

PROYECTOS:
**PROYECTO DE REGENERACIÓN URBANA – SECTOR LA
AURORA DEL CANTÓN DAULE.**

OBRA:
**CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA
URBANA SATÉLITE DE LA AURORA**

**ESTUDIO DE ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO MALECÓN
DE LA AURORA**

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

Contenido

1.	GENERALIDADES	3
1.1	INTRODUCCIÓN	3
1.2	OBJETIVOS	4
2.	COMPOSICIÓN DEL PROYECTO.....	5
3.	EXPLORACIÓN GEOFÍSICA	6
3.1	MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE	7
3.3.1	Fundamentos para la determinación del perfil de Vs	8
3.3.2	Procedimientos para la obtención de la curva de dispersión	8
3.3.3	Equipo utilizado.....	8
3.3.4	Ubicación de la campaña de prospección geofísica	8
3.2	MEDICIÓN DE PERIODO PREDOMINANTE	16
3.2.1	Procedimiento	16
3.2.2	Instrumentación - Equipos de medición	16
3.2.3	Procesamiento de las señales, tratamiento y normalización de gráficos según "SESAME 2004"	18
3.2.4	Localización geográfica del punto de análisis.	18
4.	DEMANDA SISMICA EN ROCA	22
4.1	CONSIDERACIONES SISMO-GEOLÓGICAS	22
4.2	PELIGRO SÍSMICO PROBABILISTA (PSHA) EN ROCA	23
4.3	SELECCIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS COMPATIBLES	25
5.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	27
5.1	SONDEOS Y MEDICIONES CONSIDERADOS.....	27
5.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	28
5.3	CONFORMACIÓN DE LOS MODELOS	30
5.3.1	Modelo Sur	30
5.3.2	Modelo Centro.....	31
5.3.3	Modelo Norte.....	32
6.	RESPUESTA SÍSMICA EN SUPERFICIE.....	33
6.1	RESULTADOS OBTENIDOS	34
6.1.1	Modelo Sur	34
6.1.2	Modelo Centro.....	36
6.1.3	Modelo Norte.....	39
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en la ejecución del **“ESTUDIO Y DISEÑO DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”** el cual se encuentra ubicado paralelo a la vía León Febres Cordero colindante al río Daule y al Estero Sabanilla y posee una longitud de 470 m. En la Figura 1 se muestra la ubicación del área de estudio.



Figura 1. Ubicación del área de Estudio

Fuente: Google Earth

De acuerdo con el proyecto arquitectónico del Malecón (ver Figura 2) se proyecta que la cota de la losa de los muelles que se encuentran sobre el río Daule sea la +4.33, la misma que estará apoyada sobre pilotes. La zona que corresponde a tierra según la topografía se encuentra entre las cotas +3.00 a +3.80, con la finalidad de no elevar la cota actual de la zona de tierra y evitar que las viviendas tengan una cota inferior a la de cota la plataforma del malecón, en la mayor parte del proyecto el diseño arquitectónico ha considerado alcanzar los niveles con respecto a la losa mediante escalinatas, sin embargo en ciertas zonas dicha condición varía y se considera la necesidad de construir rellenos de hasta 1.80, m por lo cual para los análisis se ha considerado un incremento de esfuerzos debido a rellenos.

Según los datos obtenidos a partir de la barimetría se pudo estimar que la cota de marea mínima corresponde a -1.50 y la cota de marea máxima es +4.13.

El proyecto contempla además zona de parqueos, ciclovía y una planta de tratamiento de aguas residuales que se encuentra hacia la zona posterior del malecón y no forma parte de la plataforma, así como estructuras conformadas por una sola planta tales como kioscos, administración, cuarto de servicios generales, baños, cisterna.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

En el presente informe se detalla la campaña de exploración geofísica realizada para desarrollar el análisis de respuesta de sitio (ARS) que permitió obtener los espectros de aceleración para distintas condiciones geotécnicas encontradas en el área del proyecto. La necesidad de estos análisis surge a partir de concluir que las condiciones estratigráficas del proyecto clasifican al mismo como suelo tipo F para el cual la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) recomienda este tipo de evaluaciones.

En la Figura 2 se presenta un esquema del proyecto donde se observa que el malecón se extiende aproximadamente 70 m hacia el río Daule y en dichas estructuras se proyecta la construcción de locales comerciales

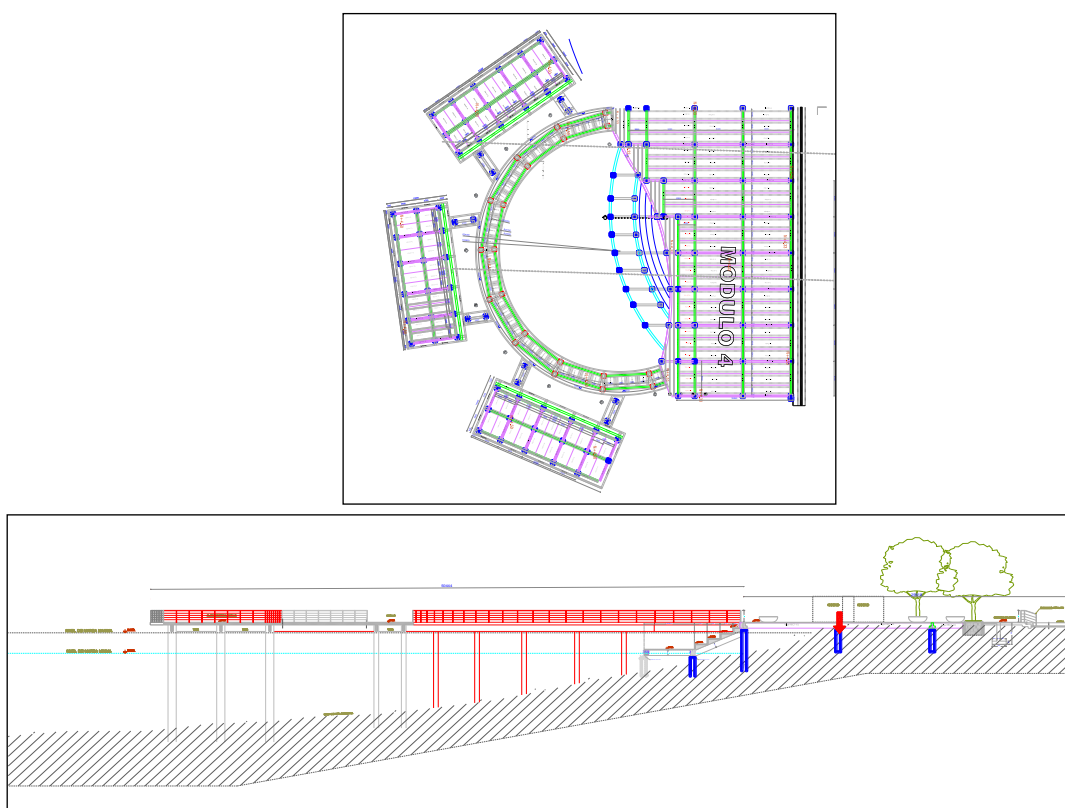


Figura 2. Esquema del proyecto
Fuente: Civil Cad 3D

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo general es determinar la respuesta dinámica que presentará el perfil de suelo ante la acción de un sismo de 475 años de periodo de retorno.

Objetivos específicos

- Adoptar un espectro de peligro uniforme en roca (UHS), derivado de un estudio de

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

peligro uniforme probabilista (PSHA) que sea compatible con las características sísmicas del sitio de estudio.

- Realizar la selección de registros sísmicos para los cuales la mediana del espectro de aceleraciones presente un buen de ajuste al espectro UHS.
- Conformar un modelo geotécnico que permita determinar la respuesta dinámica del sitio.
- Determinar el espectro de aceleraciones y el perfil de desplazamiento del suelo en campo libre

2. COMPOSICIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra zonificado por áreas numeradas en sentido norte a sur denominadas módulos los cuales son: Módulo 1a, Módulo 1, Módulo 2, Módulo 3, Módulo 4, Módulo 5, Módulo 6, Módulo 7, Módulo 8, Módulo 9 y Módulo 10. Para la ejecución del proyecto se han considerado dos etapas constructivas: Fase I y Fase II, cada una de estas etapas se compone por un número específico de módulos. En la tabla a continuación se muestran las Fases del proyecto y los módulos que las componen.

FASE	MÓDULOS
I	4-5-6-7-8-9-10
II	1a-1-2-3-4

Al ser un proyecto ejecutado a orillas del río Daule, algunos módulos tendrán componentes en agua y en tierra. Los módulos 3, 5 y 9 son los que tienen una mayor presencia en agua, ya que en el diseño arquitectónico de estos se tiene concebido la existencia de muelles, piletas y juegos acuáticos que se desarrollan de forma importante hacia el río Daule, con el fin de volver al proyecto un atractivo para el desarrollo familiar. A continuación, en la Figura 3 se encuentra una vista en planta del proyecto con el área correspondiente a cada módulo.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

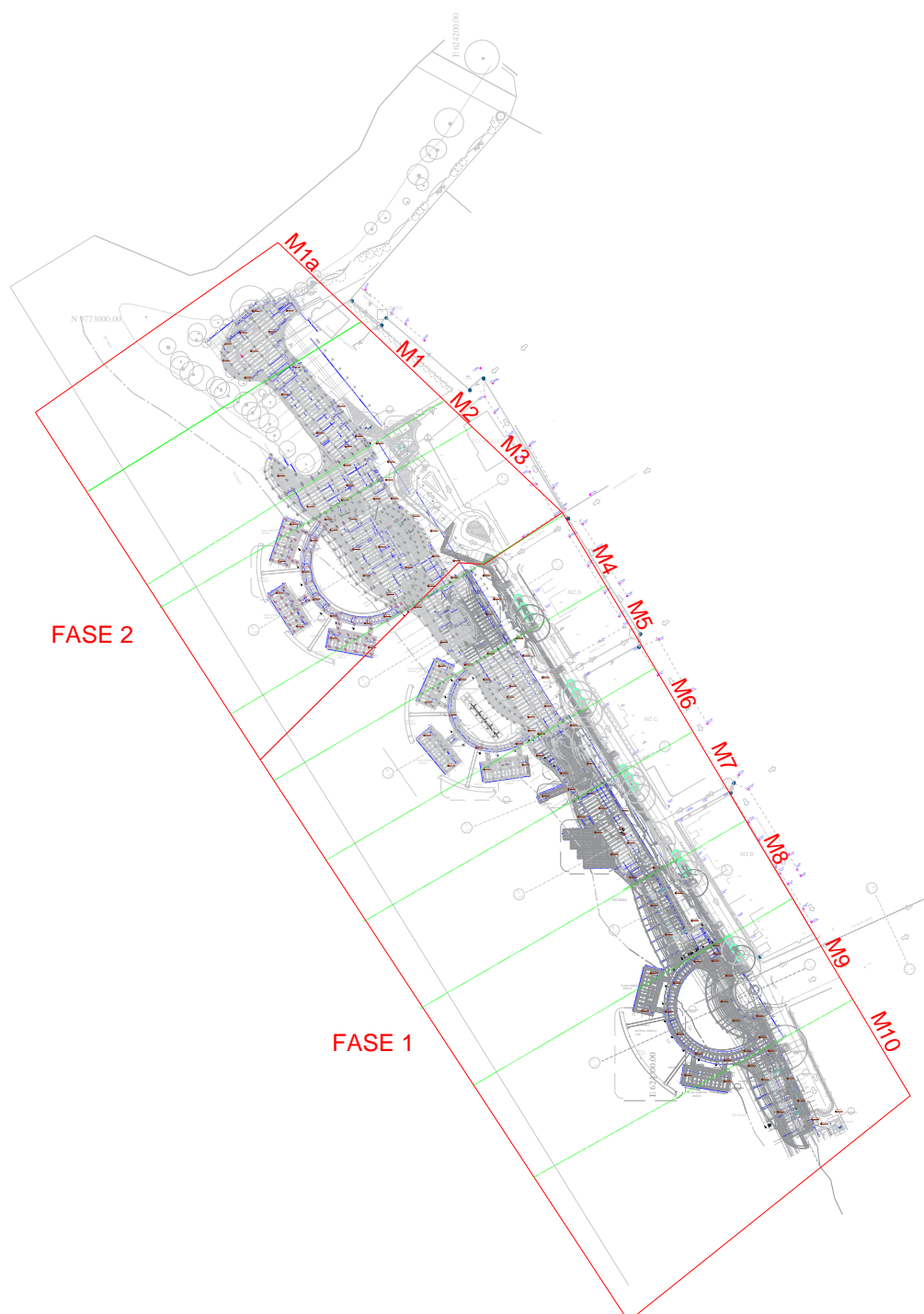


Figura 3. Distribución en planta del proyecto
Fuente: Civil Cad 3D

3. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

Para el presente proyecto, además de los métodos de exploración directa mediante perforaciones, CPTu y calicatas se realizaron sondeos indirectos de medición de las velocidades de las ondas de corte (MASW+MAM) de periodo predominante (T_0) para determinar la profundidad del semiespacio a partir del cual se considerará la propagación

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

de la onda de corte a través de las columnas de suelo que se modelarán.

A partir del análisis de las condiciones geotécnicas encontradas se pudo diferenciar distintos escenarios geotécnicos y se logró establecer series estratigráficas muy bien diferenciadas.

El primer escenario geotécnico corresponde a la condición más desfavorable en términos de espesor de materiales cohesivos y la resistencia de estos. Esta condición se desarrolla ubicados al sur del proyecto.

Por otro lado, se consideró un segundo escenario con un menor espesor de suelos cohesivos y cuyos materiales presentan resistencia un poco mayores a las que se encuentran hacia el sur. Este escenario geotécnico se identificó hacia la parte central del desarrollo del malecón.

Finalmente, como tercer escenario se recomendó prospectar el sector norte para conseguir mayor información de esta zona del proyecto debido a la escasa información que se tiene del mismo. La exploración geofísica se realizó para cada uno de los tres escenarios geotécnicos indicados anteriormente.

3.1 MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE

Gracias a la evolución de los métodos de exploración geofísica en la actualidad es posible clasificar el perfil de suelo de determinado sitio con base en su perfil de velocidades de onda de corte. Las normativas internacionales así como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) poseen rangos para los valores de V_{s30} (Velocidad de onda de corte en los 30 m más superficiales) a partir de los cuales se categoriza y clasifica el perfil de suelo.

La velocidad de onda de corte (V_s) se asocia directamente a la rigidez del suelo, por lo que este parámetro resulta muy útil como información geotécnica orientada al diseño de cimentaciones.

Hoy en día existen diversas técnicas para estimar V_s entre las cuales pueden mencionarse los ensayos downhole y crosshole que se denominan invasivos debido a que requieren la ejecución de una y dos perforaciones, respectivamente. Sin embargo, también se puede realizar sondeos no invasivos que se basan en la medición e interpretación de las ondas sísmicas a nivel de la superficie del terreno. Este último tipo de sondeos son los más utilizados en la práctica profesional ya que requieren una menor cantidad de trabajo e inversión económica para determinar el valor de V_s .

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

3.3.1 Fundamentos para la determinación del perfil de Vs

Dada la complejidad de realizar mediciones directas para obtener el valor de velocidad de onda de corte en suelo se desarrollaron procedimientos geofísicos para conseguir un valor estimado de dicha velocidad, a través de la curva de dispersión de ondas superficiales.

