



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE SITIO PARA LA ESTRUCTURA
DE LA UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES PERTENECIENTE
AL DISTRITO 18D03, CANTÓN BAÑOS”.**

AUTOR: Johnny Alexander Naula López

TUTORA: Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado

AMBATO – ECUADOR

Agosto - 2023

APROBACIÓN DE TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema “**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE SITIO PARA LA ESTRUCTURA DE LA UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES PERTENECIENTE AL DISTRITO 18D03, CANTÓN BAÑOS**”, elaborado por el Sr. Johnny Alexander Naula López, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1600605602, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, agosto 2023



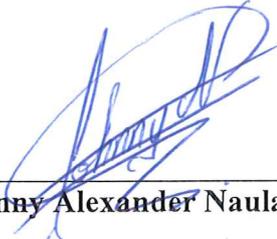
Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Johnny Alexander Naula López**, con **C.I. 1600605602** declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE SITIO PARA LA ESTRUCTURA DE LA UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES PERTENECIENTE AL DISTRITO 18D03, CANTÓN BAÑOS”**, así como también los análisis estadísticos, ideas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2023



Johnny Alexander Naula López

C.I. 1600605602

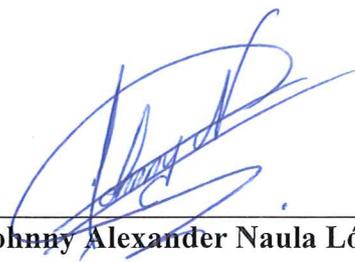
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto 2023



Johnny Alexander Naula López

C.I. 1600605602

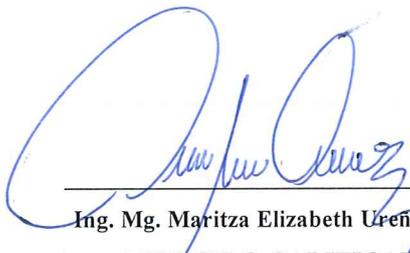
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

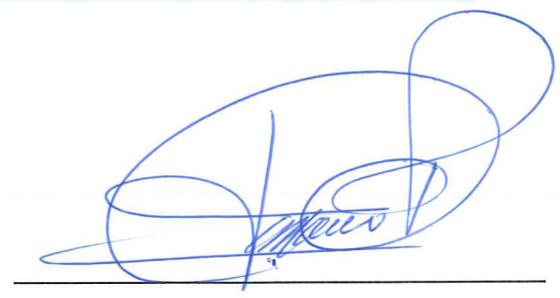
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Johnny Alexander Naula López de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE SITIO PARA LA ESTRUCTURA DE LA UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES PERTENECIENTE AL DISTRITO 18D03, CANTÓN BAÑOS”**.

Ambato, agosto 2023

Por constancia firman:



Ing. Mg. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera
MIEMBRO CALIFICADOR

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DE TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Tema del Proyecto Técnico.....	1
1.1.2 Antecedentes.....	1
1.1.3 Justificación.....	2
1.1.4 Fundamentación Teórica.....	2
1.1.4.1 Tectónica de Placas.....	2
1.1.4.2 Tipos de Terremotos.....	4
1.1.4.3 Fallas Geológicas.....	5
1.1.4.4 Peligro Sísmico.....	7
1.1.4.5 Medición de las Dimensiones Sísmicas.....	8
1.1.4.6 Régimen Tectónico.....	12

1.1.4.7	Zonificación Sísmica del Ecuador	12
1.1.4.8	Ondas Sísmicas.....	16
1.1.4.9	Ecuaciones de Predicción de Movimiento en el Suelo (GMPEs). 17	
1.1.4.10	Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	20
1.1.4.11	Clasificación de Suelos.....	20
1.2	OBJETIVOS.....	22
1.2.1	Objetivo General	22
1.2.2	Objetivos Específicos.....	22
CAPÍTULO II		23
2	METODOLOGÍA.....	23
2.1	Métodos	23
2.2	Población y Muestra.....	23
2.3	Plan de Recolección de Información.....	24
2.4	Plan De Procesamiento y Análisis.....	24
CAPÍTULO III.....		26
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1	Recolección de Datos	26
3.1.1	Régimen Tectónico	26
3.1.2	Caracterización de la Sismicidad en Ecuador	26
3.1.3	Selección de Fallas Geológicas.....	28
3.1.4	Cálculo de la Magnitud de Momento (Mw).....	28
3.1.5	Caracterización del suelo	29
3.1.6	Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	30
3.1.7	Velocidad de corte (Vs30)	30
3.2	ANÁLISIS DE LOS SONDEOS SPT Y CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	33
3.2.1	ANÁLISIS DEL POZO DE PERFORACION 1.	33

3.2.2	ANÁLISIS DEL POZO DE PERFORACION 2	33
3.2.3	ANÁLISIS DEL POZO DE PERFORACION 3	33
3.2.4	ANÁLISIS DEL POZO DE PERFORACION 4	34
3.2.5	CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL DEPOSITO	34
3.3	ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA SISMOS INTRAPLACA CORTICAL	34
3.4	ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA SUBDUCCIÓN	42
4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	46
4.1	Cálculos de los espectros	46
4.2	Soluciones estructurales propuestas	93
CAPÍTULO IV		95
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1	Conclusiones	95
5.2	Recomendaciones	95
6	Bibliografía	97
7	ANEXOS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Placas Tectónicas	3
Figura 2.	Borde Divergente	3
Figura 3.	Borde Convergente	4
Figura 4.	Bordes de Falla Transformante o Pasivo	4
Figura 5.	Movimientos Sísmicos	5
Figura 6.	Partes de Falla Geológica	6
Figura 7.	Esquema de una Falla Normal	6
Figura 8.	Esquema de una Falla Inversa.	7

Figura 9. Esquema de una Falla de Desplazamiento.....	7
Figura 10. Mapa de Zonificación	13
Figura 11. Fuentes Sísmicas De Subducción	14
Figura 12. Mecanismos Focales para la Sismicidad Interplaca (Zona I)	15
Figura 13. Mecanismos Focales para la Sismicidad Interplaca Inferior (Zona II)....	15
Figura 14. Mecanismos Focales para la Sismicidad Somera Interplaca (Zona III) ..	16
Figura 15. Movimiento de las ondas primarias.....	16
Figura 16. Movimiento de las ondas secundarias	17
Figura 17. Desplazamiento de la onda superficial Rayleigh.....	17
Figura 18. Desplazamiento de la onda superficial Love	17
Figura 19. Ubicación Geográfica de Baños de Agua Santa	26
Figura 20. A) Fallas geológicas del Ecuador, B) Falla geológicas cercanas a la ciudad de Baños	28
Figura 21. Zona de estudio, ubicación de puntos de perforación en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes	32
Figura 22. Modelo de Atkinson y Boore – Espectros Calculados	46
Figura 23. Modelo de Akkar y Bommer-Espectros Calculados	47
Figura 24. Modelo de Kanno - Espectros Calculados.....	48
Figura 25. Modelo de Young - Espectros Calculados	48
Figura 26. Modelo de Zhao - Espectros Calculados	49
Figura 27. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para la falla San Vicente	51
Figura 28. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para el lineamiento Pastaza.....	51
Figura 29. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para la falla La Playa.....	52
Figura 30. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para la falla San Antonio.....	52
Figura 31. Modelos de Young y Zhao para la falla de Subducción	53
Figura 32. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para la falla San Vicente	55
Figura 33. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para el lineamiento Pastaza.....	55

Figura 34. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para la falla La Playa	56
Figura 35. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para la falla San Antonio.....	56
Figura 36. Modelos generados y comparados mientras que los demás modelos para este tipo de falla están dentro de los rangos obtenidos por la NEC-15.con la NEC-15 para la de Subducción	57
Figura 37. Espectros obtenidos en comparación con la NEC-15.....	58
Figura 38. Espectro determinista y NEC-15	59
Figura 39. Modelo estructural de unidad educativa Oscar Efrén Reyes	61
Figura 40. Vista en planta – de la UE Oscar Efrén Reyes	62
Figura 41. Modelo de la edificación 1	63
Figura 42. Vista en planta – Edificio 1	63
Figura 43. Modelo de la edificación 2	64
Figura 44. Vista en planta – Edificio 2	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)	10
Tabla 2. Coeficientes para calcular la magnitud de momento	11
Tabla 3. Valores del Factor Z en función de las Zonas Sísmicas	13
Tabla 4. Plan de recolección de información	24
Tabla 5. Terremotos del Ecuador con intensidades \geq VIII	27
Tabla 6. Ciudades afectadas por el terremoto del 5 de Agosto de 1949	27
Tabla 7. Características de fallas geológicas seleccionadas.....	28
Tabla 8. Regresión de longitud, ancho, área de ruptura y magnitud de momento (Mw). Selectivos	29
Tabla 9. Magnitud de momento (Mw) para cada falla seleccionada	29
Tabla 10. Ecuaciones empíricas escrita por diferentes autores.....	30
Tabla 11. Coordenadas UTM de las cuatro perforaciones realizadas en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes.....	32
Tabla 12. Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas	35
Tabla 13. Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson	38
Tabla 14. Valor variable ficticias para falla inversa	38

Tabla 15. Coeficientes para el modelo de Boore y Atkinson.....	38
Tabla 16. Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer.....	39
Tabla 17. Coeficientes para el modelo de Akkar y Bommer	40
Tabla 18. Valores empleados en el modelo de Kanno	41
Tabla 19. Valores empleados en el modelo de Young.....	42
Tabla 20. Clasificación de la clase de sitio (Ck).....	44
Tabla 21. Valores empleados en el modelo de Zhao	44
Tabla 22. Variación entre modelos calculados	53
Tabla 23. Datos estructurales de la edificación.....	60
Tabla 24. Coeficientes C_t y α	65
Tabla 25. Coeficientes de amplificación de suelo tipo D.....	67
Tabla 26. Coeficientes por usar en el cortante basal	68
Tabla 27. Cortante basal NEC-15	68
Tabla 28. Cortante basal determinista.....	68
Tabla 29. Coeficiente k	68
Tabla 30. Coeficientes seleccionados	69
Tabla 31. Datos para cada factor.....	69
Tabla 32. Periodo de vibración obtenido en ETABS 2018.....	70
Tabla 33. Datos de los periodos	70
Tabla 34. Periodo de vibración obtenido en ETABS 2018.....	70
Tabla 35. Datos de los periodos	71
Tabla 36. Periodo de vibración obtenido en ETABS 2018.....	71
Tabla 37. Datos de los periodos	71
Tabla 38. Modos de vibración obtenidos en ETABS 2018.....	72
Tabla 39. Modos de vibración obtenidos en ETABS 2018.....	72
Tabla 40. Modos de vibración obtenidos en ETABS 2018.....	73
Tabla 41. Participación de la masa obtenida en el ETABS.....	73
Tabla 42. Participación de la masa obtenida en el ETABS.....	73
Tabla 43. Participación de la masa obtenida en el ETABS.....	74
Tabla 44. Derivas máximas estáticas (NEC-15), unidad educativa Oscar Efrén Reyes	75
Tabla 45. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes	76

Tabla 46. Derivas máximas estáticas (NEC-15), edificación 1	76
Tabla 47. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 1	77
Tabla 48. Derivas máximas estáticas (NEC-15), edificación 2	78
Tabla 49. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 2	79
Tabla 50. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTA), unidad educativa Oscar Efrén Reyes	79
Tabla 51. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes	80
Tabla 52. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTA), edificación 1	81
Tabla 53. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 1	82
Tabla 54. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTA), edificación 2	82
Tabla 55. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 2	83
Tabla 56. Resumen de las derivas máximas estáticas	84
Tabla 57. Derivas máximas dinámicas (NEC-15), unidad educativa Oscar Efrén Reyes	85
Tabla 58. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes	85
Tabla 59. Derivas máximas dinámicas (NEC-15), edificación 1	86
Tabla 60. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 1	87
Tabla 61. Derivas máximas dinámicas (NEC-15), edificación 2	88
Tabla 62. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 2	88
Tabla 63. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTA), unidad educativa Oscar Efrén Reyes	89
Tabla 64. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes	89
Tabla 65. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTA), edificación 1	90
Tabla 66. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 1	90
Tabla 67. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTA), edificación 2	91
Tabla 68. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 2	92
Tabla 69. Resumen de las derivas máximas dinámicas	92
Tabla 70 Perfiles de suelos según la NEC 2015	116
Tabla 71 Datos NSPT y Vs30 obtenidos del Sondeo 1, y 2	117
Tabla 72 Datos NSPT y Vs30 obtenidos del Sondeo 1, y 2	118

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....	101
Fotografía 1. Instalación del equipo SPT	102
Fotografía 2. Colocación de las medidas límites.....	102
Fotografía 3. Ensayo de penetración estándar (SPT) en la zona de estudio.....	102
Fotografía 4. Muestra in situ.	103
Fotografía 5. Tamices para ensayo granulométrico	103
Fotografía 6. Granulometría del material obtenido.	104
Fotografía 7. Estructura I de la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes	104
Fotografía 8. Levantamiento estructural.	105
Fotografía 9. Estructura II cercana a la zona de estudio.....	105
Fotografía 10. Levantamiento estructural.....	106
Fotografía 11. Estructura III cercana a la zona de estudio	106
Fotografía 12. Levantamiento estructural.....	107
ANEXO B	107
B-1. Coeficientes escalares de la distancia ($M_{ref} = 4.5$ y $R_{ref} =$ 1.0 km para todos los periodos, excepto $R_{ref} = 5.0$ km para pga_{4nl}) ...	107
B-2. Coeficientes escalares de magnitud.....	108
B-3. Coeficientes de amplificación del sitio independiente del período.....	108
B-4. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período.	108
ANEXO C.....	109
C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 & 2 para la predicción de pseudoaceleración espectral.....	109
ANEXO D.....	110
D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%.	110
D-2. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%.	111
D-3. Coeficientes obtenidos en la ecuación.	112
ANEXO E	113
E-1. Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción para suelo.....	113
ANEXO F	113

F-1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria	114
F-2. Coeficientes para los términos de clase del sitio y error de predicción.....	114
ANEXOS G. Tabla de clasificación SUCS y carta de plasticidad.	114
ANEXO H.	116
ANEXO I. Sondeos Geotécnicos – SPT	117
ANEXO J. Resultado de clasificación Sucs	118
Anexo k. Velocidades de corte obtenidas a partir del <i>NSPT</i>	146

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente proyecto experimental se realiza una investigación con el propósito de evaluar el peligro sísmico existente en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes como de las viviendas aledañas a la zona de estudio.

Para el proceso de investigación se determinó el régimen tectónico de acuerdo a la zona de análisis, se identificó y utilizó las fallas activas cercanas al punto de estudio, además se realizaron cuatro análisis de suelos por medio del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), y a partir de los datos obtenidos se calculó la velocidad de onda de corte identificando el tipo de perfil del suelo con la ayuda de la tabla presente en la NEC 15. Se determinó la magnitud del momento por medio de la relación Wells-Coppersmith, Los datos obtenidos se utilizaron en las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPEs), teniendo como resultado los espectros de aceleración para las cinco fallas seleccionadas por cada autor, de la cual se procedió a determinar un espectro específico determinista para la zona por medio de un envolvente, el mismo que se comparó con el de respuesta establecida por la NEC 15.

Las aceleraciones dadas por el espectro determinístico de las estructuras en comparación con la aceleración espectral establecida por la NEC 15 es mayor considerando que se encuentran dentro del mismo intervalo del periodo de tiempo.

Palabras claves: Peligrosidad sísmica, Régimen tectónico, Ondas sísmicas, Ensayo de penetración, Oscar Efrén Reyes.

ABSTRACT

In the present experimental project, an investigation is carried out with the purpose of evaluating the existing seismic hazard in the Oscar Efrén Reyes Educational Unit as well as in the houses surrounding the study area.

For the research process, the tectonic regime was determined according to the analysis zone, the active faults near the study point were identified and used, in addition, four soil analyses were performed by means of the Standard Penetration Test (SPT), and from the data obtained, the shear wave velocity was calculated identifying the type of soil profile with the help of the table present in NEC 15. The data obtained were used in the ground motion prediction equations (GMPEs), resulting in the acceleration spectra for the five faults selected by each author, from which a specific deterministic spectrum was determined for the zone by means of an envelope, which was compared with the response established by NEC 15.

The accelerations given by the deterministic spectrum of the structures in comparison with the spectral acceleration established by NEC 15 is higher considering that they are within the same time period interval.

Keywords: Seismic hazard, Tectonic regime, Seismic waves, Penetration test, Oscar Efrén Reyes.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Tema del Proyecto Técnico

“Evaluación de la estabilidad de sitio para la estructura de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes perteneciente al distrito 18D03, cantón Baños.”

1.1.2 Antecedentes

El Ministerio de Educación del Distrito Educativo 18D03 Baños de Agua Santa, de acuerdo con las necesidades dentro de la infraestructura de la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes, se requiere implementar un nuevo edificio, por tanto, se inicia con la evaluación de la estabilidad de sitio donde se identifica los terremotos inducidos por rupturas de falla superficial, licuación de suelos, hundimiento, asentamiento, deslizamiento, tsunami, seiches y otros que pueden afectar a la zona de estudio.

Según Rebeca Sánchez considera que la microzonificación sísmica como la metodología de trabajo utilizada para llevar a cabo la reducción del riesgo sísmico en ciudades. El propósito se enfoca en evaluar los niveles de amenazas sísmicas y los efectos locales probables, para establecer estrategias que ocupen estas condiciones regionales y locales del suelo, responsables para la modificación de la respuesta sísmica de una ciudad. [1]

Según Pablo Quinde Martínez y Eduardo Reinoso Angulo manifiestan que en un estudio de peligro sísmico tiene como objetivo caracterizar, de la forma más precisa posible, los diferentes movimientos del terreno que una estructura determinada debe soportar. El nivel de la demanda sísmica se debe encontrar asociado al nivel de desempeño de la estructura previamente obtenido, de tal forma que durante un evento sísmico se pueda controlar la magnitud de los daños. [2]

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción – Riesgo Sísmico establece que nuestro país posee seis zonas sísmicas, donde la del Litoral presenta una alta amenaza sísmica y el Nororiente una amenaza sísmica intermedia. El factor Z caracteriza estas zonas sísmicas. El mapa de zonificación sísmica se realizó a partir de un estudio de peligro sísmico para un diez por ciento de excedencia en cincuenta años con un periodo de retorno de 475 años. [3]

1.1.3 Justificación

Los terremotos son fenómenos naturales que sobrellevan un alto potencial de destrucción, con un número considerable de pérdidas humanas y materiales, lo que demuestra que el peligro sísmico sea uno de los riesgos naturales que más atención social reclaman, siendo este fenómeno imposible de evitar pero el riesgo generado se puede mitigar y éste es el reto que afronta en la actualidad la comunidad científica en materia de sismología e ingeniería sísmica, por medio de la adopción de medidas preventivas y el diseño de planes eficaces de emergencia. [4]

Las regiones sísmicas de mayor actividad ocurren en el borde occidental ubicada en América Central y del Sur. En esta región se presentan los terremotos que llegan alcanzar grandes magnitudes y produciendo catástrofes con mayores costes de vida y materiales. La Región Andina desde Colombia a la Tierra de Fuego es sacudida periódicamente por grandes terremotos y contribuye aproximadamente con el 15% del total de la energía sísmica disipada en todo el mundo en cada siglo. [5]

En Ecuador, donde la placa de América del Sur se encuentra con la fosa de subducción, se extiende una región de deformación que cubre la Cordillera y la llanura costera. Esta interacción provoca una alta actividad sísmica en el cinturón de fuego del Ecuador debido a la continua dinámica de las placas y la tensión que se libera. [3], [6]

El cantón Baños de Agua Santa presenta una aceleración sísmica calificada como alta en 36% del territorio de la zona occidental correspondiente a Lligua, Ulba y Baños, este último será analizado para determinar los tipos de datos que generan la realización del siguiente trabajo con el objetivo de obtener información de calidad y útil para ejecutar con mejores características sismo resistentes. [7]

1.1.4 Fundamentación Teórica

1.1.4.1 Tectónica de Placas

La tectónica de placas señala que la capa externa de la tierra (litósfera), se encuentra fragmentada por una serie de placas, las cuales se deslizan sobre un estrato del manto superior (astenosfera), dando lugar a esfuerzos y deformaciones originando los terremotos. [8]

Las placas tectónicas están compuestas por una variedad de rocas desde la superficie de la tierra hasta el manto superior, entre los límites de las placas se encuentran sectores de corteza oceánica y de corteza continental, lo que significa que las placas presentan una constitución altamente compleja. [9]

Las placas litosféricas se dividen de acuerdo con su tamaño en: las Placas Principales son: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana, Sudamericana, Pacífica y Antártica; y otras placas de dimensiones más reducidas son: La de Nazca, Cocos, Caribe, Filipinas, Arábica. [10]

Figura 1. Placas Tectónicas



Fuente: Abel Gil Lobo. Borde de Placa (2020)

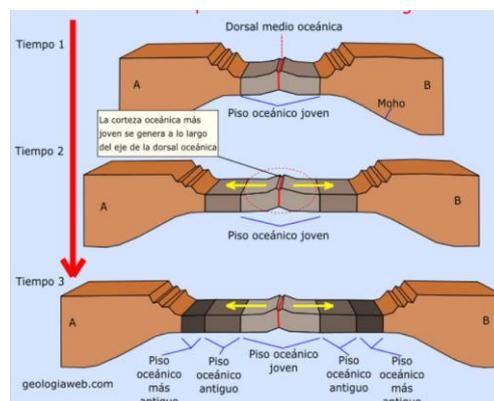
Bordes de Placas

Los bordes de placas se deforman mayormente debido a que es el punto de interacción entre las placas rígidas que se mueven entre sí, presentando tres tipos distintos de bordes: divergentes, convergentes y pasivos. [11]

Bordes Divergentes

Se denominan también como constructivos o dorsales, ocurre cuando las placas se apartan una de otra, generando que el magma suba llenando la apertura creada y cuando llega a la superficie crea una nueva corteza, formando volcanes. [12]

Figura 2. Borde Divergente

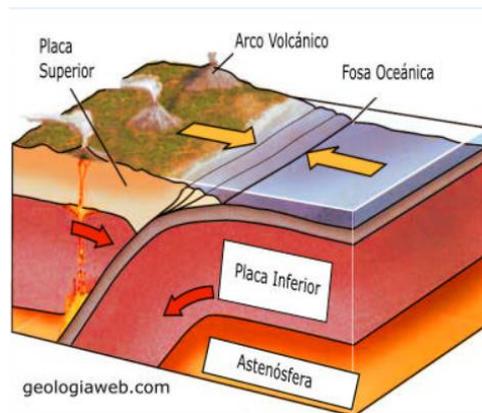


Fuente: Geología Web. Tectónica de Placas.

Bordes Convergentes

Se les conoce como zonas de subducción, fosas o bordes destructivos, ocurre cuando dos placas chocan en consecuencia a que éstas presentan movimientos con direcciones opuestas generando la inclusión de una placa oceánica por debajo de una placa continental, además cuando el magma que está en el manto de la tierra sube hacia la superficie formando una cadena volcánica, debido a la fricción causada por el rozamiento de ambas placas produce terremotos de gran magnitud. [12]

Figura 3. Borde Convergente

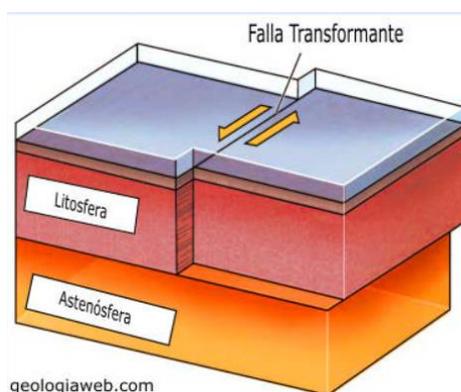


Fuente: Geología Web. Tectónica de Placas.

Bordes de Falla Transformante

Se genera cuando las placas se desplazan lateralmente una respecto a la otra en direcciones opuestas o en la misma dirección, pero con velocidades distintas generando un movimiento repentino es decir terremotos. [12]

Figura 4. Bordes de Falla Transformante o Pasivo



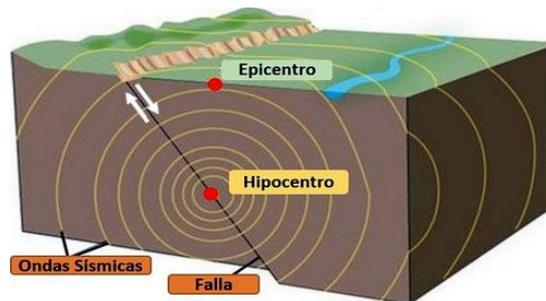
Fuente: Geología Web. Tectónica de Placas

1.1.4.2 Tipos de Terremotos

Un terremoto es un movimiento o vibración repentina ocasionada por la relajación violenta y súbita de energía, acumulada por deformación de la Litósfera, que se

propaga en forma de ondas sísmicas. Es por tanto un fenómeno transitorio. La mayoría de los terremotos son de origen tectónico, debido a que la fricción en las fallas es por lo general inestable, ocurren desplazamientos muy rápidos como una ruptura que se propaga dinámicamente sobre la superficie de la falla, estos movimientos generan las ondas sísmicas que, al llegar a la superficie, generan las sacudidas sísmicas del terreno. [12]

Figura 5. Movimientos Sísmicos



Fuente: Astronomía. Movimientos Sísmicos

Las causas pueden ser por causas naturales y causas artificiales. Los sismos o terremotos que causan efectos graves son los que se originan de forma natural por la razón que liberan mayor cantidad de energía, entre los que se encuentran:

Terremotos Tectónicos: Se da por medio de la interacción de placas tectónicas y liberación de energía concentrada, dentro de la corteza durante varios años, la que es liberada por un movimiento sísmico con consecuencias devastadoras por su violencia e intensidad. [12]

Terremotos Volcánicos: Se generan mediante una actividad volcánica, generalmente se da antes o después de una erupción, debido a que las rocas se fracturan por los cambios de densidad de la zona. [12]

Terremotos Ligados a causa antrópicas: Se conoce también como terremotos artificiales, generados por la manipulación del ser humano como explosiones nucleares, explosiones de minas o por grandes embalses. [12]

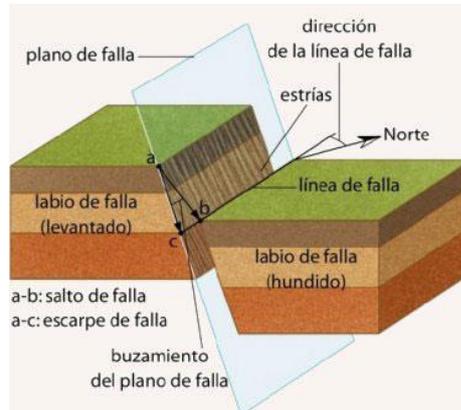
1.1.4.3 Fallas Geológicas

Una falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura.

La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento tangencial de las rocas respecto a ese plano. Cuando es imprevista y brusca la actividad, se puede generar un

terremoto de una gran magnitud, produciendo incluso una ruptura en la superficie terrestre. Lo que se observa de forma evidente en la superficie del terreno conocido como escarpa de falla. La erosión elimina los vestigios de la falla en la superficie, a partir de la lluvia y el viento. [13]

Figura 6. Partes de Falla Geológica



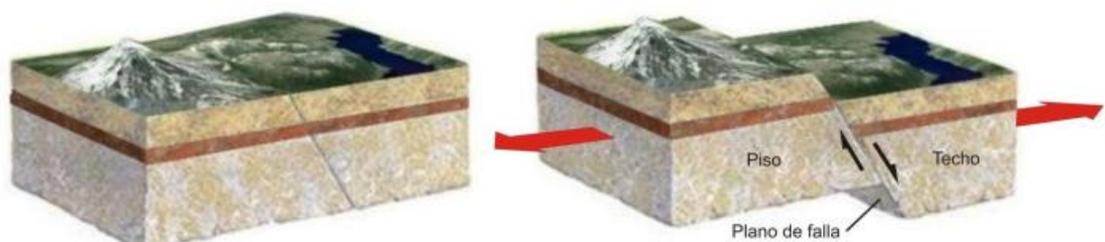
Fuente: Geotecnia Facil

Existen tres tipos de fallas principales, de acuerdo con su movimiento o desplazamiento de las rocas que cortan:

Falla Normal

Se genera por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla, y el movimiento es vertical respecto al plano de falla, el cual generalmente tiene sesenta grados de ángulo respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se denomina “techo”, y se desliza hacia la parte inferior; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina “piso”, y asciende. [13]

Figura 7. Esquema de una Falla Normal

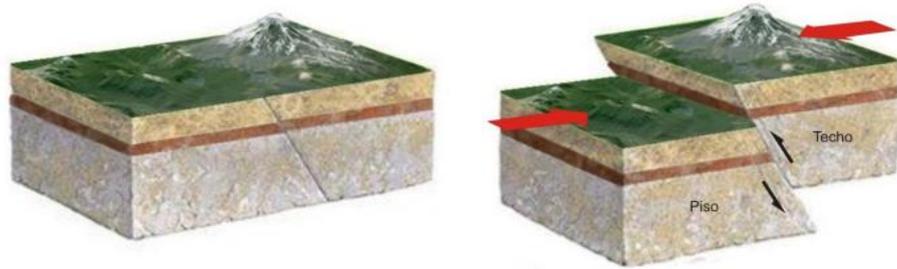


Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Fallas Geológicas.

Falla Inversa

Se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene generalmente un ángulo de treinta grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento, es decir, una inclinación menor a cuarenta y cinco grados, se lo conoce también con el nombre de “cabalgamiento”. [13]

Figura 8. Esquema de una Falla Inversa.



Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Fallas Geológicas.

Falla de Desgarre o de Desplazamiento de Rumbo

Se generan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son generalmente de límites transformantes de placas tectónicas. Se diferencian dos clases de fallas de desgarre: laterales derechas e izquierdas. Laterales derechas o también conocido como dextrales, generadas por el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha; mientras que, en las laterales izquierdas, también son conocidas como “sinistrales”, el movimiento es opuesto a las anteriores. Se las conoce como fallas transversales. [13]

Figura 9. Esquema de una Falla de Desplazamiento



Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Fallas Geológicas.

1.1.4.4 Peligro Sísmico

Está definida como la probabilidad de excedencia de un cierto valor de la intensidad del movimiento del suelo producido por terremotos, en un determinado lugar y durante un período de tiempo dado. [11]

Análisis de Peligro Sísmico Determinístico

La evaluación del peligro sísmico por el método determinístico se realiza considerando un escenario sísmico específico para el área de estudio. Dicho escenario debe representar la generación de un evento sísmico característico en una fuente identificada y localizada a la menor distancia de la zona de estudio. De esta manera, el análisis del peligro sísmico por el siguiente método permite estimar el movimiento sísmico más desfavorable para el área de estudio, sin embargo, se debe señalar que este método no proporciona información referente a la probabilidad de ocurrencia del evento sísmico dominante seleccionada para el análisis ni de la probabilidad de que este ocurra en la ubicación asumida. [14]

En este método se suele utilizar diferentes términos para definir el movimiento sísmico capaz de ser generado en la zona de estudio:

- a. Sismo Máximo Creíble (MCE): Se define como el sismo más grande que una fuente determinada pueda producir bajo condiciones sismotéctónicas conocidas. Se determina en base a la información del catálogo sísmico y la información tectónica de la región. [14]
- b. Sismo Máximo Probable (MPE): Se define como el máximo sismo histórico registrado en la zona de estudio. [14]
- c. Sismo Base de Operación (OBE): Se define como el máximo evento que podría ocurrir en un período de retorno de 200 años. [14]

Análisis de Peligrosidad Sísmico Probabilístico

El análisis probabilístico de peligro sísmico considera la influencia de todos los eventos sísmicos de las fuentes sismogénicas en la zona de estudio mediante los parámetros sismológicos obtenidos de la relación frecuencia-magnitud y los valores de magnitud máxima. De esta forma, se considera la probabilidad de ocurrencia de los sismos y el resultado final corresponde a la aceleración máxima esperada con una probabilidad de excedencia determinada y en un período de exposición dado. Por último, la aceleración obtenida es el resultado de la combinación de los efectos de todos los sismos de las fuentes sismogénicas y no de un evento específico. [14]

1.1.4.5 Medición de las Dimensiones Sísmicas

Escala de Richter

La Escala de Richter, desarrollada en 1935 por Charles F. Richter en colaboración con Beno Gutenberg, es una medida logarítmica que tiene como objetivo cuantificar la

magnitud de un terremoto. Esta escala se basa en las amplitudes de las ondas sísmicas registradas por los sismógrafos. Específicamente, mide la amplitud de las ondas sísmicas producidas por el terremoto a una distancia estandarizada de 100 kilómetros del epicentro. Dado su carácter logarítmico, un incremento de un punto en la escala indica un terremoto diez veces más amplio en términos de amplitud de onda y aproximadamente 31.6 veces más energético.

Sin embargo, a pesar de su amplio uso y reconocimiento, la Escala de Richter tiene limitaciones significativas:

- **Rango Limitado:** La Escala de Richter es eficaz principalmente para terremotos de magnitudes entre 3 y 7 que ocurren relativamente cerca de los sismógrafos. No es adecuada para medir terremotos muy pequeños o extremadamente grandes.
- **Localización Geográfica:** La escala fue desarrollada originalmente para aplicarse en contextos geográficos específicos (California). Su aplicación en otras regiones del mundo puede no ser precisa.
- **Profundidad del Terremoto:** La Escala de Richter no toma en cuenta la profundidad del terremoto, lo que puede influir en la percepción y el daño real en la superficie.

Debido a estas limitaciones, los sismólogos comenzaron a adoptar la Magnitud de Momento (M_w) en la década de 1970. Esta escala, desarrollada por Hiroo Kanamori, se basa en el momento sísmico, que es una medida de la energía liberada por un terremoto. La Magnitud de Momento considera toda la energía liberada por el terremoto, independientemente de la distancia del sismógrafo o la profundidad del terremoto. Además, no tiene las limitaciones de rango de la Escala de Richter y es adecuada para medir terremotos de cualquier tamaño, desde los más pequeños hasta los más grandes, en cualquier parte del mundo. Por estas razones, la Magnitud de Momento es ahora la escala preferida por los sismólogos para medir y reportar la magnitud de los terremotos.

Magnitud

Es un valor único, además de ser una medida cuantitativa del sismo relacionada con la energía sísmica liberada. No tiene límite superior según la teoría, pero se limita por la resistencia de las rocas en la corteza terrestre y la longitud de ruptura probable en la falla. [15]

Intensidad y Mercalli Modificado

La intensidad de un terremoto es un parámetro cualitativo que describe los efectos y daños producidos por el sismo en lugares específicos, personas y estructuras. Esta medida se originó para poder caracterizar y asignar un "tamaño" a aquellos terremotos que sucedieron antes de la invención de los sismógrafos, instrumentos diseñados para registrar las ondas sísmicas y cuantificar la magnitud de un terremoto. [16]

La Escala de Intensidad de Mercalli Modificada es una de las más conocidas en este ámbito, y se utiliza para describir la intensidad de un terremoto basándose en observaciones y testimonios. Esta escala varía desde I, que indica que el terremoto no fue sentido, hasta XII, que señala daños totales y destrucción. Es una herramienta valiosa para entender el impacto real de un sismo en comunidades y estructuras, especialmente en contextos históricos donde no había tecnología para medir la magnitud.

