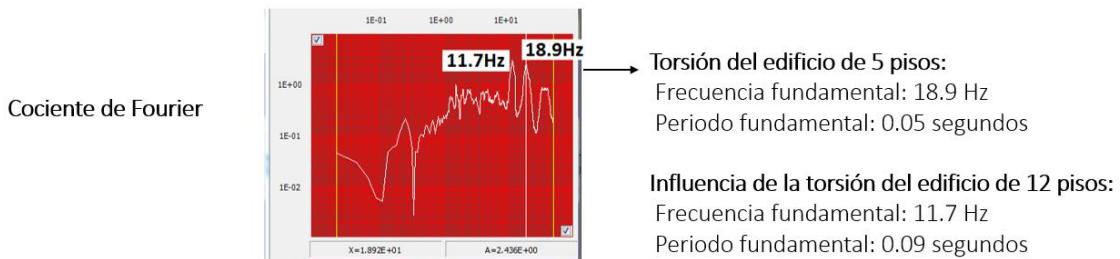


Figura 35. Cociente de Fourier entre Este – Oeste y la vertical

Como se aprecia en esta imagen, no solo la frecuencia de torsión del edificio de 5 pisos aparece, sino también la del edificio de 12 pisos. Esto puede haber sucedido ya que ambos edificios están interconectados por medio de puentes en cada piso, por lo que la influencia de los edificios aledaños no es despreciable.

Edificio de 12 pisos

El registro del ruido obtenido para la dirección Norte - Sur se observa en la siguiente imagen para una ventana de 40 segundos. En esta ocasión no fue necesario analizar el cociente de Fourier, ya que con el espectro de Fourier de cada señal era suficiente.

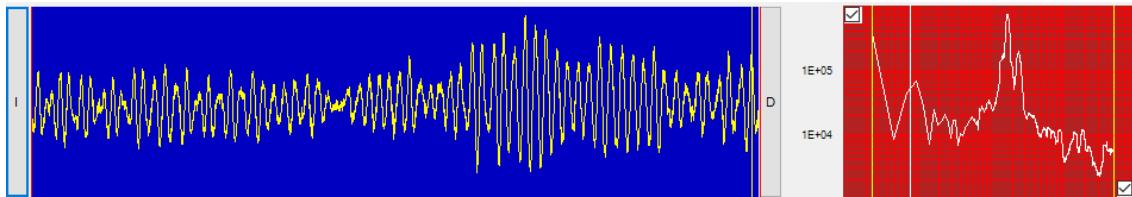


Figura 37. Registro del ruido ambiental Norte - Sur y espectro de Fourier

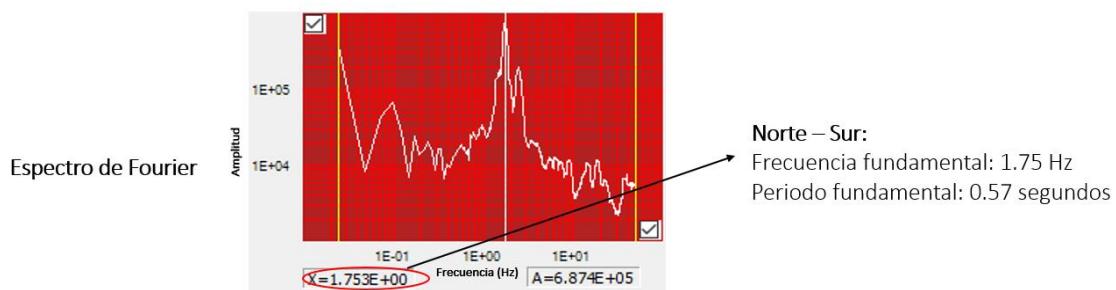


Figura 38. Espectro de Fourier Norte - Sur

A continuación se presenta el registro del ruido obtenido para la dirección Este - Oeste.