La dispersión de ondas superficiales representa el cambio de la velocidad de propagación asociado a la frecuencia y longitud de onda. La dispersión de las ondas superficiales puede ser representada en un gráfico de frecuencia-velocidad de fase (f-k) mediante el cual es posible identificar el modo fundamental de vibración y modos superiores.

Finalmente, mediante un procedimiento de inversión de las curvas de dispersión, se logra determinar un perfil unidimensional de la velocidad de onda de corte (Vs).

3.3.2 Procedimientos para la obtención de la curva de dispersión

Se utiliza sismica de micro-temblores para la medición de ondas superficiales tipo Rayleigh. Para estas mediciones se puede aprovechar el ruido ambiente (fuente pasiva), o usar una fuente activa (por ejemplo golpes con un martillo de peso considerable). Entre los métodos empleados para procedimientos activos se tiene el análisis espectral de las ondas de corte (SASW) y el análisis multi-canal de ondas superficiales (MASW) y para el caso de fuente pasiva, se suelen utilizar como métodos: SPAC, ESAC y f-k.

La combinación entre los métodos pasivo y activo permite conformar la curva de dispersión del perfil del suelo mediante la cual, a partir de un procedimiento de inversión, se consigue obtener un perfil 1D de la Vs del suelo.

3.3.3 Equipo utilizado

Para la adquisición de la data se emplearon los siguientes equipos:

- Sismógrafo de 24 canales.

- Cable principal de 115 m.

- Geófonos de 4.5 Hz

- Laptop.

- Martillo de 12 libras.

- Cinta métrica.

3.3.4 Ubicación de la campaña de prospección geofísica

Los arreglos fueron lineales y quedaron completamente definidos por la separación entre geófonos y la distancia de impacto (ubicación del golpe donde se genera la fuente activa) al último geófono.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

En función de dicho espaciamiento, así como de la distancia de la fuente activa, se pueden explorar distintos rangos de frecuencias (longitudes de onda) y con ello generar una descripción más completa del perfil de velocidades. Mayores longitudes de ondas permiten explorar satisfactoriamente frecuencias más bajas y por lo tanto los estratos de suelo más profundos. A la inversa, menores longitudes de ondas se asocian a frecuencias mayores y por lo tanto a los estratos de suelo más superficiales.

Dadas las condiciones del sitio se conformaron 3 arreglos lineales, de 69 metros (geófonos separados cada 3m). En la Tabla 1 se presentan las coordenadas de ubicación de los ensayos realizados y en la Figura 4 se puede apreciar de forma gráfica dicha ubicación.

Tabla 1. Ubicación de los ensayos geofísicos

Fuente: Elaboración propia

Línea	Extremo	Coordenada Este [m]	Coordenada Norte [m]
Línea 1	Inicio	624219	9772961
	Fin	624252	9772901
Línea 2	Inicio	624239	9772823
	Fin	624276	9772765
Línea 3	Inicio	624362	9772626
	Fin	624395	9772564

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"



Figura 4. Ubicación de la campaña de exploración
Fuente: Google Earth

En la Figura 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es posible apreciar una ista general de los tendidos ejecutados.

Empleando la misma dirección del tendido se adquirió más data reduciendo el espaciamento entre geófonos a la mitad. La intención de este achique en la distancia entre geófonos fue recabar la mayor cantidad de información para así lograr una interpretación más robusta.

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”



Foto 1. Ubicación del ensayo de medición de las ondas de corte
Fuente: Trabajos de Campo

3.3.5 Interpretación de resultados

Se siguió el enfoque del análisis en frecuencia-número de onda o F-k (Lacoss et al. 1969, Kværna y Ringdahl 1986) para los ensayos activos lineales.

El análisis en el dominio f-k permite construir un espectro de amplitudes de las respuestas del arreglo estudiado, y definir a partir de él la curva de dispersión para cada combinación de frecuencia y velocidad de fase. De la inversión de la curva de dispersión, se puede obtener una estimación del modelo de velocidad de onda de corte superficial de las capas más superficiales.

El método ESPAC es una metodología derivada del método SPAC, y permite la ejecución de ensayos pasivos por medio del uso de arreglos lineales. Al igual que el f-k, el ESPAC permite definir la curva de dispersión para cada combinación de frecuencia y velocidad de fase. Su mayor ventaja es que puede ser usada en lugares donde no es factible desplegar un arreglo bidimensional por restricciones de espacio.

En la Figura 5 se presenta la curva de dispersión empírica que corresponde a la interpretación de los ensayos activos y pasivos

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

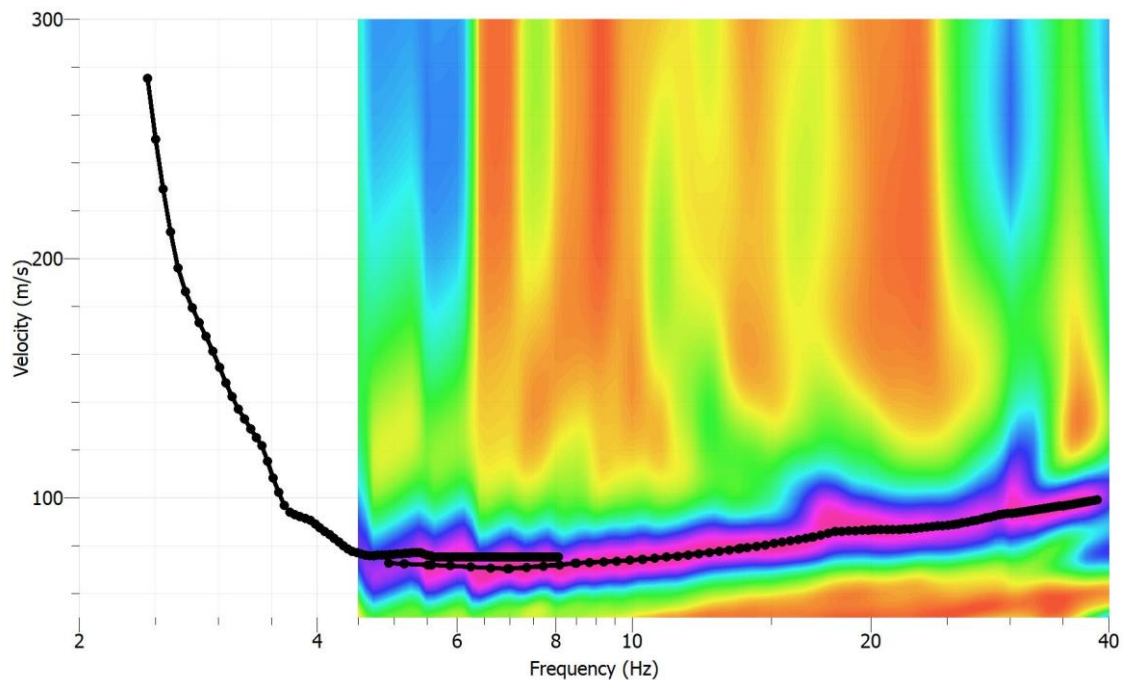


Figura 5. Curva de dispersión empírica, ensayos activos y pasivos Línea 1
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, como se ha mencionado anteriormente, se realizó una inversión para generar un modelo que sea compatible con las observaciones en terreno y reflejadas a través de las curvas de dispersión o autocorrelación. Mediante un proceso iterativo empleando el método de Whatelet (2004) basado en el algoritmo del vecino, se obtiene un perfil 1D de ondas de corte, sin embargo, no se genera una solución única, sino que con distintos niveles de "Misfit" o desajuste con respecto a los datos empíricos.

En el apartado 3.2.1 de la norma NEC-SE-DS se puede encontrar la clasificación de los seis tipos de suelos caracterizados por el parámetro Vs30, que representa a la velocidad de onda de corte en los primeros 30 m.

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

Donde h_i es el espesor y V_i es la velocidad de las ondas S de la i capa y N el número total de capas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los 3 ensayos ejecutados:

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

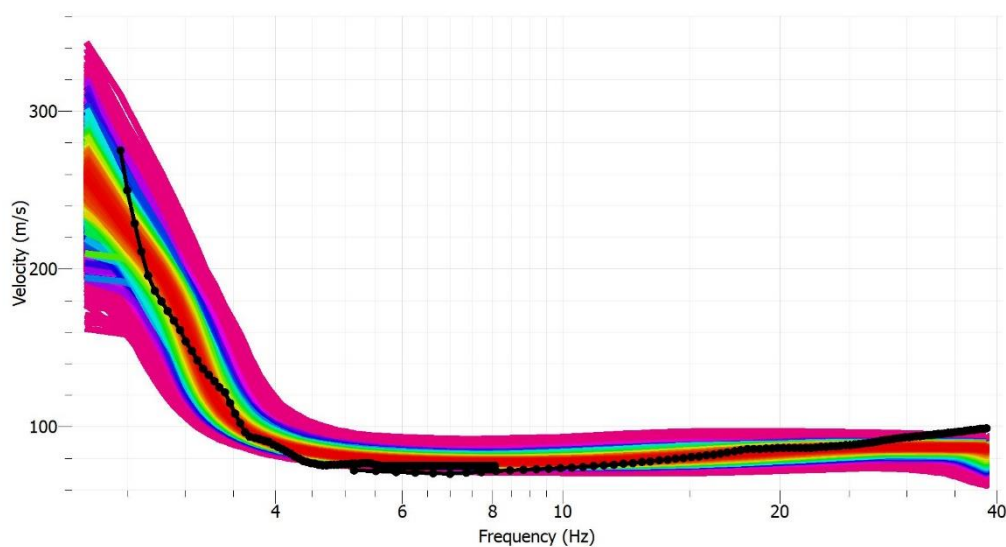
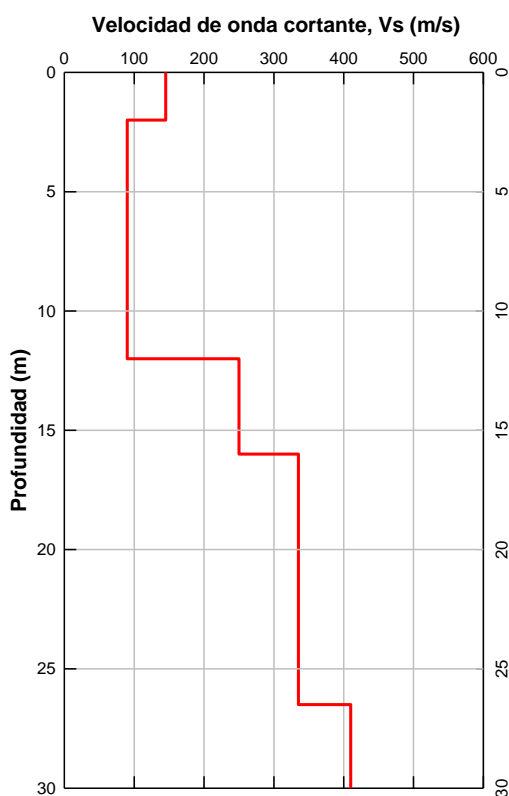


Figura 6. Obtención de curva de dispersión teórica Línea 1

Fuente: Elaboración Propia



Hi [m]	Hi [m]	Vs [m]
0.0	2.0	145
2.0	12.0	90
12.0	16.0	250
16.0	26.50	335
26.50	30.00	410
	V_{s30}	165

Figura 7. Obtención de perfil de velocidades de las ondas de corte Línea 1

Fuente: Elaboración Propia

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

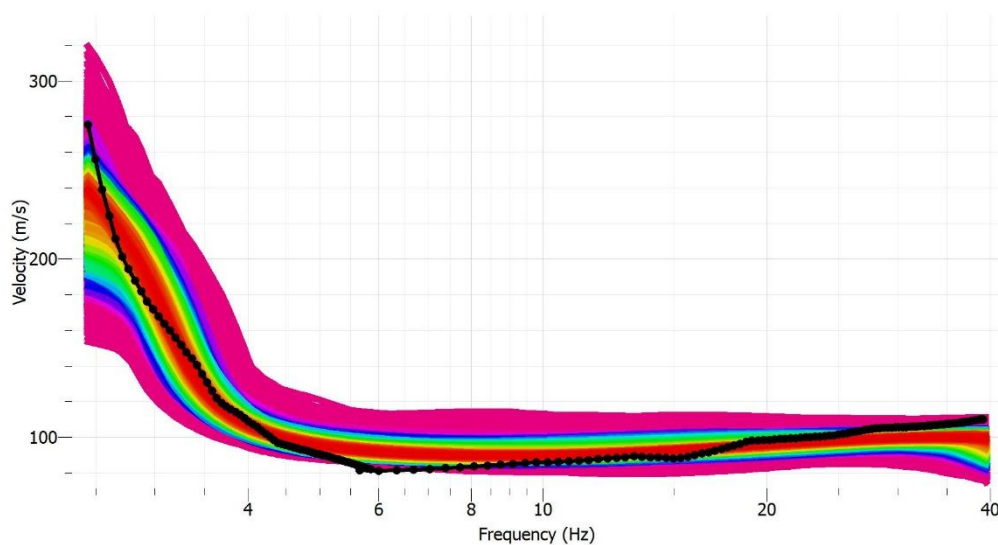
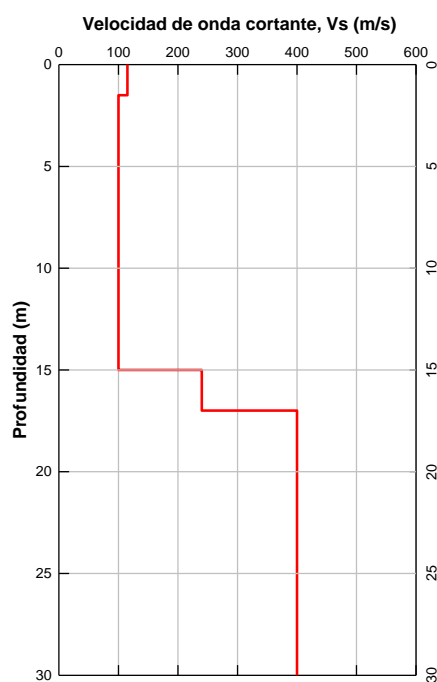


Figura 8. Obtención de curva de dispersión teórica Línea 2

Fuente: Elaboración Propia



Hi [m]	Hi [m]	Vs [m]
0.0	1.5	115
1.5	15.0	100
15.0	17.0	240
17.0	30.0	400
	V_{S30}	163