Tabla 1. Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)

Intensidad EMS	Definición	Descripción típica de efectos observados (resumida)
I	No sentido	No es sentido, ni en las circunstancias más favorables.
II	Poco sentido	Sentido sólo por algunas personas en reposo.
III	Débil	Sentido por algunas personas en el interior de los edificios. Las personas que descansan sienten un ligero cimbreo o temblor.
IV	Observado Ampliamente	Sentido en el interior de las casas por muchas personas y por pocas en el exterior. Algunas personas llegan a despertarse.
V	Fuerte	Sentido en el interior de las casas por muchas personas y por pocas en el exterior. Algunas personas se atemorizan. Las estructuras tiemblan.
VI	Ligeramente Dañino	Mucha gente se asusta y corre hacia el exterior. Muchas casas sufren daño no estructural como pequeñas fisuras en las paredes, caída de revestimiento, etc.
VII	Dañino	La mayoría de la gente se asusta y corre fuera de sus casas. Muchas edificaciones nuevas sufren daños moderados y las construcciones más viejas sufren daños mayores.
VIII	Muy Dañino	A la mayoría de la gente le cuesta quedarse en pie. Muchas casas tienen grandes fisuras en las paredes. Las edificaciones más viejas pueden colapsar.

IX	Destructor	Pánico general. Muchas construcciones colapsan. Incluso las construcciones recientes muestran daños graves en las paredes y sufren un colapso parcial.
X	Muy Destructor	Muchas construcciones recientes colapsan. Serios daños en puentes y presas. Grandes grietas en el terreno con fuertes deslizamientos.
XI	Devastador	La mayoría de las construcciones colapsan, incluso las construidas con diseño sismorresistente. Deformaciones considerables en el terreno con anchas grietas y muchos deslizamientos de tierra.
XII	Completamente Devastador	Todas las estructuras destruidas o gravemente dañadas. Cambios en la topografía.

Fuente: Molina, S. Giner, José & Jáuregui, P. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra

Magnitud Sísmica (M_o)

$$M_o = \mu A d$$

Donde:

M_o : Magnitud Sísmica

μ : Rigidez a corte del suelo (N/m^2)

A: Área de ruptura (m^2)

d: Desplazamiento promedio en el plano de falla.

Magnitud de momento (M_w)

Desarrollada por Hiroo Kanamori de California Technological Institute. Para obtener se debe utilizar la siguiente expresión: [15]

$$M_w = \left(\frac{2}{3} \log M_o \right) - 10.73$$

Las ecuaciones empíricas de Well y Coppersmith no permite predecir el valor de la magnitud del momento.

Tabla 2. Coeficientes para calcular la magnitud de momento

Equation*	Slip Type†	Number of Events	Coefficients and Standard Errors		Standard Deviation s	Correlation Coefficient r	Magnitude Range	Length/Width Range (km)
			$a(s)$	$b(s)$				
$M = a + b * \log (\text{SRL})$	SS	43	5.16(0.13)	1.12(0.08)	0.28	0.91	5.6 to 8.1	1.3 to 432
	R	19	5.00(0.22)	1.22(0.16)	0.28	0.88	5.4 to 7.4	3.3 to 85
	N	15	4.86(0.34)	1.32(0.26)	0.34	0.81	5.2 to 7.3	2.5 to 41
	All	77	5.08(0.10)	1.16(0.07)	0.28	0.89	5.2 to 8.1	1.3 to 432
$\log (\text{SRL}) = a + b * M$	SS	43	-3.55(0.37)	0.74(0.05)	0.23	0.91	5.6 to 8.1	1.3 to 432
	R	19	-2.86(0.55)	0.63(0.08)	0.20	0.88	5.4 to 7.4	3.3 to 85
	N	15	-2.01(0.65)	0.50(0.10)	0.21	0.81	5.2 to 7.3	2.5 to 41
	All	77	-3.22(0.27)	0.69(0.04)	0.22	0.89	5.2 to 8.1	1.3 to 432
$M = a + b * \log (\text{RLD})$	SS	93	4.33(0.06)	1.49(0.05)	0.24	0.96	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	50	4.49(0.11)	1.49(0.09)	0.26	0.93	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	24	4.34(0.23)	1.54(0.18)	0.31	0.88	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	167	4.38(0.06)	1.49(0.04)	0.26	0.94	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$\log (\text{RLD}) = a + b * M$	SS	93	-2.57(0.12)	0.62(0.02)	0.15	0.96	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	50	-2.42(0.21)	0.58(0.03)	0.16	0.93	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	24	-1.88(0.37)	0.50(0.06)	0.17	0.88	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	167	-2.44(0.11)	0.59(0.02)	0.16	0.94	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$M = a + b * \log (\text{RW})$	SS	87	3.80(0.17)	2.59(0.18)	0.45	0.84	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	43	4.37(0.16)	1.95(0.15)	0.32	0.90	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	23	4.04(0.29)	2.11(0.28)	0.31	0.86	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	153	4.06(0.11)	2.25(0.12)	0.41	0.84	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$\log (\text{RW}) = a + b * M$	SS	87	-0.76(0.12)	0.27(0.02)	0.14	0.84	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	43	-1.61(0.20)	0.41(0.03)	0.15	0.90	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	23	-1.14(0.28)	0.35(0.05)	0.12	0.86	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	153	-1.01(0.10)	0.32(0.02)	0.15	0.84	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$M = a + b * \log (\text{RA})$	SS	83	3.98(0.07)	1.02(0.03)	0.23	0.96	4.8 to 7.9	3 to 5,184
	R	43	4.33(0.12)	0.90(0.05)	0.25	0.94	4.8 to 7.6	2.2 to 2,400
	N	22	3.93(0.23)	1.02(0.10)	0.25	0.92	5.2 to 7.3	19 to 900
	All	148	4.07(0.06)	0.98(0.03)	0.24	0.95	4.8 to 7.9	2.2 to 5,184
$\log (\text{RA}) = a + b * M$	SS	83	-3.42(0.18)	0.90(0.03)	0.22	0.96	4.8 to 7.9	3 to 5,184
	R	43	-3.99(0.36)	0.98(0.06)	0.26	0.94	4.8 to 7.6	2.2 to 2,400
	N	22	-2.87(0.50)	0.82(0.08)	0.22	0.92	5.2 to 7.3	19 to 900
	All	148	-3.49(0.16)	0.91(0.03)	0.24	0.95	4.8 to 7.9	2.2 to 5,184

*SRL—surface rupture length (km); RLD—subsurface rupture length (km); RW—downslip rupture width (km), RA—rupture area (km²).
†SS—strike slip; R—reverse; N—normal.

Fuente: Wells, D. & Coppersmith, K

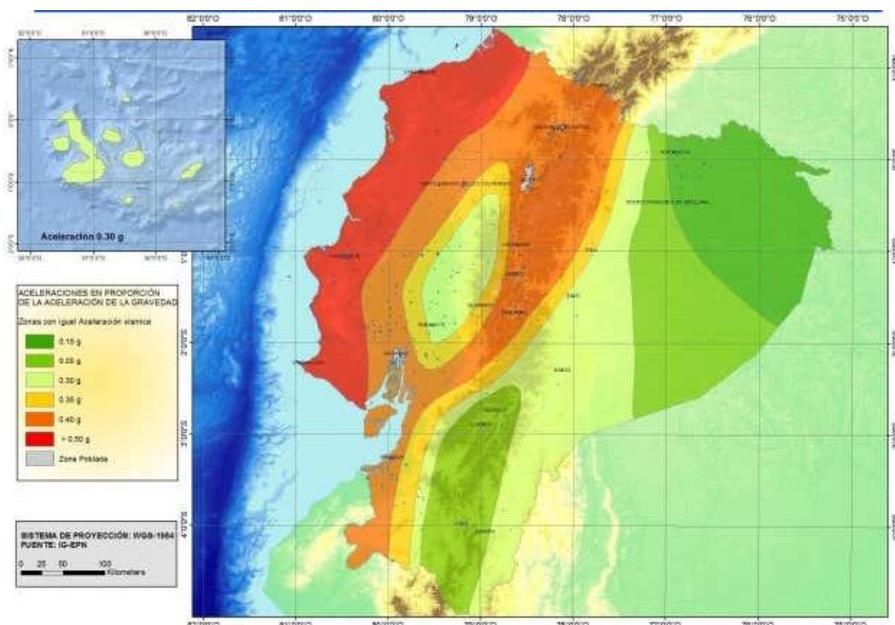
1.1.4.6 Régimen Tectónico

Estos regímenes se los puede definir como procesos o conjuntos de sistemas que se dan a partir de la deformación de los materiales que conforman la corteza terrestre, donde se puede deducir que casi todas las deformaciones que se generan son de origen tectónico. [17]

1.1.4.7 Zonificación Sísmica del Ecuador

El mapa de zonificación sísmica para diseño es el resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años, que incluye una saturación a ½ g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que representa la zona VI. [18]

Figura 10. Mapa de Zonificación



Fuente: NEC_SE_DS 2015

Para los edificios que se les da un uso corriente, el valor de Z representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, de acuerdo con una de las seis zonas sísmicas del Ecuador. [18]

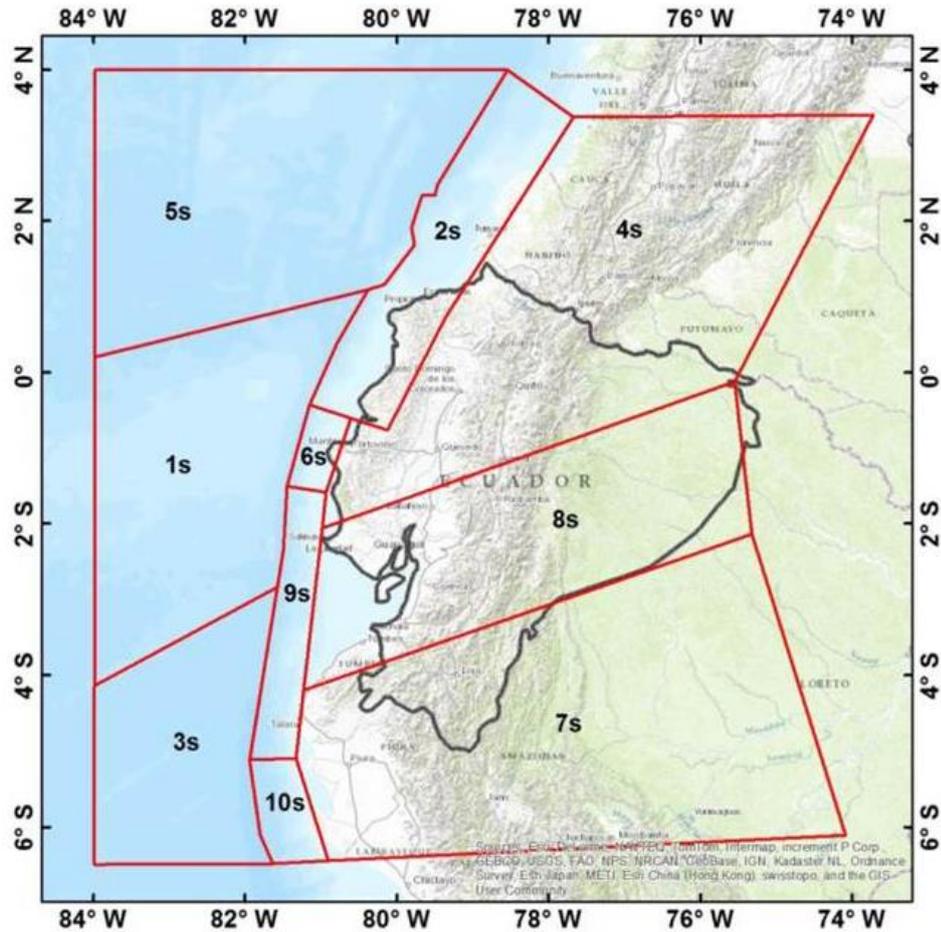
Tabla 3. Valores del Factor Z en función de las Zonas Sísmicas

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC_SE_DS 2015

De acuerdo con la subducción que se produce en las costas del Ecuador debido a la deformación en la placa superior, a partir de ello se pueden identificar individualmente los dominios morfotectónicos principales de forma habitualmente alargada con dirección Nornoreste – Sursudeste, por sus siglas NNE – SSO, paralelos a la fosa de subducción. [19]

Figura 11. Fuentes Sísmicas De Subducción



Fuente: Quinde, P. & Reinoso, E. Tectónica y Sismicidad del Ecuador.

En la figura anterior, titulada "Fuentes Sísmicas De Subducción", se pueden observar estas zonas morfotectónicas. Las líneas rojas en la figura 11. representan las principales fuentes sísmicas de subducción para Ecuador.

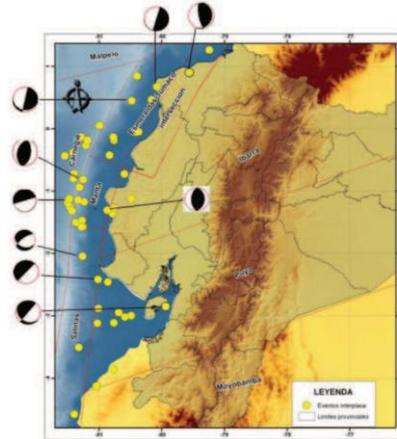
Estas líneas indicarían las áreas donde la tensión acumulada debido a la subducción se libera en forma de terremotos. Estos sismos, generados en zonas de subducción, suelen ser de gran magnitud y profundidad, y son una de las principales fuentes de amenaza sísmica para las regiones cercanas a la costa ecuatoriana.

En el contexto de un mapa de "Fuentes Sísmicas de Subducción", las designaciones como 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, etc., suelen referirse a segmentos o zonas específicas de la zona de subducción. Estos segmentos son áreas donde las características de la subducción, y por lo tanto el potencial sísmico, pueden ser distintas de las áreas adyacentes. Por esta razón, se identifica las siguientes zonas:

ZONA I: SISMICIDAD INTERPLACA

Esta zona se encuentra relacionada con la subducción producida por la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, los sismos que se registran en esta zona principalmente en la interfaz de las placas presentan una profundidad superficial < a 40 km. [19]

Figura 12. Mecanismos Focales para la Sismicidad Interplaca (Zona I)

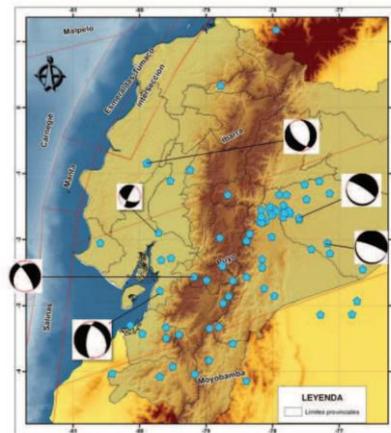


Fuente: Taípe, L. Evolución Geológica del Ecuador.

ZONA II: SISMICIDAD INTRAPLACA INFERIOR

Zona que comprende los sectores con sismicidad intermedia y está relacionada con los esfuerzos de tensión en la placa subducida, se encuentra delimitada en base a la distribución de la profundidad sísmica y los mecanismos de ruptura. Se considera que en el Ecuador la sismicidad intermedia se genera entre 40 y 300 km, originados por la deformación de la placa sudestada. [19]

Figura 13. Mecanismos Focales para la Sismicidad Interplaca Inferior (Zona II)

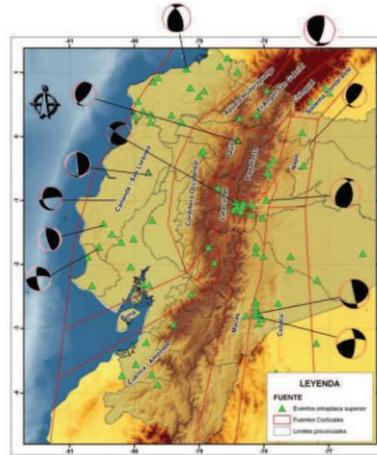


Fuente: Taípe, L. Evolución Geológica del Ecuador.

ZONA III: SISMICIDAD INTRAPLACA SUPERIOR

Zona que define los eventos sísmicos ubicados tanto en la corteza continental como en la oceánica, presentan profundidades someras, es decir menores a 40 km, se ha identificado alrededor de 400 segmentos de fallas activas y 6 sistemas de fallas mayores. [19]

Figura 14. Mecanismos Focales para la Sismicidad Somera Interplaca (Zona III)



Fuente: Taipe, L. Evolución Geológica del Ecuador.

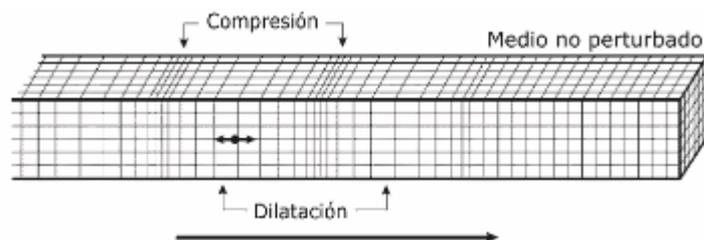
1.1.4.8 Ondas Sísmicas.

Las ondas sísmicas también conocidas como ondas energéticas son perturbaciones producidas por sismos o terremotos en algún punto de la Tierra. Su propagación se da a través de diferentes tipos de materiales en el interior de la corteza terrestre. [20]

Ondas sísmicas internas:

Ondas Primarias (P): Se denominan ondas primarias por ser las primeras en alcanzar la superficie de la Tierra. Su velocidad de propagación es de 7,5 km/s aproximadamente. Además, es importante señalar, que están influenciadas por la densidad del suelo, que actúa como medio de transmisión. [16]

Figura 15. Movimiento de las ondas primarias

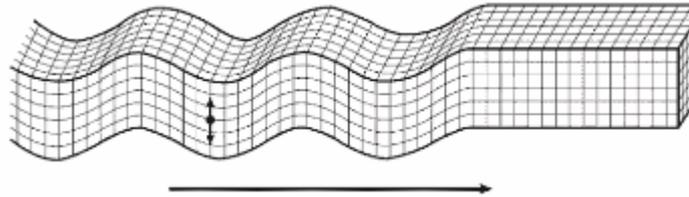


Fuente: geología Web

Ondas Secundarias (S): Ondas transversales, por lo tanto, el movimiento de vibración de la partícula es perpendicular a la dirección de propagación de la onda, en una velocidad de 2 a 5 km/s en roca, menor que las ondas primarias que presentan 4 a 7

km/s. [16] Cabe destacar que las ondas secundarias no pueden propagarse a través de medios líquidos, limitándose a medios sólidos.

Figura 16. Movimiento de las ondas secundarias

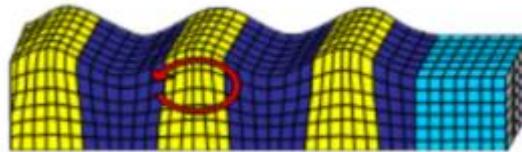


Fuente: Guerrero, R.

Ondas sísmicas superficiales se clasifican en:

Ondas Rayleigh: Son el resultado de la propagación de las ondas al incidir sobre una superficie libre de esfuerzos como la superficie terrestre. Los desplazamientos que genera están dentro del plano de incidencia, perturbando a las partículas que se encuentran de manera vertical y horizontal. [16]

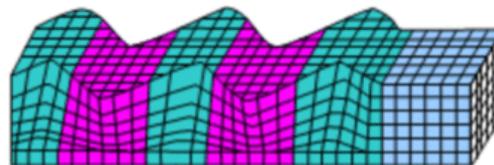
Figura 17. Desplazamiento de la onda superficial Rayleigh



Fuente: Saez M.

Ondas Love: Son el resultado de un fenómeno de transmisión por la litósfera y su movimiento es parecido al de las ondas secundarias, sin presentar ningún desplazamiento vertical, generando un movimiento paralelo de un lado a otro solo en el plano horizontal. [16]

Figura 18. Desplazamiento de la onda superficial Love



Fuente: Saez M.

1.1.4.9 Ecuaciones de Predicción de Movimiento en el Suelo (GMPEs).

Las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo (GMPE), que dan medidas de intensidad de movimiento en tierra tales como movimientos de tierra pico o espectros de respuesta en función de la magnitud del terremoto y distancia, son herramientas

importantes en el análisis del peligro sísmico. Estas ecuaciones típicamente se desarrollan empíricamente mediante una regresión de movimientos fuertes registrados, datos de amplitud versus magnitud, distancia y posiblemente otras variables predictivas. [21]

Forma General de la ecuación de predicción de movimiento

$$\ln y = C_1 + C_2M + C_3M^{C_4} + C_5 \ln[R + C_6 \exp(C_7M)] + C_8R + f(\text{fuente}) + f(\text{sitio}) + \sigma \quad (1)$$

Donde:

$\ln(y)$: Valores máximos de un movimiento.

$C_2M + C_3M^{C_4}$: Factor de representa la magnitud del sismo

$C_5 \ln[R + C_6 \exp(C_7M)]$: Factor que se basa en la distancia.

$f(\text{fuente}) + f(\text{sitio})$: Factores constantes de regresión.

σ : Desviación estándar

Sismos Intraplaca (Fallamiento Cortical)

Boore y Atkison (2008)

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad (2)$$

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (3)$$

Donde:

F_M, F_D, F_S : Coeficientes que representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio, respectivamente.

M : Magnitud de momento.

R_{JB} : Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio (Km).

V_{S30} : Velocidad media de la onda de cortante.

ε : Desviación estándar

Akkar y Bommer (2010)

$$\log y = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R^2 j b + b^2 6} + b_7 S_s + b_8 S_A + b_9 F_N + b_{10} F_R + \varepsilon \quad (4)$$

Donde:

b_{1-10} : Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral.

F_N : Mecanismo de Falla Normal.

F_R : Mecanismo de Falla Inversa.

M: Magnitud de Momento.

R_{JB}: Distancia más cercana a la proyección de la superficie de la falla.

S_A: Suelo Rígido.

S_S: Suelo Suave.

εσ_T: Desviación Estándar.

Kanno et al. (2006)

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a1Mw + b1X - \log(X + d1 * 10^{e1Mw}) + c1 + \varepsilon1 \quad (5)$$

Si $D > 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a2Mw + b2X - \log(X) + c2 + \varepsilon2 \quad (6)$$

Donde:

D: Profundidad Focal.

a,b,c,d: Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral.

Mw: Magnitud de momento.

X: Distancia de la fuente.

Sismos Subducción

Youngs (1997)

$$\text{Ln } y = -0.6687 + 1.438M + C1 + C2(10 + M)^3 + C3 * \text{Ln}(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \quad (7)$$

Donde:

y: Aceleración espectral (cm/s²).

C: Coeficientes

R: Distancia fuente a sitio.

H: Profundidad focal.

M: Magnitud de Momento.

Zt: Tipo de Falla.

Zhao (2006)

$$\text{Log } y = aMw + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL \log(x) + Ck \quad (8)$$

$$r = x + c \exp(dMw) \quad (9)$$

Donde:

M: Magnitud de momento.

a,b,e,Ck: Coeficientes.

x: Distancia a la fuente en Km.

y: Aceleración espectral (cm/s²).

h: Profundidad focal.

hc: Constante.

Ck: Clase de sitio.

1.1.4.10 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El SPT (Standard Penetration Test) o ensayo de penetración estándar, es un tipo de prueba de penetración dinámica, que es empleado para generar ensayos en terrenos que se requiere realizar un reconocimiento geotécnico, por medio de un muestreador circular de acero, que realiza una penetración en el suelo, permitiendo obtener una muestra perturbada. [22]

La resistencia de penetración se relaciona con las variables y características del terreno, específicamente en suelos granulares y arcillas saturadas. En ensayo SPT consiste en realizar una penetración mediante el golpeo al dejar caer un martillo de 63,5 kg de peso sobre una cabeza de hinca, desde una altura de 760 mm. El número de golpes es registrado por medio de un contador de golpes electrónico, de acuerdo con el número de golpes en cada nivel representa la resistencia del suelo a la penetración N_{SPT} . [23]

1.1.4.11 Clasificación de Suelos

El sistema (SUCS) clasifica al suelo en 2 categorías: los suelos con partículas gruesas de tipo grava o arena donde el 50% de su peso no debe pasar la malla # 200 y los suelos de grano fino que corresponden a limos, arcillas y orgánicos, donde el paso de partículas supera el 50% de su peso en la malla # 200. [21]

Suelos gruesos

La identificación de campo de suelos gruesos se reconoce de forma visual sobre una superficie plana, representado como una muestra seca. Para diferenciar las gravas de las arenas puede usarse el tamaño ½ que es representa la malla #4, también para estimar el contenido de finos se utiliza la malla #200 que son las partículas más pequeñas que se puede diferenciar fácilmente. [21]

Suelos Finos

La identificación de campo de los suelos finos es de acuerdo con el análisis de las características de dilatación, tenacidad y resistencia en estado seco. Los suelos orgánicos pueden identificarse específicamente con el olor y color. El grupo de pruebas citadas se efectúa en una muestra de suelo previamente cribado por la malla #40. [21]

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Realizar la evaluación de la estabilidad de sitio para la estructura de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes perteneciente al distrito 18D03, cantón Baños.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Determinar qué tipo de suelo predomina en el área de estudio del proyecto.
- Identificar el comportamiento estructural por medio del análisis de tres estructuras tipo del sitio del estudio.
- Comparar el espectro de diseño obtenido con el espectro general dado por la NEC 2015.

CAPÍTULO II

2 METODOLOGÍA

2.1 Métodos

Nivel o Tipo De Investigación

Los tipos de investigación a ser utilizados en este proyecto serán: exploratorio y de laboratorio.

La investigación exploratoria se realiza por medio del estudio de peligro sísmico para las estructuras ubicadas en la Provincia de Tungurahua, cantón Baños de Agua Santa, sector Parque Central, Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes. La metodología consiste en comparar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro de respuesta propuesto por la NEC-15.

La investigación por el método de laboratorio mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), para identificar la estratigrafía del suelo y permite obtener muestras del subsuelo para posteriormente ser ensayada en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

2.2 Población y Muestra

Población

El estudio del Peligro Sísmico Determinista se lo realizar para las estructuras de la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes para lo cual es necesario las propiedades y características geotécnicas del suelo, también las Ecuaciones de Predicción de Movimientos de Suelo (GMPE's) que se van a ser empleadas en el desarrollo del proyecto.

Muestra

La Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15 será tomada como referencia, debido que es un trabajo experimental, la recomendación mínima son tres puntos de perforación para estudio de suelos en el proyecto [23] y las GMPE's que serán utilizadas serán las siguientes:

- Boore y Atkinson (2008)
- Akkar y Bommer (2010)
- Kanno (2006)

- Youngs (1997)
- Zhao (2006)

2.3 Plan de Recolección de Información

Tabla 4. Plan de recolección de información

Preguntas	Explicación
1. ¿Para qué?	Para evaluar la estabilidad de sitio en el sector Parque Central, en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes mediante la determinación de espectros de respuesta determinísticos asociados a las fallas seleccionadas.
2. ¿De qué persona u objetos?	Régimen tectónico, fallas seleccionadas y tipo de suelo en el área de estudio.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras.
4. ¿Quién?	Johnny Alexander Naula López
5. ¿Dónde?	Recolección de muestras de suelo de en el sector Parque Central, en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes y ensayos en los Laboratorios de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
6. ¿Cómo?	<ul style="list-style-type: none"> ○ Revisión Bibliográfica. ○ Ensayos de Campo ○ Ensayos de Laboratorio ○ Norma NEC-15

Elaborado: Johnny Naula

2.4 Plan De Procesamiento y Análisis

El proceso por seguir es el siguiente:

- Identificar el régimen tectónico en base al área de estudio.
- Seleccionar e identificar las fallas más significativas que afectan el área de estudio en la ciudad de Baños de Agua Santa, basado en NeoTec/Ecuador.

- Determinar la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, de acuerdo con la metodología de Wells-Coppersmith.
- Identificar el tipo de suelo que se encuentra en el sector de estudio por medio del ensayo de penetración estándar (SPT), con base a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y su relación con V_s30 .
- Obtener la aceleración máxima del suelo de acuerdo con el régimen tectónico, por medio de las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE'S).
- Comparar el espectro de respuesta analizado con los establecidos en la NEC-15.
- Identificar como afectan los espectros conseguidos en la edificación de la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes perteneciente al Distrito 18D03, del cantón Baños de Agua Santa.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recolección de Datos

3.1.1 Régimen Tectónico

La infraestructura de estudio de la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes se encuentra ubicada en el parque central del cantón “Baños de Agua Santa” en la Provincia de Tungurahua. El cantón Baños presenta una elevación de 1820 msnm y la superficie es de 107013,87 Ha.

El área de estudio es de 1,63 Ha, con un perímetro de 532m, en la Zona 17M, Este 787089.17m, Sur 9845356.78m y está limitada por la calle Ambato al norte, calle Luis A. Martínez al sur, calle Manuel Sánchez al este, calle 12 de noviembre al oeste. Su clima es templado frío con temperatura promedio de 18.2°C. [21]

Figura 19. Ubicación Geográfica de Baños de Agua Santa



Fuente: GAD - Baños de Agua Santa

3.1.2 Caracterización de la Sismicidad en Ecuador

El territorio ecuatoriano se encuentra dentro de un movimiento tectónico particular, donde un sector del país conforma la microplaca llamada “Bloque Andino”, que pertenece a la placa sudamericana, la misma se encuentra en una interacción con las placas de Nazca, Cocos y Caribe. [2]

Ecuador presenta una mayor cantidad de fallas en la Región Sierra debido al comportamiento dinámico como consecuencia del sistema de fallas llamado Sistema Mayor Dextral que junto con la subducción que se presenta en la Región Costa del país, son las principales fuentes generadores de sismo. [2]

El peligro sísmico en Ecuador es dado principalmente por tipos de fuentes sísmicas: subducción que abarca interplaca e intraplaca, también presenta de tipo corticales que son superficiales. [2]

La actividad sísmica registrada en nuestro país, desde 1541 hasta la fecha actual son 37 terremotos con una escala de intensidad MSK de VIII o más, generando efectos que son de consideración. [24]

Tabla 5. Terremotos del Ecuador con intensidades \geq VIII

No.	FECHA		EPICENTRO		INT MAX	ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN	No.	FECHA		EPICENTRO		INT MAX	ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN		
	Año/mes/día	Lat.	Lon.	Lat.				Lon.	Año/mes/día	Lat.	Lon.				
1	1541	04	sd	0,10	-77,80	VIII	Napo	20	1913	02	23	4,00	79,40	VIII	Loja, Azuay
2	1587	08	31	0,00	78,40	VIII	Pichincha	21	1914	05	31	0,50	78,48	VIII	Pichincha, Cotopaxi
3	1645	03	15	1,68	-78,55	IX	Chimborazo, Tungurahua	22	1923	02	05	0,50	78,50	VIII	Pichincha
4	1674	08	29	1,70	-79,00	IX	Chimborazo, Bolívar	23	1923	12	16	0,90	77,80	VIII	Carchi, Nariño (Colombia)
5	1687	11	22	-1,10	-78,25	VIII	Tungurahua	24	1926	12	18	0,80	77,90	VIII	Carchi
6	1698	06	20	1,45	78,30	X	Tungurahua, Chimborazo	25	1929	07	25	0,40	78,55	VIII	Pichincha
7	1736	12	06	0,78	78,80	VIII	Pichincha, Cotopaxi	26	1938	08	10	0,30	78,40	VIII	Pichincha
8	1749	01	20	4,00	79,20	VIII	Loja	27	1942	05	14	0,01	-80,12	IX	Manabí, Guayas, Bolívar
9	1755	04	28	0,21	78,48	VIII	Pichincha	28	1949	08	05	1,25	78,37	X	Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi
10	1757	02	22	0,93	78,61	IX	Cotopaxi, Tungurahua	29	1953	12	12	3,40	80,60	VIII	Loja, norte del Perú
11	1786	05	10	1,70	78,80	VIII	Chimborazo	30	1955	07	20	0,20	78,40	VIII	Pichincha, Imbabura
12	1797	02	04	-1,43	-78,55	XI	Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar	31	1958	01	19	1,22	79,37	VIII	Esmeraldas
13	1834	01	20	1,30	-76,90	XI	Carchi, Nariño* (Colombia)	32	1961	04	08	2,20	-78,90	VIII	Chimborazo
14	1859	03	22	0,40	78,40	VIII	Pichincha, Imbabura, Cotopaxi	33	1964	05	19	0,84	80,29	VIII	Manabí
15	1868	08	15	0,60	78,00	VIII	Carchi	34	1970	12	10	-3,79	80,66	IX	Loja, El Oro, Azuay, norte del Perú
16	1868	08	16	0,31	78,18	IX	Imbabura, Carchi, Pichincha	35	1987	03	06	0,87	-77,14	IX	Napo, Sucumbios, Imbabura
17	1896	05	03	0,51	80,45	IX	Manabí	36	1995	10	02	-2,79	-77,97	VIII	Morona Santiago
18	1906	01	31	1,00	81,30	IX	Esmeraldas, Nariño (Colombia)	37	1998	08	04	-0,55	-80,53	VIII	Provincia de Manabí
19	1911	09	23	1,70	-78,90	VIII	Chimborazo, Bolívar								

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

El terremoto de Ambato/Pelileo ocurrido el 05 de Agosto de 1949, tuvo un potencial destructivo elevado dejando más de 6000 muertos, 100000 personas aproximadamente quedaron sin hogar y afectando un área de 1920 km². [24]

Tabla 6. Ciudades afectadas por el terremoto del 5 de Agosto de 1949

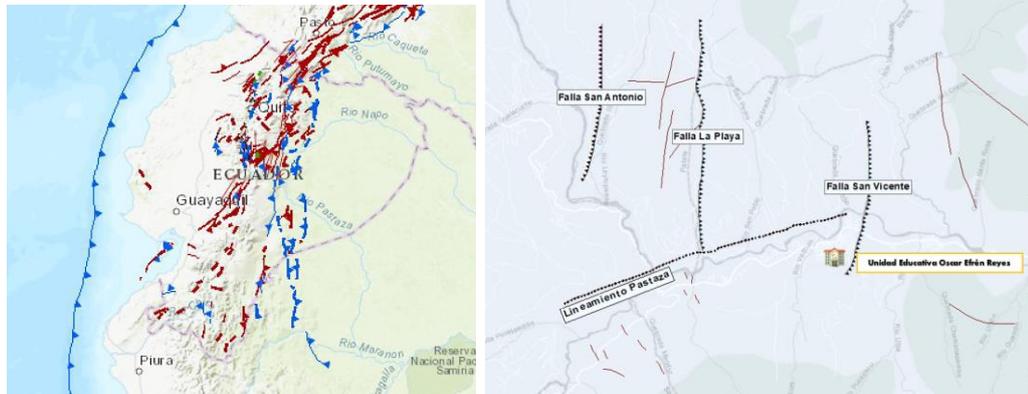
Nombre de ciudad	Porcentaje de destrucción (%)
Pelileo	100
Píllaro	90
Guano	80
Ambato	75

Elaborado: Johnny Naula

3.1.3 Selección de Fallas Geológicas

Las fallas geológicas activas seleccionadas que se localizan cerca del área de estudio son consideradas a partir de la relevancia de las fuentes sísmicas que generan mayor afectación a la zona en específico.