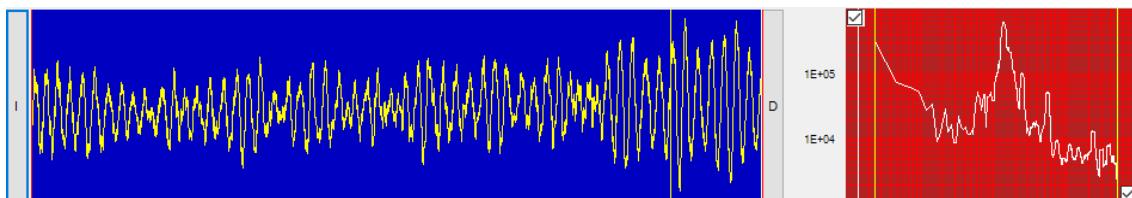


Figura 39. Registro del ruido ambiental y espectro de Fourier

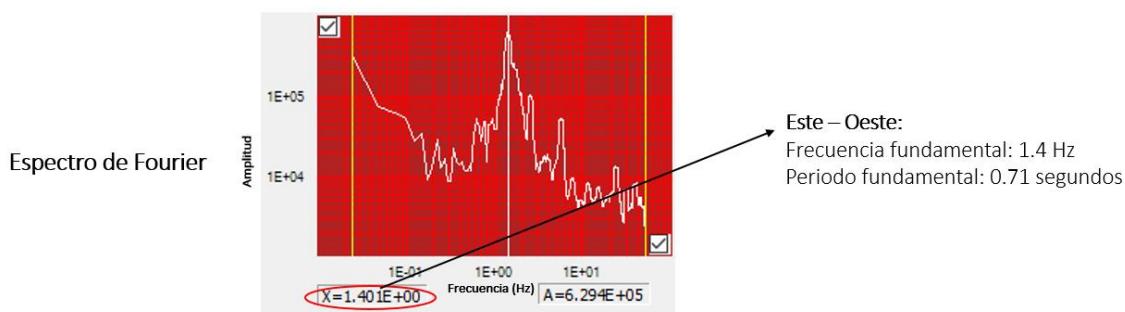
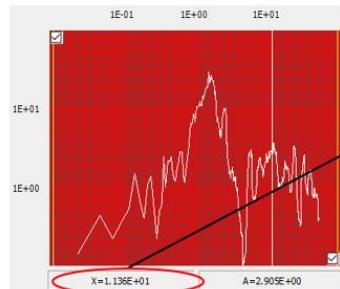


Figura 40. Espectro de Fourier Este - Oeste

Como en el caso del edificio anterior, para estimar el periodo de torsión se dividieron los espectros de fourier de las señales obtenidas en un extremo y la zona central de la azotea. Para el caso del edificio de 12 pisos tendremos los valores mostrados en la siguiente imagen.

Cociente de Fourier



Torsión del edificio de 12 pisos:
 Frecuencia : 11.30 Hz
 Periodo: 0.09 segundos

Figura 41. Cociente de Fourier Norte – Sur del extremo y zona central del edificio

En esta imagen se aprecia únicamente un pico predominante de torsión. Esta frecuencia torsional también se aprecio en el cociente de Fourier del edificio de 5 pisos, sin embargo, en este caso no se aprecia el efecto torsional del edificio de 5 pisos.

5.4 Resumen

En la siguiente figura se detalla el resumen de los periodos obtenidos por el método experimental, la estimación de la norma peruana E.030 y de un modelamiento estructural del Ing. José Antonio Terry Rajkovic (2014) de su tesis de licenciatura.