Figura 9. Obtención de perfil de velocidades de las ondas de corte Línea 2

Fuente: Elaboración Propia

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

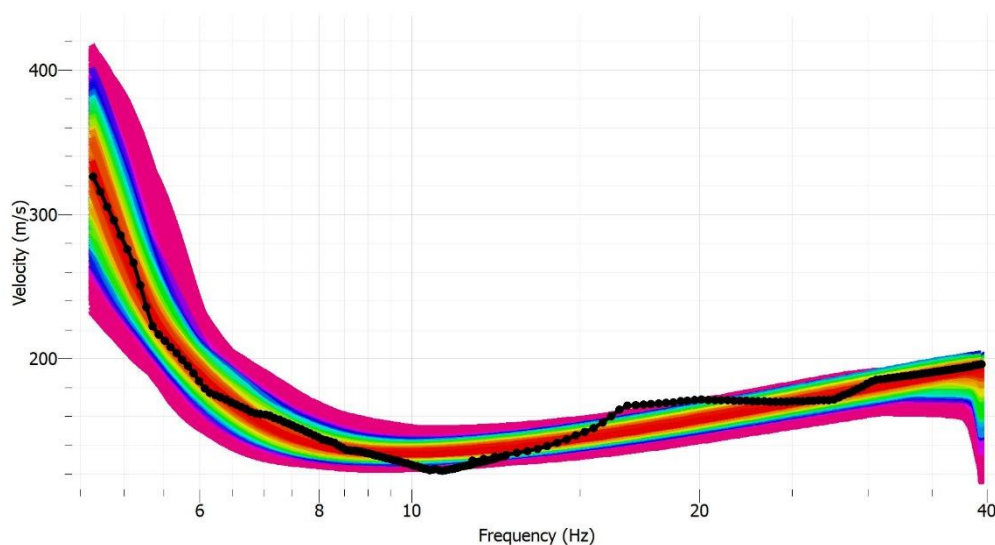
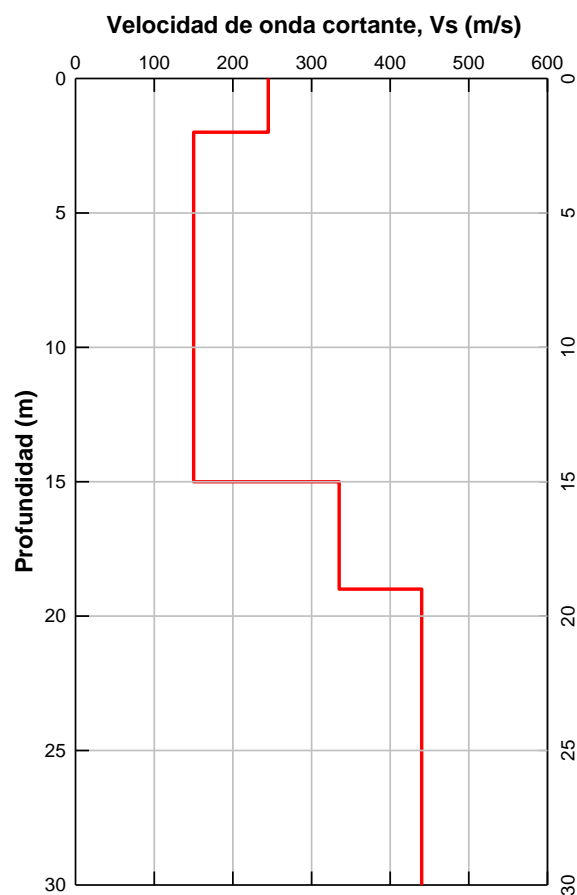


Figura 10. Obtención de curva de dispersión teórica Línea 3

Fuente: Elaboración Propia



Hi [m]	Hi [m]	Vs [m]
0.0	2.0	245
2.0	15.0	150
15.0	19.0	335
19.0	30.0	440
	V_{S30}	227

Figura 11. Obtención de perfil de velocidades de las ondas de corte Línea 3

Fuente: Elaboración Propia

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

3.2 MEDICIÓN DE PERIODO PREDOMINANTE

Dentro de los objetivos de este ensayo se tiene caracterizar el espectro del suelo en términos de Periodo [seg], por medio de mediciones de vibración ambiental y ensayos de análisis espectral mediante la técnica Nakamura para obtener el coeficiente de relación espectral y la amplificación espectral existente en cada sitio de análisis.

Obtener una gráfica de plano referenciado en UTM que muestre la respuesta espectral [Tn] en colores, considerando solo la vibración ambiental en el suelo mediante métodos de interpolación usando como referencia los sitios de estudio localizados en el polígono delimitado por el contratante.

3.2.1 Procedimiento

El procesado de las mediciones se realizó utilizando el software MotusWave V2 el cual es un programa ad-hoc escrito en MATLAB por el equipo del Centro de monitoreo Sísmico de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (CEMSIS) probado desde el año 2016 a raíz del sismo de 7.8Mw de Pedernales y es actualmente el software de análisis oficial de este instituto de investigación. El programa procesa el registro de cada canal del instrumento realizando las siguientes tareas:

- Remoción de offset usando técnicas de regresión polinomial en tercer grado y corrección por línea base mediante la media del registro.
- Selección automática de ventanas de análisis basado en parámetros definidos por el usuario, para delimitar en tiempo la sección de la señal que se desea analizar.
- Multiplicación de cada ventana por una ventana de Hanning, y determinación del espectro de la señal sin filtrado para identificar posibles fuentes conocidas de ruido y discriminar patrones desconocidos.
- Ingreso del tipo de filtro, configuración y especificaciones de frecuencia de corte según el tipo de suelo en análisis.
- Cálculo de la transformada rápida de Fourier y suavizado de la misma para cada ventana.
- Cálculo de los espectros de Fourier para las componentes de aceleración, velocidad y desplazamiento
- Cálculo de los cocientes espectrales NS/V, EO/V y HC /V (donde HC son las componentes horizontales combinadas).
- Cálculo de ruido usando la técnica de análisis por división espectral en octavas, este valor se contrasta con la densidad espectral para identificar las frecuencias predominantes y fundamentales de cada sitio de análisis.

3.2.2 Instrumentación - Equipos de medición

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

Para realizar las mediciones de microtemores en el polígono de estudio, se utilizaron 2 equipos, un equipo 160-Wave de Reftek que cuenta con registrador de aceleración y velocidad de Reftek modelo C055, además se usó para referencia de aceleraciones un acelerógrafo de fuerza y masa balanceada con acelerómetro triaxial y 1 geófono de 4.5Hz vertical, modelo DAS-03 marca Ardasysmic. Todos estos equipos presentan las siguientes características mínimas en común:

El vector de aceleración del movimiento del suelo lo detecta en las tres componentes: Horizontal (H), Vertical (V) y Transversal (T), es decir, en las componentes (x, y, z).

La detección de movimiento lo realiza mediante tres sensores, cuya componente horizontal debe orientarse en la dirección en la que está ubicado el lado más amplio del área o a su vez en forma transversal, pero manteniendo esta configuración en todos los puntos de análisis.

La señal que registran los sensores es digitalizada con un convertidor analógico-digital de 24 bits y la mínima vibración que el equipo puede registrar es de $2e-9$ m/s o en el caso de los acelerógrafos $1.6e-7$ m/s².

El registro digital se efectúa en dos tarjetas de memoria de 16 Gb o una sola de 32Gb, cuyas capacidades son suficientes para almacenar datos de algunas decenas de microtemores o sismos y ensayos de vibración ambiental de al menos 48h continuas.

Cada equipo cuenta con su propia batería de 12V cargada, esto debido a que el ruido de líneas eléctricas podría perturbar los registros de más baja amplitud

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra los trabajos ealizados



Foto 2. Ubicación del ensayo de medición del periodo elástico
Fuente: Trabajo en Campo

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

3.2.3 Procesamiento de las señales, tratamiento y normalización de gráficos según “SESAME 2004”

Con el objeto de conservar las partes estacionarias del ruido ambiental y evitar así los transitorios frecuentemente asociados con fuentes puntuales (peatones, tráfico cercano, maquinaria en funcionamiento, ganado y pastoreo de animales de granja, etc.), al programa MotusWave tiene incorporado un módulo para la selección automática de ventanas. Este módulo consiste en un algoritmo conocido en inglés como antitrigger, el cual detecta transitorios y los elimina del procesado. El procedimiento para detectar transitorios se basa en una comparación entre dos promedios de amplitudes de la señal analizada. Uno de ellos es un promedio de periodo corto (STA, por las siglas de short term average), o sea, el promedio de la amplitud de la señal durante un periodo corto de tiempo, denotado “TSTA” (típicamente 0,5 – 2,0 s). El otro es un promedio de periodo largo (LTA, por las siglas de long term average), o sea, el promedio de la amplitud de la señal durante un periodo largo de tiempo, denotado “TLTA” (típicamente varias decenas de segundos). Cuando el cociente STA/LTA excede un umbral previamente establecido, se considera que se detecta un “evento”. Este criterio para seleccionar ventanas fue tomado del programa J-Sesame, un programa que surge del proyecto europeo SESAME, anteriormente nombrado, hoy en día más conocido como Geopsy, sin embargo, es limitante y limitado en algunos análisis periódicos por carecer de un núcleo de procesamiento matemático, lo cual el programa MotusWave lo obtiene de Matlab. El funcionamiento de este módulo requiere que el usuario introduzca valores a diferentes parámetros. Para el procesado de los datos se escogieron los valores que se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Tabla de los parámetros utilizados durante el procesado
Fuente: Elaboración Propia

Longitud de la ventana (sec.)	> 1500
Solape de las ventanas (% de la longitud de la ventana)	50
Longitud de la ventana para el promedio de corto plazo (sec.)	2
Longitud de la ventana para el promedio de largo plazo (sec.)	36
Nivel mínimo para el umbral de STA/LTA	0.5
Nivel máximo para el umbral de STA/LTA	2

3.2.4 Localización geográfica del punto de análisis.

En la Tabla 3 se muestra las coordenadas de los ensayos realizados y en la Figura 12 la ubicación espacial de los mismos

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

Tabla 3. Tabla de localización geográfica de los límites de terreno donde se realiza el análisis de periodos de suelo mediante la técnica de Nakamura.

Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas Geográficas UTM (WGS84 Zona 17S)
Te_1 (624228.00 m E , 9772933.00 m S)
Te_2 (624253.00 m E , 9772793.00 m S)
Te_3 (624366.00 m E , 9772613.00 m S)

Se realizó una medición de periodo para cada uno de los escenarios geotécnicos definidos al inicio de la sección 3.

A su vez, cada medición de periodo del suelo es correspondiente con los arreglos lineales considerados para estimar el perfil de Vs de los 3 escenarios geotécnicos.

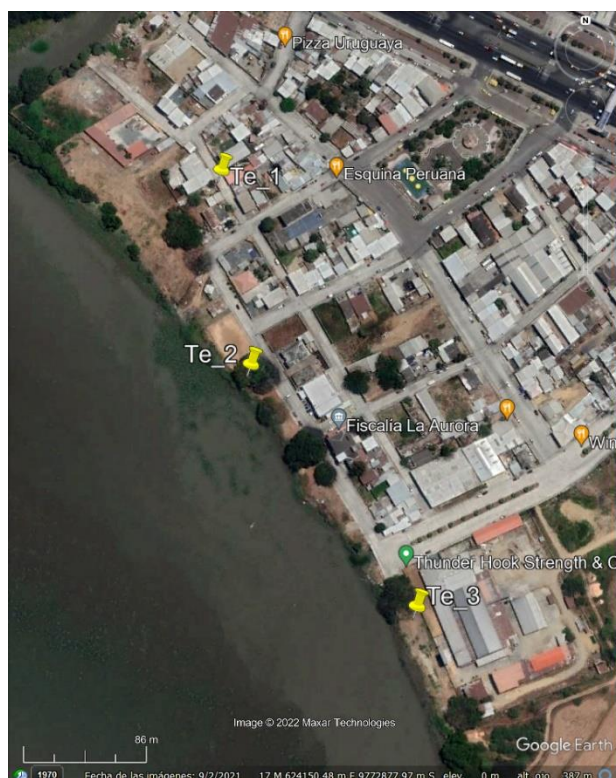


Figura 12. Vista geográfica de los puntos y límites de estudio.
Fuente: Google Earth

Para cada sitio analizado se realizaron dos mediciones, una ejecutada con un geófono de alta sensibilidad y otra con un acelerógrafo, pero adicionalmente se analiza la respuesta en una referencia de suelo para tener una mejor apreciación de los fenómenos que puedan afectar el comportamiento de las señales adquiridas y fundamentalmente conocer el Periodo del suelo, en la Figura 13 se observa en colores el terreno en contraste con los valores de HV encontrados.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

A continuación, se presenta en forma resumida los resultados de Periodos fundamentales del suelo.

Tabla 4. Resultados de Periodo del suelo
Fuente: Elaboración Propia

Ref.	HVSr Tn [seg]		
	(NS)	(EO)	(HV)
Te_1	0,58	0,87	0,57
Te_2	0,53	0,52	0,53
Te_3	0,66	0,67	0,66

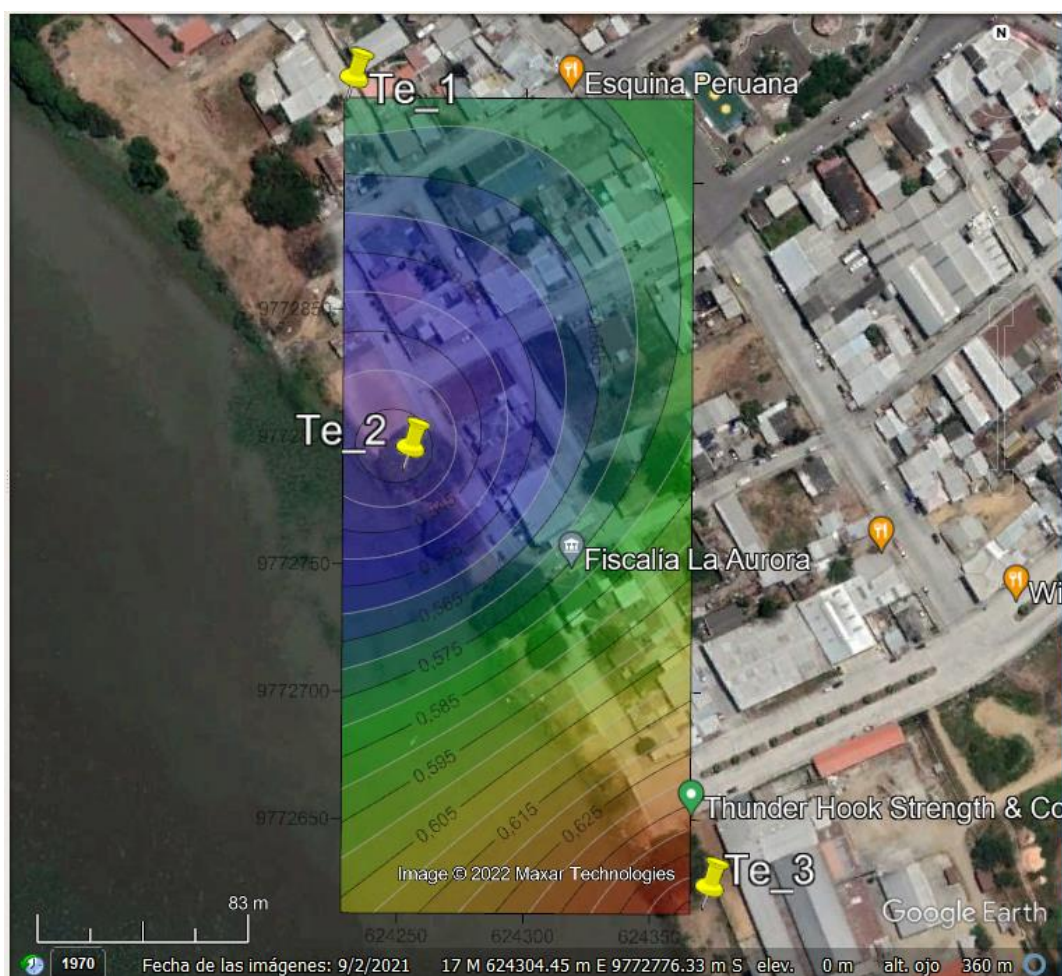


Figura 13. Vista en colores del terreno en contraste con los valores de HV encontrados
Fuente: Elaboración Propia