Figura 20. A) Fallas geológicas del Ecuador, B) Fallas geológicas cercanas a la ciudad de Baños



Fuente: Instituto Geofísico EPN. Las fallas seleccionadas se representan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Características de fallas geológicas seleccionadas

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	Longitud SRL [km]	Distancia Rjb [km]	Profundidad Focal [km]
EC-223	Subducción	Inversa	1538.4	321.58	125
	San Vicente	Inversa	4.84	0.43	20
	Pastaza	Inversa	9.18	1.09	20
	La Playa	Inversa	7.27	3.91	20
	San Antonio	Inversa	4.91	7.86	20

Fuente: Johnny Alexander Naula López

3.1.4 Cálculo de la Magnitud de Momento (Mw)

La magnitud del momento de la falla geológica seleccionada se determinará en base a la relación Wells-Coppersmith, identificando su tipo de falla y la longitud de la rotura superficial de la falla (km), para la selección de las ecuaciones de la tabla 2 con sus respectivas especificaciones. La ecuación seleccionada es:

$$M_w = a + b * \log(SRL) \quad (10)$$

Donde:

Mw: Magnitud del momento

a, b: Coeficientes de regresión (De acuerdo con el tipo de falla)

SRL: Longitud de rotura superficial (km)

Tabla 8. Regresión de longitud, ancho, área de ruptura y magnitud de momento (Mw). Selectivos

Ecuación	Tipo de Deslizamiento	Numero de Eventos	Coefficiente y Errores	Desviación Estándar	Coefficiente correlacional	Rango de Magnitud	Rango de Longitud y Ancho
$M = a + b(\log(SRL))$	SS	43	5.16(0.13)/1.12(0.08)	0.28	0.91	5.6 a 8.1	1.3 a 432
	R	19	5.00(0.22)/1.22(0.16)	0.28	0.88	5.4 a 7.4	3.3 a 85
	N	15	4.86(0.34)/1.32(0.26)	0.34	0.81	5.2 a 7.3	2.5 a 41

Fuente: Wells, D. & Coppersmith, K.

Fallas:

- a. Oceánica Ec-223 (Subducción)

$$Mw = 5.00 + 1.22 * \log(1538.4) = 8.99$$

- b. San Vicente.

$$Mw = 5.00 + 1.22 * \log(4.84) = 5.83$$

- c. Pastaza

$$Mw = 5.00 + 1.22 * \log(9.18) = 6.18$$

- d. La Playa

$$Mw = 5.00 + 1.22 * \log(7.27) = 6.05$$

- e. San Antonio

$$Mw = 5.00 + 1.22 * \log(4.91) = 5.84$$

En la Tabla 11 se calculará la magnitud de momento para cada falla seleccionadas.

Tabla 9. Magnitud de momento (Mw) para cada falla seleccionada

Código	Nombre	Tipo	Coefficientes		SRL (km)	Magnitud de Momento (Mw)
			a	b		
EC-223	Subducción	Inversa	5.00	1.22	1538.4	8.89
	San Vicente	Inversa	5.00	1.22	4.84	5.83
	Pastaza	Inversa	5.00	1.22	9.18	6.18
	La Playa	Inversa	5.00	1.22	7.27	6.05
	San Antonio	Inversa	5.00	1.22	4.91	5.84

Elaborado: Johnny Naula

3.1.5 Caracterización del suelo

La caracterización de suelos se realizará por medio del Sistema de clasificación de suelos unificados (SUCS) representada en la Anexo G en la que permite clasificar e

identificar el tipo de suelo presente en la zona de estudio, mediante los ensayos de granulometría realizados en cada uno de los pozos.

3.1.6 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

La adecuada preparación antes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) está claramente especificada en la norma INEN 689. Una vez que se ha llevado a cabo la perforación y se ha alcanzado la profundidad deseada para el ensayo, es esencial limpiar el pozo, garantizando que el material a muestrear no se vea afectado por este proceso. [20]

En situaciones donde se encuentren suelos sin cohesión, poco cohesivos o extremadamente blandos, es crucial asegurar la estabilidad de las paredes de la perforación. [20] Esto puede lograrse mediante entibación con tubos, uso de lodo de perforación o cualquier otro método que se considere apropiado. En el caso de arenas o limos saturados, las herramientas de perforación deben extraerse con precaución para evitar el colapso de las paredes del pozo. Es recomendable mantener el agua de inyección o emplear cualquier otro método que se estime pertinente. Finalmente, es vital recordar que no se debe entibar una perforación más allá del nivel donde se recolectará la muestra. [20]

3.1.7 Velocidad de corte (Vs30)

La Norma Ecuatoriana, al igual que la mayoría de las normas del mundo, utilizan la velocidad de propagación de ondas de corte en los 30 metros superficiales Vs30, como un índice para identificar la amplificación sísmica del suelo, así como la clasificación de sitios con distinta demanda sísmica. [25]

Para la obtención de la velocidad Vs30 se puede evaluar en el área de estudio a partir de estimaciones semiempíricas que relacionan entre sí a las velocidades de las ondas cortantes con parámetros geotécnicos a suelos de características parecidas. [18] Las ecuaciones empíricas escritas por diferentes autores en correlación entre la velocidad de onda Vs (m/s) con la resistencia a la penetración N.

Tabla 10. Ecuaciones empíricas escrita por diferentes autores

Autores	V_s (m/s)		
	Todos los Suelos	Arenas	Arcillas
<i>Hanumantharao y Ramana</i>	$V_s = 82.6N^{0.43}$	$V_s = 79N^{0.434}$	-

<i>Maheshwari et al.</i>	-	$V_S = 95N^{0.30}$	-
<i>Ohba y Toriumi</i>	$V_S = 84N^{0.31}$	-	-
<i>Imai</i>	$V_S = 91N^{0.34}$	$V_S = 80.6N^{0.331}$	$V_S = 80.2N^{0.292}$
<i>Ohta y Goto</i>	$V_S = 85.35N^{0.348}$	$V_S = 88.0N^{0.34}$	-
<i>Jafari et al.</i>	$V_S = 121N^{0.270}$	$V_S = 80.0N^{0.33}$	$V_S = 100N^{0.33}$
<i>Seed y Idriss</i>	$V_S = 61N^{0.50}$	-	-
<i>Lee</i>	-	$V_S = 57.4N^{0.49}$	$V_S = 144.4N^{0.31}$
<i>Sykora y Stokoe</i>	-	$V_S = 100.5N^{0.29}$	-
<i>Okamoto et al.</i>	-	$V_S = 125N^{0.3}$	-
<i>Pitilakis et al.</i>	-	$V_S = 162N^{0.17}$	$V_S = 165.7N^{0.19}$
<i>Athana sopoulos</i>	$V_S = 107.6N^{0.36}$	-	-
<i>Raptakis et al.</i>	-	$V_S = 123.4N^{0.29}$	$V_S = 184.2N^{0.17}$
<i>Hasancebi y Ulusay</i>	$V_S = 90N^{0.309}$	$V_S = 90.8N^{0.319}$	$V_S = z97.9N^{0.269}$
<i>Uma Maheswarí et al.</i>	$V_S = 95.64N^{0.301}$	$V_S = 100.53N^{0.265}$	$V_S = 89.31N^{0.358}$
<i>Esfehanizadeh et al.</i>	-	$V_S = 107.2N^{0.34}$	-
<i>Fatehnia et al.</i>	-	$V_S = 77.1N^{0.355}$	$V_S = 77.1N^{0.355}$

Fuente: Wells-Coppersmith (1994)

En el ensayo de campo se realizó cuatro perforaciones en el área de estudio ubicado en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes a cada nivel de profundidad, a continuación, se muestra una representación gráfica en Google Earth de los puntos en donde se realizó las perforaciones con sus coordenadas correspondientes.

Figura 21. Zona de estudio, ubicación de puntos de perforación en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes



Fuente: Google Earth

Tabla 11. Coordenadas UTM de las cuatro perforaciones realizadas en la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes

Perforación SPT	(COORDENADAS)		Cota m.s.n.m.	NORMA REFERENCIA
	ESTE	NORTE		
Perforación 1	787096,00	9845374,00	1801	ASTM D1586-67
Perforación 2	787104,00	9845307,00	1802	
Perforación 3	787151,00	9845356,00	1801	
Perforación 4	787153,00	9845332,00	1801	

Elaborado: Johnny Naula

Para el ensayo se utilizará las ecuaciones establecidas por Hasancebi y Ulusay (2007), de acuerdo con el tipo de suelo que se determinó anteriormente, se obtuvieron las siguientes relaciones empíricas:

$$\text{Todos los Suelos} \rightarrow V_s = 90N^{0.308}(11)$$

$$\text{Arenas} \rightarrow V_s = 90.82 N^{0.319}(12)$$

$$\text{Arcillas} \rightarrow V_s = 97.89N^{0.269}(13)$$

Donde:

N: Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo.

Vs30: Velocidad media de la onda cortante

A partir de las perforaciones realizadas, se determina el tipo del suelo en base a la información anterior y los datos obtenidos por medio del ensayo granulométrico. Además, que los datos de Vs se obtuvieron a partir de la Ecuación 12, para Arenas $V_s = 90.82N^{0.319}$.

3.2 ANALISIS DE LOS SONDEOS SPT Y CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.

A continuación, se desarrollará una descripción de la información recopilada del estudio de suelos: Perforaciones SPT, análisis granulométrica y límites de consistencia.

3.2.1 ANALISIS DEL POZO DE PERFORACION 1.

La perforación S-1 (Anexo J.1. y J.2.), localizada en las coordenadas 787096; 9845374, revela características geotécnicas significativas del terreno. Según el análisis granulométrico, el suelo se clasifica como limo arenoso, con una predominancia de partículas entre 0,075 mm y 0,42 mm. Los límites de consistencia, con un límite líquido (LL) de 28,5% y un índice de plasticidad (IP) de 11,4%, indican una plasticidad moderada. A medida que se profundiza, los valores de N SPT fluctúan entre 13 y 50, y las velocidades de onda de corte (Vs30) varían desde 205,84 m/s hasta 316,34 m/s. Estos datos sugieren una consolidación y resistencia del suelo que aumenta con la profundidad.

3.2.2 ANALISIS DEL POZO DE PERFORACION 2.

La perforación S-2(Anexo J.3. y J.4.), situada en las coordenadas 787104; 9845307, nos brinda información valiosa sobre las propiedades geotécnicas del terreno. Cuantitativamente, el análisis granulométrico mostró una predominancia de partículas con tamaños entre 0,075 mm y 0,42 mm, lo que se traduce en una clasificación de limo arenoso. Los límites de consistencia, con un límite líquido (LL) de 28,5% y un índice de plasticidad (IP) de 11,4%, confirman una plasticidad moderada del suelo. A medida que se avanza en profundidad, los valores de N SPT varían entre 11 y 58, y las velocidades de onda de corte (Vs30) oscilan entre 38,25 m/s y 331,68 m/s, lo que indica una consolidación del suelo con la profundidad.

3.2.3 ANALISIS DEL POZO DE PERFORACION 3

La perforación S-3 (Anexo J.5. y J.6.), la perforación S-3, situada en las coordenadas 787151; 9845356, presenta características geotécnicas distintivas. El análisis

granulométrico revela una clasificación de limo arenoso, con partículas predominantes entre 0,075 mm y 0,42 mm. Los límites de consistencia, con un LL de 28,5% y un IP de 11,4%, sugieren una plasticidad moderada. En cuanto a la resistencia del suelo, los valores de N SPT oscilan entre 15 y 52, y las velocidades de onda de corte (V_{s30}) varían entre 215,45 m/s y 320,32 m/s, lo que sugiere una consolidación y resistencia crecientes con la profundidad.

3.2.4 ANALISIS DEL POZO DE PERFORACION 4

Finalmente, la perforación S-4 (Anexo J.7. y J.8.), situada en las coordenadas 787153; 9845332 muestra propiedades geotécnicas similares a las anteriores. El análisis granulométrico clasifica el suelo como limo arenoso, con partículas predominantes entre 0,075 mm y 0,42 mm. Los límites de consistencia indican una plasticidad moderada con un LL de 28,5% y un IP de 11,4%. Los valores de N SPT varían entre 11 y 58, y las velocidades de onda de corte (V_{s30}) oscilan entre 195,16 m/s y 331,69 m/s, lo que indica una consolidación y resistencia crecientes con la profundidad.

3.2.5 CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL DEPOSITO

El depósito analizado presenta características geotécnicas distintivas. El tipo de suelo predominante es un limo arenoso, con una predominancia de partículas que varían entre 0,075 mm y 0,42 mm. En cuanto a sus límites de consistencia, el Límite Líquido (LL) es de 28,5% y el Índice de Plasticidad (IP) se sitúa en 11,4%. La resistencia del suelo, medida a través del valor N SPT, muestra una variación que fluctúa entre 11 y 58. La velocidad de onda de corte, o V_{s30} , tiene un rango que va desde 38,25 m/s hasta 331,68 m/s. El perfil NEC es predominantemente del tipo D, revisar el Anexo H. Es importante destacar que la profundidad analizada en este estudio llega hasta los 7,00 m. Una observación relevante es que la consolidación y resistencia del suelo tienden a aumentar con la profundidad. Estas características ofrecen una visión integral sobre las propiedades geotécnicas del depósito basándose en los datos de las perforaciones y la mecánica de suelos.

3.3 ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA SISMOS INTRAPLACA CORTICAL

Modelo Boore y Atkinson (2008)

Los estudios realizados por la investigación de Pacific Earthquake Engineering Research Center o también conocida por las siglas PEER, establecen las siguientes

ecuaciones empleando una extensa base de datos de registros de terremotos de zonas tectónicamente activos a lo largo del mundo. [26]

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad (2)$$

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (3)$$

Donde:

F_M, F_D, F_S : Coeficientes que representan la escala de magnitud, la función de distancia y la amplificación del sitio, respectivamente.

M : Magnitud de momento.

R_{JB} : Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio (Km).

V_{S30} : Velocidad media de la onda de cortante.

ε : Desviación estándar

Función de distancia está representada por:

$$F_D(r_{jb}, M_w) = [c_1 + c_2(M_w - M_{ref})] \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + c_3(R - R_{ref})$$

Donde:

$$R = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2}$$

c_1, c_2, c_3 y h son coeficientes establecidos por el análisis del modelo.

Rref: Distancia de referencia. Se usa un valor de 1km debido a que las curvas describen la dependencia de la distancia giran alrededor de $R=R_{ref}$.

Mref: Magnitud de referencia. Se usa un valor de 4.5 porque se trata de la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos. [26]

Escala de Magnitud es dada por:

a. $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2$$

b. $M > M_h$

$$F_M(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h)$$

Donde:

Tabla 12. Valores de variables ficticias para diferentes tipos de fallas

Tipo de falla	U	SS	NS	RS
Transcurrente $4.3 \leq M \leq 7.9$	0	1	0	0
Inversa $5.6 \leq M \leq 7.6$	0	0	0	1

Normal $5.3 \leq M \leq 6.9$	0	0	1	0
No especificada	1	0	0	0

Fuente: Boore y Atkinson (2008).

Ecuación de amplificación de sitio está dada por

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL}$$

Donde:

F_{LIN} : Término lineal.

F_{NL} : Término no lineal.

El término lineal está dado por:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{s30}/V_{ref})$$

Donde:

b_{lin} : Coeficiente que depende del período.

V_{ref} : Velocidad de referencia especificada igual a 760 m/s. Basados en coeficientes que se obtuvieron empíricamente y descritos en el trabajo de Choi y Stewart (2005). [26]

El término no lineal está dado por:

a. $pga_{4nl} \leq a_1$:

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1)$$

b. $a_1 < pga_{4nl} \leq a_2$:

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) + c[\ln(pga_{4nl_{low}}/a_1)]^2 + d[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^3$$

c. $a_2 < pga_{4nl}$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1)$$

Donde:

a_1 : 0.03 g. Se le asigna un nivel para la amplificación lineal.

a_2 : 0.09 g. Se le asigna un nivel para la amplificación no lineal.

pga_{low} : 0.006. Es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales.

Pga_{4nl} : Es la predicción de PGA en g para V_{ref} .

V_{ref} : 760 m/s. Es dada por la ecuación principal con $F_s = 0$ y $\varepsilon=0$. [26]

Las tres ecuaciones para la porción no lineal de la respuesta del suelo son necesarias por dos razones:

- Para evitar que la amplificación no lineal aumente indefinidamente a medida que disminuye pga_{nl} .
- Para menorar el impacto en la transición del comportamiento lineal al no lineal.

Los coeficientes c y d están dados por:

$$c = (3\Delta y - b_{nl} \Delta x / \Delta x^2)$$

$$d = -(2\Delta y - b_{nl} \Delta x / \Delta x^2)$$

Donde:

$$\Delta x = \ln(a_1/a_2)$$

$$\Delta y = b_{nl} \ln(a_2/pga_{low})$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos periodos y el V_{s30} está dada por:

$$V_{s30} \leq V_1$$

$$b_{nl} = b_1$$

$$V_1 < V_{s30} \leq V_2$$

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{s30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + b_2$$

$$V_2 < V_{s30} < V_{ref}$$

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{s30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref})$$

$$V_{ref} \leq V_{s30}$$

$$b_{nl} = 0.0$$

Donde:

$$V_1: 180 \text{ m/s}$$

$$V_2: 300 \text{ m/s}$$

V_1, V_2, b_1 y b_2 son coeficientes dependientes del período y consecuentemente, b_{nl} es una función del período, así como de V_{s30} .

Limitaciones del modelo

Las siguientes ecuaciones no deben ser aplicadas para sitios de roca muy dura. Las ecuaciones son aplicables para:

$$M_w = 5 - 8$$

$$V_{s30} = 180 - 1300 \text{ m/s}$$

$$R_{JB} < 200 \text{ km}$$

Nota: V_{S30} desde la superficie hasta 30 m.

Tabla 13. Valores empleados en el modelo de Boore y Atkinson

Falla	Distancia a la fuente X [Rjb en Km]	V_{S30} [m/s]	Magnitud de Momento Mw
San Vicente	0.43	273.71	5.83
Pastaza	1.09		6.18
La Playa	3.91		6.05
San Antonio	7.86		5.84

Fuente: Johnny Naula

Tabla 14. Valor variable ficticias para falla inversa

Tipo de falla	U	SS	NS	RS
Inversa	0	0	0	1

Fuente: Johnny Naula

Tabla 15. Coeficientes para el modelo de Boore y Atkinson

a1	a2	pga_low	V1 (m/s)	V2 (m/s)	Vref (m/s)
0.03	0.09	0.06	180	300	760

Fuente: Johnny Naula

Modelo Akkar y Bommer (2010)

El siguiente modelo se basa en un conjunto de datos de 532 acelerogramas registrados a una distancia de 100 km, de 131 terremotos con magnitud de 5 a 7.6, esta ecuación de atenuación tiene como objeto ampliar los periodos de respuesta y los valores de amortiguamiento. [27] Se logra predecir la aceleración pseudoespectral, PSA, del 5% en unidades de cm/s^2 . [27]

$$\log y = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R_{JB}^2 + b_6^2} + b_7S_s + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R$$

Donde:

b_{1-10} : Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral. (anexo C-1)

F_N : Mecanismo de Falla Normal.

F_R : Mecanismo de Falla Inversa.

M : Magnitud de Momento.

R_{JB} : Distancia más cercana a la proyección de la superficie de la falla.

S_A : Suelo Rígido.

S_S : Suelo Suave.

$\epsilon\sigma_T$: Desviación estándar.

Categorías

Suelo Blando: SS= 1; SA=0; Vs30 < 360m/s

Suelo Rígido: SS= 1; SA=1.

Roca: SS= 0; SA=0; Vs30 >750 m/s

Categorías mecanismo de falla:

Falla Normal: FN=1; FR=0.

Falla inversa: FN=0; FR=1.

Falla trascurrente: FN=0; FR=0.

La desviación estándar total se obtiene mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar asociadas:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Donde:

σ_1 = Componente inter – evento.

σ_2 = Componente intra – evento.

Entre los valores de sigma se tiene un salto pronunciado, específicamente en la variabilidad entre eventos. Los coeficientes usados se encuentran en el anexo C-1.

Limitaciones del modelo

- El periodo recomendado es hasta 3 segundos.
- Las ecuaciones son usadas para terremotos de magnitudes de 5.0 hasta 7.6.
- La distancia recomendada para aplicar es hasta 100 km. [27]

Tabla 16. Valores empleados en el modelo de Akkar y Bommer

Falla	Distancia a la fuente [Rjb en Km]	V _{S30} [m/s]	Magnitud de Momento M _w
San Vicente	0.43	273.71	5.83
Pastaza	1.09		6.18
La Playa	3.91		6.05
San Antonio	7.86		5.84

Fuente: Johnny Naula

Tabla 17. Coeficientes para el modelo de Akkar y Bommer

Tipo de falla	FN	FR
Inversa	0	1
Tipo de suelo	S_S	S_A
Suelo Blando	1	0

Fuente: Johnny Naula

Modelo Kanno et al. (2006)

Este modelo matemático usa solo dos parámetros la magnitud de momento (M_w) y la distancia fuente (X); también usa dos ecuaciones, una para **eventos superficiales** (Si $D \leq 30$ km) y otra para **eventos profundos** (Si $D > 30$ km). [28]

Si $D \leq 30$ km

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 10^{0.5 M_w}) + c_1 + \varepsilon_1$$

Si $D > 30$ km

$$\log pre = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2$$

Donde:

pre = Es la aceleración espectral de respuesta amortiguada del 5% (cm/s^2) o PGA (cm/s^2).

D = Profundidad focal (km).

M_w = Magnitud de Momento.

X = Distancia de la fuente.

a_{1-2} ; b_{1-2} ; c_{1-2} = Coeficientes tomados del anexo D-1.

e_1 = Base de logaritmo natural. (El valor constante es de 0.5).

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ = Valor de desviación estándar.

El coeficiente para utilizar es la distancia de la fuente (X) de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- 6.0 → Si $X \leq 25$ km
- 3.0 → Si 25 km $< X \leq 50$ km
- 1.5 → Si 50 km $< X \leq 75$ km
- 1.0 → Si $X > 75$ km

De acuerdo con la siguiente ecuación simple se obtiene una corrección de sitio continuo:

$$G = \log(obs/pre)$$

$$G = p \log(V_{S30}) + q$$

Donde:

G= Término de corrección adicional correspondiente a los efectos de sitio.

log= Residuo entre amplitud observada de PGA (aceleración pico del suelo) y PGV (velocidad pico del suelo).

obs= Aceleración espectral.

pre= Valores predichos por el modelo base.

p, q= Coeficientes derivados del análisis de regresión, representados en el anexo D-2.

V_{S30}= Velocidad media de onda cortante a 30 km.

Luego de aplicar los términos de corrección adicionales se puede representar por medio de la siguiente ecuación:

$$\log pre_G = \log pre + G$$

Limitaciones del modelo

- Este modelo es usado para eventos “poco profundos”, es decir con una profundidad focal que no exceda los 30 km. [28]
- Se utiliza también para eventos “profundos” con una profundidad focal entre 30 km o 180 km. [28]
- La ecuación del modelo se puede fusionar correctamente siempre y cuando V_{S30} sea igual o semejante a 300 m/s, de lo contrario se debe utilizar la ecuación de corrección “G” (#). [28]

Tabla 18. Valores empleados en el modelo de Kanno

Falla	Distancia a la fuente X [Rjb en Km]	V _{S30} [m/s]	Magnitud de Momento Mw	Tipo de Evento
San Vicente	0.43	273.71	5.83	Superficial
Pastaza	1.09		6.18	
La Playa	3.91		6.05	
San Antonio	7.86		5.84	

Fuente: Johnny Naula

3.4 ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA SUBDUCCIÓN

Modelo Young (1997)

El siguiente modelo muestra las relaciones de atenuación para la aceleración máx. del sitio y la respuesta espectral de aceleración para subducción de zonas de superficies de contacto como los terremotos interplaca e intraplaca a partir de un análisis de regresión. [29] Se utiliza para sismos de magnitud de $M_w \geq 5$, entre distancias de 10km a 500km. [29] La ecuación para la predicción del movimiento del suelo está representada por:

$$\ln(y) = -0.6687 + 1.438M_w + C_1 + C_2(10 - M_w)^3 + C_3 \\ * \ln(R + 1.0971e^{0.617*M_w}) + 0.00648H + 0.3643Z_T$$

Donde:

y = Aceleración espectral (cm/s^2).

C_i = Coeficientes de relación de atenuación.

M_w = Magnitud de momento.

R = Distancia más cercana a la ruptura (km).

H = Profundidad focal (km).

Z_T = Tipo de fuente, para interplaca es “0” y para intraplaca “1”.

Limitaciones del modelo

- La magnitud del momento también recomienda usar una profundidad focal (H) entre 10 km a 229 km. [29]
- El autor compara las simulaciones para suelo con poca profundidad de 20 ft y suelo profundo de 120 ft a 500 ft, con el resultado de que a distancias menores a 50 km presentan convergencias y las mayores presentan un buen acuerdo. [29]
-

Tabla 19. Valores empleados en el modelo de Young

Magnitud de momento M_w	Distancia a la fuente X [Rjb en Km]	Profundidad Focal H [km]	Tipo de falla	Coeficientes C_i
8.89	321.58	125	Intraplaca	Anexo E1

			1	
--	--	--	---	--

Fuente: Johnny Naula

Modelo Zhao (2006)

El modelo facilita la evaluación de peligro sísmico con componentes importantes para el movimiento del suelo, de acuerdo con un registro de datos sobre movimientos sísmicos registrados hasta el año 2003. [30] El modelo se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$\log_e(y) = aM_w + b(X) - \log_e(r) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} * \log_e(x) + C_k$$

$$r = x + c \exp(dM_w)$$

Donde:

y= Aceleración espectral (cm/s^2).

a, b, c, d, e = Coeficientes.

M_w = Magnitud de momento.

X= Distancia a la fuente (km).

h= Profundidad focal (km).

h_c = Constante de profundidad. (km)

δ_h = Si $h \geq h_c$ el valor es 1, por el contrario, Si $h < h_c$ el valor es 0

F_R = Parámetro de falla inversa.

S_I = Coeficiente para eventos de interface.

S_S = Coeficiente para eventos de intraplaca.

S_{SL} = Término de modificación de magnitud independiente.

C_k = Término de la clase del sitio.

r= Coeficiente de amplificación en función de la distancia.

Profundidad Focal

- Evento Cortical con una profundidad focal (h) de 0 a 25 km.
- Evento Interplaca con una profundidad focal (h) de 10 a 50 km.
- Evento Intraplaca con una profundidad focal (h) de 15 a 162 km.

Si hay un sismo de profundidad $h > 50$ km, se usa el valor $h=50$ km. [30]

Coeficiente de profundidad

- En eventos superficiales se usa $h_c = 15$ km.
- En eventos profundos se usa $h_c = 0$ km.

Para obtener el termino (h y h_c) toma dirección una variable ficticia: [30]

$$Si h \geq h_c \rightarrow \delta_h = 1$$

$$\text{Si } h < h_c \rightarrow \delta_h = 0$$

Parámetros por considerar

F_R = Para eventos corticales de falla inversa se utiliza un valor de 1 y se utiliza el valor de 0 para los demás eventos.

S_I = Para eventos de interplaca y se utiliza el valor de 0 para los demás eventos.

S_S = Para eventos de subducción y se utiliza el valor de 0 para los demás eventos.

S_{SL} = Para eventos de interplaca y se utiliza el valor de 0 para los demás eventos.

Los términos por utilizar (F_R , S_I , S_S , S_{SL}), al igual que los términos a, b, c, d, e se obtienen del anexo F-1.

Factor del sitio

Tabla 20. Clasificación de la clase de sitio (Ck)

Clase de suelo	Descripción	V_{S30} [m/s]
Clase A	Roca dura	$V_{S30} > 1100 \text{ m/s}$
Clase A+B	Roca	$V_{S30} > 600 \text{ m/s}$
Clase C	Suelo duro	$300 \text{ m/s} < V_{S30} \leq 600 \text{ m/s}$
Clase D	Suelo medio	$200 \text{ m/s} < V_{S30} \leq 300 \text{ m/s}$
Clase E+F	Suelo suave	$V_{S30} \leq 200 \text{ m/s}$

Fuente: Johnny Naula

Los términos de Ck se obtienen del anexo F-2

Tabla 21. Valores empleados en el modelo de Zhao

Magnitud de momento M_w	X [Rjb en km]	H [km]	Hc [km]	δ_h	Tipo Tectónico	Tipo de falla	V_{S30} [m/s]
---------------------------	------------------	-----------	------------	------------	----------------	---------------	--------------------

8.89	321.58	125	0	1	Intraplaca	Inversa	273.71
F_R	S_I	S_S	S_{SL}	C_k			
1	0	Datos en las tablas establecidas por Zhao					

Fuente: Johnny Naula

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Cálculos de los espectros

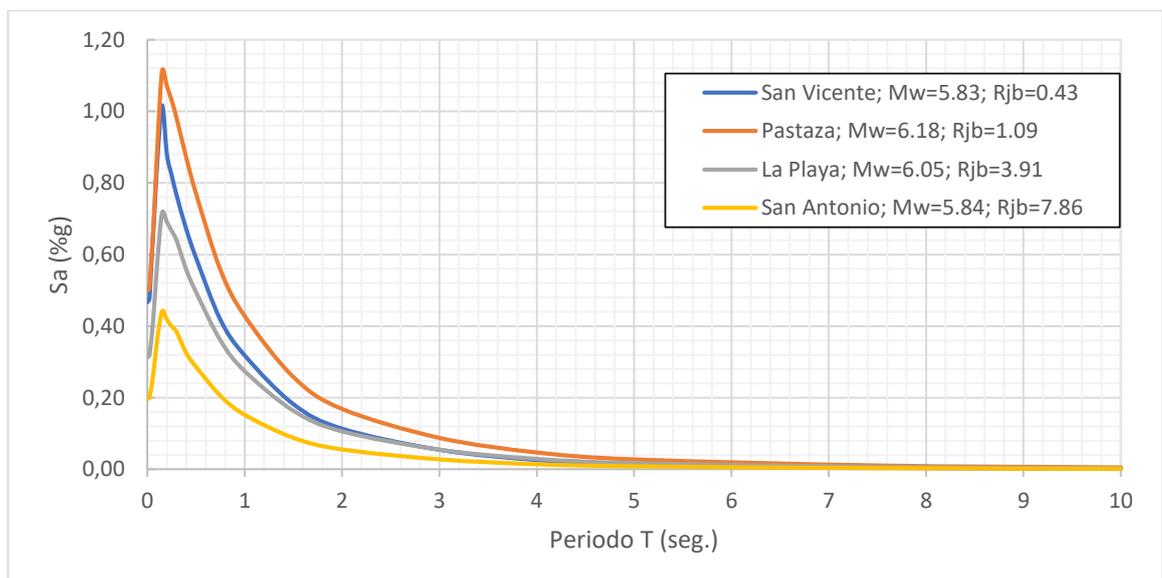
El análisis se centra en la estabilidad del sitio de la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes en el cantón Baños, distrito 18D03. Utilizando modelos matemáticos, se generaron espectros de respuesta basados en un enfoque determinista que considera las fallas cercanas activas. Estos espectros, esenciales para el análisis sísmo resistente, muestran las máximas aceleraciones en función del tiempo. El proyecto compara estos espectros con los establecidos por la normativa ecuatoriana de construcción (NEC-15).

4.2. Fallas corticales

Espectros realizados para el modelo de Boore y Atkinson (2008)

Este modelo presenta los siguientes espectros calculados para todas las fallas corticales se te tomaron en cuenta para el proyecto, usando un valor de $V_{S30} = 273.71$ m/s para cada una de las fallas en conjunto con su distancia perpendicular del punto de ocurrencia a la estructura de estudio y la magnitud que cada falla tiene.

Figura 22. Modelo de Atkinson y Boore – Espectros Calculados



Fuente: Johnny Naula

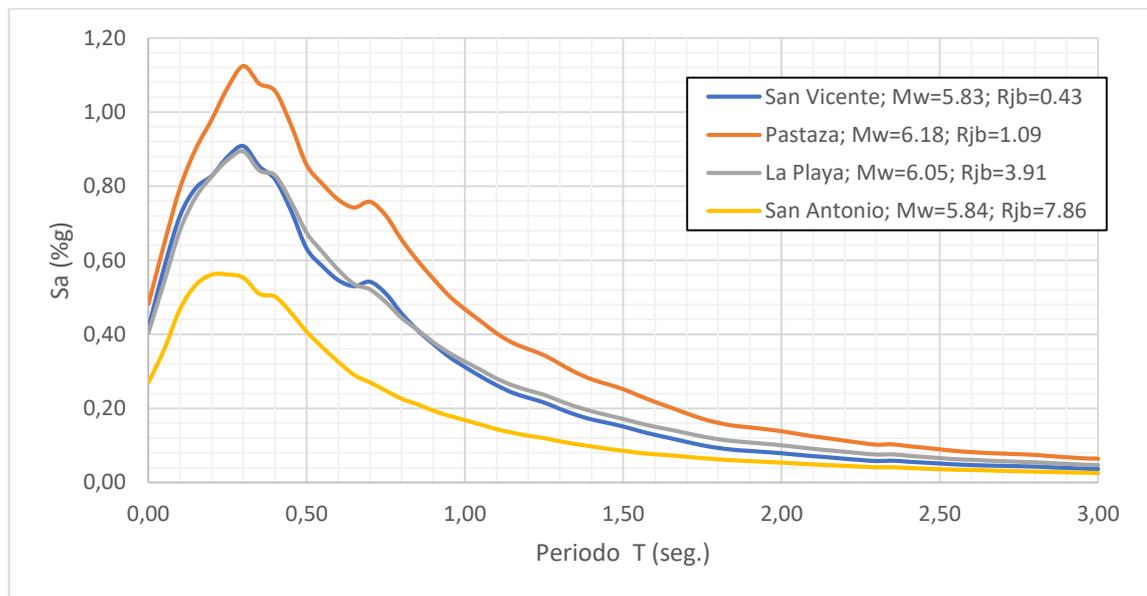
La figura destaca las distintas aceleraciones asociadas a cada falla. Es notable la significativa variación de aceleración del lineamiento Pastaza, que alcanza una aceleración máxima de 1.11 g en un periodo de 0.15 seg. En contraste, las fallas San Vicente, La Playa y San Antonio muestran reducciones en aceleración del 8.57%, 35.51% y 60.36%, respectivamente. Estas diferencias subrayan la influencia de

factores como la proximidad a la falla, la magnitud del sismo y la longitud de la falla en los valores obtenidos.

Espectros realizados para el modelo de Akkar y Bommer (2010)

El modelo muestra espectros derivados de todas las fallas corticales consideradas en el proyecto, empleando un valor uniforme de $VS30 = 273.71$ m/s. Estos espectros se determinaron teniendo en cuenta la distancia perpendicular desde el punto de origen hasta la estructura analizada, así como la magnitud asociada a cada falla.