Tabla 6. Resumen de los periodos de los edificios de 5 y 12 pisos

	EDIFICIO DE 5 PISOS					
	DIRECCIÓN NORTE - SUR (TRANSVERSAL)		DIRECCIÓN ESTE - OESTE (LONGITUDINAL)		TORSIÓN	
	Frecuencia (Hz)	Periodo (Seg)	Frecuencia (Hz)	Periodo (Seg)	Frecuencia (Hz)	Periodo (Seg)
Norma E030	4.00	0.25	4.00	0.25	-	-
Tesis	2.50	0.40	2.50	0.40	-	-
Experimental	5.62	0.18	4.91	0.20	18.90	0.05

	EDIFICIO DE 12 PISOS					
	DIRECCIÓN NORTE - SUR (TRANSVERSAL)		DIRECCIÓN ESTE - OESTE (LONGITUDINAL)		TORSIÓN	
	Frecuencia (Hz)	Periodo (Seg)	Frecuencia (Hz)	Periodo (Seg)	Frecuencia (Hz)	Periodo (Seg)
Norma E030	1.67	0.60	1.67	0.60	-	-
Tesis	1.56	0.64	0.91	1.10	-	-
Experimental	1.75	0.57	1.40	0.71	11.30	0.09

Como se aprecia en la tabla anterior, los períodos experimentales son muy cercanos a las estimaciones propuestas por la norma peruana E.030, sin embargo, los resultados del Ing. José se encuentran alejados de los períodos mencionados anteriormente. Una explicación a esto es que el modelamiento se realizó para una estructura ideal y que el cálculo de los períodos se realiza en una estructura con diferente sobrecarga, rigidez, edad, entre otros.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la microzonificación sísmica se presentaron en mapas de isoperíodos e isoamplificaciones. Los escenarios sísmicos con los sismos de 1966 y 1974 se presentaron en mapas de intensidad para la aceleración máxima del suelo y distintos períodos estructurales.

El mapa de isoperíodos del estrato de suelo muestra que la mayoría de puntos en el distrito de Bellavista están entre 0.1 a 0.2 segundos a excepción de los puntos P 8 y P11. En estos puntos el periodo es 0.6 segundos. En el mapa de isoperíodos del conglomerado, los puntos de registro muestran que los periodos de vibración se encuentran en su mayoría entre 0.7 y 3 segundos. Los puntos P15, P17 y P19 presentan los valores máximos. Por otro lado, el mapa de isoamplificaciones del suelo muestra que los valores en la zona de estudio están entre 0.7 y 4.7 veces de amplitud. En el caso del conglomerado, los valores en la zona de estudio están entre 1 y 4.6 veces.

Los escenarios sísmicos para los sismos de 1966 y 1974 se presentaron en mapas de intensidad sísmica para la aceleración máxima del suelo y los períodos estructurales de 0.1, 0.5s y 1.0 segundos. Se observa una distribución de las aceleraciones máximas similar para ambos sismos y en cada uno de los casos analizados. Puede observarse que las aceleraciones pico tienden a presentarse en tres zonas: los puntos P12, P18 y P23.

VI. CONCLUSIONES

Las funciones de transferencia empírica (FTEs) obtenidas con registros de ruido ambiental y la técnica del cociente espectral H/V muestran que a lo largo del distrito de bellavista dinámicamente existen dos estratos de suelo. El conglomerado que vibra entre 0.6 Hz y 1.4 Hz y el suelo superficial que lo hace entre los 8 y 10 Hz. Este resultado se confirma mediante los sondeos geotécnicos realizados en el lugar que muestran que en algunas zonas del distrito el conglomerado y el suelo superficial varían su profundidad. Asimismo, el ajuste de las FTEs a funciones de transferencia teórica (FTTs), mediante modelos estratigráficos de velocidad de onda S y el método de Haskell confirmaron la existencia y profundidad de estos dos estratos. El análisis partió de perfiles estratigráficos previos y los modelos resultaron en que el basamento rocoso se encuentra a 250 metros de profundidad.

Se generaron mapas de isoperíodos e isoamplificaciones para cada uno de estos dos estratos. Los resultados muestran que el comportamiento dinámico del suelo en el distrito de Bellavista podría dividirse en 4 zonas en función al periodo de vibración del suelo y su amplificación. Los valores de amplificación obtenidos al no considerar los efectos no lineales del suelo resulta siendo conservadora. Estos resultados no se ajustan a las 3 microzonas reportadas por el CISMID.