A continuación los resultados obtenidos

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

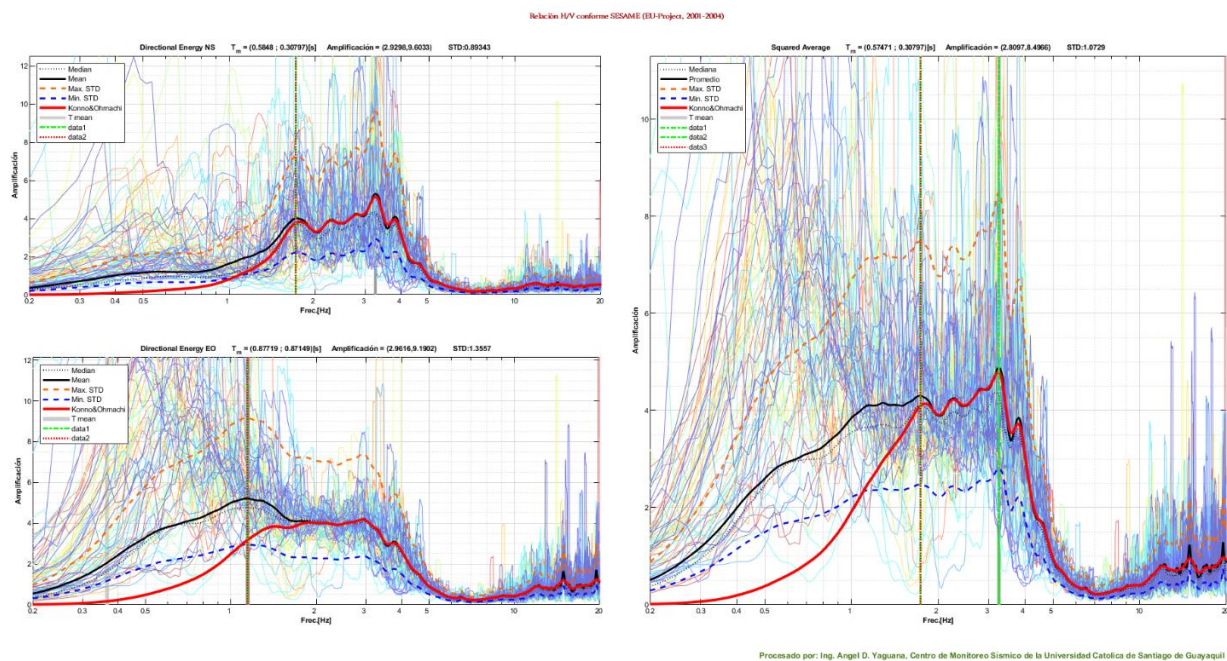


Figura 14. Resultados de periodo elástico obtenidos para la medición Te_1
Fuente: Elaboración Propia

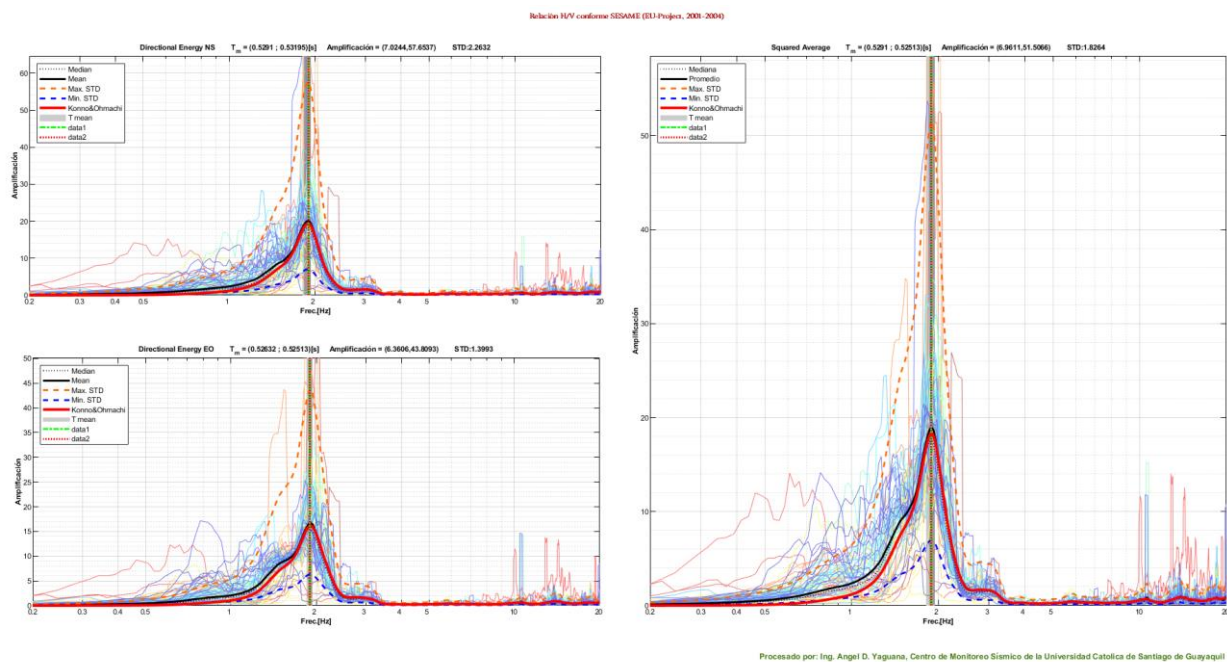


Figura 15. Resultados de periodo elástico obtenidos para la medición Te_2
Fuente: Elaboración Propia

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

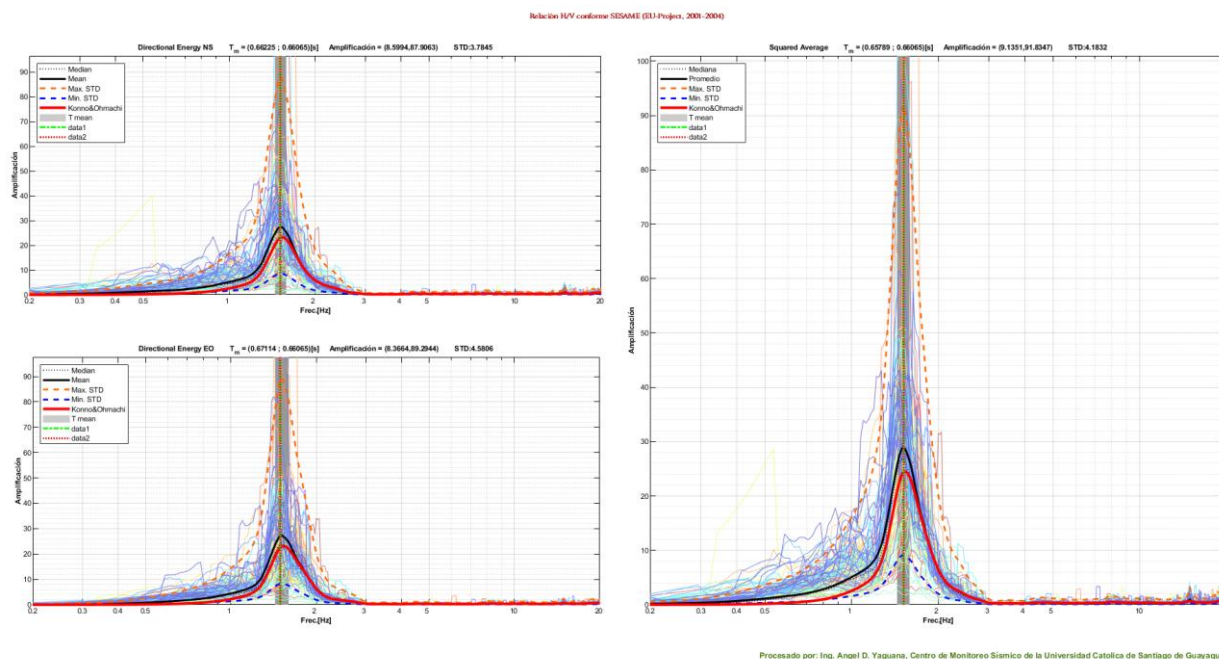


Figura 16. Resultados de periodo elástico obtenidos para la medición Te_3
Fuente: Elaboración Propia

4. DEMANDA SISMICA EN ROCA

4.1 CONSIDERACIONES SISMO-GEOLÓGICAS

Los estudios sismogénicos realizados en el territorio nacional han podido diferenciar tres tipos de zonas sísmicas diferenciadas por su configuración geológica estructural, estas son: zona interplaca, intraplaca y cortical. i) La zona interplaca está caracterizada la interacción entre la placa Nazca y la Sudamericana, entre ellas se da una subducción de la primera por debajo de la segunda, esto ocurre usualmente a profundidades menores a los 50 km, ii) La zona intraplaca corresponde a los mecanismos de falla normal con profundidades de entre 50-300 km. y iii) la zona cortical caracterizada por las fuentes sísmicas locales ubicadas al interior de la placa sudamericana, con presencia en los 50km ms superficiales.

En particular, para la ciudad de Guayaquil y un radio de influencia de hasta 200km de esta, se ha determinado la influencia de fallas geológicas tales como: Carrizal, Colonche, La Cruz, San Jacinto, Zambapala, Lechuza, entre otras. Todas estas son principalmente de tipo normal, inversa y dextral.

El estudio de peligro sísmico realizado por Beauval, Marinière, Yepes, et al., 2018 para territorio nacional discretizó un total de 10 zonas sismogénicas del tipo cortical y determinó un modelo general de zona intraplaca con sismos de fuente profunda.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

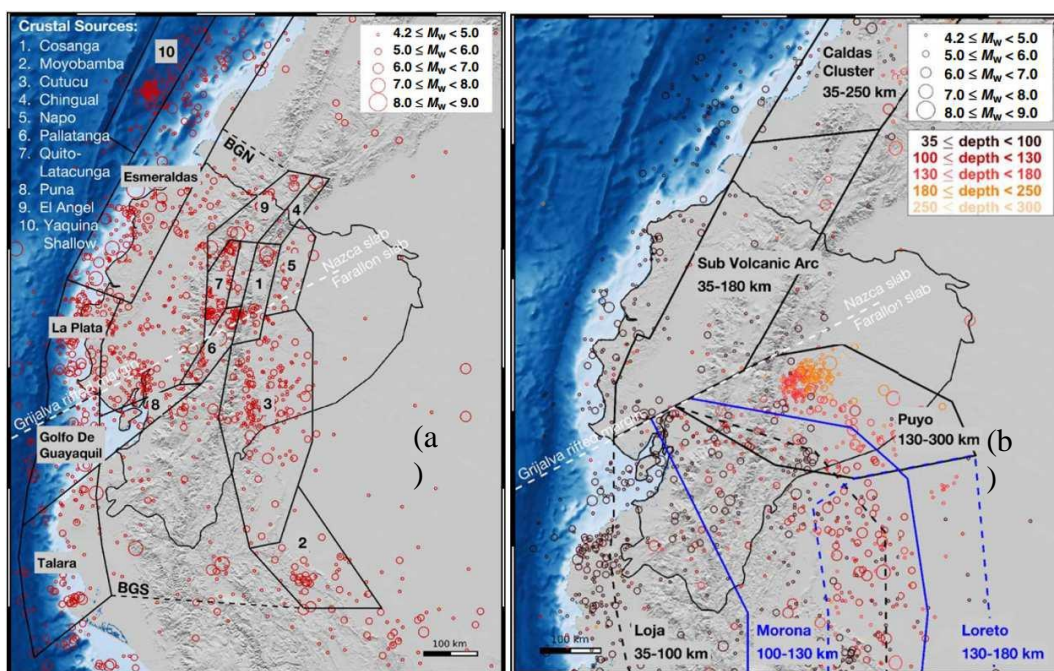


Figura 17. (a) Zonas sismogénicas corticales y fuentes asociadas para el modelo adoptado. (b) Zona sismogénica intraplaca en modelo adoptado. (Beauval, Marinière, Yepes, et al., 2018)

Fuente: Elaboración Propia

4.2 PELIGRO SÍSMICO PROBABILISTA (PSHA) EN ROCA

El constante desarrollo de la ingeniería sísmica ha permitido la evolución de los análisis, es así que para la determinación del peligro sísmico en roca, se ha pasado de análisis determinísticos (DSHA) a análisis probabilísticos (PSHA). El paso de DSHA a PSHA se da debido a que el primero de estos consideraba identificar las fuentes sísmicas más representativas y determinar la demanda sísmica más conservadora obtenida de estos análisis, mientras que el PSHA permite considerar la ubicación, magnitud e intensidad del sismo para un sitio determinado.

El análisis probabilista, PSHA, permite determinar la tasa anual media de excedencia de un determinado valor de aceleración espectral considerando la incidencia de todas las fuentes sísmicas involucradas dentro del radio de influencia considerado. Del PSHA pueden obtenerse las curvas de peligro sísmico las cuales toman en consideración todas las fuentes sísmicas y esto puede determinarse para diferentes tasas anuales de excedencia (o periodos de retorno). Para el presente proyecto se ha considerado un periodo de retorno de 475 años (10% de excedencia en 50 años), esta consideración se ha realizado teniendo en cuenta el tipo de proyecto.

Mediante el uso del PSHA es posible determinar el riesgo asociado a distintas fuentes sísmicas, esto se lleva a cabo mediante una desagregación del PSHA realizado. La desagregación permite apreciar, para un determinado periodo de retorno, el aporte de las

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

distintas fuentes sísmicas teniendo en cuenta su distancia y magnitud del sismo que estas generarían.

La desagregación del peligro sísmico realizada para la ciudad de Guayaquil formo parte de un estudio generalizado PSHA para el Ecuador. De este estudio realizado por Vera et al, 2016, se pudo concluir que para un periodo de retorno de 475 años, los sismos de fuente cercana (NF) contribuyen en mayor proporción que las fuentes lejanas (FF) para periodos estructurales cortos (<1 s). Por otro lado, para periodos estructurales mayores a 1 segundo, los sismos de fuente lejana contribuyen en una proporción que puede llegar a ser mayor que los sismos de fuente cercana. Los sismos de fuente lejana (subducción) a los que se hace referencia poseen las siguientes características: (1) distancia epicentral entre 100 a 250 km y (2) magnitudes de momento entre 8 a 8.5.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15) incluye en el capítulo de Peligro Sísmico, Diseño Sismo resistente las curvas de peligro uniforme para todas las capitales de provincia del Ecuador. A partir de estas curvas es posible construir el espectro de peligro uniforme en roca (UHS) para distintos periodos de retorno, sin embargo esto solo puede desarrollarse en forma discreta para periodos de hasta 1 segundo. Debido a lo anterior, se conformó el espectro para Roca tipo B para la ciudad de Guayaquil para un periodo de retorno de 475 años. Este espectro se consideró como el espectro de Peligro Uniforme (UHS). El espectro UHS se presenta en la Figura 18.