Figura 23. Modelo de Akkar y Bommer-Espectros Calculados



Fuente: Johnny Naula

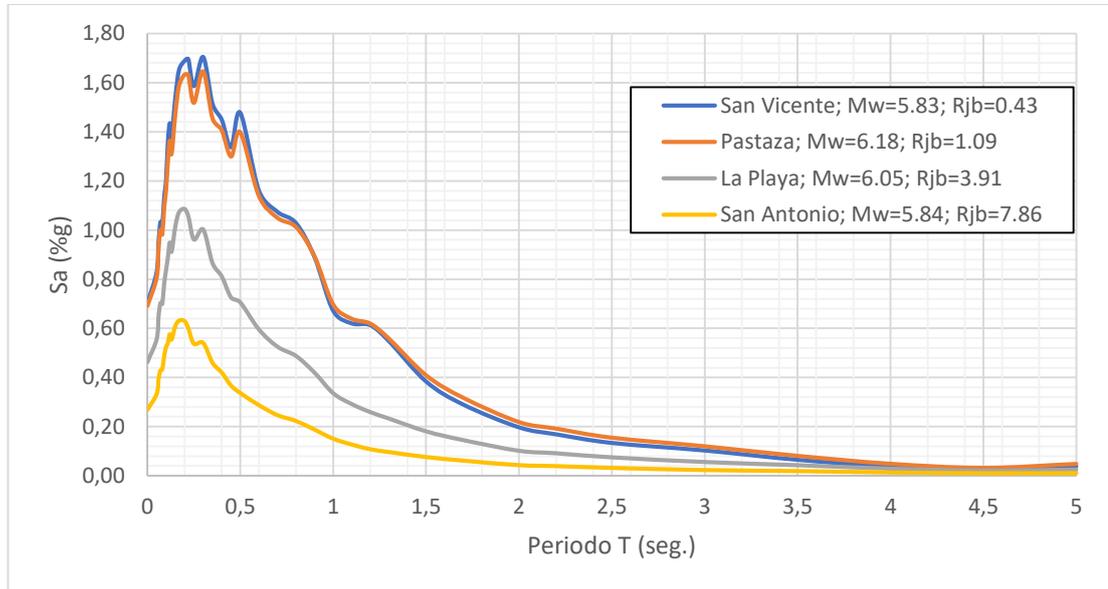
La figura destaca las variaciones en aceleraciones asociadas a cada falla. Es notable cómo el lineamiento Pastaza se distingue de las demás fallas, alcanzando una aceleración máxima de 1.12 g en un periodo de 0.30 seg. Por otro lado, las fallas San Vicente, La Playa y San Antonio presentan reducciones en aceleración del 19.18%, 20.48% y 50%, respectivamente. Estas diferencias evidencian la influencia de factores como la proximidad a la falla, la magnitud del sismo y la longitud de la falla en los valores resultantes.

Espectros realizados para el modelo de Kanno

El modelo de Kanno muestra espectros derivados de todas las fallas corticales consideradas en este proyecto, utilizando un valor constante de $VS30 = 273.71$ m/s. Estos espectros se determinaron teniendo en cuenta la distancia perpendicular desde el

punto de origen hasta la estructura en estudio, así como la magnitud inherente a cada falla.

Figura 24. Modelo de Kanno - Espectros Calculados



Fuente: Johnny Naula

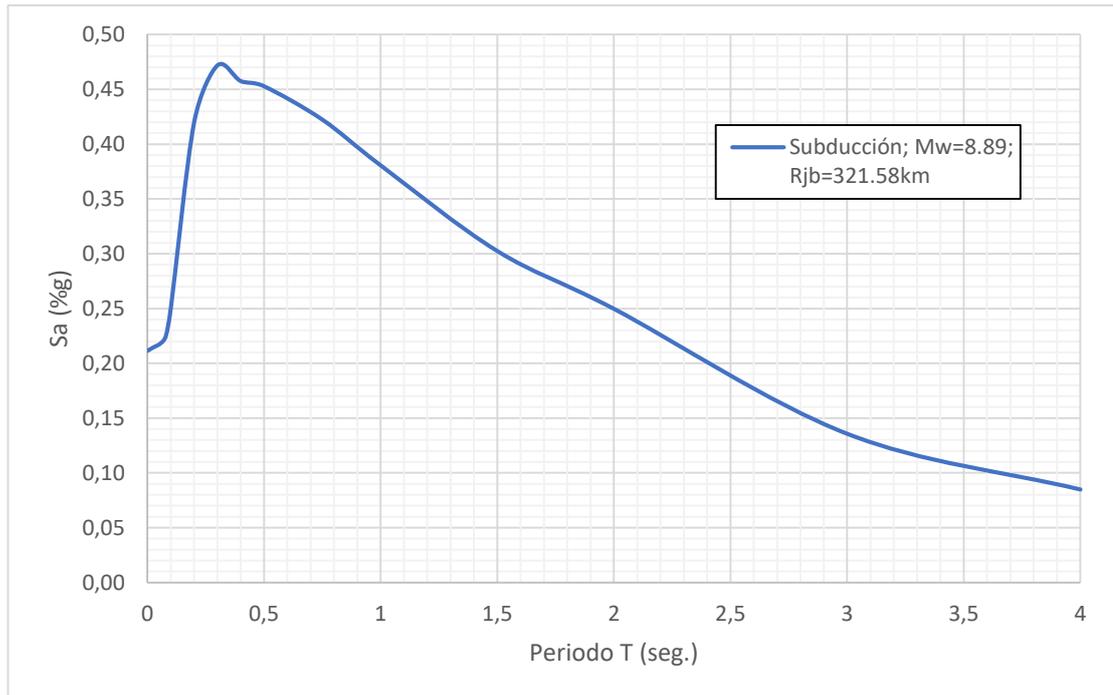
La figura ilustra las distintas aceleraciones asociadas a cada falla. Es notable cómo la falla San Vicente destaca sobre las demás, alcanzando una aceleración máxima de 1.70 g en un periodo de 0.30 seg. En contraste, el lineamiento Pastaza, la falla La Playa y la falla San Antonio muestran reducciones en aceleración del 3.39%, 36.26% y 62.96%, respectivamente. Estas variaciones subrayan la influencia de factores como la proximidad a la falla, la magnitud del sismo y la longitud de la falla en los valores obtenidos.

4.2.Falla de subducción

Espectros realizados para el modelo de Young

El modelo de Young proporciona espectros derivados de todas las fallas corticales consideradas en el proyecto, utilizando un VS30 constante de 273.71 m/s. Estos espectros se determinaron considerando la distancia perpendicular desde el punto de origen hasta la estructura en estudio y la magnitud específica de cada falla.

Figura 25. Modelo de Young - Espectros Calculados



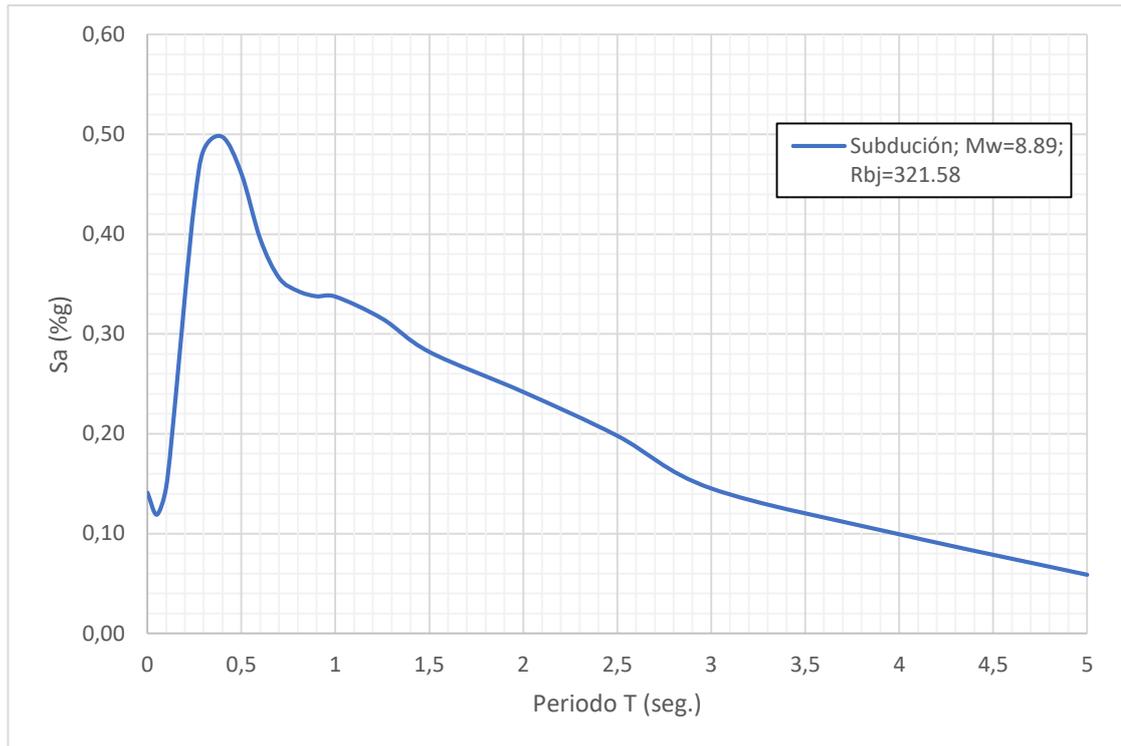
Fuente: Johnny Naula

La figura destaca las variaciones en aceleraciones asociadas a cada falla. Es notable cómo la falla de subducción alcanza una aceleración máxima de 0.47 g en un periodo de 0.30 seg. Estas variaciones enfatizan la influencia de factores como la proximidad a la falla, la magnitud del sismo y la longitud de la falla en los valores resultantes.

Espectros realizados para el modelo de Zhao

El modelo de Zhao ofrece espectros derivados de las fallas corticales consideradas en este proyecto, utilizando un VS30 constante de 273.71 m/s. Estos espectros se determinaron teniendo en cuenta la distancia perpendicular desde el punto de origen hasta la estructura en estudio, así como la magnitud inherente a cada falla.

Figura 26. Modelo de Zhao - Espectros Calculados



Fuente: Johnny Naula

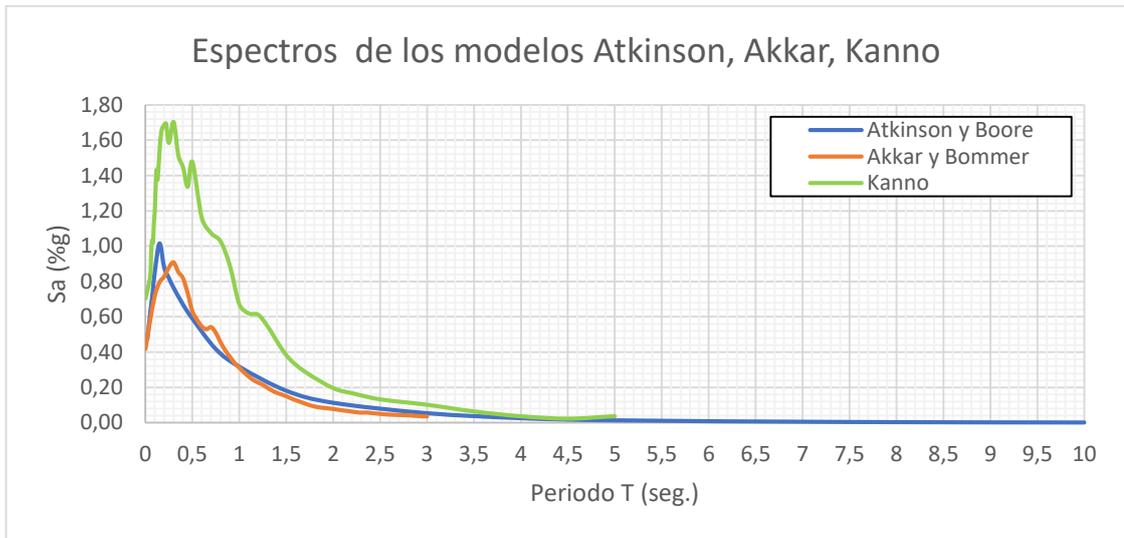
La figura resalta la falla de subducción y sus variaciones en aceleraciones. Es destacable que esta falla alcanza una aceleración máxima de 0.49 g en un periodo de 0.40 seg. Estas variaciones subrayan la influencia de factores como la proximidad a la falla, la magnitud del sismo y la longitud de la falla en los valores obtenidos.

4.3. Espectros de los modelos usados con cada una de las fallas

El gráfico a continuación representa la compilación de cada una de las fallas comparadas con cada modelo seleccionado (Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno, Young, Zhao), donde se puede observar las aceleraciones máximas.

Espectro determinado para la falla San Vicente

Figura 27. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para la falla San Vicente

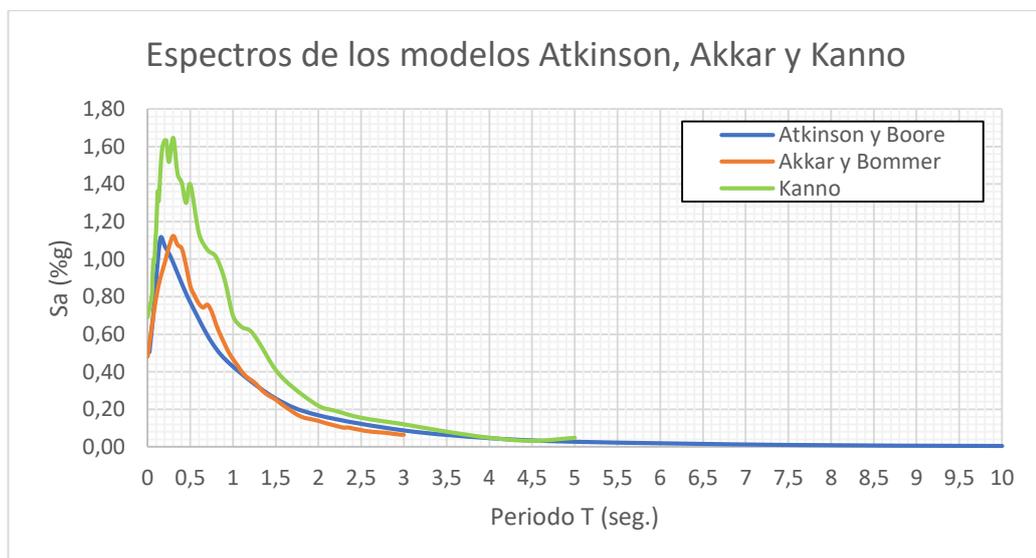


Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que sobresale con respecto a los demás espectros es el de Kanno, con un valor máximo de aceleración 1.70 g. en un periodo de 0.30 seg.

Espectro determinado para el lineamiento Pastaza

Figura 28. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para el lineamiento Pastaza

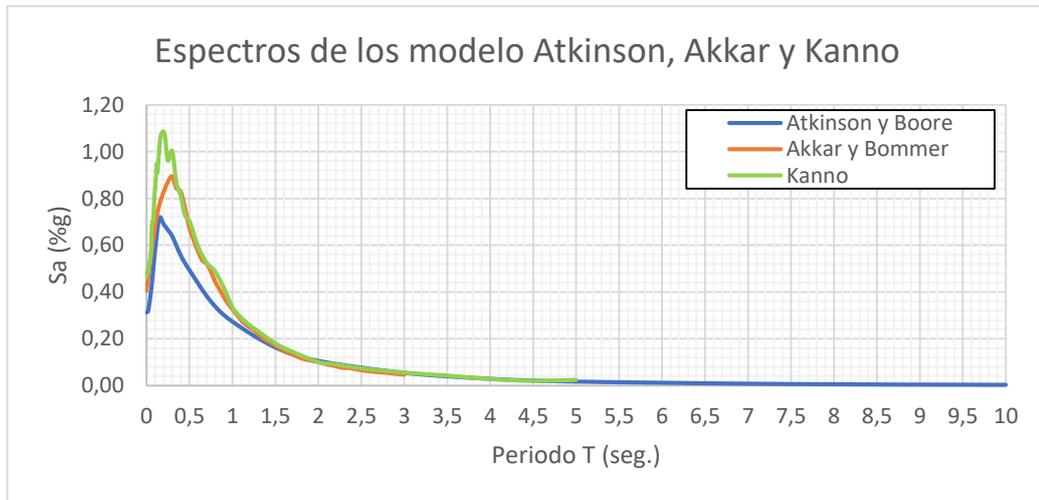


Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que sobresale con respecto a los demás espectros es el de Kanno, con un valor máximo de aceleración 1.64 g. en un periodo de 0.30 seg.

Espectro determinado para la falla La Playa

Figura 29. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para la falla La Playa

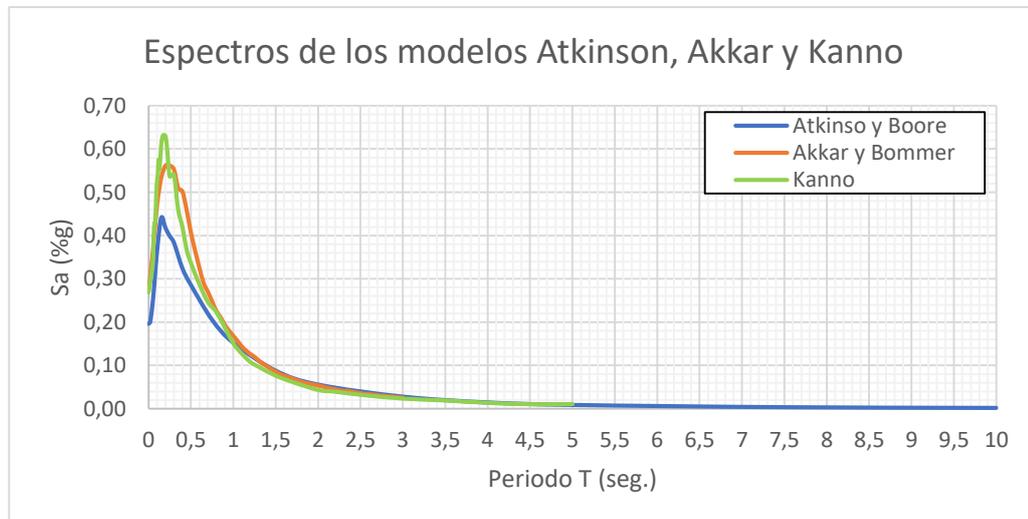


Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que sobresale con respecto a los demás espectros es el de Kanno, con un valor máximo de aceleración 1.08 g. en un periodo de 0.20 seg.

Espectro determinado para la falla San Antonio

Figura 30. Modelos de Atkinson y Boore, Akkar y Bommer, Kanno para la falla San Antonio

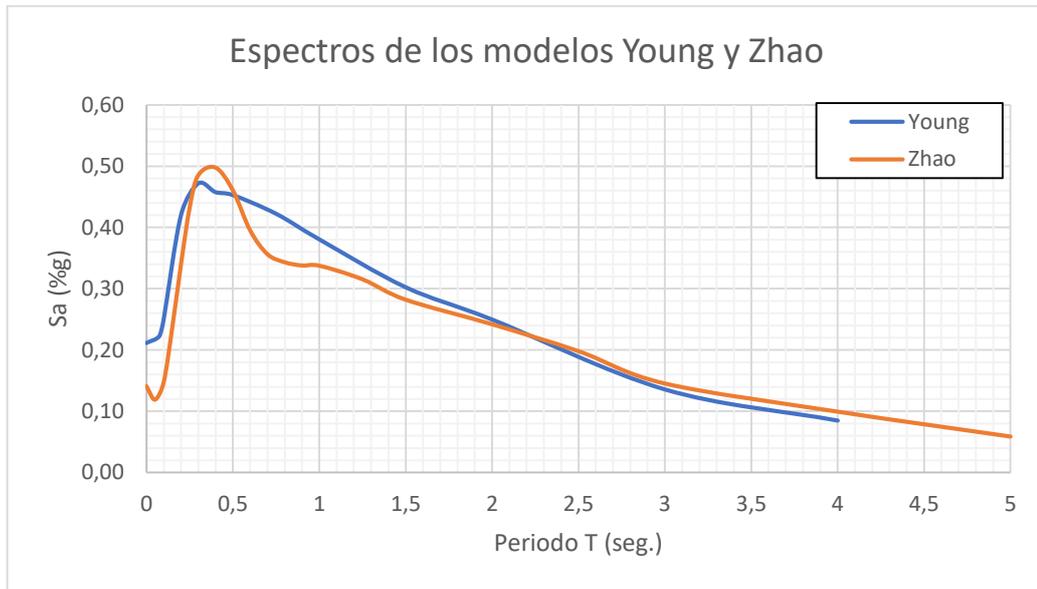


Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que sobresale con respecto a los demás espectros es el de Kanno, con un valor máximo de aceleración 0.63 g. en un periodo de 0.17 seg.

Espectro determinado para la falla de Subducción

Figura 31. Modelos de Young y Zhao para la falla de Subducción



Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que sobresale con respecto a los demás espectros es el de Zhao, con un valor máximo de aceleración 0.49 g. en un periodo de 0.40 seg.

La siguiente tabla recopila los datos más importantes de las aceleraciones máximas que se generó con cada uno de los modelos y de las fallas en una variación porcentual para tenerlo en cuadro de resumen.

Tabla 22. Variación entre modelos calculados

FALLA SAN VICENTE				
MODELO	ACELERACIÓN MAX.(Sa)	PERIODO (T)	VARIACIÓN DE ACCELERACIÓN (%)	
Kanno	1.70	0.30	MODELO	%
Boore y Atkinson	1.01	0.15	Kanno – Boore y Atkinson	40.58
Akkar y Bommer	0.90	0.30	Kanno – Akkar y Bommer	47.05
LINEAMIENTO PASTAZA				
MODELO	ACELERACIÓN MAX.(Sa)	PERIODO (T)	VARIACIÓN DE ACCELERACIÓN (%)	
Kanno	1.64	0.30	MODELO	%

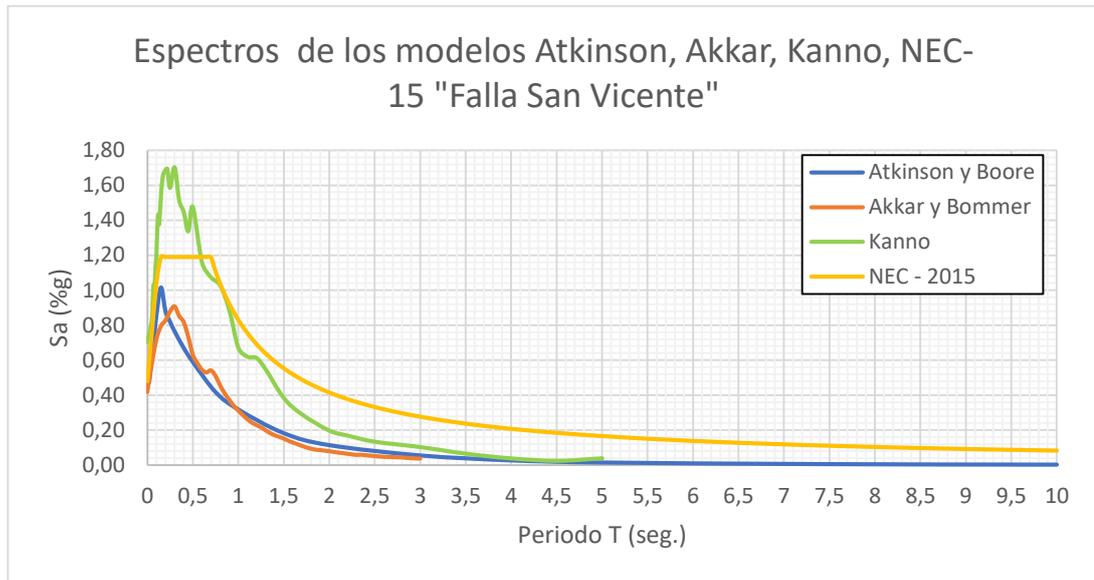
Boore y Atkinson	1.11	0.15	Kanno – Boore y Atkinson	32.31
Akkar y Bommer	1.12	0.30	Kanno – Akkar y Bommer	31.70
FALLA LA PLAYA				
MODELO	ACELERACIÓN MAX.(Sa)	PERIODO (T)	VARIACIÓN DE ACELERACIÓN (%)	
Kanno	1.08	0.20	MODELO	%
Boore y Atkinson	0.71	0.15	Kanno – Boore y Atkinson	34.25
Akkar y Bommer	0.89	0.30	Kanno – Akkar y Bommer	17.59
FALLA SAN ANTONIO				
MODELO	ACELERACIÓN MAX.(Sa)	PERIODO (T)	VARIACIÓN DE ACELERACIÓN (%)	
Kanno	0.63	0.17	MODELO	%
Boore y Atkinson	0.44	0.15	Kanno – Boore y Atkinson	30.15
Akkar y Bommer	0.56	0.20	Kanno – Akkar y Bommer	11.11
FALLA DE SUBDUCCIÓN				
MODELO	ACELERACIÓN MAX.(Sa)	PERIODO (T)	VARIACIÓN DE ACELERACIÓN (%)	
Zhao	0.49	0.40	MODELO	%
Young	0.47	0.30	Zhao – Young	4.08

Fuente: Johnny Naula

4.4. Espectros comparados con la NEC-15

Las figuras que se presentan a continuación es una comparación de cada uno de los modelos con sus respectivas fallas en función del modelo de la NEC-15.

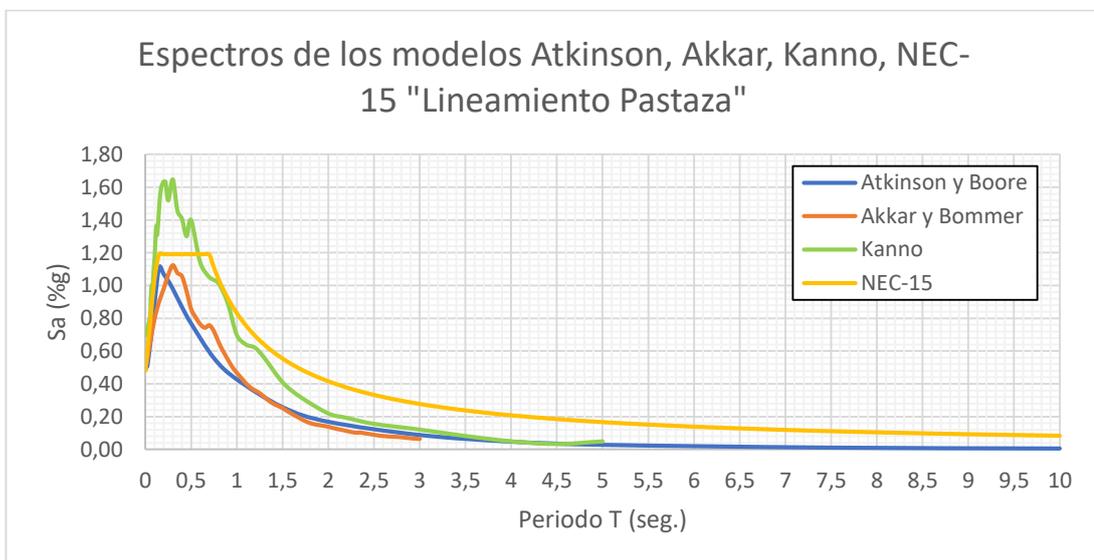
Figura 32. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para la falla San Vicente



Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que predomina para la falla de San Vicente es el modelo de Kanno con un valor máximo de aceleración de 1.70 g. en un periodo de 0.30 seg.; teniendo un aumento de 30.14% con relación al espectro de la NEC-15.

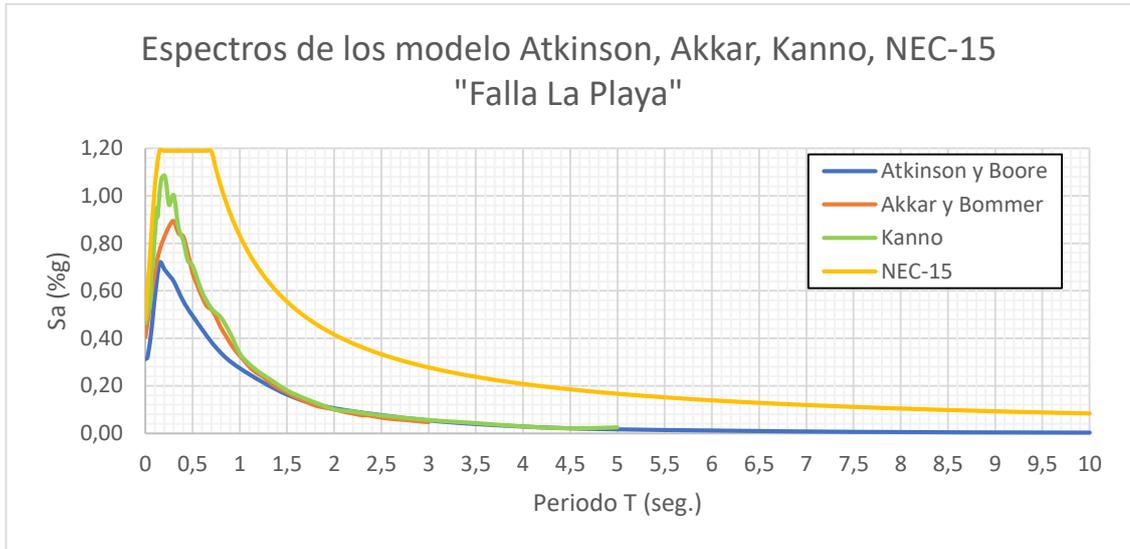
Figura 33. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para el lineamiento Pastaza



Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que predomina para el lineamiento Pastaza es el modelo de Kanno con un valor máximo de aceleración de 1.64 g. en un periodo de 0.30 seg.; teniendo un aumento de 27.68% con relación al espectro de la NEC-15.

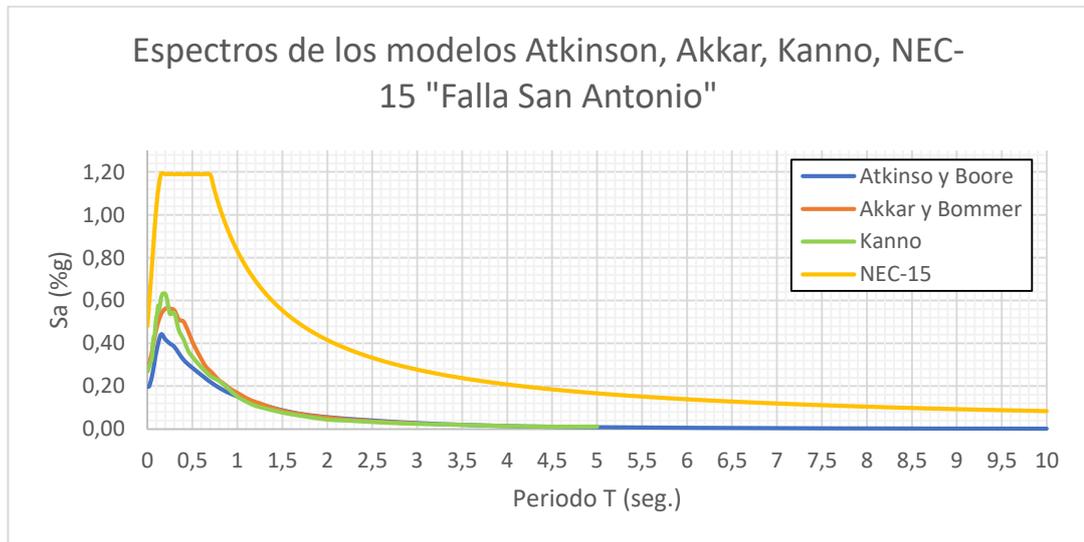
Figura 34. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para la falla La Playa



Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que predomina la falla La Playa es el modelo de la NEC-15 con un valor máximo de aceleración de 1.19 g. en un periodo de 0.65 seg.; mientras que los demás modelos para este tipo de falla están dentro de los rangos obtenidos por la NEC-15.

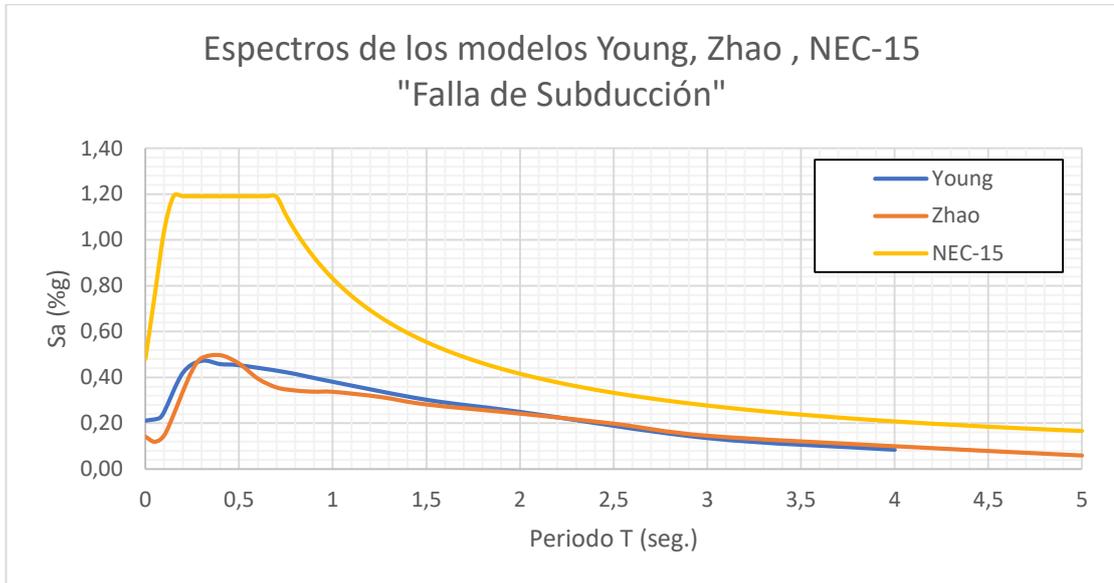
Figura 35. Modelos generados y comparados con la NEC-15 para la falla San Antonio



Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que predomina la falla San Antonio es el modelo de la NEC-15 con un valor máximo de aceleración de 1.19 g. en un periodo de 0.65 seg.;

Figura 36. Modelos generados y comparados mientras que los demás modelos para este tipo de falla están dentro de los rangos obtenidos por la NEC-15. con la NEC-15 para la de Subducción



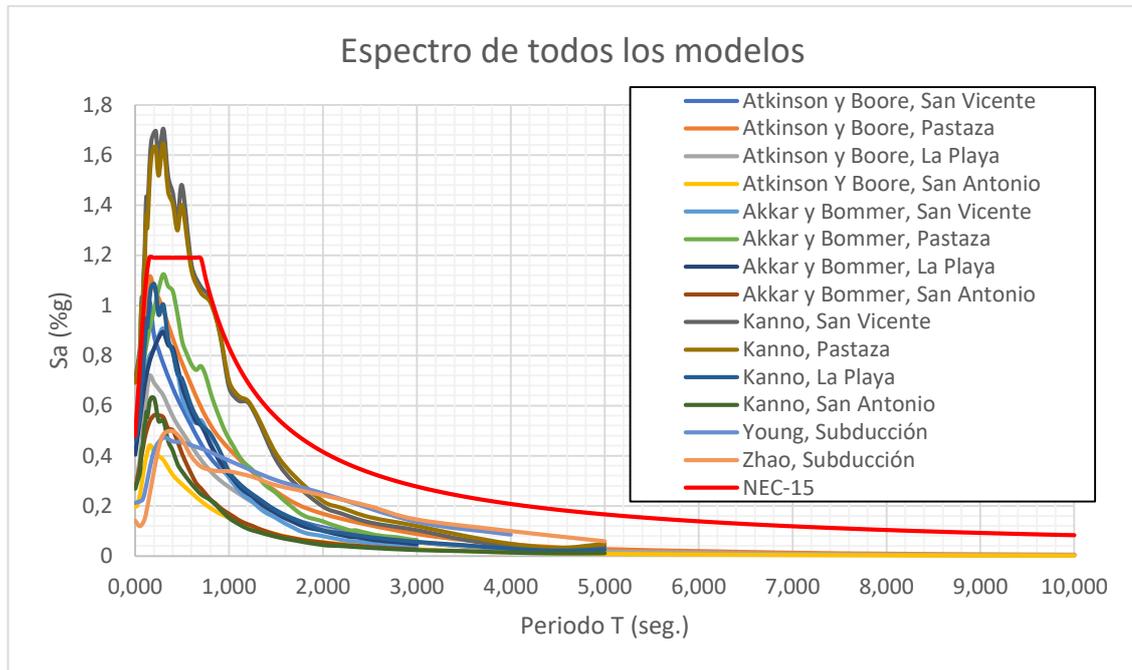
Fuente: Johnny Naula

La figura muestra que el modelo que predomina la falla de Subducción es el modelo de la NEC-15 con un valor máximo de aceleración de 1.19 g. en un periodo de 0.65 seg.; mientras que los demás modelos para este tipo de falla están dentro de los rangos obtenidos por la NEC-15.