Los espectros de respuesta de los acelerogramas sintéticos que resultaron de la propagación del sismo de 1966 y 1974 muestran una diferencia marcada entre períodos largos y cortos. Las respuestas de amplitud máxima se muestran en los períodos cortos, esto debido a que la energía de estos dos sismos de subducción llega al suelo predominantemente con períodos cortos (0.1-0.4 segundos). Esto resulta en que el conglomerado (1-1.2 segundos) no se afecte por el fenómeno de resonancia.

Para el cálculo del período del edificio mc Gregor se puede notar que es más rígido de lo previsto en su diseño. Esta mayor rigidez es causa de los elementos no estructurales que han sido adicionados a la estructura principal del edificio. De ocurrir un sismo severo, estos elementos no estructurales se separarán de la estructura principal y la estructura vibrará con el período para el que fue diseñado.

Se puede observar que existe una interacción entre las formas de vibrar de los edificios adyacentes. En los espectros de Fourier de cada edificio se pueden ver frecuencias que se filtran a través de los elementos de conexión entre las estructuras.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer estudios más profundos en la zona que confirmen los resultados obtenidos en este trabajo y aseguren un adecuada microzonificación del lugar. Además, los escenarios sísmicos y la respuesta del sitio podría analizarse con sismos provenientes de otras fuentes sismogénicas (intraplaca, cortical y/o profunda) que puedan hacer entrar en resonancia al conglomerado.

Finalmente, se recomienda que las estructuras del complejo Mc Gregor se separen adecuadamente para evitar zonas concentradas de daño en sismos futuros.

Bibliografía

Autoridad Nacional del Agua (2010). Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac.

Aguilar Z. y Alva J. (SF). Microzonificación Sísmica de Lima. Universidad Nacional de Ingeniería.

Bard, P. Y. (1999). Microtremor measurements: a tool for site effect estimation. The effects of surface geology on seismic motion, 3, 1251-1279.

Calderón, D., Aguilar, Z., Lazares, F., Alarcón, S., & Quispe, S. (2014). Development of a Seismic Microzoning Map for Lima City and Callao, Perú. Journal of Disaster Research

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología -SENAHMI (2003). Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Rímac- Isolíneas de Velocidad Media del Viento- Mes de Febrero.

Geopsy (2017) Recuperado de www.geopsy.org

Instituto Geofísico del Perú (2010). Informe Técnico. Zonificación Sísmico – Geotécnica para Siete Distritos de Lima Metropolitana.

J.P. le Roux, C. Tavares Correa & F. Alayza (2000). Sedimentology of the Rímac-Chillón alluvial fan at Lima, Peru, as related to Plio-Pleistocene sea-level changes, glacial cycles and tectonics. Journal of South American Earth Sciences, 13, 499-510.

Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Publ. Prentice Hall, USA.

Municipalidad Metropolitana de Lima (2014). Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano de Lima y Callao –PLAM 2035. Avance 2014. Lima, Perú: MML.

Nakamura Y (1989), “A Method for Dynamics Characteristic Estimation of Surface Using Microtremors on the Ground Surface”, Quarterly Report of Railway Tech Res.

Tsige, M., & Garcia Florez, I. (2006). Propuesta de clasificación geotécnica del “Efecto Sitio”(Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia.

Tavera, H., & Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. Journal of Seismology, 5(4), 519-540.

Villacorta, S., De Torres, T., R Pérez-Puig, C., Llorente, M., & Ayala, L. (2015). Estudio preliminar de la evolución geomorfológica del abanico aluvial de Lima (Perú) e implicancias en el análisis de amenazas asociadas al cambio climático. Serie correlación geológica, 31(2), 0-0.