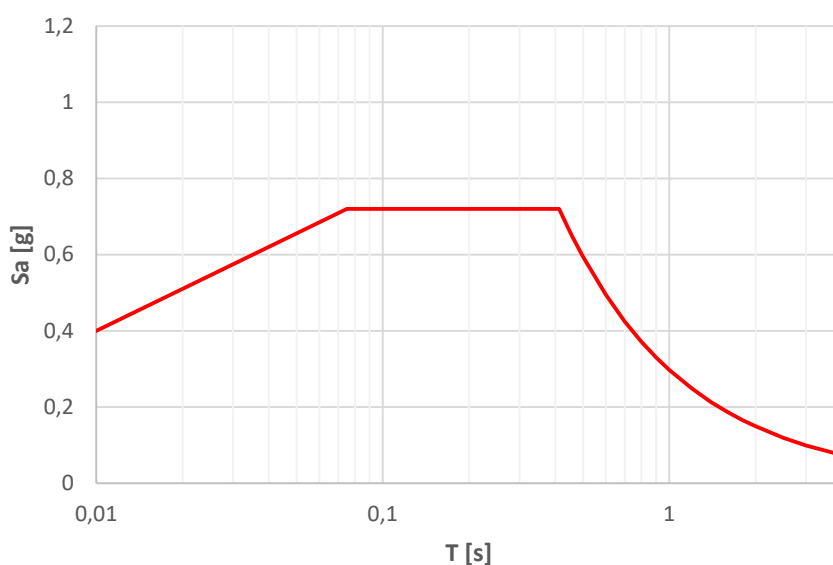


Figura 18. Espectro de peligro uniforme (UHS) para Guayaquil.
Fuente: Elaboración Propia

Para el proyecto se utilizó el espectro de peligro uniforme correspondiente a la ciudad de Guayaquil debido a la gran cercanía que existe entre esta ciudad y el sitio de estudio (parroquia La Aurora).

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

4.3 SELECCIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS COMPATIBLES

Considerando la contribución de las fuentes cercanas y lejanas, se seleccionó un conjunto de registros sísmicos originados por fuentes de similares características sismogénicas a las definidas en sección 4.1 y cuya mediana del espectro de aceleraciones de estos fuese compatible al espectro UHS.

Los registros de los sismos de fuente cercana (NF) se seleccionaron de la base de datos PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center, UC Berkeley), mientras que los registros de los sismos de fuente lejana (FF) fueron obtenidos de la base de datos del Centro sismológico nacional de la Universidad de Chile y de la Network center for Earthquake Tsunami and Volcano de Japón. Se seleccionaron un total de 15 sismos FF y 7 NF, todos ellos con características sismológicas similares a las esperadas en el sitio del proyecto. En la Tabla 5 y Tabla 6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se enlistan los sismos de NF y FF seleccionados.

Tabla 5. Sismos de fuente cercana (NF) seleccionados
Fuente: Elaboración Propia

#	Sismo	Año	Estación	Mecanismo	Mw	Vs30	Base de datos
1	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll.	Reverse-Oblique	6.93	729	PEER NGA West-2
2			San Jose - Santa Teresa Hills			671	
3	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU089		7.62	671	
4	Parkfield	1966	Temblor pre-1969	Strike-Slip	6.19	528	
5	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #06		5.74	663	
6	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto		6.53	472	
7	Landers	1992	Joshua Tree		7.28	379	

Tabla 6. Sismos de fuente lejana (FF) seleccionados
Fuente: Elaboración Propia

#	Sismo	Año	Estación	Mw	Tipo de Suelo	Base de datos
1	Iquique	2014	MNMCX	8.2	A ó B	Centro sismológico Nacional de la Universidad de Chile
2			PB02			
3			PB07			
4			PB08			
5			PB12			
6			PSGCX			
7	Illapel	2015	C23O	8.3		Network Center for Earthquake, Tsunami and Volcano
8			C19O			
9			C22O			
10	Tohoku	2011	IWTH17	9.0		
11			IWTH27			

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

12		MYG011	
13		MYGH06	
14		TCGH13	
15		YMT010	

Los sismos de fuente cercana (NF) se seleccionaron con base en los siguientes criterios: magnitud de momento ($5.5 \leq M_w \leq 7.5$), distancias (≤ 100 km), mecanismos de falla, tipo/clase de suelo y efectos de directividad. Por su parte para los sismos de fuente lejana se consideraron los mismos criterios antes indicados pero con magnitudes de momento y distancias superiores ($M_w \geq 7.5$ & distancias 100-250 km).

En la Figura 19 se presenta el ajuste para las componentes horizontales de los 7 sismos NF seleccionados (14 registros) y en la Figura 20 se presenta el ajuste también para las componentes horizontales de los 15 sismos FF escogidos (30 registros). Los espectros de la Figura 19 y Figura 20, al igual que el de la Figura 18 se presentan para periodos de hasta 4s y todos ellos consideran un porcentaje de amortiguamiento crítico de 5%.

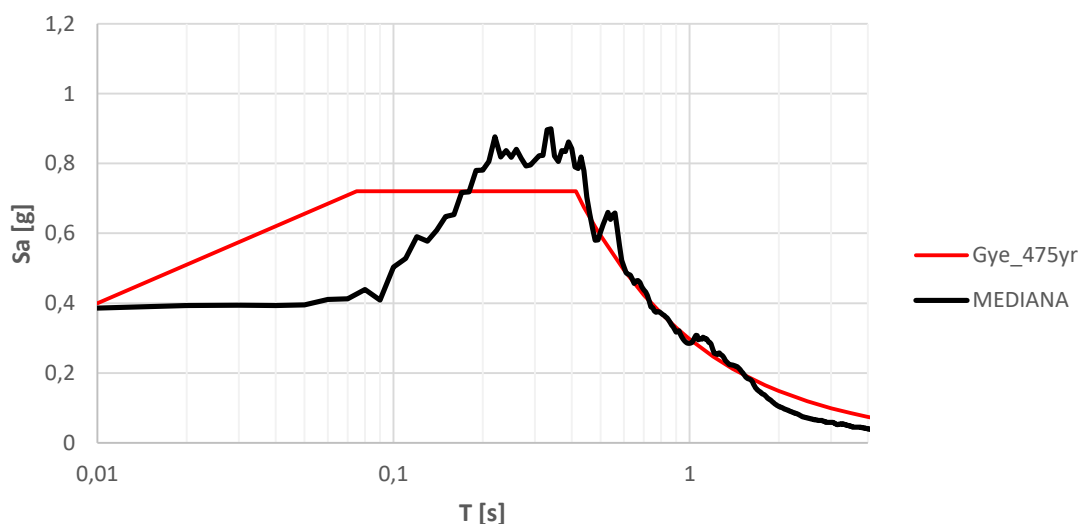


Figura 19. Ajuste para sismos de fuente cercana (NF)
Fuente: Elaboración Propia

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

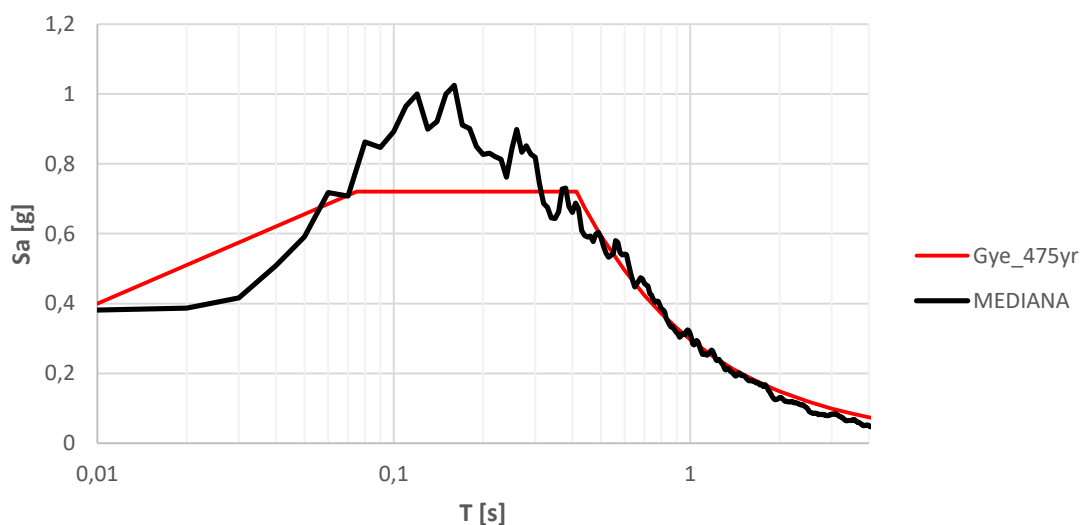


Figura 20. Ajuste para sismos de fuente lejana (FF)
Fuente: Elaboración Propia

5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

5.1 SONDEOS Y MEDICIONES CONSIDERADOS

De la totalidad de sondeos realizados (perforaciones y CPT) se consideraron para las evaluaciones los ubicados de forma más cercana a los escenarios geotécnicos de interés.

En la Figura 20 se presenta identificado con línea de color rojo las mediciones de V_s realizadas en el norte, centro y sur del proyecto. En esta figura, la cual se encuentra orientada con el norte geográfico, los sondeos directos más representativos de cada escenario geotécnico (identificados con marcador de color azul) corresponden a P-7 para el modelo de la parte central del proyecto y P-8 para el modelo sur. Como se puede apreciar para cada sitio existe una medición de periodo fundamental del suelo la cual se presenta con un pin de color amarillo. Como se ha indicado anteriormente no se cuenta con un sondeo directo ejecutado cerca de la ubicación donde se realizaron los sondeos geofísicos para el sector norte debido a ello se consideraron propiedades conservadoras de la prospección geotécnica más próxima.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"



Figura 21. Sondeos considerados para los análisis de respuesta de sitio
Fuente: Google Earth

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Con base en los sondeos detallados en la sección anterior se realizó una caracterización de las propiedades registradas y estimadas para tomar estas como base para la conformación del modelo unidimensional de columna de suelo a ser analizado.

Se ha considerado los sondeos representativos para cada escenario, referidos en la sección anterior. Como último estrato se consideró en todos los casos un material de gran rigidez (roca de matriz arenosa), el cual es consecuente con la velocidad de onda de corte registrada.

En la Figura 22 y Figura 23 se presenta la caracterización específica de los sondeos considerados para cada escenario geotécnico. Se incluyeron también en estas figuras las líneas de tendencia (perfil adoptado) para algunos parámetros de interés que se requieren como datos de entrada para establecer el modelo de la columna de suelo a analizar.

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

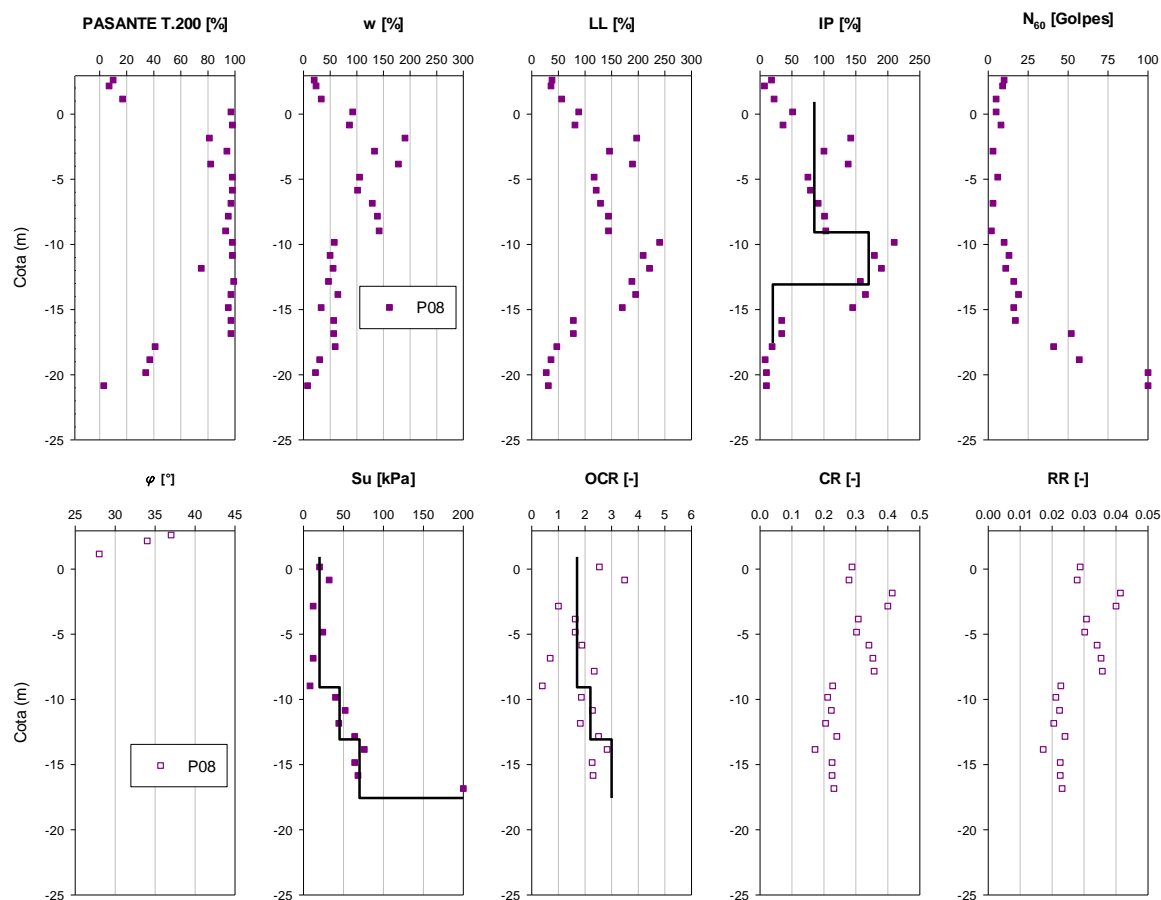


Figura 22. Caracterización geotécnica de la perforación P-8 (Modelo Sur)
Fuente: Elaboración Propia

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

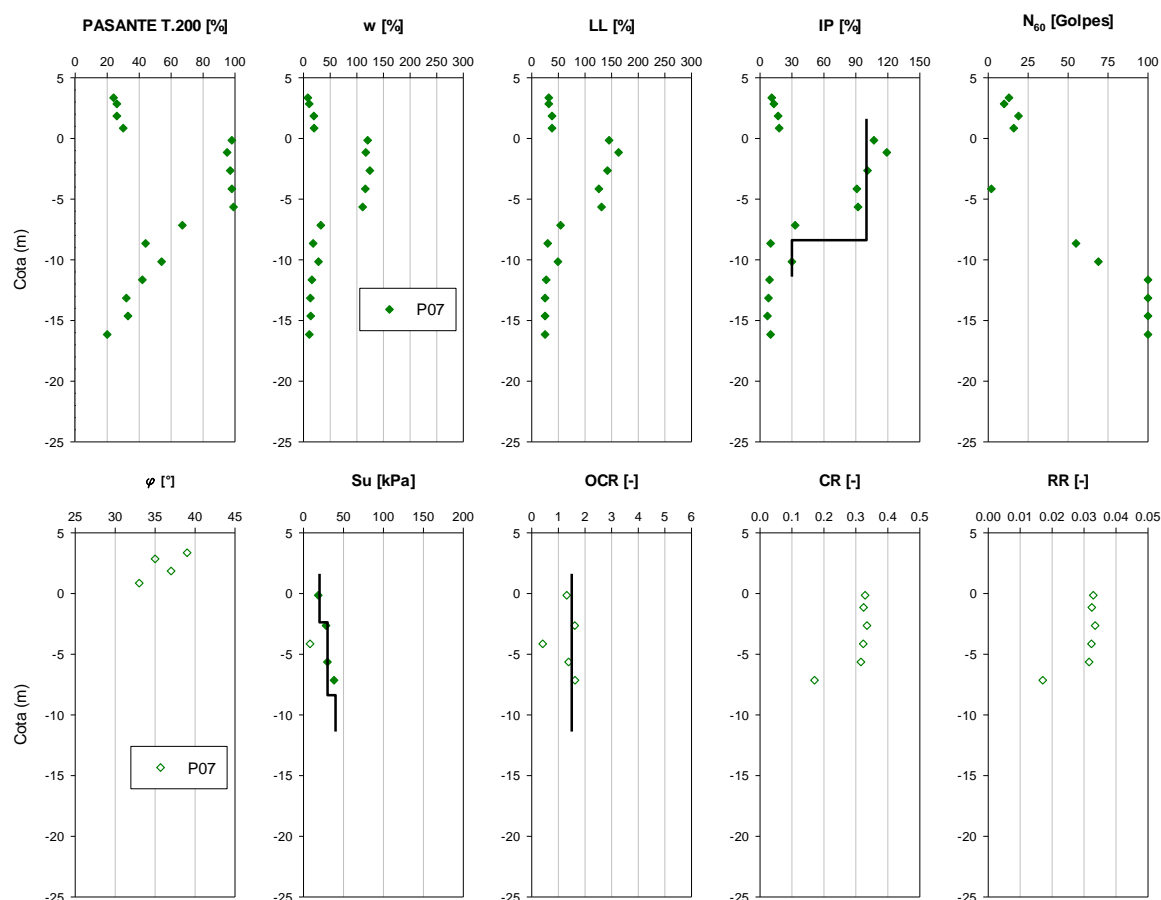


Figura 23. Caracterización geotécnica de la perforación P-7 (Modelo Centro)
Fuente: Elaboración Propia

Para el escenario geotécnico restante (Modelo Norte) se consideró la información de los sondeos cercanos.