4.5. Resumen de todos los espectros generados en relación con la NEC-15

La siguiente figura ilustra la totalidad de espectros generados para este estudio, estableciendo una comparativa directa con la normativa ecuatoriana de la construcción, NEC-15.

Figura 37. Espectros obtenidos en comparación con la NEC-15



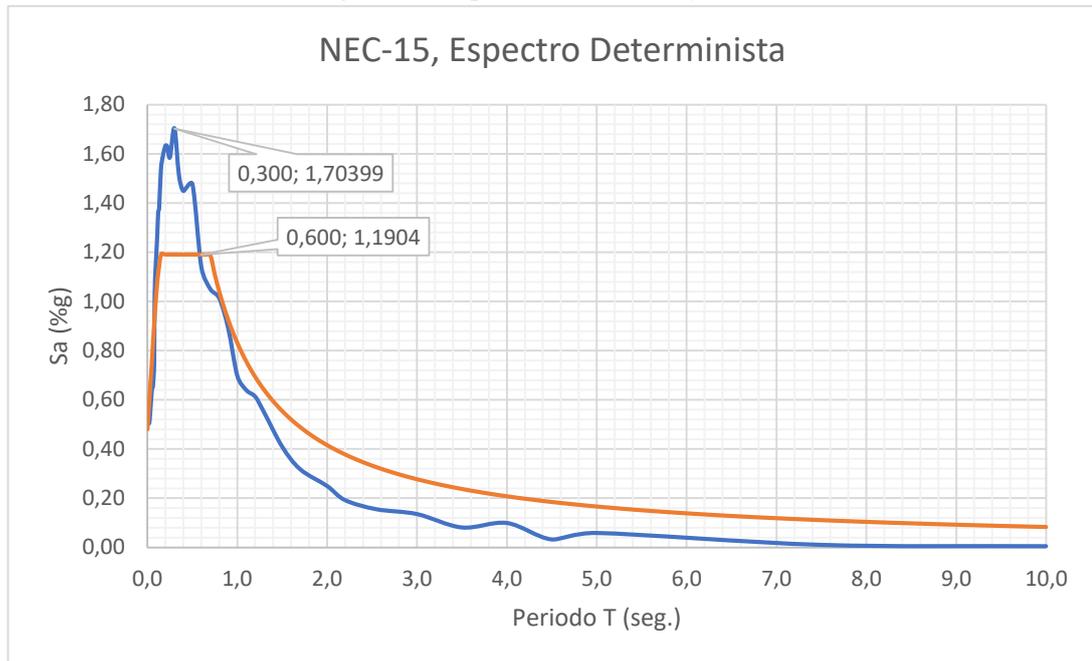
Fuente: Johnny Naula

En la representación analizada, se distinguen 14 espectros que emergen del análisis determinístico de varias fallas. Es evidente que las fallas corticales ejercen una influencia notable en las estructuras de menor tamaño próximas al área en cuestión, mientras que la falla de subducción afecta predominantemente a edificaciones de mayor magnitud en el mismo territorio. Es crucial subrayar que, aunque el espectro de la NEC-15 tiende a adoptar un enfoque más conservador en comparación con el modelo de Kanno, la envolvente de estos espectros se configura en función del espectro de diseño establecido por la NEC.

Espectro determinista generado

Se ha generado un espectro envolvente, consolidando los valores máximos de aceleración de cada modelo determinista evaluado.

Figura 38. Espectro determinista y NEC-15



Fuente: Johnny Naula

Esta figura contrasta los espectros determinista y NEC-15, que serán esenciales para el desarrollo de este proyecto, donde la línea naranja representa el espectro de diseño de la NEC, y en Azul, podemos diferenciar el espectro determinista. El espectro determinista alcanza una aceleración máxima de 1.70 g en un periodo de 0.30 seg. Por otro lado, el espectro NEC-15 registra una aceleración máxima de 1.19 g en un periodo de 0.60 seg. Esta diferencia representa una variación del 30.14%.

4.6. Análisis estructural de las edificaciones seleccionadas para la zona de estudio

En la zona que se ha propuesto el estudio se encuentran edificaciones de diferentes niveles de elevación, las cuales se verán afectadas por eventos que pueden ocurrir en las fallas seleccionadas, para este análisis se utiliza la herramienta de ayuda para modelación de estructuras que es el ETAB'S, donde se podrá utilizar los dos modelos de espectros el determinista y la NEC-15.

Datos estructurales

La tabla a continuación contiene todos los elementos estructurales con sus dimensiones obtenidas in situ y algunos en planos arquitectónicos. Adicional, se indica que la norma de diseño es NEC – 2011, debido a que se carece de la fecha de construcción de los edificios.

Tabla 23. Datos estructurales de la edificación

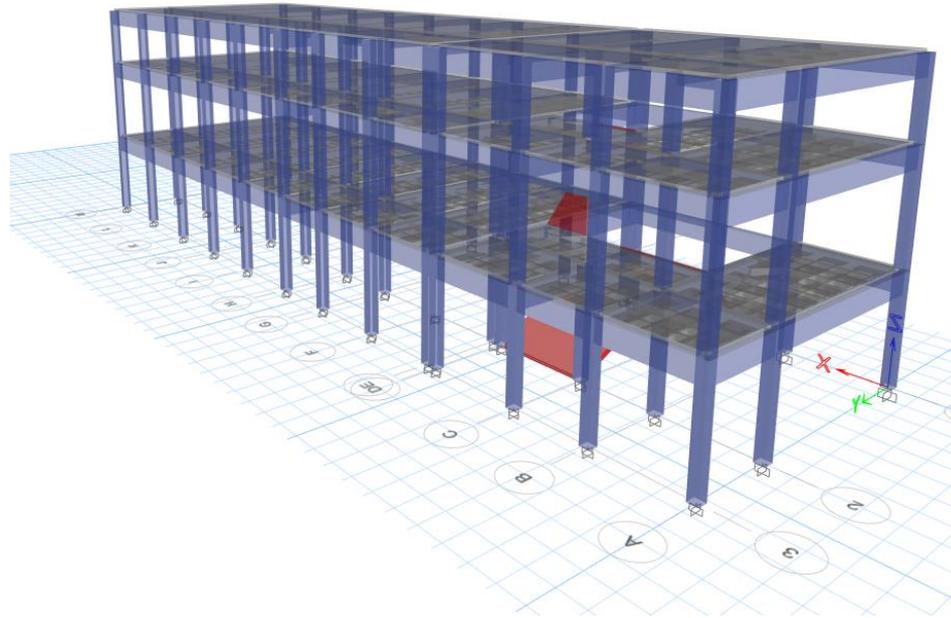
	UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES	EDIFICACIÓN 1	EDIFICACIÓN 2
# DE PISOS	2	1	1
COLUMNA (m)	0.30*0.30	0.25*0.30	0.30*0.30
VIGA (m)	0.30*0.60	0.20*0.30	0.30*0.30
LOSA (m)	0.35	0.20	0.30
ALTURA MAX. (m)	8.85	5.77	5.48
NORMA	NEC – 11	NEC – 11	NEC – 11

Fuente: Johnny Naula

4.6.1. Estructuras a evaluar

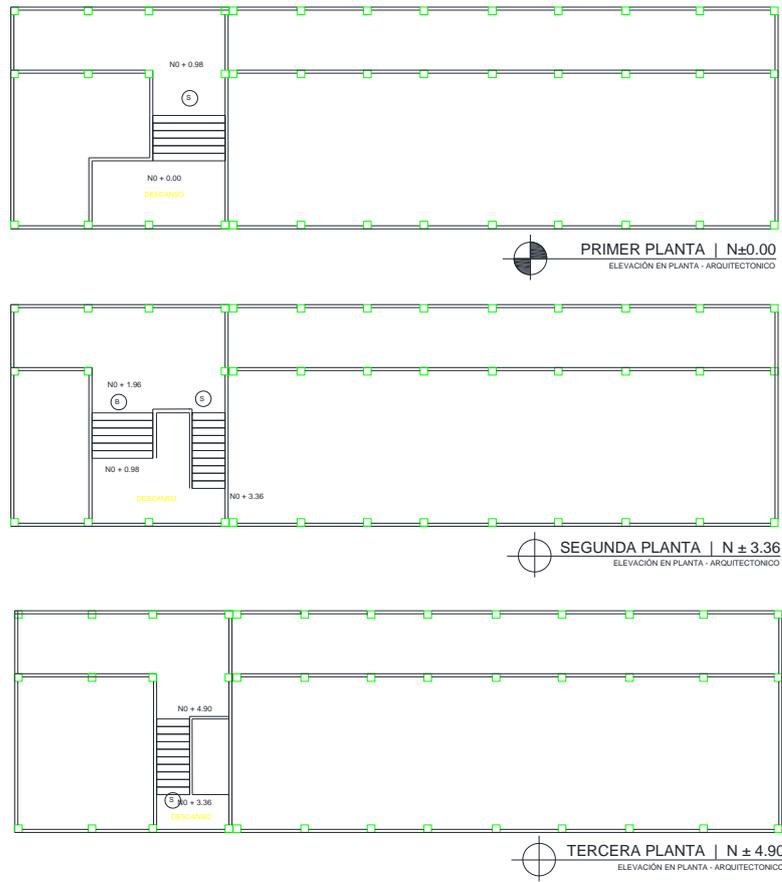
La estructura pasa por un proceso de modelado mediante la herramienta de ayuda ETAB'S, con los espectros obtenidos de la NEC-15 y el Determinista para determinar valores que serán de ayuda al momento de determinar si la estructura será estable.

Figura 39. Modelo estructural de unidad educativa Oscar Efrén Reyes



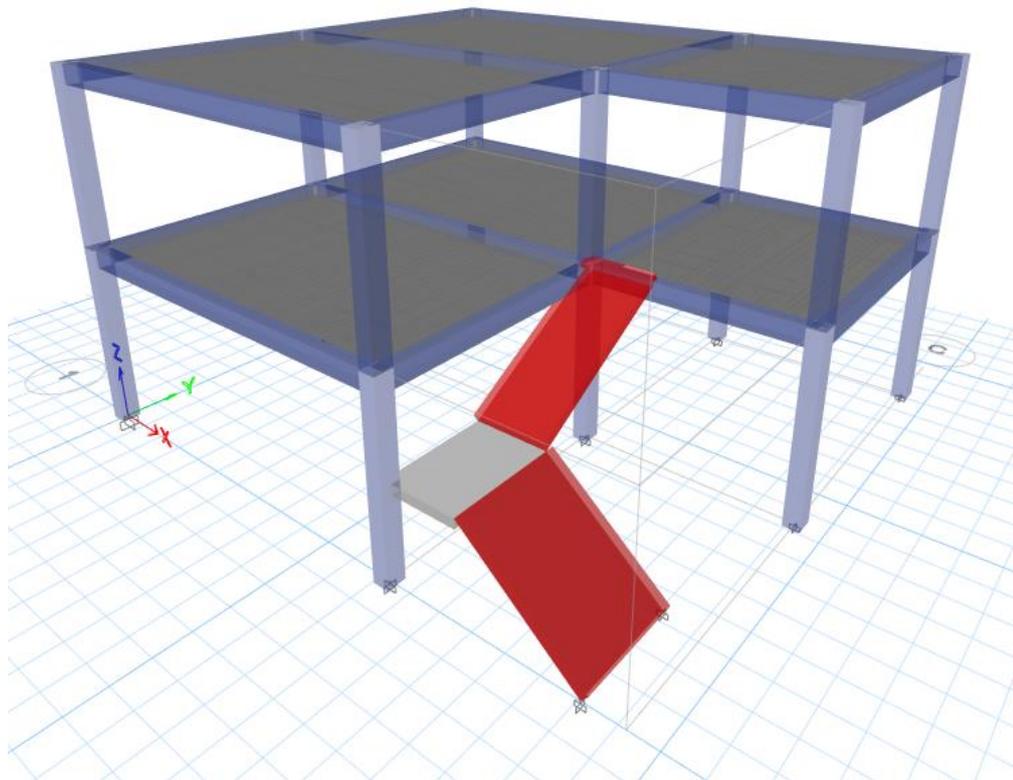
Fuente: ETABS 2018

Figura 40. Vista en planta – de la UE Oscar Efrén Reyes



Fuente: Autor

Figura 41. Modelo de la edificación 1



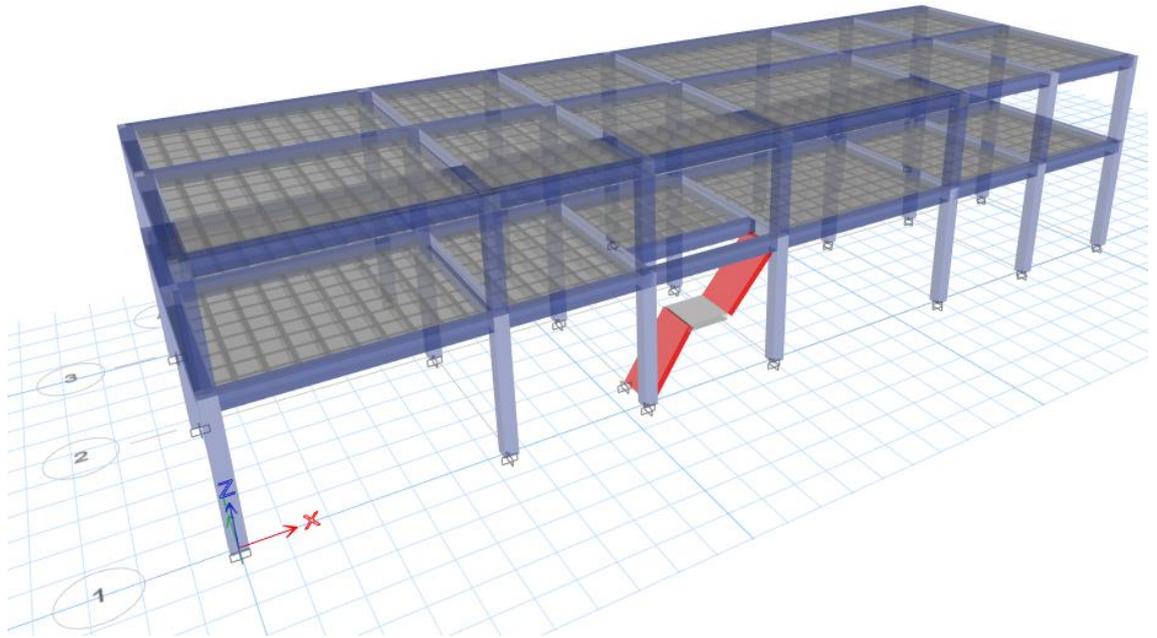
Fuente: ETABS 2018

Figura 42. Vista en planta – Edificio 1



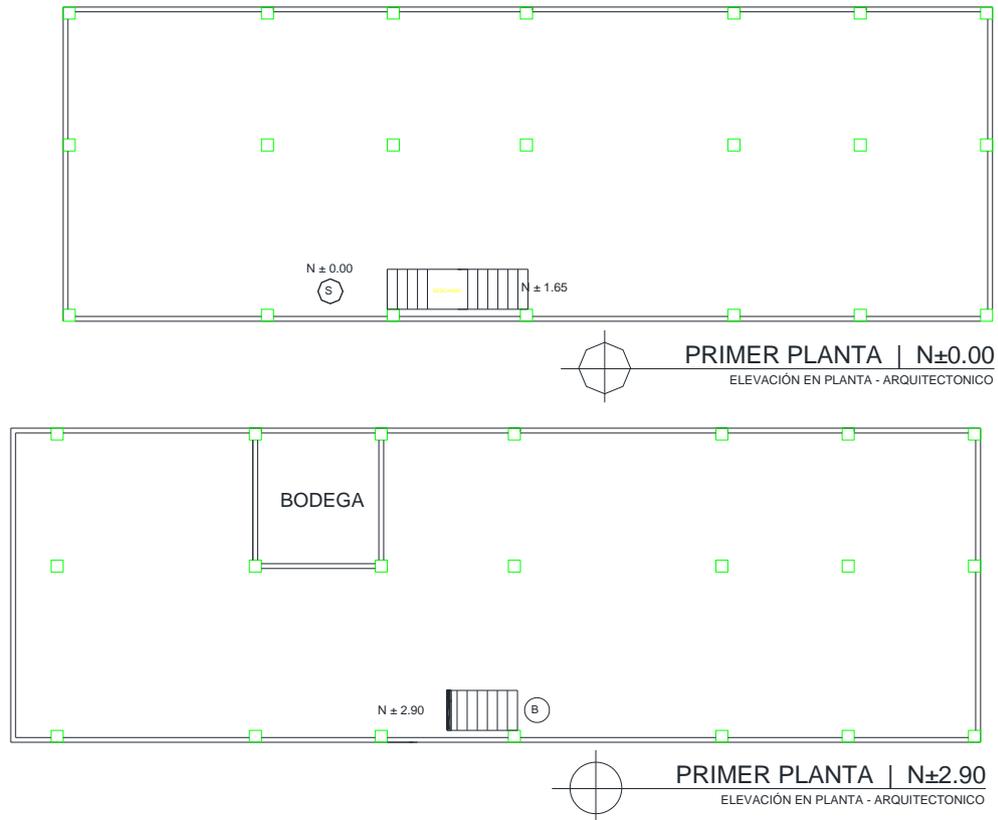
Fuente: Autor

Figura 43. Modelo de la edificación 2



Fuente: ETABS 2018

Figura 44. Vista en planta – Edificio 2



Fuente: Autor

Cálculo de los periodos de vibración de la estructura

Periodo fundamental (T) de vibración

La normativa ecuatoriana de la construcción NEC-15 establece dos métodos para determinar este valor el cual el método 1 se basa en la ecuación que se determina mediante altura de la edificación y el tipo de edificación a la cual pertenece dando la siguiente ecuación:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

T: Periodo fundamental de la estructura.

C_t: Coeficiente que depende del tipo de edificio.

h_n^α: Altura máxima desde la base hasta el último piso de la estructura.

Para obtener los coeficientes, la normativa ecuatoriana de la construcción nos proporciona la siguiente tabla:

Tabla 24. Coeficientes C_t y α

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros y mampostería estructurales	0.055	0.75

Fuente: Johnny Naula

Se procede a calcular el periodo fundamental de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes.

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

$$T = 0.055 * 8.85^{0.9}$$

$$T = 0.391$$

Se procede a calcular el periodo fundamental de la Edificación 1.

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

$$T = 0.055 * 5.77^{0.9}$$

$$T = 0.266$$

Se procede a calcular el periodo fundamental de la Edificación 2.

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

$$T = 0.055 * 5.48^{0.9} = 0.254$$

Periodos Límite de vibración

La normativa ecuatoriana de la construcción proporciona los límites de periodo de vibración la cual se ha considerado como la zona V el lugar de estudio de este proyecto.

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

Donde:

T_o: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

T_c: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

F_a: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.
F_a: Amplitud de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.
F_s: Comportamiento no lineal de los suelos.
 Estos datos serán obtenidos de acuerdo con la zona V sísmica de estudio en tablas proporcionadas por la normativa ecuatoriana de la construcción.

Tabla 25. Coeficientes de amplificación de suelo tipo D

DATOS	
Z	0.40
F_a	1.20
F_d	1.19
F_s	1.28

Fuente: Johnny Naula

Cálculo de periodo T_o:

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20} = 0.126933 \text{ seg.}$$

Cálculo de periodo T_c:

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20} = 0.698133 \text{ seg.}$$

Reducción de los espectros elásticos

Los espectros que se utilizan siempre se reducen según el cortante basal que proporciona la normativa ecuatoriana de la construcción que viene estipulado con la siguiente ecuación.

$$C = \frac{I * S_a}{R * \phi_p * \phi_E}$$

Donde:

- C:** Coeficiente de reducción.
- I:** Coeficiente de importancia.
- S_a:** Espectro de diseño en aceleración.
- R:** Factor de reducción de resistencia sísmica.

\emptyset_E : Coeficiente de configuración en elevación.

\emptyset_P : Coeficiente de configuración en planta.

Para el cálculo de coeficiente de reducción se obtuvieron los siguientes valores de sus coeficientes.

Tabla 26. Coeficientes por usar en el cortante basal

	I	R	\emptyset_P	\emptyset_E
UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES	1.3	5	0.9	1
EDIFICACIÓN 1	1	8	0.9	1
EDIFICACIÓN 2	1	8	0.9	1

Fuente: Johnny Naula

Tabla 27. Cortante basal NEC-15

EDIFICACIÓN	C
UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES	0.344
EDIFICACIÓN 1	0.165
EDIFICACIÓN 2	0.165

Fuente: Johnny Naula

Tabla 28. Cortante basal determinista

EDIFICACIÓN	C
UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES	0.492
EDIFICACIÓN 1	0.237
EDIFICACIÓN 2	0.237

Fuente: Johnny Naula

Coeficiente K para usar en el periodo de vibración de la estructura

La normativa ecuatoriana de la construcción proporciona la siguiente tabla para tener el valor del coeficiente k.

Tabla 29. Coeficiente k

VALORES DE T (s)	K
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.5 T$
> 2.5	2

Fuente: Johnny Naula

En la estructura seleccionada el coeficiente a usar es:

Tabla 30. Coeficientes seleccionados

EDIFICACIÓN	VALORES DE T (s)	K
UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES	0.391	1
EDIFICACIÓN 1	0.266	1
EDIFICACIÓN 2	0.254	1

Fuente: Johnny Naula

La tabla a continuación muestra todos los coeficientes usados para usar tanto en fórmulas proporcionadas por la NEC-15 y en el modelo del ETABS.

Tabla 31. Datos para cada factor

DATOS	OSCAR EFRÉN REYES	EDIFICACIÓN 1	EDIFICACIÓN 2
Z	0.40	0.40	0.40
I	1.30	1	1
R	5	8	8
ϕ_p	0.90	0.90	0.90
ϕ_e	1	1	1
C _t	0.055	0.055	0.055
α	0.90	0.90	0.90
h _n (m)	8.85	5.77	5.48
η	2.48	2.48	2.48
F _a	1.20	1.20	1.20
F _d	1.19	1.19	1.19
F _s	1.28	1.28	1.28
r	1	1	1
k	1	1	1
T _o	0.1269	0.1269	0.1269
T _c	0.6981	0.6981	0.6981

Fuente: Johnny Naula

4.6.2. Análisis del periodo de vibración

El cálculo del periodo se puede obtener de dos maneras, la primera es mediante las ecuaciones proporcionadas por la NEC-15 y la segunda es el que se obtiene en el software, este valor obtenido en el software, la normativa estipula que no debe ser mayor al 30% el valor obtenido mediante la fórmula de la NEC-15.

Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes

Tabla 32. Periodo de vibración obtenido en ETABS 2018

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ
		sec			
Modal	1	0.659	0.0002	0.5616	0
Modal	2	0.528	0.0021	0.3257	0.00001122
Modal	3	0.502	0.8511	0.0013	0.00002221

Fuente: ETABS 2018

Este valor del modal 1 será comparado con lo que estipula la normativa NEC-15.

Tabla 33. Datos de los periodos

EDIFICACIÓN	T _o	T _c	T1	T2 (ETABS)
Oscar Efrén Reyes	0.1269	0.6981	0.391	0.659

Fuente: Johnny Naula

El siguiente análisis tiene que cumplir lo estipulado por la NEC-15.

$$T1 \leq T2 \leq 1.3T1$$

$$0.391 \leq 0.659 \leq 0.508$$

El valor T2 obtenido por ETABS no cumple con lo establecido en la normativa NEC-15, por lo tanto, la estructura es más flexible y puede tener daños considerables.

Donde:

T1: Período fundamental de estructura mediante ecuaciones de la NEC-15.

T2: Período fundamental de la estructura obtenida en ETABS 2018

EDIFICACIÓN 1

Tabla 34. Periodo de vibración obtenido en ETABS 2018

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
--	--	--	--	--	--

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ
		sec			
Modal	1	0.774	0.6181	0.2547	0.0001
Modal	2	0.598	0.0363	0.0552	5.03E-06
Modal	3	0.475	0.0013	0.0062	0.0459

Fuente: ETABS 2018

Este valor del modal 1 será comparado con lo que estipula la normativa NEC-15.

Tabla 35. Datos de los periodos

EDIFICACIÓN	T _o	T _c	T1	T2 (ETABS)
Edificación 1	0.1269	0.6981	0.266	0.774

Fuente: Johnny Naula

El siguiente análisis tiene que cumplir lo estipulado por la NEC-15.

$$T1 \leq T2 \leq 1.3T1$$

$$0.266 \leq 0.774 \leq 0.3458$$

El valor T2 obtenido por ETABS no cumple con lo establecido en la normativa NEC-15, por lo tanto, la estructura es más flexible y puede tener daños considerables.

Donde:

T1: Período fundamental de estructura mediante ecuaciones de la NEC-15.

T2: Período fundamental de la estructura obtenida en ETABS 2018.

EDIFICACIÓN 2

Tabla 36. Periodo de vibración obtenido en ETABS 2018

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ
		sec			
Modal	1	0.592	0.0084	0.0008	0.0016
Modal	2	0.473	2.56E-05	0.9161	3.31E-05
Modal	3	0.449	0.9362	0.0004	9.48E-07

Fuente: ETABS 2018

Este valor del modal 1 será comparado con lo que estipula la normativa NEC-15.

Tabla 37. Datos de los periodos

EDIFICACIÓN	T _o	T _c	T1	T2 (ETABS)
Edificación 2	0.1269	0.6981	0.254	0.592

Fuente: Johnny Naula

El siguiente análisis tiene que cumplir lo estipulado por la NEC-15.

$$T1 \leq T2 \leq 1.3T1$$

$$0.254 \leq 0.592 \leq 0.3302$$

El valor T2 obtenido por ETABS no cumple con lo establecido en la normativa NEC-15, por lo tanto, la estructura es más flexible y puede tener daños considerables.

Donde:

T1: Período fundamental de estructura mediante ecuaciones de la NEC-15.

T2: Período fundamental de la estructura obtenida en ETABS 2018.

4.6.3. Modos de vibración de la estructura

Algunos manuales de la dinámica estructural proporcionan un enunciado que dice los dos primeros modos de vibración deben ser traslacionales y el tercer modo puede ser rotacional. Esta afirmación se basa en la siguiente ecuación.

$$\frac{UZ}{\text{mayor de UX o UY}} < 30\%$$

Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes

Tabla 38. Modos de vibración obtenidos en ETABS 2018

Mode	Period	UX	UY	SumUZ	%	TIPO
	sec					
1	0.659	0.0002	0.5616	0	0	Traslacional
2	0.528	0.0021	0.3257	0.00001167	0	Traslacional
3	0.502	0.8511	0.0013	0.00003388	0	Traslacional

Fuente: ETABS 2018

Edificación 1

Tabla 39. Modos de vibración obtenidos en ETABS 2018

Mode	Period	UX	UY	SumUZ	%	TIPO
	sec					
1	0.774	0.6181	0.2547	0.0001	0.01	Traslacional
2	0.598	0.0363	0.0552	0.0001	0.18	Traslacional

3	0.475	0.0013	0.0062	0.046	>100	Rotacional
---	-------	--------	--------	-------	------	------------

Fuente: ETABS 2018

Edificación 2

Tabla 40. Modos de vibración obtenidos en ETABS 2018

Mode	Period	UX	UY	SumUZ	%	TIPO
	sec					
1	0.592	0.0084	0.0008	0.0016	19.05	Traslacional
2	0.473	2.56E-05	0.9161	0.0017	0.18	Traslacional
3	0.449	0.9362	0.0004	0.0017	0.18	Traslacional

Fuente: ETABS 2018

Las tablas expuestas mencionan que las edificaciones no van a tener ningún problema de rotación en planta ya que está dentro de los valores recomendados por la dinámica estructural que en este caso todos sus valores son menores al 30%.

4.6.4. Acumulación de la masa al menos en un 90%

La estructura debe cumplir con la normativa NEC-15 en donde la participación de la masa debe tener al menos un 90% de la masa total en cada una de las direcciones.

Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes

Tabla 41. Participación de la masa obtenida en el ETABS

Case	Mode	SumUX	SumUY
Modal	1	0.0002	0.5616
Modal	2	0.0023	0.8873
Modal	3	0.8534	0.8886
Modal	4	0.8542	0.9387
Modal	5	0.9191	0.968
Modal	6	0.9865	0.9895
Modal	7	0.9865	0.9895

Fuente: ETABS 2018

La tabla muestra que la edificación cumple con la normativa en donde la masa en la dirección X llega a su 90% en el modo 5 y en la dirección Y esta en el modo 4.

Edificación 1

Tabla 42. Participación de la masa obtenida en el ETABS

Case	Mode	SumUX	SumUY
Modal	34	0.9094	0.7822
Modal	35	0.9588	0.9002
Modal	36	0.9641	0.9145
Modal	37	0.9642	0.9145
Modal	38	0.9678	0.9213
Modal	39	0.9704	0.9281
Modal	40	0.9706	0.9283

Fuente: ETABS 2018

La tabla muestra que la edificación cumple con la normativa en donde la masa en la dirección X llega a su 90% en el modo 34 y en la dirección Y esta en el modo 35.

Edificación 2

Tabla 43. Participación de la masa obtenida en el ETABS

Case	Mode	SumUX	SumUY
Modal	1	0.0084	0.0008
Modal	2	0.0085	0.9169
Modal	3	0.9446	0.9173
Modal	4	0.9517	0.941
Modal	5	0.9517	0.941
Modal	6	0.9517	0.941
Modal	7	0.9517	0.9411

Fuente: ETABS 2018

La tabla muestra que la edificación cumple con la normativa en donde la masa en la dirección X llega a su 90% en el modo 3 y en la dirección Y esta en el modo 2.

4.6.5. Derivas de piso

Las estructuras tienen que presentar deformaciones inelásticas que al momento de modelar puedan ser controladas en el diseño. Las derivas se van a obtener de los máximos valores de desplazamientos de la estructura representado por Δ_M .

La normativa estipula que sus derivas máximas deben ser menores al 2% para poder controlar estas deformaciones y se obtiene mediante la siguiente formula.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

Donde:

ΔM : Deriva máxima inelástica.

ΔE : Desplazamiento obtenido al aplicar fuerzas laterales de diseño reducidas.

R : Factor de reducción de resistencia.

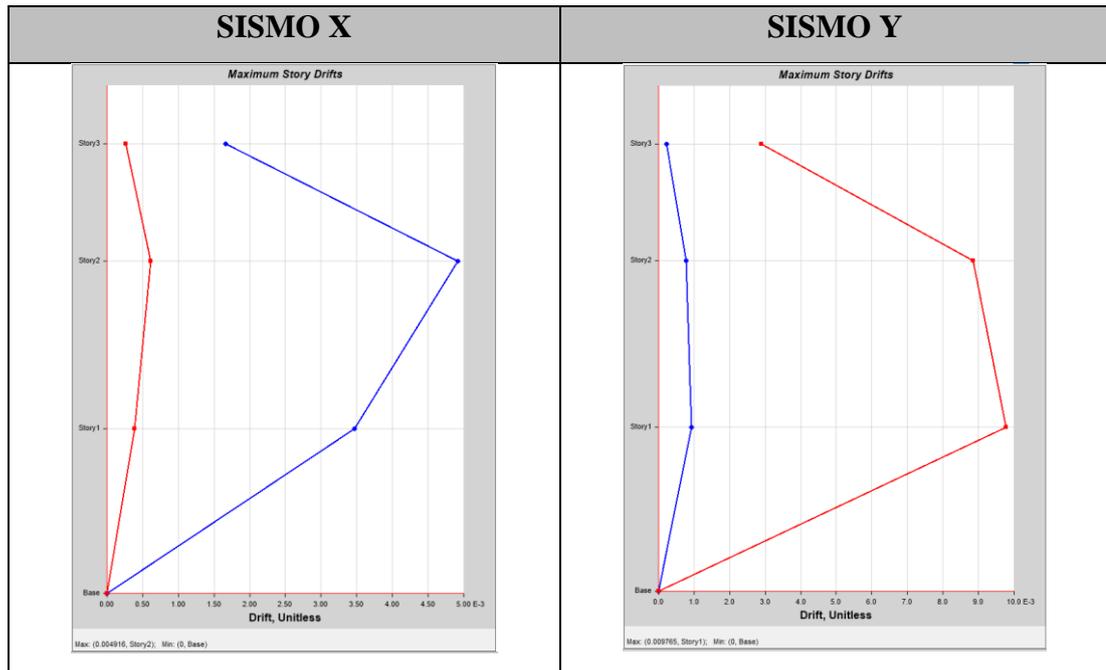
Derivas estáticas para el espectro de la NEC-15

Tabla 44. Derivas máximas estáticas (NEC-15), unidad educativa Oscar Efrén Reyes

TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Step Number	Direction	Drift	Label	ΔM
Story3	SISMO X	LinStatic	1	X	0.001623	4	0.61%
Story3	SISMO X	LinStatic	2	X	0.001603	39	0.60%
Story3	SISMO X	LinStatic	3	X	0.001667	4	0.63%
Story2	SISMO X	LinStatic	1	X	0.004799	3	1.80%
Story2	SISMO X	LinStatic	2	X	0.004804	39	1.80%
Story2	SISMO X	LinStatic	3	X	0.004916	3	1.84%
Story1	SISMO X	LinStatic	1	X	0.003357	39	1.26%
Story1	SISMO X	LinStatic	2	X	0.003469	39	1.30%
Story1	SISMO X	LinStatic	3	X	0.003341	13	1.25%
Story3	SISMO Y	LinStatic	1	Y	0.002384	39	0.89%
Story3	SISMO Y	LinStatic	2	Y	0.002889	39	1.08%
Story3	SISMO Y	LinStatic	3	Y	0.002441	27	0.92%
Story2	SISMO Y	LinStatic	1	Y	0.007318	39	2.74%
Story2	SISMO Y	LinStatic	2	Y	0.008841	39	3.32%
Story2	SISMO Y	LinStatic	3	Y	0.006352	3	2.38%
Story1	SISMO Y	LinStatic	1	Y	0.00825	39	3.09%
Story1	SISMO Y	LinStatic	2	Y	0.009765	39	3.66%
Story1	SISMO Y	LinStatic	3	Y	0.006735	39	2.53%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 45. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes



Fuente: ETABS 2018

Las derivas estáticas son una medida de cuánto se desplaza lateralmente un piso de la estructura en relación con el piso inferior debido a cargas laterales, como las cargas sísmicas. A continuación, se infiere que para el sismo X, el Story 2 muestra las derivas más elevadas, alcanzando hasta un 1.84%. En contraste, bajo el sismo Y, todas las historias experimentan un aumento en las derivas, con el Story 2 y el Story 1 superando el 3%.