ANEXO 1

MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P01	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	10:39	Hora fin:	10:54
Longitud:	-77.13384	Latitud:	-12.06207
Referencia:	Intersección de Jr. Vigil y Av. California		



Punto:	P02	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	11:00	Hora fin:	11:20
Longitud:	-77.13175	Latitud:	-12.06394
Referencia:	Intersección de Av. Loreto y Av. Espinar		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P03	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	11:32	Hora fin:	11:54
Longitud:	-77.12949	Latitud:	-12.06093
Referencia:	Intersección Av. Victor Fajardo y Jr. Nicolás de Piérola		



Punto:	P04	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	11:58	Hora fin:	12:19
Longitud:	-77.1267	Latitud:	-12.06344
Referencia:	Urbanización Sr. De los Milagros, altura Av. Colina		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P05	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	12:25	Hora fin:	12:44
Longitud:	-77.12742	Latitud:	-12.06062
Referencia:	Intersección de Jr. Grau y Av. Fanning, altura Guardia Chalaca		



Punto:	P06	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	12:54	Hora fin:	13:17
Longitud:	-77.1177	Latitud:	-12.05892

Referencia:	Av. Alejandro Granda, altura Av. Oscar R. Benavides
	

MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS			
Punto:	P07	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	13:24	Hora fin:	13:44
Longitud:	-77.115	Latitud:	-12.05929
Referencia:	Intersección Av. Santa Rosa y Calle Raygada		
			

Punto:	P08	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	15:06	Hora fin:	15:25
Longitud:	-77.112905	Latitud:	-12.062006
Referencia:	Intersección Calle Francisco Quiroz y Calle Chabuca Granda		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P09	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	15:30	Hora fin:	15:49
Longitud:	-77.10819	Latitud:	-12.05718
Referencia:	Intersección Calle 2 y Calle 11B		



Punto:	P10	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	15:57	Hora fin:	16:18
Longitud:	-77.09903	Latitud:	-12.0551
Referencia:	Calle Pedro Donofrio, altura Calle Ferreyros		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P11	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	16:27	Hora fin:	16:47
Longitud:	-77.09351	Latitud:	-12.05763
Referencia:	Calle Cosme Bueno – Urb. San Joaquín		



Punto:	P12	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	16:53	Hora fin:	17:13
Longitud:	-77.09018	Latitud:	-12.05371
Referencia:	Calle Cornelio Borda, altura Calle Ricardo Palma		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P13	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	17:21	Hora fin:	17:41
Longitud:	-77.08473	Latitud:	-12.05359
Referencia:	Frontis San Marcos		



Punto:	P14	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	17:51	Hora fin:	18:11
Longitud:	-77.07825	Latitud:	-12.05074

Referencia:	Intersección de Av. Oscar R. Benavides y Av. Ramón Herrera
	

MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS			
Punto:	P-15	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	9:08	Hora fin:	9:29
Longitud:	-77.133118	Latitud:	-12.067033
Referencia:	Intersección de Jr. Vigil y Jr. Atahualpa		
			
Punto:	P-16	Fecha:	10/08/17

Hora inicio:	9:41	Hora fin:	10:01
Longitud:	-77.12877	Latitud:	-12.066452
Referencia:	Mercado 20 de abril, altura cuadra 6 de av. Alfonso Ugarte		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P-17	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	10:09	Hora fin:	10:29
Longitud:	-77.1236	Latitud:	-12.0663
Referencia:	A media cuadra de la intersección de la Av. José Galvéz y Jr. Buenos Aires		



Punto:	P-18	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	10:42	Hora fin:	11:02
Longitud:	-77.1219	Latitud:	-12.062
Referencia:	Altura de la cuadra 2 de la Av. Los Topacios		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P-19	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	11:10	Hora fin:	11:30
Longitud:	-77.1184	Latitud:	-12.0636
Referencia:	Av. Santa Rosa, a una cuadra del óvalo Saloom		



Punto:	P-20	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	11:43	Hora fin:	12:03
Longitud:	-77.1142	Latitud:	-12.063996
Referencia:	Parque Señor de Los Milagros, altura de la cuadra 8 de la Av. Venezuela		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P-21	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	12:17	Hora fin:	12.37
Longitud:	-77.1162	Latitud:	-12.059444
Referencia:	Altura de la cuadra 1 de la Calle Nicolás Dueñas		