5.3 CONFORMACIÓN DE LOS MODELOS

A continuación se detalla la estratigrafía considerada para cada uno de los escenarios geotécnicos. Para la elaboración de las curvas de degradación del módulo de rigidez al cortante (G/G_{\max}) y relación de amortiguamiento (ξ) de los geomateriales se consideró la formulación Darendeli (2001) para los suelos cohesivos y los estratos arenosos. Se empleó el ajuste de curvas de degradación propuesto por Phillips & Hashash, 2009 denominado MRDF-UIUC, el mismo que se usa mitigar posibles valores sobreestimados de amortiguamiento generados por curvas empíricas tales como lo propuesto por (Darendeli, 2001).

5.3.1 Modelo Sur

En la Tabla 7 se presentan las propiedades adoptadas para cada una de las capas del modelo conformado. El modelo considera un primer estrato de relleno de 2 m de espesor a

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

la cual se midió un valor de velocidad de onda de corte (V_s) de 145 m/s. Inmediatamente después se registró la presencia de una capa de material cohesivo (arcilla), esta con un V_s de 90 m/s y subyaciendo al mismo un arcilla de mayor rigidez ($V_s = 250$ m/s) cuyo espesor se estimó de 4 m, antes de llegar al contacto un limo de 5.5 m de espesor de V_s igual a 335 m/s.

Por debajo de los 20.5 m de profundidad se consideró la presencia de suelo residual en un espesor de 6 m, también caracterizados con un valor de V_s igual a 335 m/s como su antecesor. Finalmente se consideró el semiespacio a la profundidad de 26.5 m y se lo caracterizó con un V_s de 410 m/s.

Tabla 7. Propiedades geotécnicas de la columna de suelo modelada (Modelo Sur)
Fuente: Elaboración Propia

Capa N°	Material	Espesor [m]	Y [kN/m ³]	V_s [m/s]	Su [kPa]	IP [%]	OCR [-]
1	Relleno	1	18	145	-	45	-
2		1			-		
3	Arcilla	1	15	90	20	85	1.7
4		1			20		
5		1			20		
6		1			20		
7		1			20		
8		1			20		
9		1			20		
10		1			20		
11		1			20		
12		1			20		
13		2	16	250	45	170	2.2
14		2			45		
15	Limo	2	18	335	70	20	3
16		2.5			70		
17	Residual	3	18	335	-	-	-
18		3			-		
19	Roca	infinito	20	410	-	-	-

5.3.2 Modelo Centro

Las propiedades consideradas para el presente modelo se detallan en la Tabla 8. Para este modelo se tiene un relleno de 2 m de espesor con un valor de V_s de 115 m/s. Subyaciendo al relleno se identificó un potente estrato de arcilla de 13 m de espesor para el cual se estimó un V_s de 100 m/s. Entre los 15 y 17 m de profundidad se tiene un estrato de suelo residual de mayor rigidez en comparación con los materiales más superficiales cuyo valor

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

de Vs es de 240 m/s .

Por debajo de los 17 m de suelo antes descrito, se identificó un geomateriales de gran rigidez al cual se asocia un valor de Vs de 515 m/s, El inicio de este material se consideró como la profundidad del semiespacio.

Tabla 8. Propiedades geotécnicas de la columna de suelo modelada (Modelo Centro)

Fuente: Elaboración Propia

Capa N°	Material	Espesor [m]	Y [kN/m ³]	Vs [m/s]	Su [kPa]	IP [%]	OCR [-]
1	Relleno	1	18	115	-	12	-
2		1			-		
3	Arcilla	1	15	100	20	100	1.5
4		1			20		
5		1			20		
6		1			20		
7		1			30		
8		1			30		
9		1			30		
10		1			30		
11		1			30		
12		1			30		
13		1			40	30	1.5
14		1			40		
15		1			40		
16	Residual	2	18	240	-	-	-
17	Roca	infinito	20	400	-	-	-

5.3.3 Modelo Norte

Se puede observar en la Tabla 9 las propiedades consideradas para este modelo. Superficialmente se tiene una capa de relleno de 2 m de espesor para la cual se obtuvo una velocidad de onda de corte (Vs) de 245 m/s, valor que es muy superior al registrado para el relleno de los otros dos modelos. Posteriormente se tiene la presencia de suelo cohesivo de tipo arcilloso para el que se determinó un Vs de 150 m/s y subyaciendo al mismo se identifica suelo residual en un espesor de 4 m. Este último material e desarrolla entre las profundidades de 15 y 17 m y posee un una velocidad de onda de corte igual a 335 m/s.

El semiespacio se consideró a la profundidad de 17 m y este fue caracterizado con un valor de Vs igual a 440 m/s.

Tabla 9. Propiedades geotécnicas de la columna de suelo modelada (Modelo Norte)

Fuente: Elaboración Propia

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

Capa N°	Material	Espesor [m]	Y [kN/m³]	Vs [m/s]	Su [kPa]	IP [%]	OCR [-]
1	Relleno	1	18	245	-	12	-
2		1			-		
3	Arcilla	1	15	150	30	60	1.5
4		1			30		
5		1			30		
6		1			30		
7		1			45		
8		1			45		
9		1			45		
10		1			45		
11		1			45		
12		1			45		
13		1			60		
14		1			60		
15		1			60		
16	Residual	2	18	335	-	-	-
17		2			-		
18	Roca	infinito	20	440	-	-	-

6. RESPUESTA SÍSMICA EN SUPERFICIE

La evaluación de la respuesta en superficie conlleva la propagación de las ondas de corte desde el semiespacio hasta la superficie, capturando las propiedades dinámicas de degradación de cada capa ante una determinada deformación al corte.

Los análisis se ejecutaron empleando el software DEEPSOIL realizando análisis 1D no lineal (NL) y Lineal Equivalente (EQL), evaluando por separado las respuestas obtenidas para los sismos de fuente cercana (NF) y de fuente lejana (FF)

El procedimiento lineal equivalente (EL) resuelve el problema en el dominio de las frecuencias y emplea un procedimiento iterativo en la selección del módulo de corte y las propiedades del suelo de la relación de amortiguamiento.

Por su parte, el análisis no lineal (NL) resuelve las ecuaciones de los movimientos en el dominio del tiempo utilizando el método β de Newmark (implícito) o el método de Heun (explícito). Este procedimiento resuelve el problema en el dominio del tiempo.

Para poder definir el comportamiento histerético de los geo-materiales se usó el modelo constitutivo General Cuadrático GQ/H propuesto por (Groholski, Hashash, Kim, et al., 2016) en conjuntos a reglas Non-Masing de carga/descarga.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

6.1 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan los resultados en términos de espectro de respuesta de aceleración en superficie. Se ha obtenido la mediana de los 14 sismos de fuente cercana y 30 sismos de fuente lejana, en ambos casos se trabajó únicamente con las componentes horizontales. Los resultados correspondientes al análisis No lineal se muestran con líneas de color rojo, mientras que los resultados del análisis lineal equivalente se presentan en color azul.

6.1.1 Modelo Sur

Puede apreciarse en la Figura 24 que el análisis lineal equivalente entrega aceleraciones espectrales ligeramente mayores a las del análisis No Lineal. También es posible notar en la Figura 24 que la aceleración máxima del terreno (PGA) es superior para el análisis para el análisis lineal equivalente. En términos generales los valores de PGA fluctúan entre 0.22 y 0.32 g.

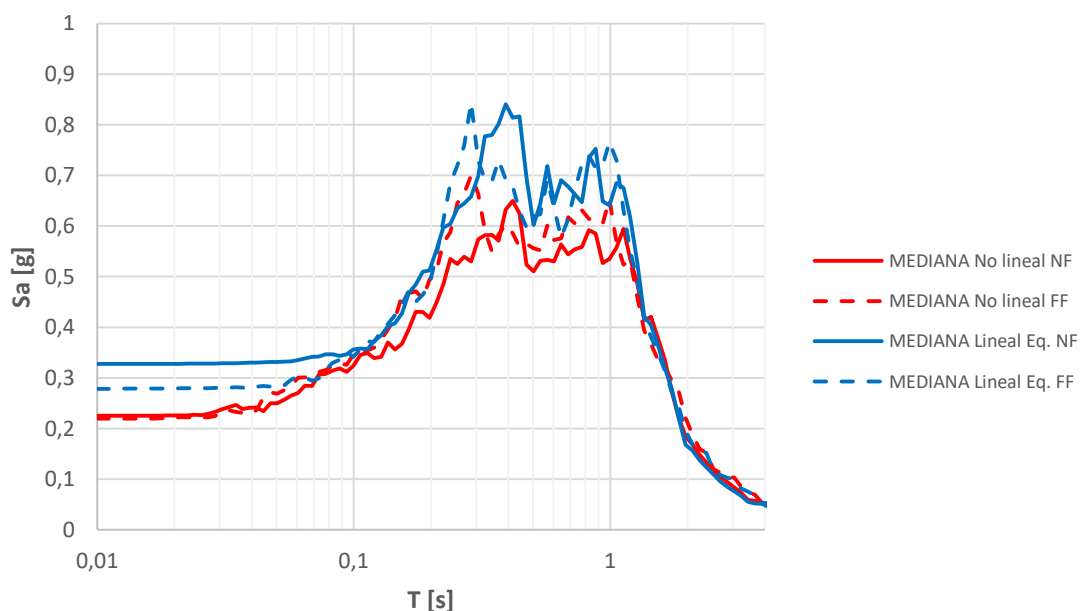


Figura 24. Mediana de los espectros elásticos de aceleración para los sismos NF y FF (Tr=475 años)
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 25 se presentan los perfiles de aceleración máxima del terreno (PGA), la deformación máxima por corte y el desplazamiento horizontal de la columna de suelo modelada. Se observa en la Figura 25 que el desplazamiento horizontal de la columna de suelo varía entre 6 y 7 cm, registrándose el máximo para el análisis No Lineal. Por su parte las máximas deformaciones por corte se desarrollaron en el suelo arcilloso y variaron entre

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

0.2 y 1% para los distintos análisis. Finalmente, los valores de PGA en profundidad alcanzan un máximo de 0.37 g.

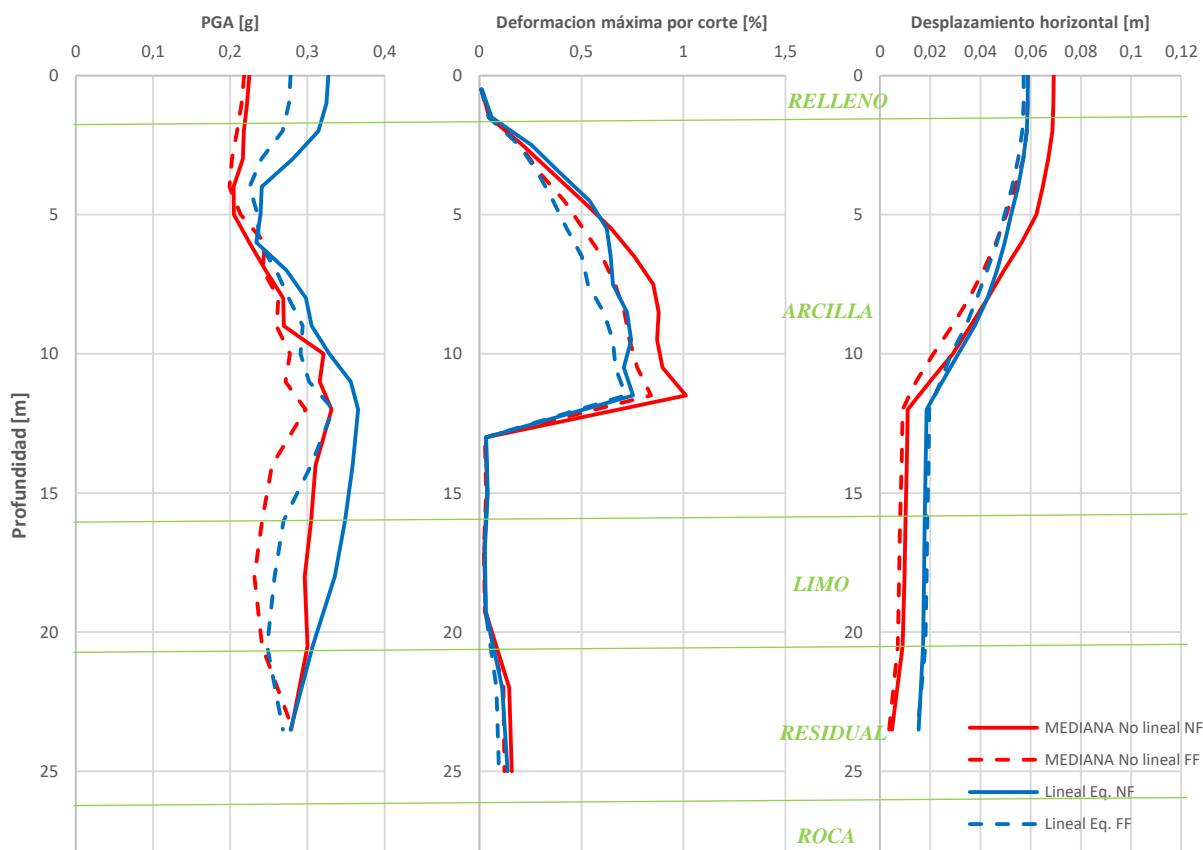


Figura 25. Aceleración máxima del terreno, deformación máxima por corte y Desplazamiento horizontal del perfil de terreno natural (Tr=475 años)
Fuente: Elaboración Propia

Con base en los espectros elásticos presentados en la Figura 24 se recomienda adoptar PARA LOS MODULOS 7, 8, 9 y 10 un espectro suavizado el cual se presenta con línea de color negro en la Figura 26 y Figura 27. En las figuras antes referidas se ha incluido el espectro para suelo tipo E obtenido de la NEC-15. Puede notarse que para el rango en que desarrolla la meseta del espectro para periodos de hasta 1.17 segundos las aceleraciones espectrales obtenidas del análisis de respuesta de sitio (ARS) son muy similares a las recomendadas por la normativa local para el suelo tipo E (perfil más conservador), sin embargo, para periodos superiores al valor antes referido los valores de aceleración espectral del ARS son inferiores a los sugeridos por la NEC-15.