Tabla 46. Derivas máximas estáticas (NEC-15), edificación 1

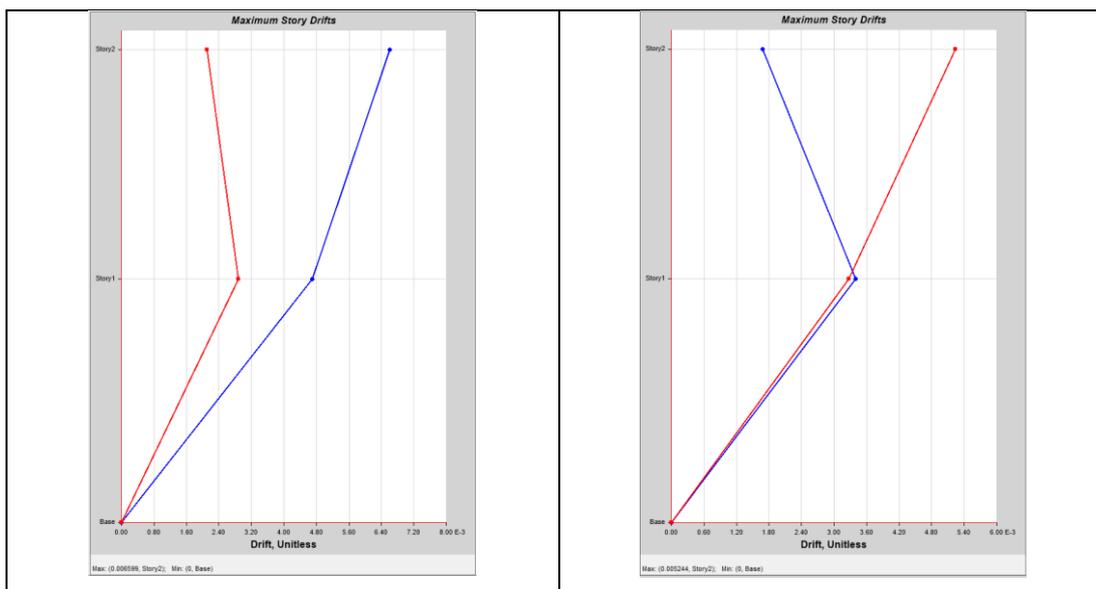
TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Step Number	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Sismo X	LinStatic	1	X	0.00613	4	3.7%
Story2	Sismo X	LinStatic	1	Y	0.001666	9	1.0%
Story2	Sismo X	LinStatic	2	X	0.005727	9	3.4%
Story2	Sismo X	LinStatic	2	Y	0.0013	3	0.8%
Story2	Sismo X	LinStatic	3	X	0.006599	4	4.0%
Story2	Sismo X	LinStatic	3	Y	0.002106	9	1.3%
Story1	Sismo X	LinStatic	1	X	0.004296	4	2.6%
Story1	Sismo X	LinStatic	1	Y	0.002511	9	1.5%

Story1	Sismo X	LinStatic	2	X	0.00424	9	2.5%
Story1	Sismo X	LinStatic	2	Y	0.002531	2	1.5%
Story1	Sismo X	LinStatic	3	X	0.004699	4	2.8%
Story1	Sismo X	LinStatic	3	Y	0.00288	9	1.7%
Story2	Sismo y	LinStatic	1	X	0.001333	9	0.8%
Story2	Sismo y	LinStatic	1	Y	0.004753	3	2.9%
Story2	Sismo y	LinStatic	2	X	0.000979	9	0.6%
Story2	Sismo y	LinStatic	2	Y	0.004262	3	2.6%
Story2	Sismo y	LinStatic	3	X	0.001687	9	1.0%
Story2	Sismo y	LinStatic	3	Y	0.005244	3	3.1%
Story1	Sismo y	LinStatic	1	X	0.003071	9	1.8%
Story1	Sismo y	LinStatic	1	Y	0.002811	2	1.7%
Story1	Sismo y	LinStatic	2	X	0.00274	9	1.6%
Story1	Sismo y	LinStatic	2	Y	0.002349	2	1.4%
Story1	Sismo y	LinStatic	3	X	0.003402	9	2.0%
Story1	Sismo y	LinStatic	3	Y	0.003273	2	2.0%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 47. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 1

SISMO X	SISMO Y
----------------	----------------



Fuente: ETABS 2018

La tabla muestra las derivas de los Stories 1 y 2 bajo los sismos X y Y. Para ambos pisos, las derivas tienden a ser mayores en la dirección X que en la Y cuando se consideran el Sismo X. Sin embargo, para el sismo Y, el piso 2 presenta derivas más elevadas en la dirección Y. En general, las derivas varían entre el 0.6% y el 4.0% experimentando el desplazamiento más alto del 4.0% durante el Sismo X en la dirección X.

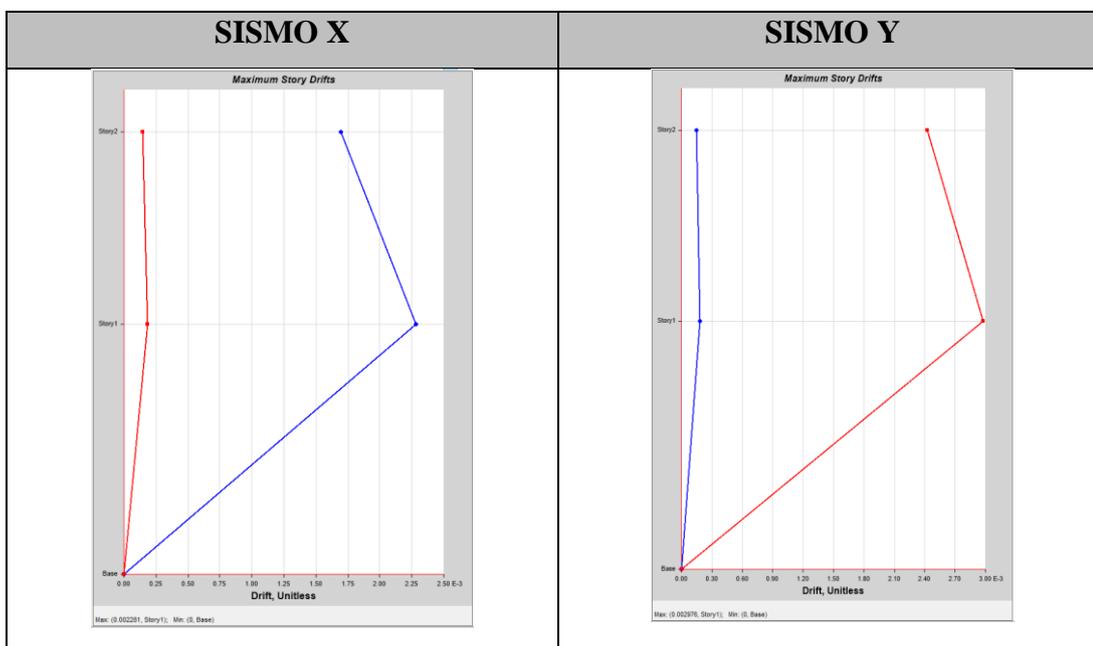
Tabla 48. Derivas máximas estáticas (NEC-15), edificación 2

TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Step Number	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Sismo X	LinStatic	1	X	0.001653	19	0.99%
Story2	Sismo X	LinStatic	2	X	0.001669	21	1.00%
Story2	Sismo X	LinStatic	3	X	0.001694	19	1.02%
Story1	Sismo X	LinStatic	1	X	0.002231	19	1.34%
Story1	Sismo X	LinStatic	2	X	0.002247	21	1.35%
Story1	Sismo X	LinStatic	3	X	0.002281	19	1.37%
Story2	Sismo Y	LinStatic	1	Y	0.002055	1	1.23%
Story2	Sismo Y	LinStatic	2	Y	0.00217	21	1.30%
Story2	Sismo Y	LinStatic	3	Y	0.002424	1	1.45%
Story1	Sismo Y	LinStatic	1	Y	0.002515	1	1.51%

Story1	Sismo Y	LinStatic	2	Y	0.002682	21	1.61%
Story1	Sismo Y	LinStatic	3	Y	0.002976	1	1.79%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 49. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 2



Fuente: ETABS 2018

La tabla nos indica, las derivas de los Pisos 1 y 2, bajo los sismos X y Y. Para el sismo X, el piso 1 presenta derivas mas elevadas que el piso 2 en todos los pasos. En el caso del sismo Y, ambos pisos muestran un incremento progresivo en las derivas a lo largo de los pasos, pero el piso 1 todavía muestra valores superiores. En general, las derivas varían entre el 0,99% y el 1,79%, con la mayor deriva registrada en el piso 1 durante el sismo Y.

4.6.6. Derivas estáticas para el espectro DETERMINISTA

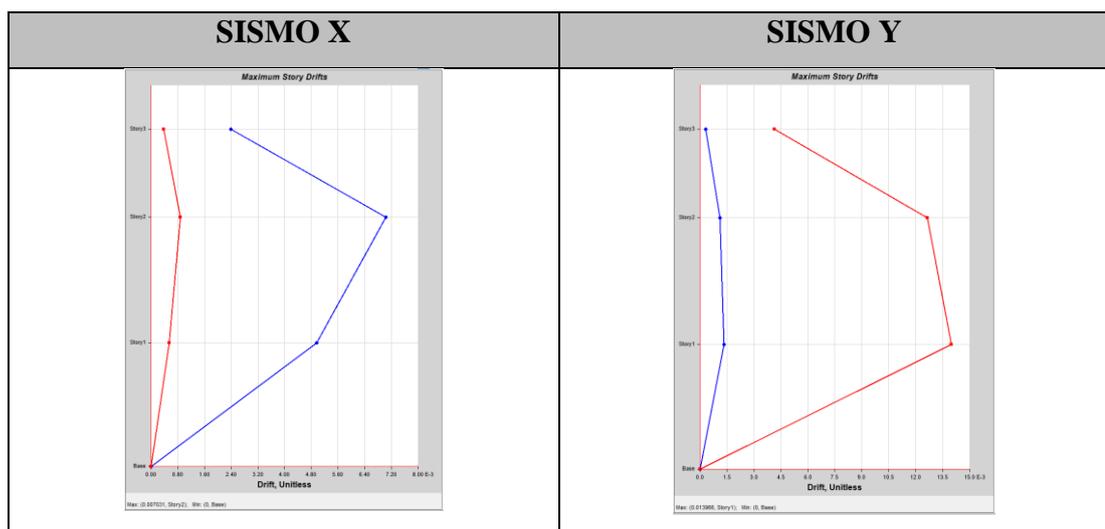
Tabla 50. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTA), unidad educativa Oscar Efrén Reyes

Story	Output Case	Case Type	Step Number	Direction	Drift	Label	ΔM
Story3	SISMO X	LinStatic	1	X	0.002322	4	0.87%
Story3	SISMO X	LinStatic	2	X	0.002293	39	0.86%
Story3	SISMO X	LinStatic	3	X	0.002384	4	0.89%
Story2	SISMO X	LinStatic	1	X	0.006864	3	2.57%
Story2	SISMO X	LinStatic	2	X	0.006871	39	2.58%
Story2	SISMO X	LinStatic	3	X	0.007031	3	2.64%

Story1	SISMO X	LinStatic	1	X	0.004801	39	1.80%
Story1	SISMO X	LinStatic	2	X	0.004961	39	1.86%
Story1	SISMO X	LinStatic	3	X	0.004778	13	1.79%
Story3	SISMO Y	LinStatic	1	Y	0.00341	39	1.28%
Story3	SISMO Y	LinStatic	2	Y	0.004132	39	1.55%
Story3	SISMO Y	LinStatic	3	Y	0.003491	27	1.31%
Story2	SISMO Y	LinStatic	1	Y	0.010466	39	3.92%
Story2	SISMO Y	LinStatic	2	Y	0.012645	39	4.74%
Story2	SISMO Y	LinStatic	3	Y	0.009084	3	3.41%
Story1	SISMO Y	LinStatic	1	Y	0.0118	39	4.43%
Story1	SISMO Y	LinStatic	2	Y	0.013966	39	5.24%
Story1	SISMO Y	LinStatic	3	Y	0.009633	39	3.61%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 51. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes



Fuente: ETABS 2018

Las derivas estáticas, que reflejan el desplazamiento relativo entre pisos de una estructura debido a cargas laterales, muestran una variabilidad significativa en respuesta a cargas sísmicas en las direcciones X y Y. En la dirección X, el piso Story3 presenta las derivas más bajas, oscilando entre 0.86% y 0.89%. Sin embargo, el piso Story2 muestra una mayor susceptibilidad con derivas entre 2.57% y 2.64%. El piso Story1 se sitúa en un rango intermedio con derivas de 1.79% a 1.86%. Por otro lado, en la dirección Y, el piso Story3 tiene derivas de 1.28% a 1.55%, mientras que el piso

Story2 exhibe una notable variabilidad, con derivas de 3.41% a 4.74%. El piso Story1, con derivas de 3.61% a 5.24%, sugiere una alta susceptibilidad en esta dirección.

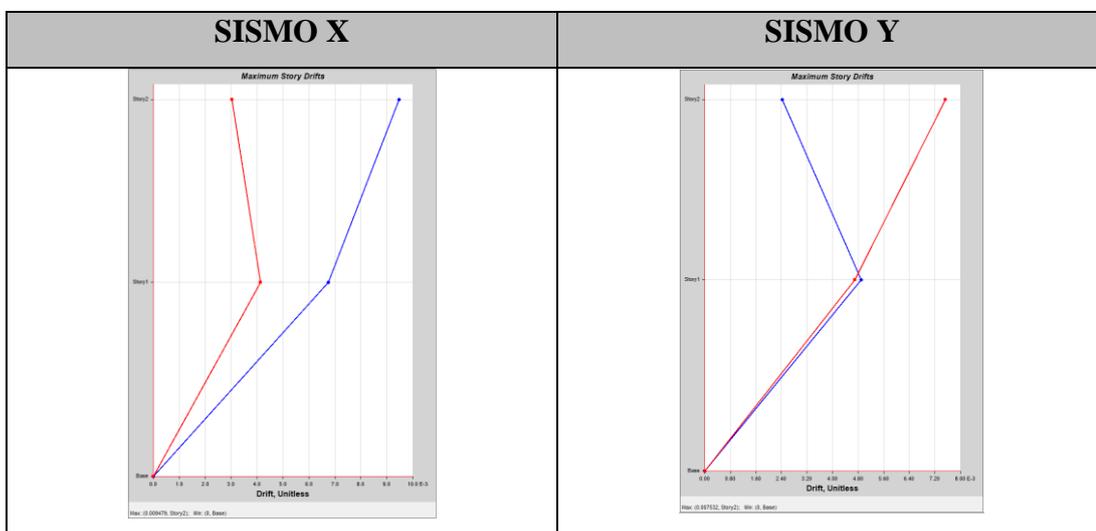
Tabla 52. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTA), edificación 1

TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Step Number	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Sismo X	LinStatic	1	X	0.008804	4	5.3%
Story2	Sismo X	LinStatic	1	Y	0.002392	9	1.4%
Story2	Sismo X	LinStatic	2	X	0.008226	9	4.9%
Story2	Sismo X	LinStatic	2	Y	0.001867	3	1.1%
Story2	Sismo X	LinStatic	3	X	0.009479	4	5.7%
Story2	Sismo X	LinStatic	3	Y	0.003025	9	1.8%
Story1	Sismo X	LinStatic	1	X	0.006171	4	3.7%
Story1	Sismo X	LinStatic	1	Y	0.003607	9	2.2%
Story1	Sismo X	LinStatic	2	X	0.00609	9	3.7%
Story1	Sismo X	LinStatic	2	Y	0.003635	2	2.2%
Story1	Sismo X	LinStatic	3	X	0.00675	4	4.1%
Story1	Sismo X	LinStatic	3	Y	0.004136	9	2.5%
Story2	Sismo y	LinStatic	1	X	0.001915	9	1.1%
Story2	Sismo y	LinStatic	1	Y	0.006827	3	4.1%
Story2	Sismo y	LinStatic	2	X	0.001406	9	0.8%
Story2	Sismo y	LinStatic	2	Y	0.006122	3	3.7%
Story2	Sismo y	LinStatic	3	X	0.002423	9	1.5%
Story2	Sismo y	LinStatic	3	Y	0.007532	3	4.5%
Story1	Sismo y	LinStatic	1	X	0.004411	9	2.6%
Story1	Sismo y	LinStatic	1	Y	0.004038	2	2.4%
Story1	Sismo y	LinStatic	2	X	0.003936	9	2.4%
Story1	Sismo y	LinStatic	2	Y	0.003373	2	2.0%
Story1	Sismo y	LinStatic	3	X	0.004887	9	2.9%

Story1	Sismo y	LinStatic	3	Y	0.004702	2	2.8%
--------	---------	-----------	---	---	----------	---	------

Fuente: ETABS 2018

Tabla 53. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 1



Fuente: ETABS 2018

En el análisis de los resultados, se observa que la estructura analizada presenta variaciones significativas en las derivas estáticas cuando se somete a cargas sísmicas en las direcciones X y Y. Al examinar el piso Story2 en la dirección X, las derivas fluctúan entre 1.43% y 1.46%. Sin embargo, en la dirección Y para el mismo piso, las derivas muestran una variación más pronunciada, oscilando entre 1.77% y 2.09%.

Por otro lado, el piso Story1 exhibe un comportamiento distinto. En la dirección X, las derivas varían entre 1.92% y 1.97%, mientras que en la dirección Y, las derivas son notablemente más elevadas, oscilando entre 2.17% y 2.57%.

En conclusión, se determina que el piso Story1 presenta una mayor susceptibilidad a movimientos sísmicos en la dirección Y en comparación con la dirección X. En contraste, el piso Story2 muestra una variabilidad más uniforme en ambas direcciones, aunque con una ligera mayor susceptibilidad en la dirección Y.

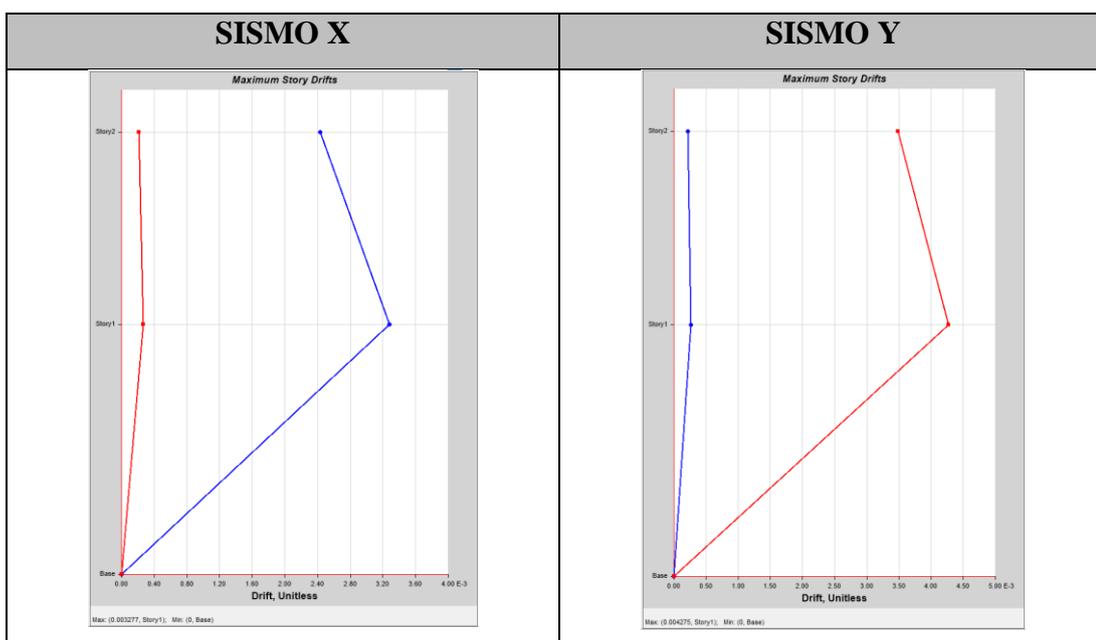
Tabla 54. Derivas máximas estáticas (DETERMINISTA), edificación 2

TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Step Number	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Sismo X	LinStatic	1	X	0.002375	19	1.43%
Story2	Sismo X	LinStatic	2	X	0.002397	21	1.44%

Story2	Sismo X	LinStatic	3	X	0.002433	19	1.46%
Story1	Sismo X	LinStatic	1	X	0.003204	19	1.92%
Story1	Sismo X	LinStatic	2	X	0.003228	21	1.94%
Story1	Sismo X	LinStatic	3	X	0.003277	19	1.97%
Story2	Sismo Y	LinStatic	1	Y	0.002951	1	1.77%
Story2	Sismo Y	LinStatic	2	Y	0.003118	21	1.87%
Story2	Sismo Y	LinStatic	3	Y	0.003482	1	2.09%
Story1	Sismo Y	LinStatic	1	Y	0.003612	1	2.17%
Story1	Sismo Y	LinStatic	2	Y	0.003852	21	2.31%
Story1	Sismo Y	LinStatic	3	Y	0.004275	1	2.57%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 55. Gráficos de las derivas máximas estáticas de la edificación 2



Fuente: ETABS 2018

En el estudio de los resultados obtenidos, se identifican patrones claros en las derivas estáticas de la estructura bajo cargas sísmicas en las direcciones X y Y. Al evaluar el piso Story2 en la dirección X, se observa una tendencia incremental en las derivas, con valores que varían desde 1.43% hasta 1.46%. En contraste, para la dirección Y en el mismo piso, las derivas presentan un incremento más pronunciado, con valores que oscilan entre 1.77% y 2.09%.

Por otro lado, el piso Story1 muestra una mayor susceptibilidad a las cargas sísmicas. En la dirección X, las derivas se incrementan desde 1.92% hasta 1.97%. Sin embargo, es en la dirección Y donde este piso muestra una mayor variabilidad, con derivas que varían desde 2.17% hasta 2.57%.

La siguiente tabla muestra un resumen de las derivas máximas obtenidas con su valor máximo obtenido.

Tabla 56. Resumen de las derivas máximas estáticas

UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES			
ESPECTRO NEC-15			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.004916	1.84	0.009765	3.66
ESPECTRO DETERMINISTA			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.007031	2.64	0.013966	5.24
EDIFICACIÓN 1			
ESPECTRO NEC-15			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.006599	4.00	0.005244	3.10
ESPECTRO DETERMINISTA			
SENTIDO X		SENTIDO Y	

Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.009479	5.70	0.007532	4.5
EDIFICACIÓN 2			
ESPECTRO NEC-15			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.002281	1.37	0.002976	1.79
ESPECTRO DETERMINISTA			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.003277	1.97	0.004275	2.57

Fuente: Johnny Naula

4.6.7. Derivas dinámicas para el espectro de la NEC-15

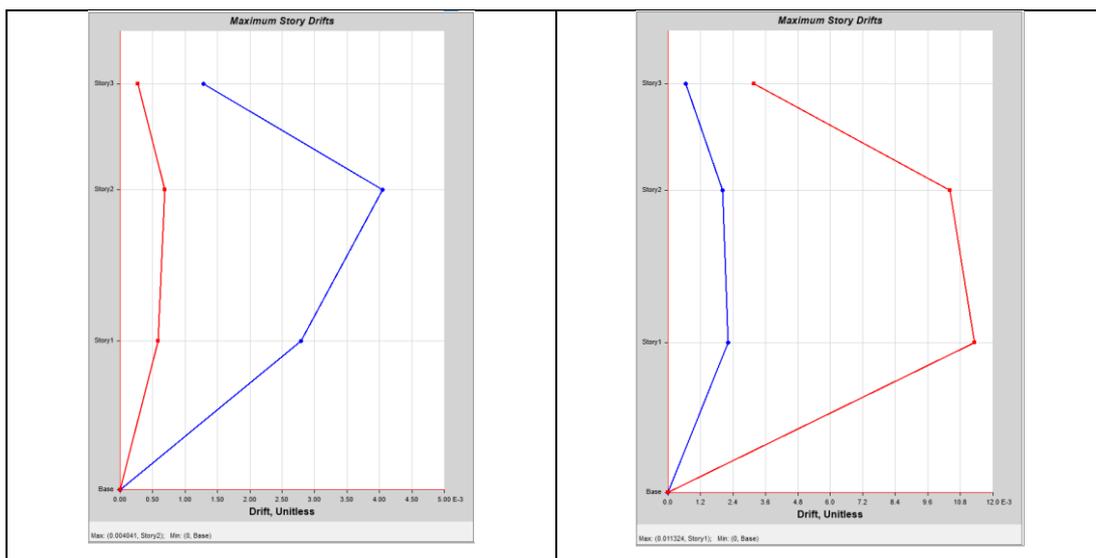
Tabla 57. Derivas máximas dinámicas (NEC-15), unidad educativa Oscar Efrén Reyes

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	ΔM
Story3	Mod Espect Corr X	Combination	Max	X	0.001283	4	0.48%
Story3	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	X	0.000666	4	0.25%
Story2	Mod Espect Corr X	Combination	Max	X	0.004041	3	1.52%
Story2	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	X	0.002017	13	0.76%
Story1	Mod Espect Corr X	Combination	Max	X	0.00279	39	1.05%
Story1	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	X	0.002225	39	0.83%
Story3	Mod Espect Corr X	Combination	Max	Y	0.000275	27	0.10%
Story3	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	Y	0.003167	39	1.19%
Story2	Mod Espect Corr X	Combination	Max	Y	0.000695	39	0.26%
Story2	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	Y	0.010411	39	3.90%
Story1	Mod Espect Corr X	Combination	Max	Y	0.00059	39	0.22%
Story1	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	Y	0.011324	39	4.25%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 58. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes

SISMO X	SISMO Y
----------------	----------------



Fuente: ETABS 2018

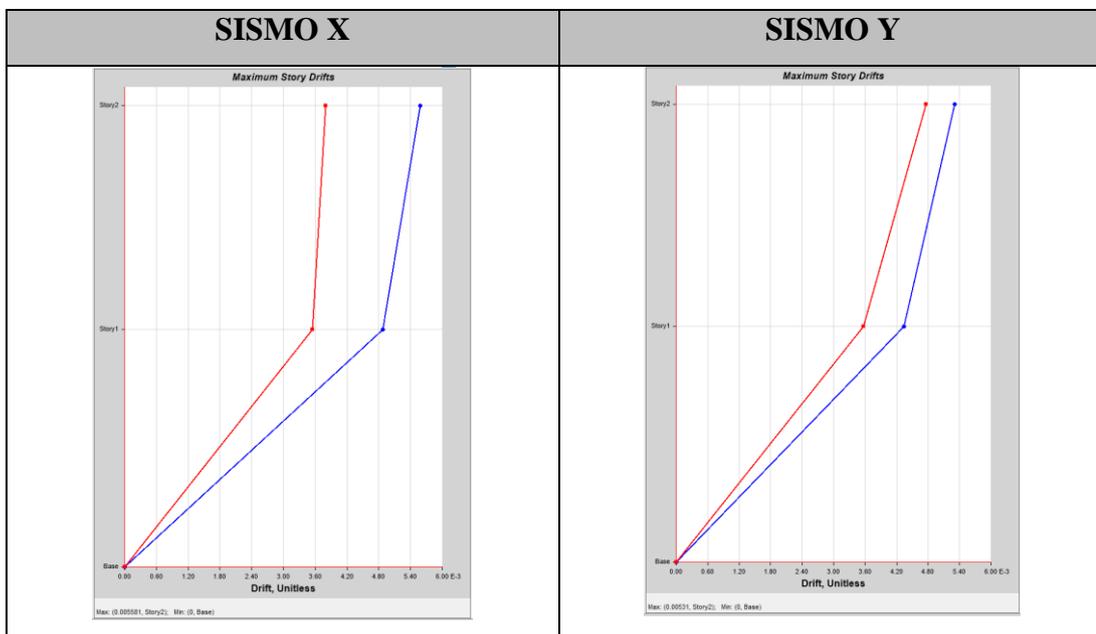
Se observa que para este modo de evaluación en los pisos 1,2 y 3 muestra las derivas mas elevadas, en la dirección Y, alcanzando un 4.25%. Por otro lado el piso 3 posee derivas baja en ambas direcciones, con una excepción notable del 1.19% en la dirección Y.

Tabla 59. Derivas máximas dinámicas (NEC-15), edificación 1

TABLE: Story Drifts						
Story	Output Case	Step Type	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Modal espec corr X	Max	X	0.005581	4	3.35%
Story2	Modal espec corr Y	Max	X	0.00531	9	3.19%
Story1	Modal espec corr X	Max	X	0.004874	9	2.92%
Story1	Modal espec corr Y	Max	X	0.004337	9	2.60%
Story2	Modal espec corr X	Max	Y	0.003794	9	2.28%
Story2	Modal espec corr Y	Max	Y	0.004763	9	2.86%
Story1	Modal espec corr X	Max	Y	0.003546	2	2.13%
Story1	Modal espec corr Y	Max	Y	0.003567	2	2.14%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 60. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 1



Fuente: ETABS 2018

Al analizar las derivas estáticas en respuesta sísmica para las distintas historias estructurales bajo el Modelo Espectro Corregido, se observan los siguientes comportamientos:

En la Story3:

- En el sentido X, la deriva máxima es de 0.48% para el caso Mod Espect Corr X y de 0.25% para el caso Mod Espect Corr Y.
- En el sentido Y, los valores son considerablemente menores para el caso Mod Espect Corr X con 0.10%, mientras que para el caso Mod Espect Corr Y, se registra una deriva de 1.19%.

Para la Story2:

- En el sentido X, las derivas son de 1.52% y 0.76% para los casos Mod Espect Corr X y Mod Espect Corr Y, respectivamente.
- En el sentido Y, se observa una deriva de 0.26% para el caso Mod Espect Corr X, mientras que para el caso Mod Espect Corr Y, se registra un valor significativamente mayor de 3.90%.

En la Story1:

- En el sentido X, las derivas son de 1.05% para el caso Mod Espect Corr X y de 0.83% para el caso Mod Espect Corr Y.
- En el sentido Y, los valores son de 0.22% para el caso Mod Espect Corr X y un notable 4.25% para el caso Mod Espect Corr Y.

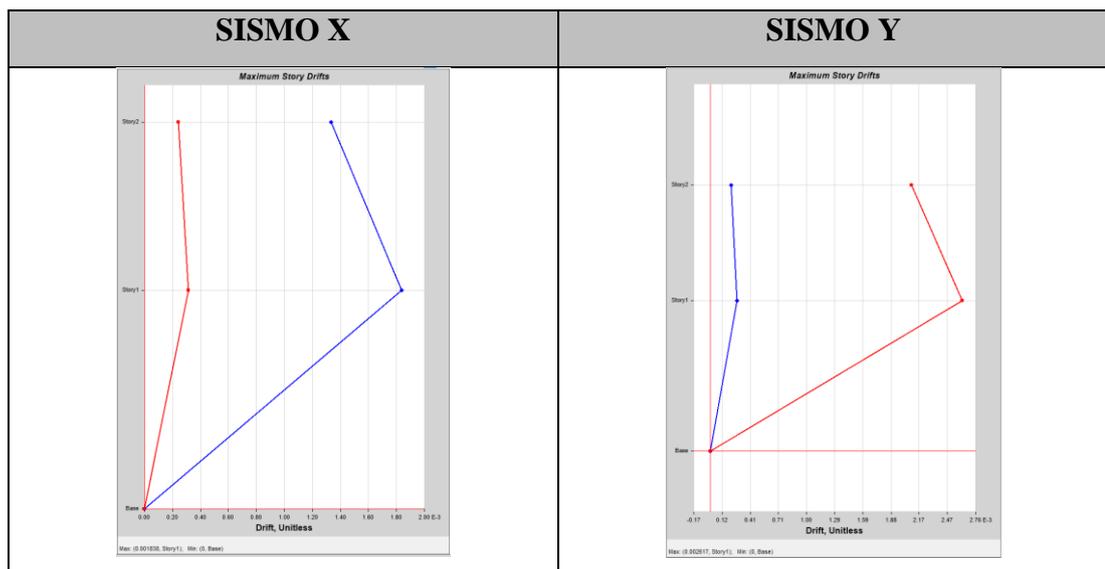
En el análisis de las derivas estáticas de respuesta sísmica bajo el Modelo Espectro Corregido, se identifica que las derivas en el sentido Y suelen ser más pronunciadas que en el sentido X, especialmente en la Story2 y Story1 con el caso Mod Espect Corr Y. La Story3 presenta derivas menores en comparación, pero aún así muestra una tendencia similar.

Tabla 61. Derivas máximas dinámicas (NEC-15), edificación 2

TABLE: Story Drifts						
Story	Output Case	Step Type	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Modal Espec Corr Y	Max	Y	0.00209	1	1.25%
Story1	Modal Espec Corr Y	Max	Y	0.002617	1	1.57%
Story2	Modal Espec Corr X	Max	X	0.001332	19	0.80%
Story2	Modal Espec Corr X	Max	Y	0.000241	21	0.14%
Story1	Modal Espec Corr X	Max	X	0.001838	19	1.10%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 62. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 2



Fuente: ETABS 2018

En el análisis de derivas estáticas basado en el Modelo Espectro Corregido, se observa que las derivas en el sentido Y para la Story2 y Story1 son más significativas, alcanzando 1.25% y 1.57% respectivamente. En contraste, las derivas en el sentido X son generalmente menores. Para la Story2, la deriva en el sentido X es de 0.80%, mientras que en el sentido Y es solo de 0.14%. Para la Story1, la deriva en el sentido X es de 1.10%. Estos resultados sugieren que las respuestas sísmicas en el sentido Y son más pronunciadas que en el sentido X para las estructuras analizadas.

4.6.8. Derivas dinámicas para el espectro DETERMINISTA

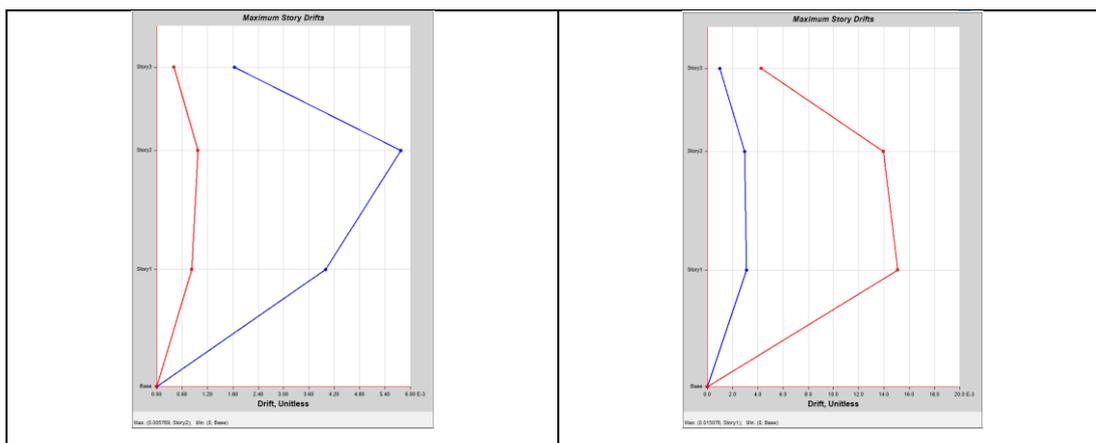
Tabla 63. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTA), unidad educativa Oscar Efrén Reyes

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	ΔM
Story3	Mod Espect Corr X	Combination	Max	X	0.001835	4	0.69%
Story3	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	X	0.000994	4	0.37%
Story2	Mod Espect Corr X	Combination	Max	X	0.005769	3	2.16%
Story2	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	X	0.002937	13	1.10%
Story1	Mod Espect Corr X	Combination	Max	X	0.003993	39	1.50%
Story1	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	X	0.003104	39	1.16%
Story3	Mod Espect Corr X	Combination	Max	Y	0.000406	27	0.15%
Story3	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	Y	0.004279	39	1.60%
Story2	Mod Espect Corr X	Combination	Max	Y	0.000981	39	0.37%
Story2	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	Y	0.013934	39	5.23%
Story1	Mod Espect Corr X	Combination	Max	Y	0.000827	39	0.31%
Story1	Mod Espect Corr Y	Combination	Max	Y	0.015076	39	5.65%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 64. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la unidad educativa Oscar Efrén Reyes

SISMO X	SISMO Y
---------	---------



Fuente: ETABS 2018

En el análisis de derivas estáticas basado en el Modelo Espectro Corregido, se destaca que las derivas en el sentido Y tienden a ser más pronunciadas en comparación con el sentido X para las estructuras evaluadas. En particular, para la Story2 y Story1, las derivas alcanzan valores máximos de 5.23% y 5.65% respectivamente en el sentido Y. Por otro lado, en el sentido X, las derivas son generalmente menores, con la Story2 y Story1 mostrando valores máximos de 2.16% y 1.50% respectivamente. La Story3 presenta derivas más bajas en ambos sentidos, con un máximo de 1.60% en el sentido Y y 0.69% en el sentido X.