Punto:	P-22	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	12:48	Hora fin:	13:08
Longitud:	-77.108	Latitud:	-12.062299
Referencia:	Parque San Pedro, paralela a la Av. Haya de la Torre cruce con calle Moreno Valdivia		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P-23	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	13:19	Hora fin:	13:39
Longitud:	-77.1038	Latitud:	-12.059403
Referencia:	Parque Niño Jesús de Praga, a media cuadra de la calle Luis Guillermo More		



Punto:	P-24	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	13:54	Hora fin:	14:14
Longitud:	-77.0962	Latitud:	-12.061104
Referencia:	Intersección de la Calle Los Faisanes y el Jr. Los Halcones		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P-25	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	16:33	Hora fin:	16:53
Longitud:	-77.086	Latitud:	-12.060991
Referencia:	Puerta N°1 de la UNMSM, frente a la Av. Venezuela		



Punto:	P-26	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	16:03	Hora fin:	16:23
Longitud:	-77.0849	Latitud:	-12.058767
Referencia:	Interior de la UNMSM, entre la huaca y el estadio de San Marcos		



MICROZONIFICACION, CARACTERIZACION DE TERRENOS PARA DISEÑO SISMICO Y DETERMINACION DE MAPAS DE INTENSIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS

Punto:	P-27	Fecha:	10/08/17
Hora inicio:	15:28	Hora fin:	15:48
Longitud:	-77.081	Latitud:	-12.059348
Referencia:	Parque interior de la UNMSM, cerca al cruce de la Av. Venezuela con la Av. Amezaga		