La Figura 26 y Figura 27 presentan los mismos espectros, estas solo se diferencian en la escala horizontal mostrada para cada figura.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

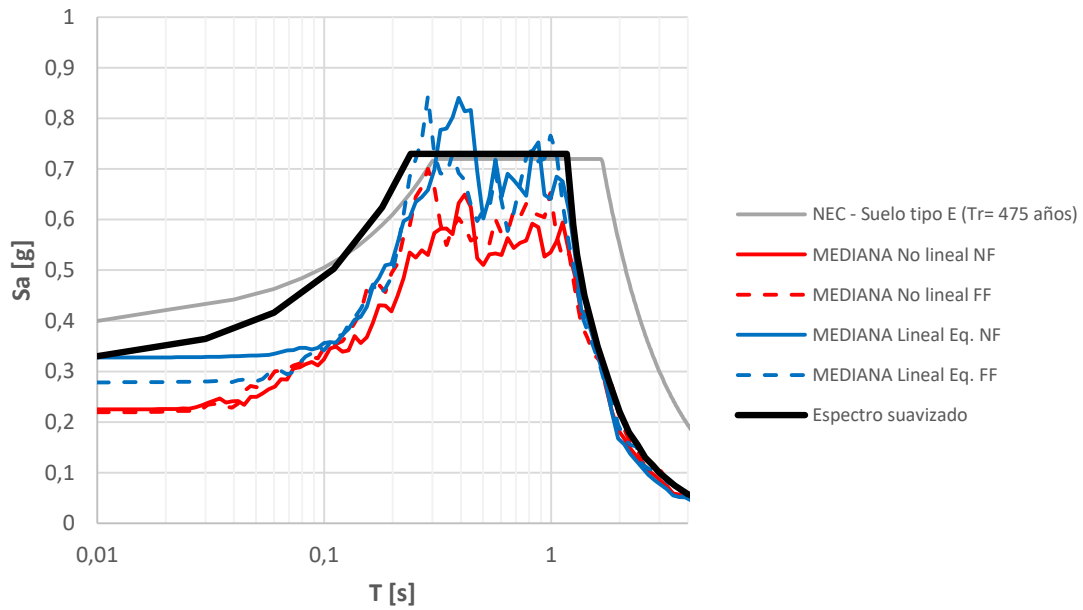


Figura 26. Espectro elástico de aceleración recomendado para diseño de los MODULOS 7, 8, 9 y 10 (Escala logarítmica)
Fuente: Elaboración Propia

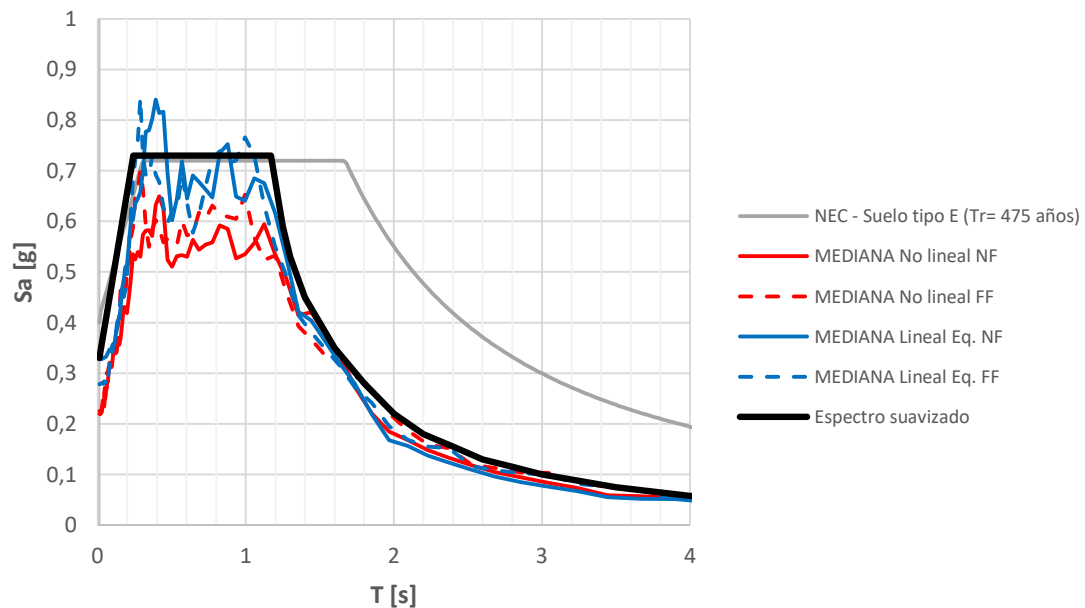


Figura 27. Espectro elástico de aceleración recomendado para diseño de los MODULOS 7, 8, 9 y 10 (Escala lineal)
Fuente: Elaboración Propia

6.1.2 Modelo Centro

En la Figura 28 es posible observar que el análisis lineal equivalente (EQL) proporciona aceleraciones espectrales ligeramente mayores a las del análisis No Lineal (NL). También es posible notar en la Figura 28 que la aceleración máxima del terreno (PGA) es superior

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

para el análisis para el análisis EQL. Los valores de PGA, por su parte, varían entre 0.23 y 0.30 g.

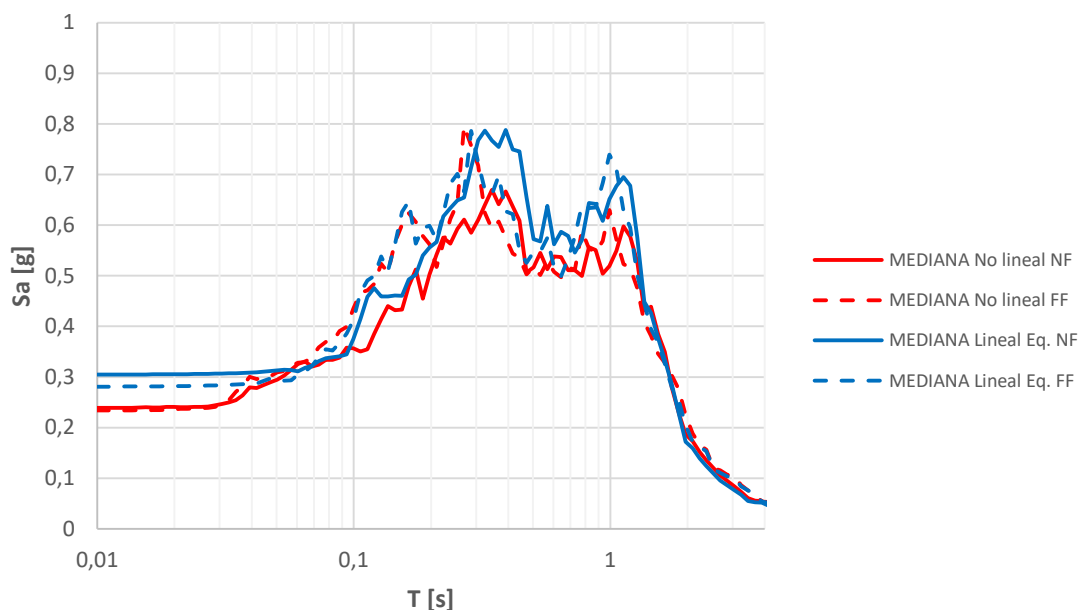


Figura 28. Mediana de los espectros elásticos de aceleración para los sismos NF y FF (Tr=475 años)
Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, en la Figura 29 se presentan los perfiles de aceleración máxima del terreno (PGA), la deformación máxima por corte y el desplazamiento horizontal. Puede apreciarse en la Figura 29 que el desplazamiento horizontal varía entre 6 y 8 cm para la columna de suelo, teniéndose el máximo para el análisis NL. Por otro lado, las máximas deformaciones por corte ocurren en el suelo arcilloso y varían entre 0.2 y 0.9% para los distintos análisis. Finalmente, los valores de PGA en profundidad alcanzan un máximo de 0.45 g.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

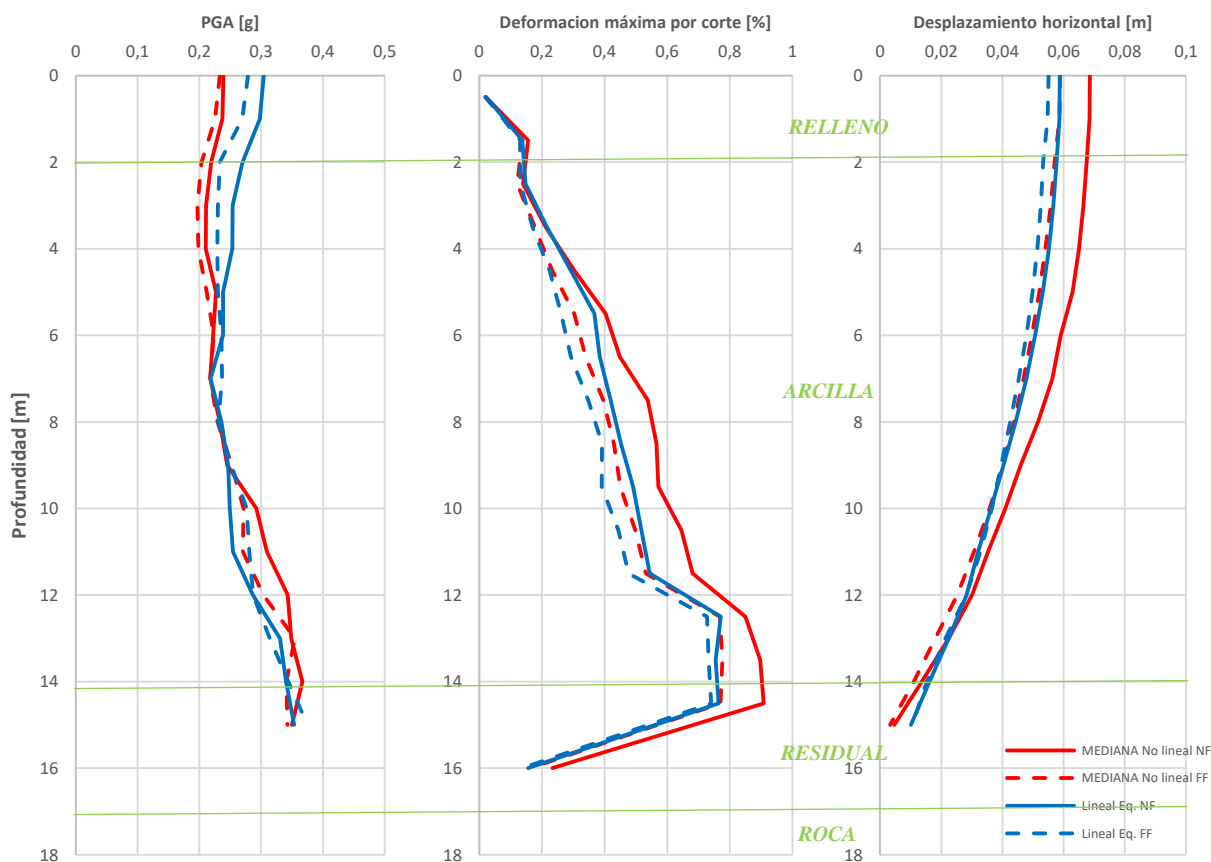


Figura 29. Aceleración máxima del terreno, deformación máxima por corte y Desplazamiento horizontal del perfil de terreno natural (Tr=475 años)
Fuente: Elaboración Propia

Con base en los espectros elásticos presentados en la Figura 29 se recomienda adoptar PARA LOS MODULOS 4, 5 y 6 un espectro suavizado el cual se presenta con línea de color negro en la Figura 30 y Figura 31. En las figuras mencionadas se ha incluido el espectro para suelo tipo E obtenido de la NEC-15.

Se puede observar que el espectro suavizado posee una meseta cuyas aceleraciones espectrales son inferiores a las del espectro tipo E de la NEC-15. Así mismo, para periodos superiores se tienen menores valores de aceleración. La Figura 30 y Figura 31 presentan los mismos espectros, estas solo se diferencian en la escala horizontal mostrada para cada figura.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

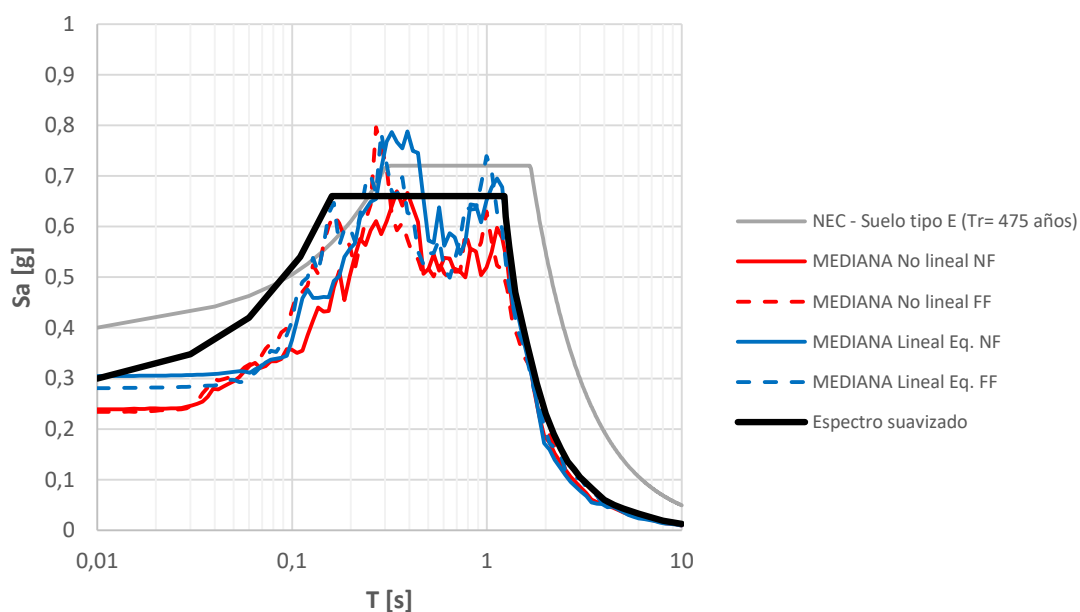


Figura 30. Espectro elástico de aceleración recomendado para diseño de los MODULOS 4, 5 y 6 (Escala logarítmica)
Fuente: Elaboración Propia

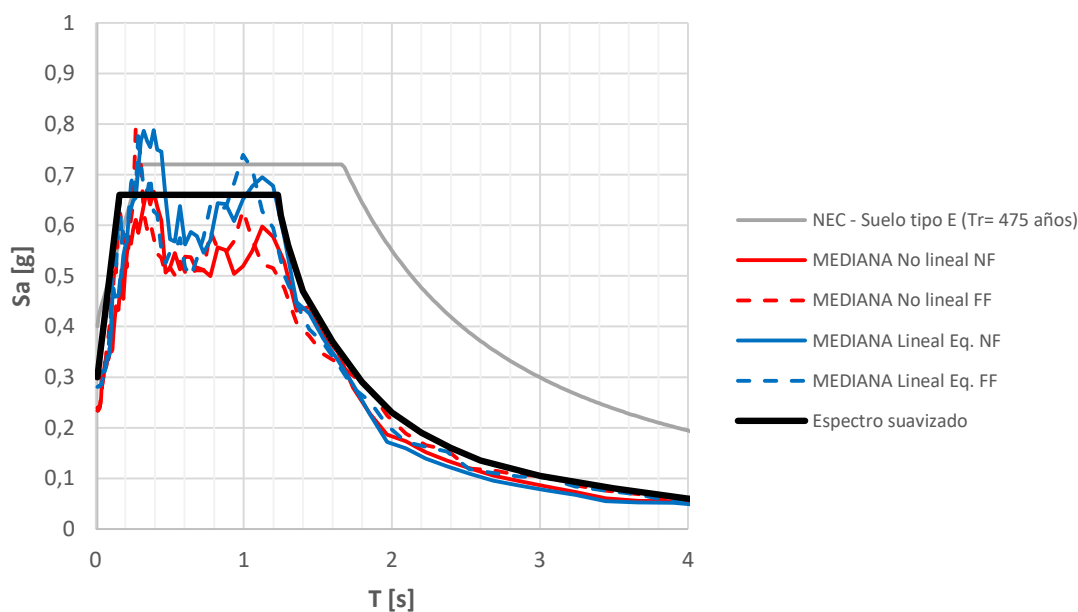


Figura 31. Espectro elástico de aceleración recomendado para diseño de los MODULOS 4, 5 y 6 (Escala lineal)
Fuente: Elaboración Propia

6.1.3 Modelo Norte

Puede apreciarse en la Figura 32 que por parte del el análisis lineal equivalente se tiene aceleraciones espectrales un poco mayores a las del análisis No Lineal. También es posible notar en la Figura 32 que la aceleración máxima del terreno (PGA) es superior para el

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

análisis para el análisis lineal equivalente. En términos generales los valores de PGA fluctúan entre 0.33 y 0.40 g.