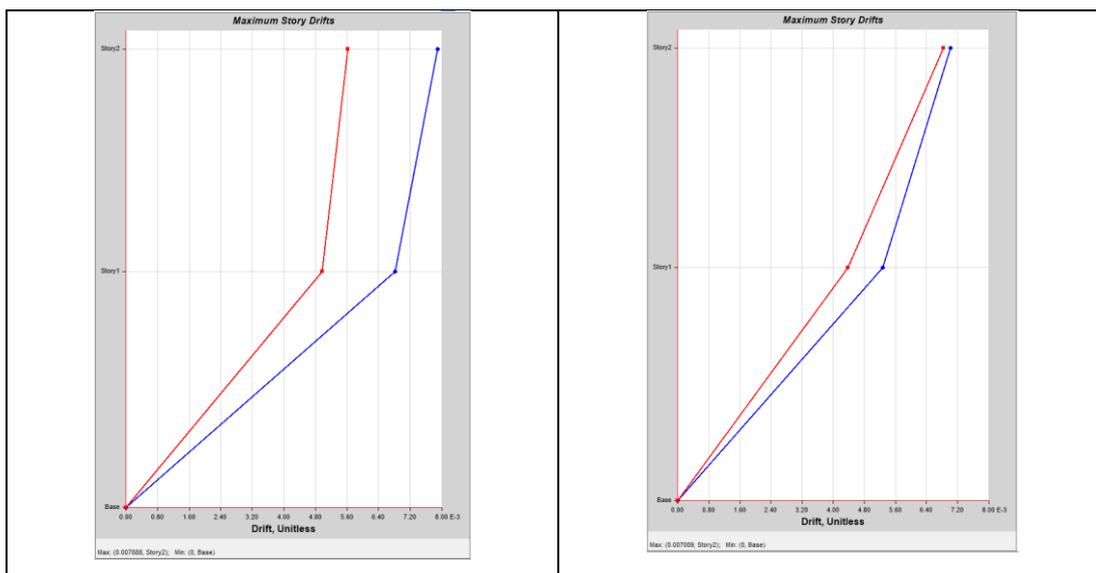
Tabla 65. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTA), edificación 1

TABLE: Story Drifts						
Story	Output Case	Step Type	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Modal espec corr X	Max	X	0.007888	4	4.7%
Story2	Modal espec corr X	Max	Y	0.005617	9	3.4%
Story1	Modal espec corr X	Max	X	0.006824	9	4.1%
Story1	Modal espec corr X	Max	Y	0.004972	2	3.0%
Story2	Modal espec corr Y	Max	X	0.007009	9	4.2%
Story2	Modal espec corr Y	Max	Y	0.00683	9	4.1%
Story1	Modal espec corr Y	Max	X	0.005268	9	3.2%
Story1	Modal espec corr Y	Max	Y	0.004377	2	2.6%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 66. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 1

SISMO X	SISMO Y
---------	---------



Fuente: ETABS 2018

En el análisis de derivas basado en el Modelo Espectro Corregido, se observa que las derivas para la Story2 tienden a ser ligeramente más elevadas en comparación con la Story1. En el sentido X bajo el output case "Modal espec corr X", la Story2 muestra una deriva máxima del 4.7%, mientras que la Story1 tiene un valor máximo del 4.1%. En el sentido Y para el mismo output case, la Story2 y Story1 presentan derivas de 3.4% y 3.0% respectivamente.

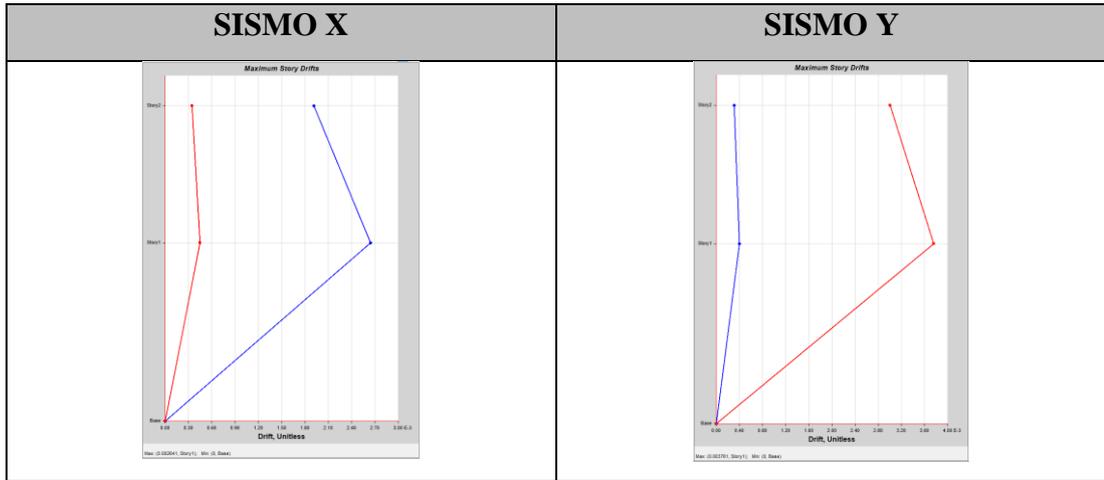
Por otro lado, bajo el output case "Modal espec corr Y", en el sentido X, la Story2 muestra una deriva del 4.2%, y la Story1 tiene un 3.2%. En el sentido Y, ambos, Story2 y Story1, presentan valores muy cercanos de 4.1% y 2.6% respectivamente. Estos resultados sugieren que, independientemente del sentido de movimiento, la Story2 tiende a experimentar ligeramente mayores derivas que la Story1, lo que podría indicar una mayor susceptibilidad a movimientos sísmicos.

Tabla 67. Derivas máximas dinámicas (DETERMINISTA), edificación 2

TABLE: Story Drifts						
Story	Output Case	Step Type	Direction	Drift	Label	ΔM
Story2	Modal Espec Corr X	Max	X	0.001914	19	1.15%
Story2	Modal Espec Corr X	Max	Y	0.000346	21	0.21%
Story1	Modal Espec Corr X	Max	X	0.002641	19	1.58%
Story2	Modal Espec Corr Y	Max	Y	0.003004	1	1.80%
Story1	Modal Espec Corr Y	Max	Y	0.003761	1	2.26%

Fuente: ETABS 2018

Tabla 68. Gráficos de las derivas máximas dinámicas de la edificación 2



Fuente: ETABS 2018

En el análisis de derivas basado en el Modelo Espectro Corregido, se observan diferencias notables entre las derivas de las Story1 y Story2 en diferentes direcciones y casos de salida. Para el caso "Modal Espec Corr X", en el sentido X, la Story2 presenta una deriva del 1.15%, mientras que la Story1 muestra una deriva más elevada del 1.58%. Sin embargo, en el sentido Y para el mismo caso, la Story2 tiene una deriva significativamente menor de 0.21%. Por otro lado, para el caso "Modal Espec Corr Y", solo se presentan datos en el sentido Y. Aquí, la Story2 muestra una deriva del 1.80%, mientras que la Story1 presenta una deriva más alta del 2.26%. La siguiente tabla muestra un resumen de las derivas máximas obtenidas con su valor máximo obtenido.

Tabla 69. Resumen de las derivas máximas dinámicas

UNIDAD EDUCATIVA OSCAR EFRÉN REYES			
ESPECTRO NEC-15			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.004041	1.52	0.011324	4.25
ESPECTRO DETERMINISTA			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.005769	2.16	0.015076	5.65
EDIFICACIÓN 1			
ESPECTRO NEC-15			

SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.005581	3.35	0.00531	3.19
ESPECTRO DETERMINISTA			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.007888	4.70	0.007009	4.20
EDIFICACIÓN 2			
ESPECTRO NEC-15			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.001838	1.10	0.002617	1.57
ESPECTRO DETERMINISTA			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Δ_E	$\Delta_M \%$	Δ_E	$\Delta_M \%$
0.002641	1.58	0.003761	2.26

Fuente: Johnny Naula

4.2 Soluciones estructurales propuestas

Basado en los resultados obtenidos de los análisis realizados, para la presente soluciones estructurales se consideró el periodo de vibración, los modos de vibración, derivas estáticas y dinámicas. Y se logra inferir las siguientes consideraciones para las estructuras estudiadas:

- **Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes.** En esta edificación las derivas muestran el límite del 2% en ciertas direcciones, y tiene un periodo de vibración que no cumple con la norma ecuatoriana. Dada la importancia de la unidad educativa, sería prudente considerar una combinación de refuerzos estructurales y la incorporación de muros de corte, que nos permitan controlar las derivas y reducir la flexibilidad de la estructural, así como revisión y mejora de las conexiones de elementos estructurales para garantizar una respuesta dúctil durante el sismo.
- **Edificación 1:** En esta edificación también se supera las derivas y se tiene un periodo de vibración no conforme a la normativa. Además de tener un tercer

modo rotacional, lo que tiene implicaciones en términos de torsión. En este caso, la incorporación de muros de corte es esencial, y quizás pueda considerarse la instalación de disipadores que reduzcan la demanda sísmica

- **Edificación 2:** En esta edificación las derivas son menores en comparación a las otras estructuras, por lo que se podría considerar un refuerzo selectivo de columnas y vigas en las áreas críticas, y una mejora de las conexiones entre elementos estructurales.

CAPÍTULO IV

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La proximidad y actividad de las fallas, en particular la falla de San Vicente, en el área de estudio resalta una preocupación significativa en términos de vulnerabilidad sísmica. Su magnitud de 5.83 Mw y cercanía de 0.43 km al área de estudio subrayan la necesidad de una evaluación detallada y medidas preventivas.
- El perfil geotécnico del suelo, clasificado como tipo D según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), con una velocidad promedio $V_{S30} = 273.71$ m/s, indica características que pueden influir en la amplificación de las ondas sísmicas.
- El comportamiento estructural de las tres edificaciones analizadas mostró que no cumplen completamente con los requisitos estipulados por la NEC 2015. Esto sugiere que estas estructuras son flexibles y podrían sufrir daños considerables en caso de un evento sísmico significativo.
- Al comparar el espectro de diseño derivado del análisis con el espectro general de la NEC 2015, se observó que el modelo de Kanno presenta aceleraciones máximas superiores, especialmente en las fallas de San Vicente y Pastaza. Esto sugiere que las estructuras en el área de estudio deberían diseñarse para resistir aceleraciones mayores a las establecidas en la NEC 2015.
- Las estructuras en el área de estudio, dadas las aceleraciones observadas en las fallas de San Vicente y Pastaza, deben ser diseñadas y evaluadas para resistir aceleraciones que excedan las directrices actuales de la NEC 15.
- Las edificaciones analizadas, con periodos fundamentales que no se alinean con los estándares de la NEC 15, son estructuras inherentemente flexibles. Esta flexibilidad puede traducirse en una mayor susceptibilidad a daños durante eventos sísmicos.

5.2 Recomendaciones

- Dado el alto potencial de actividad sísmica en el área, es esencial que cualquier nueva construcción o renovación en el área de estudio se diseñe siguiendo un

enfoque sismo resistente, conforme a la NEC, pero también considerando los espectros deterministas establecidos en este estudio.

- Sería beneficioso implementar un mapa de microzonificación sísmica para el cantón Baños. Esto ayudaría a identificar y diferenciar las zonas de alto peligro sísmico, permitiendo una planificación y construcción más informada en el futuro.
- Se sugiere la actualización y revisión periódica de los modelos de ecuaciones de atenuación para refinar los resultados en la generación de espectros, especialmente en relación con las fallas cercanas al área de estudio.
- Para las estructuras existentes que se encuentran cerca del área de estudio, se recomienda llevar a cabo evaluaciones estructurales y, si es necesario, implementar refuerzos estructurales para mejorar su resistencia sísmica.

6 Bibliografía

- [1] R. Sánchez, «La microzonificación sísmica para la reducción del riesgo sísmico,» Universidad Central de Venezuela, Junio 2011. [En línea]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652011000200001. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [2] E. Reinoso y P. Quinde, «Estudio de Peligro Sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca,» 04 Abril 2016. [En línea]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001#:~:text=Ecuador%20se%20encuentra%20dentro%20del,m%C3%A1s%20grandes%20de%20la%20historia.. [Último acceso: 12 Enero 2023].
- [3] NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, «Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras,» n° NEC-SE-RE, p. 31, 2014.
- [4] B. Oterino, «Geología, terremotos y riesgos sísmicos: Avances y perspectivas,» Universidad Politécnica de Madrid, [En línea]. Available: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/678735/EM_45_8.pdf?sequence=1. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [5] A. Udías, «Introducción: Sismicidad y sismotectónica de América Central y del Sur,» Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 1998.
- [6] Radio Programas de Perú, «Terremoto en Ecuador: ¿Qué es el cinturón de fuego del pacífico?,» RPP Noticias, 18 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/mundo/latinoamerica/terremoto-en-ecuador-que-es-el-cinturon-de-fuego-del-pacifico-noticia-954929>. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [7] GAD Municipal Baños de Agua Santa, «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial,» Agosto 2020. [En línea]. Available: https://municipiobanos.gob.ec/banos/images/LOTAIP2020/agosto2020/PDOT_2019-2023.pdf. [Último acceso: 12 Enero 2013].
- [8] E. Tarbuck y F. Lutgens, «Ciencias de la Tierra,» PEARSON Prentice Hall, 2005. [En línea]. Available: <http://www.xeologosdelmundu.org/wp->

- content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf. [Último acceso: 15 Enero 2023].
- [9] M. Iturralde, «RedCiencia,» 2009. [En línea]. Available: http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2009_Iturralde_GeoCubaParaTodosCap4.pdf. . [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [10] M. Guevara, «Geología: Geodinámica Externa,» Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. [En línea]. Available: <http://bvpad.indeci.gob.pe/html/es/maestria-grd/documentos/TEER/geologia-mrg.pdf>. [Último acceso: 12 Enero 2023].
- [11] S. G. Mexicano, «gob.mx,» 22 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [12] F. Vidal, «Los terremotos y sus causas,» Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, 1994, p. 12.
- [13] Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), «Fallas Geológicas,» Ministerio de Obras Públicas , [En línea]. Available: <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>. [Último acceso: 12 Enero 2023].
- [14] SEDAPAR, «"Análisis de Peligro Sísmico y Vulnerabilidad",» Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en la Localidad de Chuquibamba, Distrito de Chuquibamba, Provincia de Condesuyos, Departamento y Región de Arequipa, <https://www.sedapar.com.pe/wp-content/uploads/2018/02/3.ANALISIS-DE-RIESGO-SISMICO-Y-VULNERABILIDAD-1.pdf>, 2017.
- [15] Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, «Escalas de Magnitud,» Ministerio de Medio Ambiente - Gobierno de El Salvador, [En línea]. Available: <http://www.snet.gob.sv/ver/seccion+educativa/sismologia/escalas+de+magnitud/>. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [16] S. Molina y J. & J. P. Giner, «El Tamaño de los Terremotos: Intensidad y Magnitud,» Universidad de Alicante, Enero 2008. [En línea]. Available:

- https://www.researchgate.net/publication/39404606_Tamano_de_los_terremotos_intensidad_y_magnitud. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [17] F. Bongiorno Ponzio, ULA, [En línea]. Available:
<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/frabon/Presentaciones/Tema%208%20Regimenes%20Tectonicos.pdf>. . [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [18] Norma Ecuatoriana de la Construcción, «Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda,» Diciembre 2014. [En línea]. Available:
<http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [19] L. Taípe, «"Análisis de las Ecuaciones de Predicción de Movimientos de Suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000-2011 en Estaciones Sísmicas de Banda Ancha y Acelerógrafos",» Escuela Politécnica Nacional, Junio 2013. [En línea]. Available:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>. [Último acceso: 13 Enero 2023].
- [20] D. Zafra Otero, «Ondas Sísmicas, su importancia para la geofísica y la humanidad,» Universidad Industrial de Santander, Julio 2017. [En línea]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/322747134_ONDAS_SISMICAS_su_importancia_para_la_geofisica_y_la_humanidad. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [21] E. Juárez y A. Rico, Mecánica de Suelos, México, D.F.: LIMUSA S.A., 2005.
- [22] J. Carmona, «REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA,» 2014. [En línea]. Available:
http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2572/1/SPT_factor_CN_%C3%A1ngulo_%C3%98_diferentes_correlaciones.pdf. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [23] N. T. E. N. I. 689, «Mecánica de Suelos - Ensayo de Penetración Estandar,» Instituto Ecuatoriano de Normalización , Quito-Ecuador, 1982-2005.

- [24] F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca y H. Yepes, «Breves fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador,» Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Noviembre 2007. [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>. [Último acceso: 12 Enero 2023].
- [25] G. Moltalva, P. Catalán y F. Benedetti, «¿Qué Vs30 se debe usar como índice para la amplificación sísmica?,» Universidad de Concepción, [En línea]. Available: <http://vu2018.admin.hosting.ing.udec.cl/descargas/46.pdf>. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [26] G. Atkinson y D. Boore, «Empirical Ground-Motion relations for subduction-zone earthquakes and their application to cascadia and other regions,» *Bulletin of the Seismological Society of America*, August 2003. [En línea]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.76.2217&rep=rep1&type=pdf>.
- [27] S. Akkar y J. Bommer, «Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East,» *Seismological Research Letters*, Abril 2010. [En línea]. Available: <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ANbl%2DVsRJ6TICFQ&id=77AD5988BAAA4C84%21892&cid=77AD5988BAAA4C84&parId=root&parQt=sharedby&o=OneUp>. [Último acceso: 05 Marzo 2023].
- [28] T. Kanno, A. Narita, N. Morikawa y H. & F. Y. Fujiwara, «Una nueva relación de atenuación para fuertes movimientos terrestres en Japón basada en datos registrados,» *Bulletin of the Seismological Society of America*, p. 879–897, Junio 2006.
- [29] R. Youngs, S. Chiou, W. Silva y J. Humprey, «Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes,» January-February 1997. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/srl/article-abstract/68/1/58/142161/Strong-Ground-Motion-Attenuation-Relationships-for?redirectedFrom=fulltext>. [Último acceso: 15 February 2022].

- [30] J. Zhao, T. Takashi, A. Asano, H. Okada, T. Saiki, K. Irikura, J. Zhang, H. Thio, P. Somerville y Y. Fukushima, «Attenuation Relations of Strong Motion in Japan using site classification based on predominant period,» 2006. [En línea]. Available: https://www.oecd-neo.org/nsd/workshops/SEIS2004/Papers/Papers/JPN_Fukushima_Takahashi_Yoshi_s1.pdf. [Último acceso: 30 Marzo 2023].
- [31] O. Ortiz, «Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica en Ecuador,» 2013. [En línea]. Available: http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/TSENES_CYT-000352.pdf. . [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [32] P. Quinde y E. Reinoso, «Estudio de Peligro Sísmico de Ecuador y Propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca,» Revista de Ingeniería Sísmica, Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.

7 ANEXOS

ANEXO A



Fotografía 1. Instalación del equipo SPT



Fotografía 2. Colocación de las medidas límites



Fotografía 3. Ensayo de penetración estándar (SPT) en la zona de estudio.



Fotografía 4. Muestra in situ.



Fotografía 5. Tamices para ensayo granulométrico



Fotografía 6. Granulometría del material obtenido.



Fotografía 7. Estructura I de la Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes



Fotografía 8. Levantamiento estructural.



Fotografía 9. Estructura II cercana a la zona de estudio.



Fotografía 10. Levantamiento estructural.



Fotografía 11. Estructura III cercana a la zona de estudio.



Fotografía 12. Levantamiento estructural.

ANEXO B

B-1. Coeficientes escalares de la distancia ($M_{ref} = 4.5$ y $R_{ref} = 1.0$ km para todos los periodos, excepto $R_{ref} = 5.0$ km para $pga4nl$)

Period	c_1	c_2	c_3	h
PGV	-0.87370	0.10060	-0.00334	2.54
PGA	-0.66050	0.11970	-0.01151	1.35
0.010	-0.66220	0.12000	-0.01151	1.35
0.020	-0.66600	0.12280	-0.01151	1.35
0.030	-0.69010	0.12830	-0.01151	1.35
0.050	-0.71700	0.13170	-0.01151	1.35
0.075	-0.72050	0.12370	-0.01151	1.55
0.100	-0.70810	0.11170	-0.01151	1.68
0.150	-0.69610	0.09884	-0.01113	1.86
0.200	-0.58300	0.04273	-0.00952	1.98
0.250	-0.57260	0.02977	-0.00837	2.07
0.300	-0.55430	0.01955	-0.00750	2.14
0.400	-0.64430	0.04394	-0.00626	2.24
0.500	-0.69140	0.06080	-0.00540	2.32
0.750	-0.74080	0.07518	-0.00409	2.46
1.000	-0.81830	0.10270	-0.00334	2.54
1.500	-0.83030	0.09793	-0.00255	2.66
2.000	-0.82850	0.09432	-0.00217	2.73
3.000	-0.78440	0.07282	-0.00191	2.83
4.000	-0.68540	0.03758	-0.00191	2.89
5.000	-0.50960	-0.02391	-0.00191	2.93
7.500	-0.37240	-0.06568	-0.00191	3.00
10.000	-0.09824	-0.13800	-0.00191	3.04

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

B-2. Coeficientes escalares de magnitud

Period	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	M_R
PGV	5.00121	5.04727	4.63188	5.08210	0.18322	-0.12736	0.00000	8.50
PGA	-0.53804	-0.50350	-0.75472	-0.50970	0.28805	-0.10164	0.00000	6.75
0.010	-0.52883	-0.49429	-0.74551	-0.49966	0.28897	-0.10019	0.00000	6.75
0.020	-0.52192	-0.48508	-0.73906	-0.48895	0.25144	-0.11006	0.00000	6.75
0.030	-0.45285	-0.41831	-0.66722	-0.42229	0.17976	-0.12858	0.00000	6.75
0.050	-0.28476	-0.25022	-0.48462	-0.26092	0.06369	-0.15752	0.00000	6.75
0.075	0.00767	0.04912	-0.20578	0.02706	0.01170	-0.17051	0.00000	6.75
0.100	0.20109	0.23102	0.03058	0.22193	0.04697	-0.15948	0.00000	6.75
0.150	0.46128	0.48661	0.30185	0.49328	0.17990	-0.14539	0.00000	6.75
0.200	0.57180	0.59253	0.40860	0.61472	0.52729	-0.12964	0.00102	6.75
0.250	0.51884	0.53496	0.33880	0.57747	0.60880	-0.13843	0.08607	6.75
0.300	0.43825	0.44516	0.25356	0.51990	0.64472	-0.15694	0.10601	6.75
0.400	0.39220	0.40602	0.21398	0.46080	0.78610	-0.07843	0.02262	6.75
0.500	0.18957	0.19878	0.00967	0.26337	0.76837	-0.09054	0.00000	6.75
0.750	-0.21338	-0.19496	-0.49176	-0.10813	0.75179	-0.14053	0.10302	6.75
1.000	-0.46896	-0.43443	-0.78465	-0.39330	0.67880	-0.18257	0.05393	6.75
1.500	-0.86271	-0.79593	-1.20902	-0.88085	0.70689	-0.25950	0.19082	6.75
2.000	-1.22652	-1.15514	-1.57697	-1.27669	0.77989	-0.29657	0.29888	6.75
3.000	-1.82979	-1.74690	-2.22584	-1.91814	0.77966	-0.45384	0.67466	6.75
4.000	-2.24656	-2.15906	-2.58228	-2.38168	1.24961	-0.35874	0.79508	6.75
5.000	-1.28408	-1.21270	-1.50904	-1.41093	0.14271	-0.39006	0.00000	8.50
7.500	-1.43145	-1.31632	-1.81022	-1.59217	0.52407	-0.37578	0.00000	8.50
10.000	-2.15446	-2.16137	-2.53323	-2.14635	0.40387	-0.48492	0.00000	8.50

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

B-3. Coeficientes de amplificación del sitio independiente del período.

Coefficient	Value
a_1	0.03 g
pga_{low}	0.06 g
a_2	0.09 g
V_1	180 m/s
V_2	300 m/s
V_{ref}	760 m/s

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

B-4. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período.

Period	b_{lin}	b_1	b_2
PGV	-0.600	-0.500	-0.06
PGA	-0.360	-0.640	-0.14
0.010	-0.360	-0.640	-0.14
0.020	-0.340	-0.630	-0.12
0.030	-0.330	-0.620	-0.11
0.050	-0.290	-0.640	-0.11
0.075	-0.230	-0.640	-0.11
0.100	-0.250	-0.600	-0.13
0.150	-0.280	-0.530	-0.18
0.200	-0.310	-0.520	-0.19
0.250	-0.390	-0.520	-0.16
0.300	-0.440	-0.520	-0.14
0.400	-0.500	-0.510	-0.10
0.500	-0.600	-0.500	-0.06
0.750	-0.690	-0.470	0.00
1.000	-0.700	-0.440	0.00
1.500	-0.720	-0.400	0.00
2.000	-0.730	-0.380	0.00
3.000	-0.740	-0.340	0.00
4.000	-0.750	-0.310	0.00
5.000	-0.750	-0.291	0.00
7.500	-0.692	-0.247	0.00
10.000	-0.650	-0.215	0.00

Fuente: Boore y Atkinson (2008)

ANEXO C

C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 & 2 para la predicción de pseudoaceleración espectral.

Periodo T(s)	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	e1	e2
0	1,0416	0,9133	-0,0814	-2,9273	0,2812	7,8664	0,0875	0,0153	-0,0419	0,0802	0,261	0,0994
0,05	2,1153	0,7257	-0,0735	-3,332	0,3353	7,7473	0,0471	-0,0243	-0,0426	0,0865	0,272	0,1142
0,1	2,1199	0,7518	-0,0745	-3,1054	0,3025	8,2141	0,0267	-0,0006	-0,0491	0,0791	0,2728	0,1167
0,15	1,6449	0,8368	-0,0754	-2,7585	0,2549	8,3179	0,0258	0,017	-0,0418	0,0784	0,2788	0,1192
0,2	0,9207	0,9682	-0,079	-2,4926	0,2179	8,2191	0,0656	0,0211	-0,021	0,0844	0,2821	0,1081
0,25	0,1398	1,1307	-0,0876	-2,3382	0,2009	7,2069	0,0981	0,0392	-0,0485	0,0858	0,2871	0,099
0,3	-0,8401	1,3744	-0,1035	-2,1912	0,1814	6,543	0,1285	0,0434	-0,0555	0,0922	0,2902	0,0976
0,35	-1,3221	1,4706	-0,1087	-2,1299	0,1749	6,2475	0,1621	0,067	-0,0472	0,09	0,2983	0,1054
0,4	-1,7032	1,5593	-0,1139	-2,1272	0,1714	6,5717	0,2122	0,092	-0,0515	0,099	0,2998	0,1101
0,45	-1,972	1,6165	-0,1174	-2,1662	0,177	6,7808	0,2412	0,1168	-0,052	0,0994	0,3037	0,1123
0,5	-2,7693	1,8327	-0,132	-2,1297	0,1688	7,1742	0,2594	0,1356	-0,0428	0,0858	0,3078	0,1163
0,55	-3,5167	2,0252	-0,145	-2,0421	0,1562	6,7617	0,265	0,1445	-0,0426	0,0695	0,307	0,1274
0,6	-3,9276	2,0847	-0,1465	-1,8814	0,1362	6,101	0,2772	0,1516	-0,0385	0,0593	0,3007	0,143
0,65	-4,4949	2,2115	-0,1552	-1,7903	0,1292	5,1914	0,2857	0,1524	-0,0342	0,0511	0,3004	0,1546
0,7	-4,6293	2,2176	-0,1549	-1,798	0,135	4,4632	0,3035	0,1565	-0,0415	0,0466	0,2978	0,1626
0,75	-4,9505	2,2914	-0,1598	-1,8132	0,1392	4,2795	0,3152	0,1633	-0,0405	0,0425	0,2973	0,1602
0,8	-5,3286	2,3839	-0,1657	-1,7727	0,1327	4,3701	0,3215	0,1737	-0,0395	0,0337	0,2927	0,1584
0,85	-5,758	2,5064	-0,1748	-1,7707	0,131	4,6219	0,3352	0,1848	-0,0379	0,0287	0,2917	0,1543
0,9	-5,8269	2,5029	-0,1737	-1,763	0,1306	4,6539	0,3485	0,1906	-0,0288	0,0248	0,2915	0,1521
0,95	-5,9059	2,5141	-0,1742	-1,7985	0,1354	4,8454	0,3592	0,1941	-0,0221	0,025	0,2912	0,1484
1	-6,1707	2,5856	-0,1794	-1,8072	0,136	4,976	0,3662	0,1952	-0,0227	0,0212	0,2895	0,1483
1,05	-6,6034	2,6958	-0,1865	-1,7384	0,1249	5,0449	0,3728	0,1946	-0,0261	0,0112	0,2888	0,1465
1,1	-6,9038	2,7704	-0,1917	-1,7111	0,1223	5,0098	0,3776	0,1942	-0,0266	0,0014	0,2896	0,1427
1,15	-6,9618	2,7586	-0,1889	-1,6659	0,1145	5,089	0,3815	0,194	-0,0209	0,0015	0,2871	0,1435
1,2	-6,9924	2,7343	-0,1849	-1,5912	0,1027	5,0327	0,3812	0,1931	-0,0162	0,0041	0,2878	0,1439
1,25	-6,7461	2,6238	-0,1739	-1,5289	0,0913	5,0835	0,3878	0,1939	-0,0183	0,0041	0,2863	0,1453
1,3	-6,5172	2,5187	-0,1633	-1,4653	0,0801	5,1442	0,3886	0,1927	-0,019	-0,0037	0,2869	0,1427
1,35	-6,5582	2,5224	-0,1631	-1,4822	0,0817	5,2901	0,3868	0,1908	-0,0184	-0,009	0,2885	0,1428
1,4	-6,6195	2,5261	-0,1627	-1,4826	0,0821	5,3349	0,3863	0,1929	-0,0161	-0,0088	0,2875	0,1458
1,45	-6,6274	2,4986	-0,1591	-1,4331	0,0758	5,1941	0,3829	0,1916	-0,0129	-0,0056	0,2857	0,1477
1,5	-6,7179	2,4949	-0,1569	-1,353	0,0638	5,1575	0,3787	0,1881	-0,0121	-0,0022	0,2839	0,1468
1,55	-6,8078	2,5029	-0,1563	-1,3123	0,057	5,2744	0,3727	0,1857	-0,0085	-0,0005	0,2845	0,145
1,6	-6,8363	2,5101	-0,1568	-1,3326	0,0587	5,5454	0,3695	0,1815	-0,0053	-6E-05	0,2844	0,1457
1,65	-6,8868	2,5405	-0,16	-1,4093	0,0686	5,9383	0,3653	0,1762	-0,0085	-0,003	0,2841	0,1503
1,7	-6,946	2,5715	-0,1629	-1,4768	0,0767	6,366	0,3594	0,173	-0,012	-0,0074	0,284	0,1537
1,75	-7,0917	2,6294	-0,1679	-1,5404	0,0843	6,8229	0,3528	0,1695	-0,0139	-0,0139	0,284	0,1558
1,8	-7,2282	2,6682	-0,1706	-1,5427	0,0833	7,116	0,3478	0,1674	-0,014	-0,0149	0,2834	0,1582
1,85	-7,2977	2,6757	-0,17	-1,5094	0,0766	7,3193	0,3456	0,1673	-0,0153	-0,0119	0,2828	0,1592
1,9	-7,3552	2,6775	-0,1693	-1,4699	0,0707	7,2599	0,3414	0,1633	-0,0156	-0,007	0,2826	0,1611
1,95	-7,4072	2,6821	-0,1691	-1,4382	0,0653	7,2534	0,3372	0,1617	-0,0185	-0,0035	0,2832	0,1642
2	-7,504	2,71	-0,1713	-1,444	0,066	7,2606	0,333	0,1584	-0,0226	-0,0049	0,2835	0,1657
2,05	-7,556	2,7274	-0,1729	-1,4579	0,0677	7,4032	0,3301	0,155	-0,0263	-0,0073	0,2836	0,1665
2,1	-7,5346	2,7171	-0,1722	-1,4666	0,0694	7,4617	0,3265	0,1534	-0,0292	-0,0087	0,2832	0,1663
2,15	-7,5081	2,7104	-0,1721	-1,4968	0,0743	7,5127	0,3244	0,1526	-0,0348	-0,0123	0,283	0,1661
2,2	-8,0917	2,9116	-0,1892	-1,5564	0,0843	7,7706	0,3135	0,1443	-0,0399	-0,0193	0,283	0,1627
2,25	-8,1106	2,9209	-0,1904	-1,5954	0,0905	7,877	0,31	0,1443	-0,0416	-0,0232	0,283	0,1627
2,3	-8,1627	2,9333	-0,1916	-1,6046	0,0928	7,9175	0,3083	0,1441	-0,0424	-0,0263	0,2829	0,1633
2,35	-7,947	2,8533	-0,1854	-1,5743	0,0908	7,6196	0,3207	0,1432	-0,0496	-0,0234	0,2815	0,1632
2,4	-7,9668	2,8536	-0,1856	-1,5783	0,0929	7,5964	0,318	0,143	-0,0491	-0,0257	0,2826	0,1645
2,45	-7,9788	2,849	-0,1853	-1,5773	0,0943	7,5034	0,314	0,1432	-0,0481	-0,0264	0,2825	0,1665
2,5	-7,884	2,8182	-0,1832	-1,6038	0,0989	7,5395	0,311	0,1433	-0,0471	-0,0277	0,2818	0,1681
2,55	-7,681	2,7572	-0,1791	-1,6521	0,1068	7,6189	0,3088	0,1434	-0,0461	-0,0282	0,2818	0,1688
2,6	-7,7257	2,8204	-0,1872	-1,8878	0,1405	8,1225	0,3112	0,1426	-0,0511	-0,0297	0,2838	0,1741
2,65	-7,5329	2,7482	-0,1814	-1,8953	0,1436	7,9224	0,3094	0,1422	-0,0502	-0,0293	0,2845	0,1759
2,7	-7,4159	2,6901	-0,1763	-1,8704	0,1428	7,5	0,3069	0,1407	-0,0489	-0,0296	0,2854	0,1772
2,75	-7,3454	2,6535	-0,1731	-1,8608	0,1434	7,2667	0,3064	0,1405	-0,0474	-0,0292	0,2862	0,1783
2,8	-7,2456	2,6103	-0,1695	-1,8561	0,1444	7,1186	0,3053	0,1392	-0,0473	-0,0275	0,2867	0,1794
2,85	-7,0711	2,5612	-0,1662	-1,9042	0,1513	7,3628	0,3051	0,1393	-0,0452	-0,0278	0,2869	0,1788
2,9	-6,9933	2,527	-0,163	-1,897	0,1504	7,4504	0,3036	0,1378	-0,042	-0,0262	0,2874	0,1784
2,95	-6,9567	2,5101	-0,1614	-1,9013	0,1508	7,6023	0,2999	0,1358	-0,0386	-0,0249	0,2872	0,1783
3	-6,9292	2,459	-0,1551	-1,768	0,1331	7,2195	0,2977	0,132	-0,0386	-0,0247	0,2876	0,1785

Fuente: Akkar y Boomer (2010)

ANEXO D

D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%.