ANEXO 2

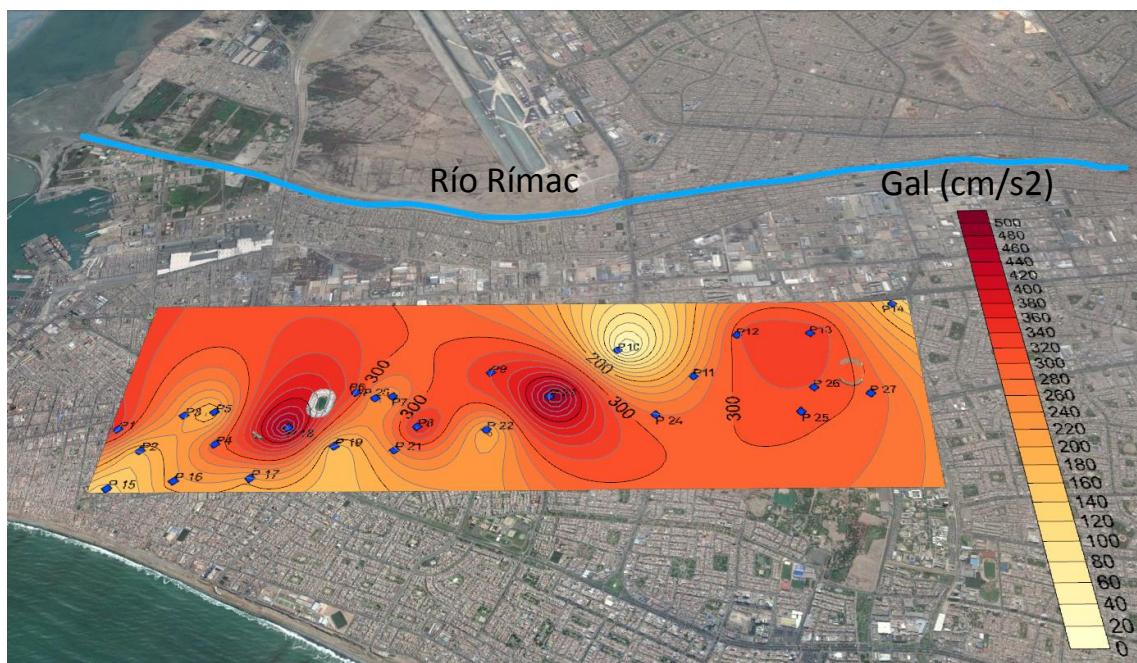


Figura 42. Mapa de isoaceleraciones $T=0.5\text{ s}$ - Sismo de 1974

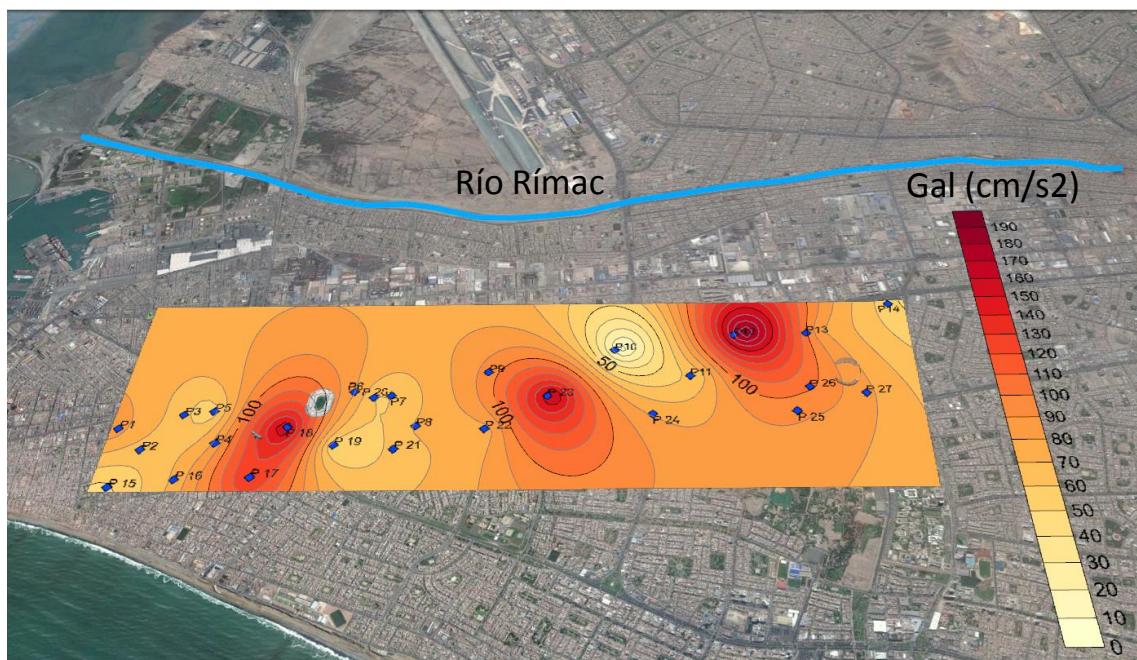


Figura 43. Mapa de isoaceleraciones $T=1\text{ s}$ - Sismo de 1974