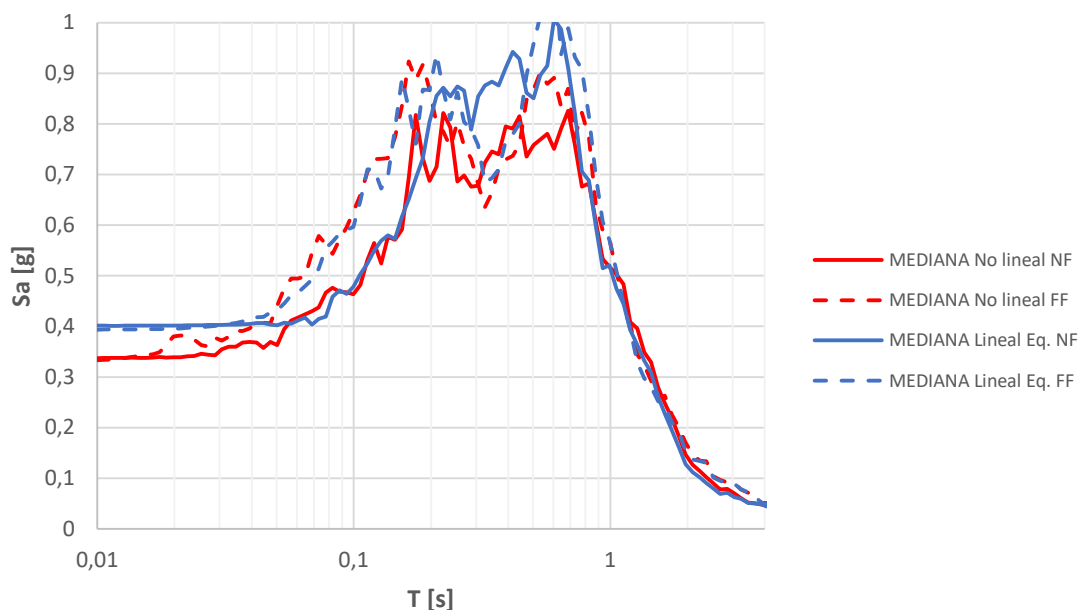


Figura 32. Mediana de los espectros elásticos de aceleración para los sismos NF y FF ($T_r=475$ años)
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 33 se muestran los perfiles de aceleración máxima del terreno (PGA), la deformación máxima por corte y el desplazamiento horizontal similares a los ya presentados para los otros modelos.

En la Figura 33 se puede notar que el desplazamiento horizontal de la columna de suelo varía entre 4 y 5 cm, registrándose el máximo para el análisis No Lineal. Por su parte las máximas deformaciones por corte se desarrollaron en el suelo arcilloso y variaron entre 0.1 y 0.5% para los distintos análisis. Finalmente, los valores de PGA en profundidad alcanzan un máximo de 0.35 g.

“CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA”

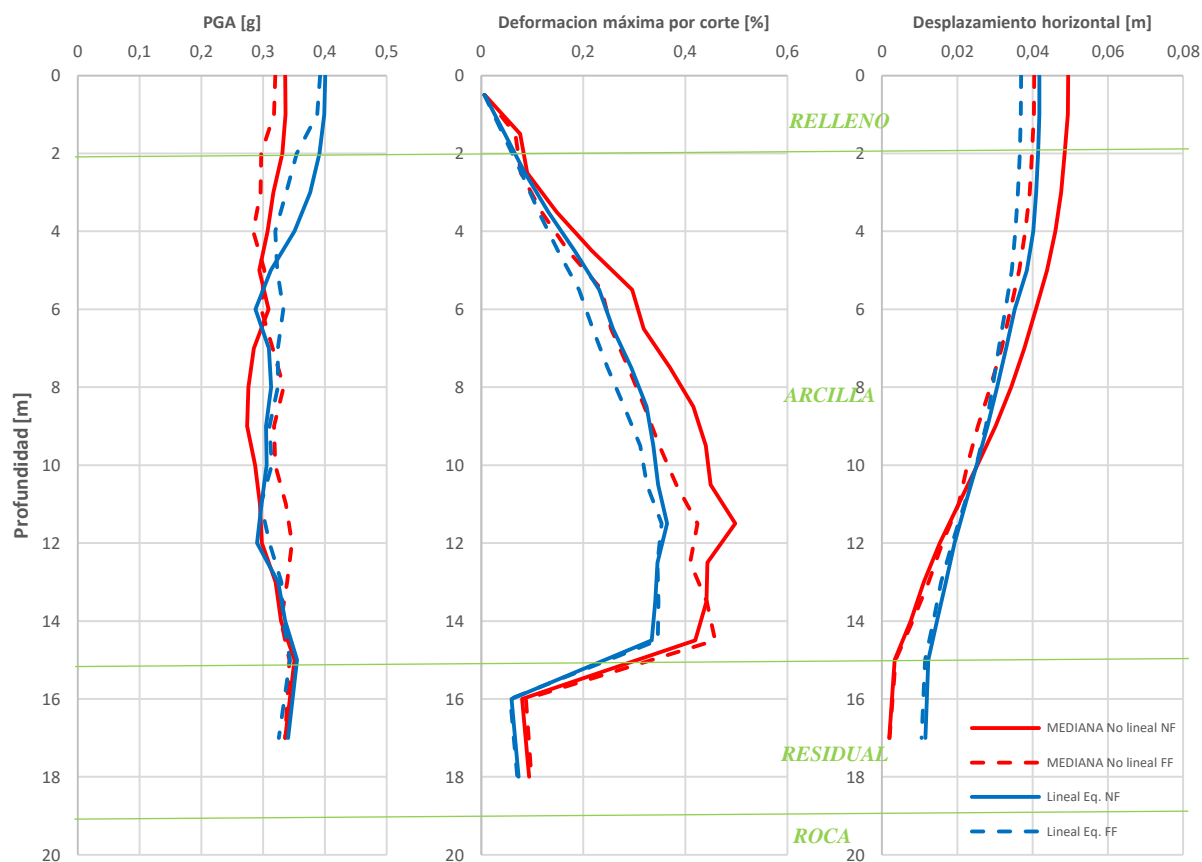


Figura 33. Aceleración máxima del terreno, deformación máxima por corte y Desplazamiento horizontal del perfil de terreno natural (Tr=475 años)
Fuente: Elaboración Propia

Con base en los espectros presentados anteriormente para el modelo norte, se recomienda adoptar un espectro suavizado el cual se presenta con línea de color negro en la Figura 34 y Figura 35. En estas figuras se incluyó el espectro para suelo tipo E obtenido de la NEC-15. Puede notarse que en el rango de la meseta se tienen aceleraciones espectrales mayores a las recomendadas por la normativa local para el suelo tipo E (perfil más conservador), sin embargo, adicionalmente, si se revisa el espectro en escala de periodos lineal se puede distinguir más fácilmente que la meseta de desarrolla en un rango de periodos más corto.

La Figura 34 y Figura 35 presentan los mismos espectros, estas solo se diferencian en la escala horizontal mostrada para cada figura.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

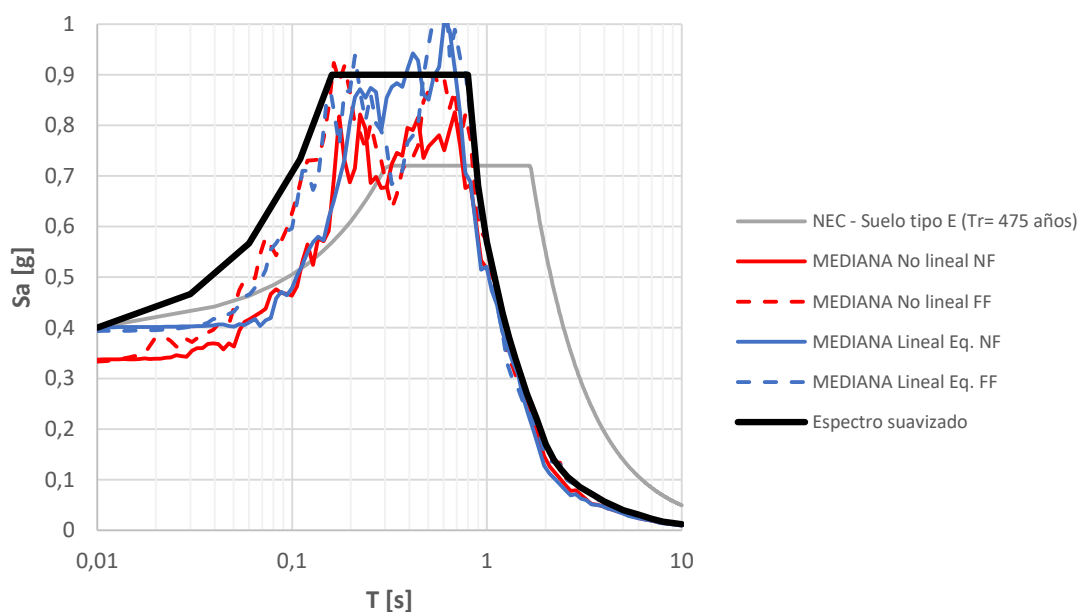


Figura 34. Espectro elástico de aceleración recomendado para diseño de los MODULOS 1a, 1, 2 y 3 (Escala logarítmica)
Fuente: Elaboración Propia

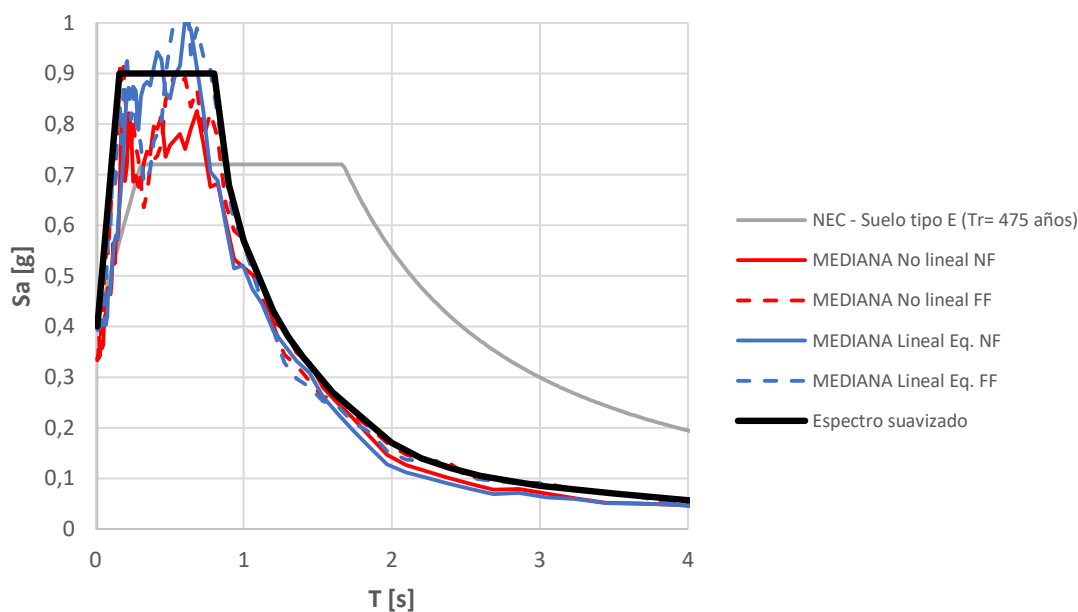


Figura 35. Espectro elástico de aceleración recomendado para diseño MODULOS 1a, 1, 2 y 3 (Escala lineal)
Fuente: Elaboración Propia

7. CONCLUSIONES

- Se adoptó un espectro de peligro uniforme en roca (UHS, por sus siglas en inglés) compatible con las características sísmicas del sitio de estudio.
- Se realizó la selección de registros sísmicos compatibles cuya mediana del espectro de aceleraciones presentó un buen de ajuste al espectro de peligro uniforme, UHS.

"CONSTRUCCIÓN DEL MALECÓN EN LA PARROQUIA URBANA SATÉLITE LA AURORA"

- Con la información de los sondeos directos e indirectos se pudo conformar modelos geotécnicos que permitieron determinar la respuesta dinámica del sitio.
- Se obtuvieron como resultados del análisis de respuesta sitio (ARS) los espectros elásticos de aceleraciones y los perfiles de desplazamiento para una condición en campo libre.
- De los espectros obtenidos del ARS se estableció un espectro (espectro suavizado) para ser empleado en cada uno de los modelos considerados.
- Del análisis de los resultados se pudo notar que para todos los modelos conformados la meseta se desarrolla hasta valores de periodo inferiores a los recomendados por la NEC-15 para un espectro tipo E (el más conservador).
- Los valores de aceleración de la meseta de los espectros de los 3 análisis realizados (modelos) son muy distintas entre sí y en comparación con el espectro para un suelo tipo E de la norma se tiene lo siguiente: la meseta del Modelo Sur es muy similar a la del suelo tipo E, mientras que la del Modelo Centro es un poco más baja y la del Modelo Norte es más alta.

8. RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos en con el MODELO SUR deberán ser considerados para el diseño de los MÓDULOS 7, 8, 9 y 10. Por su parte, los resultados del MODELO CENTRO deberán usarse para los MÓDULOS 4, 5 y 6 y para el diseño de los módulos 1a, 1, 2 y 3 se deberá hacer uso de los resultados del MODELO NORTE.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
ING. TERESA ARMAS ESPECIALISTA GEOTÉCNICA	ARQ. DANIEL FERNANDO SAN LUCAS MACIAS DIRECTOR GENERAL DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL CÓDIGO SERCOP: 8uE1iUQsG4
REVISADO POR:	APROBADO POR:
ING. CIV. JAVIER ELIAS PRIETO LAINA SUBDIRECTOR DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO – OBRAS PÚBLICAS CÓDIGO SERCOP: tJsbG5oV6w	ING. CIV. ÁNGEL WASHINGTON TAPE VELIZ DIRECTOR GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS CÓDIGO SERCOP: 1b5qYDfpNP