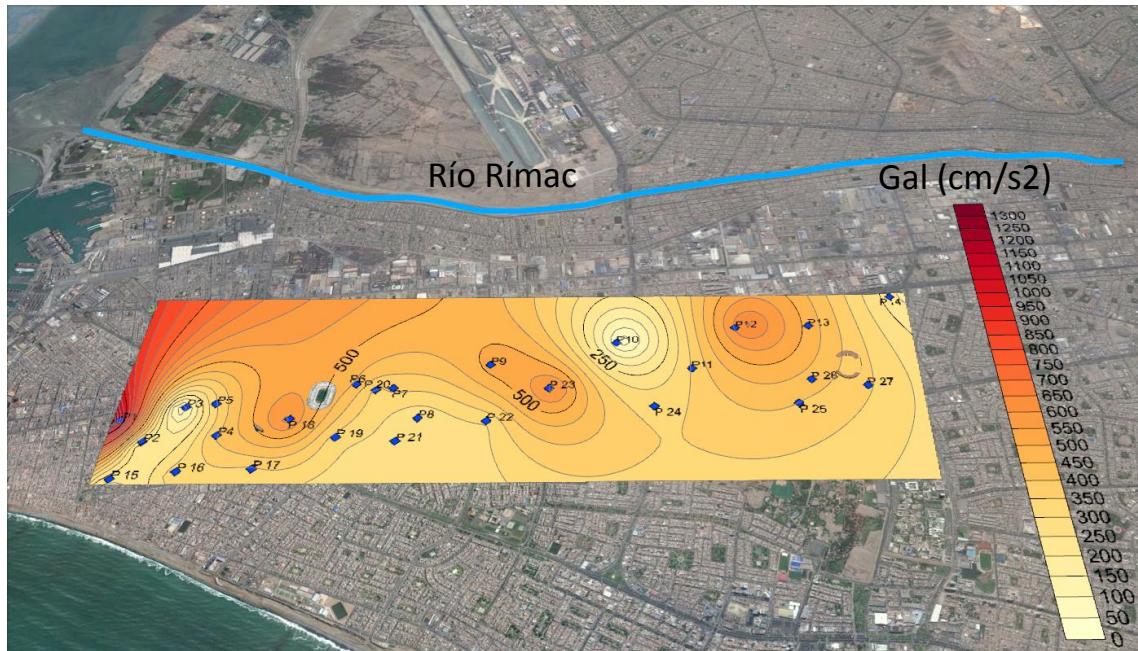


Figura 44. Mapa de isoaceleraciones $T=0.5\text{ s}$ - Sismo de 1966

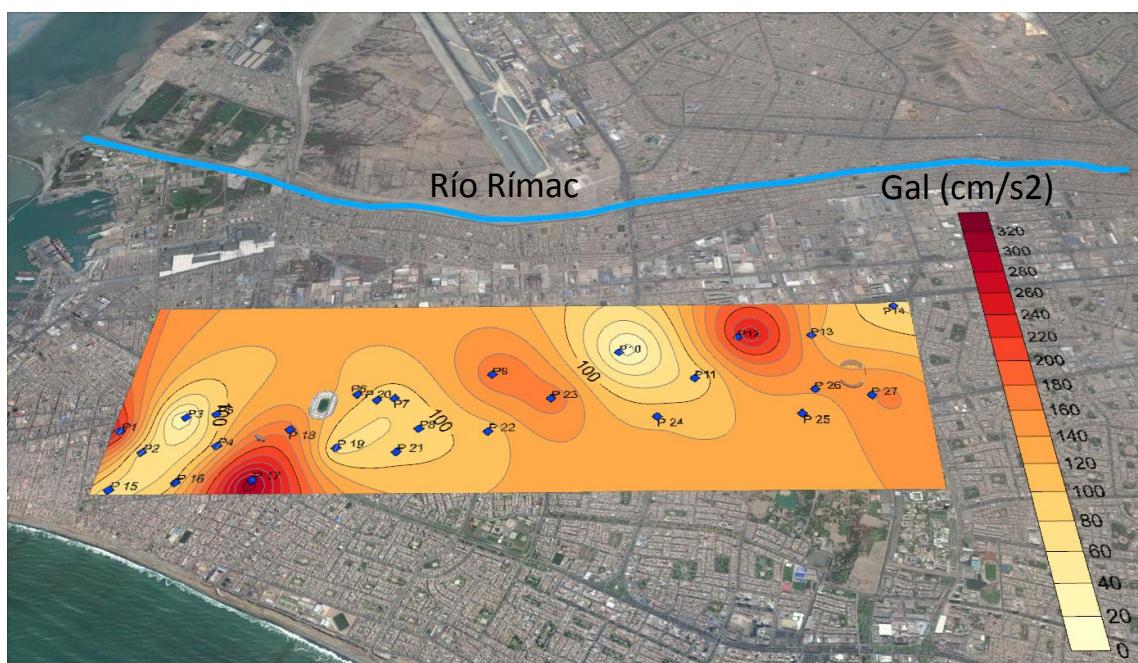


Figura 45. Mapa de isoaceleraciones $T=1\text{ s}$ - Sismo de 1966