Period	a_1	b_1	c_1	d_1	ε_1
PGA	0.56	-0.0031	0.26	0.0055	0.37
5% Damped Acceleration Response Spectra (sec)					
0.05	0.54	-0.0035	0.48	0.0061	0.37
0.06	0.54	-0.0037	0.57	0.0065	0.38
0.07	0.53	-0.0039	0.67	0.0066	0.38
0.08	0.52	-0.0040	0.75	0.0069	0.39
0.09	0.52	-0.0041	0.80	0.0071	0.40
0.10	0.52	-0.0041	0.85	0.0073	0.40
0.11	0.50	-0.0040	0.96	0.0061	0.40
0.12	0.51	-0.0040	0.93	0.0062	0.40
0.13	0.51	-0.0039	0.91	0.0062	0.40
0.15	0.52	-0.0038	0.89	0.0060	0.41
0.17	0.53	-0.0037	0.84	0.0056	0.41
0.20	0.54	-0.0034	0.76	0.0053	0.40
0.22	0.54	-0.0032	0.73	0.0048	0.40
0.25	0.54	-0.0029	0.66	0.0044	0.40
0.30	0.56	-0.0026	0.51	0.0039	0.39
0.35	0.56	-0.0024	0.42	0.0036	0.40
0.40	0.58	-0.0021	0.26	0.0033	0.40
0.45	0.59	-0.0019	0.13	0.0030	0.41
0.50	0.59	-0.0016	0.04	0.0022	0.41
0.60	0.62	-0.0014	-0.22	0.0025	0.41
0.70	0.63	-0.0012	-0.37	0.0022	0.41
0.80	0.65	-0.0011	-0.54	0.0020	0.41
0.90	0.68	-0.0009	-0.80	0.0019	0.41
1.00	0.71	-0.0009	-1.04	0.0021	0.41
1.10	0.72	-0.0007	-1.19	0.0018	0.41
1.20	0.73	-0.0006	-1.32	0.0014	0.41
1.30	0.74	-0.0006	-1.44	0.0014	0.41
1.50	0.77	-0.0005	-1.70	0.0017	0.40
1.70	0.79	-0.0005	-1.89	0.0019	0.39
2.00	0.80	-0.0004	-2.08	0.0020	0.39
2.20	0.82	-0.0004	-2.24	0.0022	0.38
2.50	0.84	-0.0003	-2.46	0.0023	0.38
3.00	0.86	-0.0002	-2.72	0.0021	0.38
3.50	0.90	-0.0003	-2.99	0.0032	0.37
4.00	0.92	-0.0005	-3.21	0.0045	0.38
4.50	0.94	-0.0007	-3.39	0.0064	0.38
5.00	0.92	-0.0004	-3.35	0.0030	0.38
PGV	0.70	-0.0009	-1.93	0.0022	0.32

Fuente: Kanno (2006)

D-2. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%.

Period	a_2	b_2	c_2	ε_2
PGA	0.41	-0.0039	1.56	0.40
5% Damped Acceleration Response Spectra (sec)				
0.05	0.39	-0.0040	1.76	0.42
0.06	0.39	-0.0041	1.86	0.43
0.07	0.38	-0.0042	1.96	0.45
0.08	0.38	-0.0042	2.03	0.45
0.09	0.38	-0.0043	2.08	0.46
0.10	0.38	-0.0043	2.12	0.46
0.11	0.38	-0.0044	2.14	0.46
0.12	0.38	-0.0044	2.14	0.46
0.13	0.38	-0.0044	2.13	0.46
0.15	0.39	-0.0044	2.12	0.46
0.17	0.40	-0.0043	2.08	0.45
0.20	0.40	-0.0042	2.02	0.44
0.22	0.40	-0.0041	1.99	0.43
0.25	0.41	-0.0040	1.88	0.42
0.30	0.43	-0.0038	1.75	0.42
0.35	0.43	-0.0036	1.62	0.41
0.40	0.45	-0.0034	1.49	0.41
0.45	0.46	-0.0032	1.33	0.41
0.50	0.47	-0.0030	1.19	0.40
0.60	0.49	-0.0028	0.95	0.40
0.70	0.51	-0.0026	0.72	0.40
0.80	0.53	-0.0025	0.49	0.40
0.90	0.56	-0.0023	0.27	0.40
1.00	0.57	-0.0022	0.08	0.41
1.10	0.59	-0.0022	-0.08	0.41
1.20	0.60	-0.0021	-0.24	0.41
1.30	0.62	-0.0020	-0.40	0.41
1.50	0.64	-0.0020	-0.63	0.41
1.70	0.66	-0.0018	-0.83	0.40
2.00	0.68	-0.0017	-1.12	0.40
2.20	0.69	-0.0017	-1.27	0.40
2.50	0.71	-0.0017	-1.48	0.39
3.00	0.73	-0.0017	-1.72	0.39
3.50	0.75	-0.0017	-1.97	0.38
4.00	0.77	-0.0016	-2.22	0.37
4.50	0.79	-0.0016	-2.45	0.36
5.00	0.82	-0.0017	-2.70	0.35
PGV	0.55	-0.0032	-0.57	0.36

Fuente: Kanno (2006)

D-3. Coeficientes obtenidos en la ecuación.

Period	p	q
PGA	-0.55	1.35
5% Damped Acceleration Response Spectra (sec)		
0.05	-0.32	0.80
0.06	-0.26	0.65
0.07	-0.24	0.60
0.08	-0.26	0.64
0.09	-0.29	0.72
0.10	-0.32	0.78
0.11	-0.35	0.84
0.12	-0.39	0.94
0.13	-0.43	1.04
0.15	-0.53	1.28
0.17	-0.61	1.47
0.20	-0.68	1.65
0.22	-0.72	1.74
0.25	-0.75	1.82
0.30	-0.80	1.96
0.35	-0.85	2.09
0.40	-0.87	2.13
0.45	-0.89	2.18
0.50	-0.91	2.25
0.60	-0.92	2.30
0.70	-0.96	2.41
0.80	-0.98	2.46
0.90	-0.97	2.44
1.00	-0.93	2.32
1.10	-0.92	2.30
1.20	-0.91	2.26
1.30	-0.88	2.20
1.50	-0.85	2.12
1.70	-0.83	2.06
2.00	-0.78	1.92
2.20	-0.76	1.88
2.50	-0.72	1.80
3.00	-0.68	1.70
3.50	-0.66	1.64
4.00	-0.62	1.54
4.50	-0.60	1.50
5.00	-0.59	1.46
PGV	-0.71	1.77

Fuente: Kanno (2006)

ANEXO E

E-1. Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción para suelo.

Period(s)	C_1	C_2	C_3	C_4^*	C_5^*
PGA	0.0	0.0	-2.329	1.45	-0.1
0.075	2.400	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1
0.3	0.793	-0.0020	-2.327	1.45	-0.1
0.4	0.144	-0.0020	-2.230	1.45	-0.1
0.5	-0.438	-0.0035	-2.140	1.45	-0.1
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1
1.0	-2.870	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1
1.5	-5.101	-0.0114	-1.470	1.50	-0.1
2.0	-6.433	-0.0164	-1.290	1.55	-0.1
3.0	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1
4.0	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1

Fuente: Youngs (1997)

ANEXO F

F-1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

Period	a	b	c	d	e	S _R	S _I	S _S	S _{SL}
PGA	1.101	-0.00564	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0.000	2.607	-0.528
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.060	0.01463	0.251	0.000	2.764	-0.551
0.10	1.118	-0.00787	0.0090	1.083	0.01423	0.240	0.000	2.156	-0.420
0.15	1.134	-0.00722	0.0100	1.053	0.01509	0.251	0.000	2.161	-0.431
0.20	1.147	-0.00659	0.0120	1.014	0.01462	0.260	0.000	1.901	-0.372
0.25	1.149	-0.00590	0.0140	0.966	0.01459	0.269	0.000	1.814	-0.360
0.30	1.163	-0.00520	0.0150	0.934	0.01458	0.259	0.000	2.181	-0.450
0.40	1.200	-0.00422	0.0100	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506
0.50	1.250	-0.00338	0.0060	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554
0.60	1.293	-0.00282	0.0030	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575
0.70	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.220	-0.146	2.654	-0.572
0.80	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.480	-0.540
0.90	1.433	-0.00232	0.0020	1.109	0.00972	0.220	-0.206	2.332	-0.522
1.00	1.479	-0.00220	0.0020	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509
1.25	1.551	-0.00207	0.0020	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469
1.50	1.621	-0.00224	0.0020	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379
2.00	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.321	0.966	-0.248
2.50	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221
3.00	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263
4.00	1.826	-0.00195	0.0040	1.044	0.00590	0.353	-0.390	0.561	-0.169
5.00	1.825	-0.00237	0.0050	1.065	0.00510	0.248	-0.498	0.225	-0.120

Fuente: Zhao (2006)

F-2. Coeficientes para los términos de clase del sitio y error de predicción.

CH	C1	C2	C3	C4	Ck	σ	τ	σT
0,293	1,111	1,344	1,355	1,420	1,355	0,604	0,398	0,723
0,939	1,684	1,793	1,747	1,814	1,747	0,640	0,444	0,779
1,499	2,061	2,135	2,031	2,082	2,031	0,694	0,490	0,849
1,462	1,916	2,168	2,052	2,113	2,052	0,702	0,460	0,839
1,280	1,669	2,085	2,001	2,030	2,001	0,692	0,423	0,811
1,121	1,468	1,942	1,941	1,937	1,941	0,682	0,391	0,786
0,852	1,172	1,683	1,808	1,770	1,808	0,670	0,379	0,770
0,365	0,655	1,127	1,482	1,397	1,482	0,659	0,390	0,766
-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,934	0,653	0,389	0,760
-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	0,394	0,653	0,401	0,766
-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	-0,111	0,652	0,408	0,769
-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246	-0,620	0,647	0,418	0,770
-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643	-1,066	0,653	0,411	0,771
-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084	-1,523	0,657	0,410	0,775
-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936	-2,327	0,660	0,402	0,773
-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661	-2,979	0,664	0,408	0,779
-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640	-3,871	0,669	0,414	0,787
-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341	-4,496	0,671	0,411	0,786
-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758	-4,893	0,667	0,396	0,776
-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588	-5,698	0,647	0,382	0,751
-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798	-5,873	0,643	0,377	0,745

Fuente: Zhao (2006)

ANEXOS G. Tabla de clasificación SUCS y carta de plasticidad.

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification		
				Group Symbol	Group Name ^B	
COARSE-GRAINED SOILS	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve)	Clean Gravels (Less than 5 % fines ^C)	Cu \geq 4.0 and 1 \leq Cc \leq 3.0 ^D	GW	Well-graded gravel ^F	
		Gravels with Fines (More than 12 % fines ^C)	Cu $<$ 4.0 and/or [Cc $<$ 1 or Cc $>$ 3.0] ^D	GP	Poorly graded gravel ^F	
	More than 50 % retained on No. 200 sieve	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve)	Clean Sands (Less than 5 % fines ^H)	Cu \geq 6.0 and 1.0 \leq Cc \leq 3.0 ^D	SW	Well-graded sand ^F
		Sands with Fines (More than 12 % fines ^H)	Fines classify as ML or MH	Cu $<$ 6.0 and/or [Cc $<$ 1.0 or Cc $>$ 3.0] ^D	SP	Poorly graded sand ^F
FINE-GRAINED SOILS	Silt and Clays	inorganic	PI \geq 7 and plots on or above "A" line ^J	CL	Lean clay ^{K,L,M}	
		organic	PI $<$ 4 or plots below "A" line ^J	ML	Silt ^{K,L,M}	
	50 % or more passes the No. 200 sieve	inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{K,L,M}	
		organic	PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{K,L,M}	
HIGHLY ORGANIC SOILS		Primarily organic matter, dark in color, and organic odor		PT	Peat	

- ^ABased on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve.
- ^BIf field sample contained cobbles or boulders, or both, add "with cobbles or boulders, or both" to group name.
- ^CGravels with 5 to 12 % fines require dual symbols:
 GW-GM well-graded gravel with silt
 GW-GC well-graded gravel with clay
 GP-GM poorly graded gravel with silt
 GP-GC poorly graded gravel with clay
- ^D $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
- ^EIf soil contains \geq 15 % sand, add "with sand" to group name.
- ^FIf fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, or SC-SM.
- ^GIf fines are organic, add "with organic fines" to group name.
- ^HSands with 5 to 12 % fines require dual symbols:
 SW-SM well-graded sand with silt
 SW-SC well-graded sand with clay
 SP-SM poorly graded sand with silt
 SP-SC poorly graded sand with clay
- ^IIf soil contains \geq 15 % gravel, add "with gravel" to group name.
- ^JIf Atterberg limits plot in hatched area, soil is a CL-ML, silty clay.
- ^KIf soil contains 15 to $<$ 30 % plus No. 200, add "with sand" or "with gravel," whichever is predominant.
- ^LIf soil contains \geq 30 % plus No. 200, predominantly sand, add "sandy" to group name.
- ^MIf soil contains \geq 30 % plus No. 200, predominantly gravel, add "gravelly" to group name.
- ^NPI \geq 4 and plots on or above "A" line.
- ^OPI $<$ 4 and plots below "A" line.
- ^PPI plots on or above "A" line.
- ^QPI plots below "A" line.

Ilustración 1 Tabla de criterios ASTM para la clasificación de suelos mediante el método SUCS.

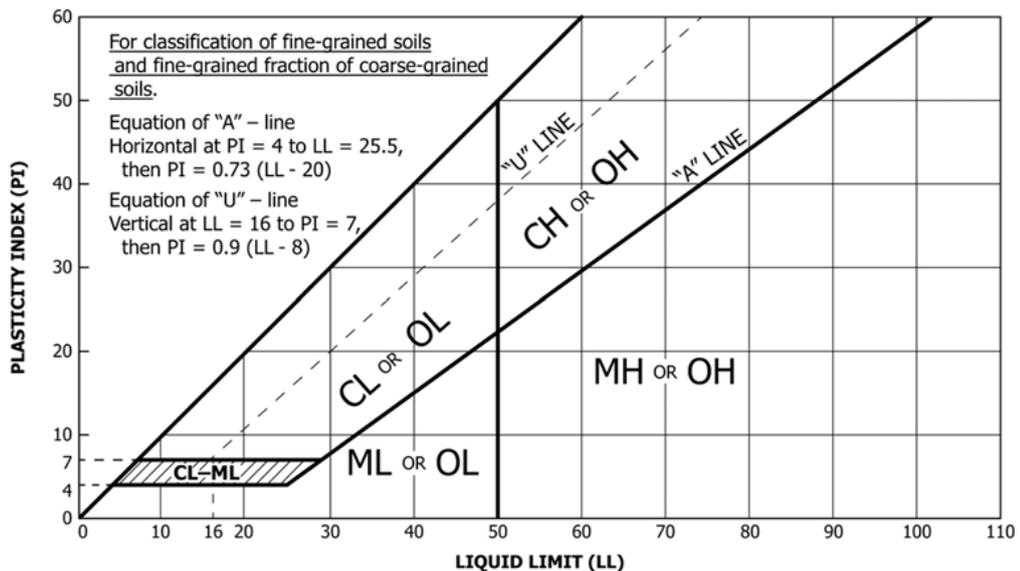


Ilustración 2 Carta de plasticidad

ANEXO H. Clasificación de Perfiles de Suelos de acuerdo con la NEC – 15

Tabla 70 Perfiles de suelos según la NEC 2015

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} \geq V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumpla con el criterio de velocidad de onda de corte,	$760 \text{ m/s} \geq V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	o perfil de suelos muy denso o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	$360 \text{ m/s} \geq V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se completan las siguientes clases:	
	F1. Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	

	F2. Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)
	F3. Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5m con Índice de Plasticidad IP > 75)
	F4. Pefiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)
	F5. Suelos con contraste de impedancia a ocurriendo dentro de los primero 30m superiores del perfil del subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidad de ondas de corte.
	F6. Rellenos colocados sin control ingenieril.

ANEXO I. Sondeos Geotécnicos – SPT

Tabla 71 Datos NSPT y Vs30 obtenidos del Sondeo 1, y 2

SONDEO 1				SONDEO 2			
Profundidad	NSPT	Vs30	Perfil NEC	Profundidad	NSPT	Vs30	Perfil NEC
1,00 m	-	-	D	1,00 m	-	38,25 m/s	D
1,50 m	13	205,84 m/s		1,50 m	11	195,16 m/s	
2,00 m	16	219,94 m/s		2,00 m	13	205,84 m/s	
2,50 m	18	228,36 m/s		2,50 m	16	219,94 m/s	
3,00 m	27	259,89 m/s		3,00 m	25	253,59 m/s	
3,50 m	32	274,36 m/s		3,50 m	32	274,36 m/s	
4,00 m	42	299,23 m/s		4,00 m	36	284,87 m/s	
4,50 m	45	305,88 m/s		4,50 m	50	316,34 m/s	
5,00 m	49	314,31 m/s		5,00 m	55	326,10 m/s	
5,50 m	50	316,34 m/s		5,50 m	58	331,68 m/s	
6,00 m	45	305,88 m/s		6,00 m	50	316,34 m/s	
6,50 m	49	314,31 m/s		6,50 m	55	326,10 m/s	
7,00 m	50	316,34 m/s		7,00 m	58	331,68 m/s	

Tabla 72 Datos NSPT y Vs30 obtenidos del Sondeo 1, y 2

SONDEO 3			SONDEO 4				
Profundidad	NSPT	Vs30	Perfil NEC	Profundidad	NSPT	Vs30	Perfil NEC
1,00 m	-	-	D	1,00 m	-	-	D
1,50 m	15	215,45 m/s		1,50 m	11	195,16 m/s	
2,00 m	19	232,33 m/s		2,00 m	13	205,84 m/s	
2,50 m	25	253,59 m/s		2,50 m	16	219,94 m/s	
3,00 m	27	259,89 m/s		3,00 m	25	253,94 m/s	
3,50 m	32	274,36 m/s		3,50 m	32	274,36 m/s	
4,00 m	36	284,87 m/s		4,00 m	36	284,87 m/s	
4,50 m	42	299,34 m/s		4,50 m	50	316,34 m/s	
5,00 m	46	308,04 m/s		5,00 m	55	326,10 m/s	
5,50 m	52	320,32 m/s		5,50 m	58	331,69 m/s	
6,00 m	42	299,23 m/s		6,00 m	50	316,34 m/s	
6,50 m	46	308,04 m/s		6,50 m	55	326,10 m/s	
7,00 m	52	320,32 m/s		7,00 m	58	331,68 m/s	

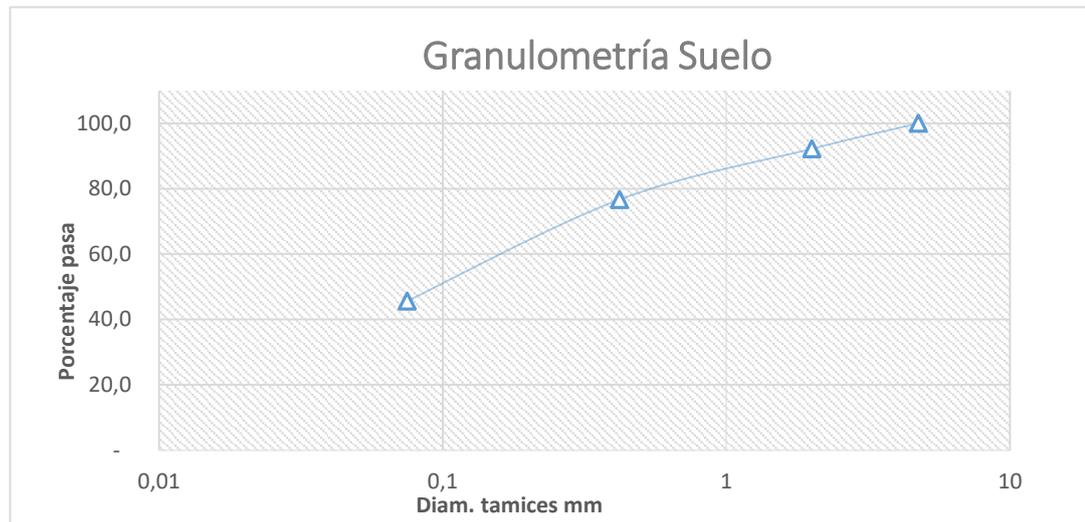
ANEXO J. Resultado de clasificación Sucs

J.1. Análisis granulométrico del sondeo 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Proyecto Analizado	“Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes”
Localización	12 de Noviembre y Ambato, Baños de Agua Santa
Muestra	Suelo Perforación I h = 1.0 – 7.0 M
NORMA INEN 872	

NIVEL = 0.00 -2.00 M

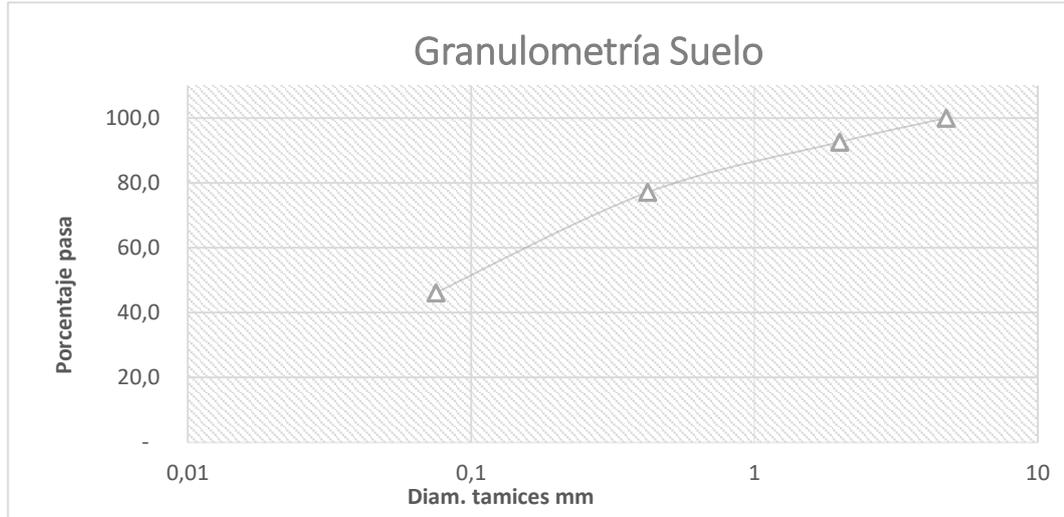
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	31.30	7.8	92.2
#40 (0.42 mm)	93.80	23.3	76.7
# 200 (0.0075 mm)	218.90	54.4	45.6
Total	402.46	Humedad	5.33 %



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL = 2.00 - 4.00 M

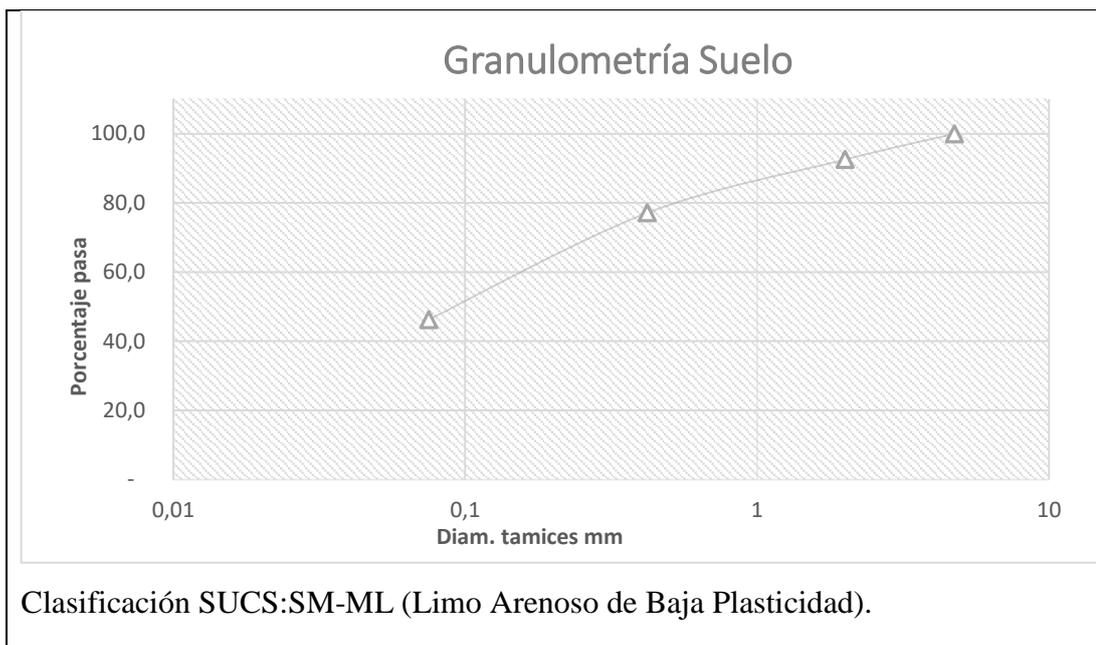
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	29.80	7.8	92.6
#40 (0.42 mm)	92.30	22.9	77.1
# 200 (0.0075 mm)	217.40	53.8	46.2
Total	403.85	Humedad	4.96 %



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL = 4.00 -7.00 M

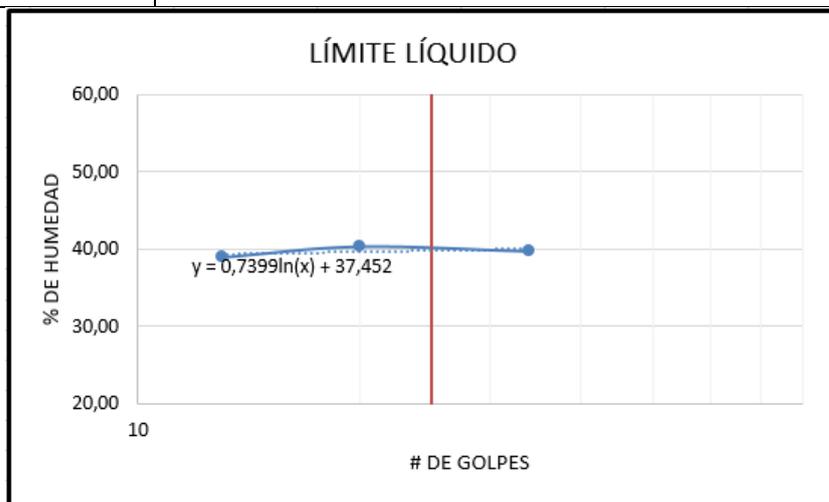
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	30.20	7.5	92.5
#40 (0.42 mm)	92.70	22.9	77.1
# 200 (0.0075 mm)	217.80	53.7	46.3
Total	405.23	Humedad	4.61 %



J.2.analisis de límites de consistencia del sondeo 1.

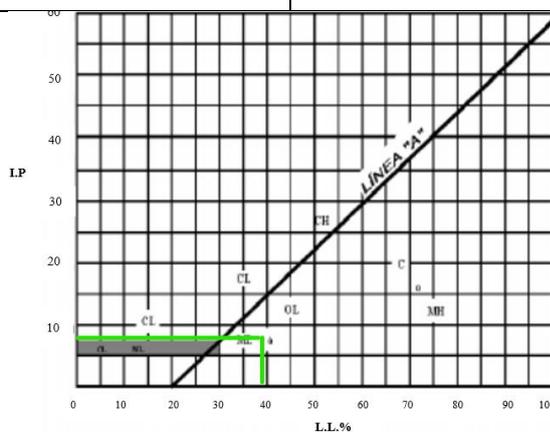
Suelo Perforación I h = 1.0 – 7.0 M			
NORMA INEN 691			
NIVEL= 0.00 -2.00 M			
Límite Líquido			
# Golpes	34	20	13
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.1	19.84	18.12
Peso (S+t)	18.59	16.47	15.1
Peso (t)	9.76	8.12	7.35
Humedad %	39.75	40.36	38.97
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.37	16.91	17.35
Peso (S+t)	14.81	14.55	14.42
Peso (t)	6.21	6.49	6.34

Humedad %	29.77	29.28	36.26
Promedio	31.77		



Límites de Atterberg

L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
39.834	8.06



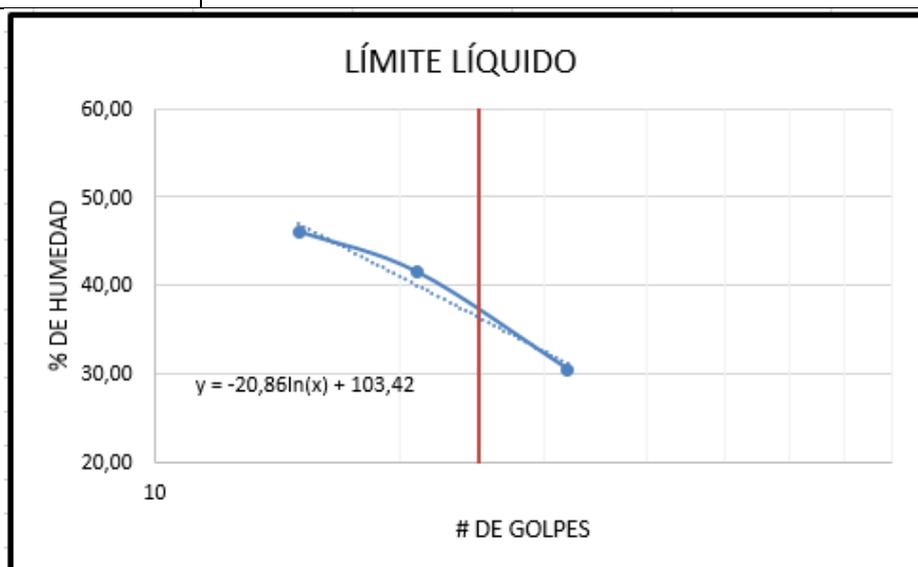
Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL = 2.00 - 4.00 M

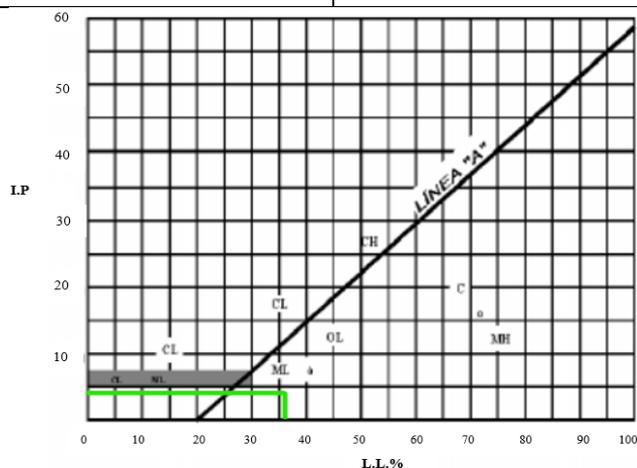
Límite Líquido

# Golpes	32	21	15
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	21.4	20.2	19.3
Peso (S+t)	18.7	16.7	15.6
Peso (t)	9.83	8.25	7.57
Humedad %	30.44	41.42	46.08

Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.58	17.21	17.69
Peso (S+t)	14.9	14.73	14.85
Peso (t)	6.33	6.52	6.48
Humedad %	31.27	30.21	33.93
Promedio	31.8		



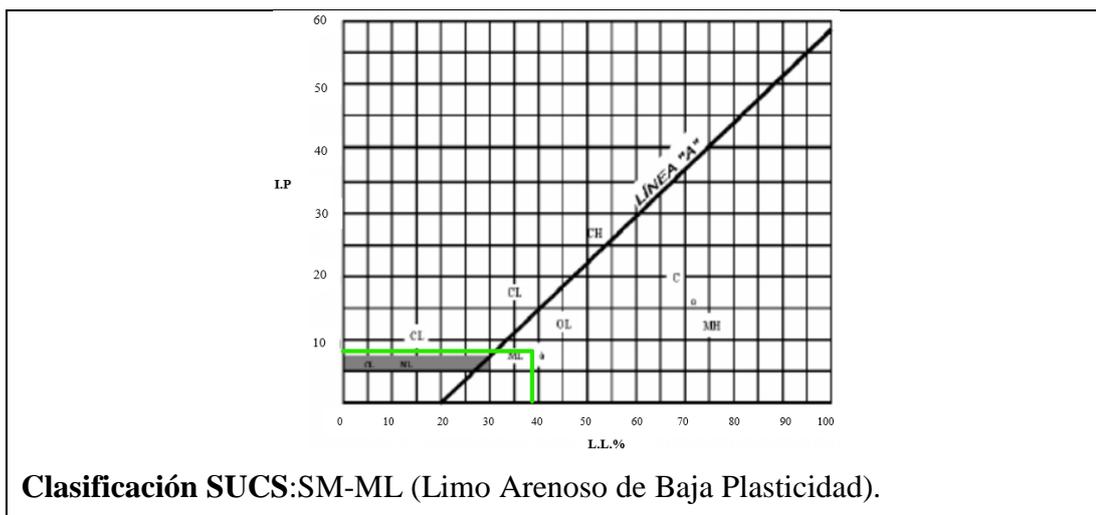
Límites de Atterberg	
L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
36.274	4.47



Clasificación SCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

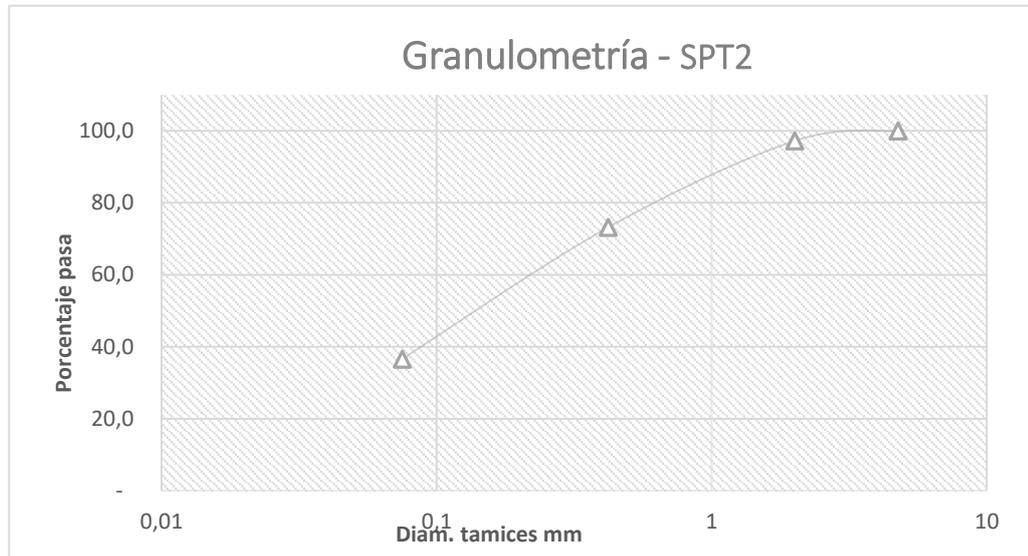
NIVEL = 4.00 -7.00 M

Límite Líquido			
# Golpes	31	20	16
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.3	20.4	18.7
Peso (S+t)	18.63	17.1	15.8
Peso (t)	9.52	8.35	7.74
Humedad %	40.29	37.71	35.98
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.22	17.8	16.14
Peso (S+t)	14.8	14.17	14.97
Peso (t)	6.43	6.68	6.54
Humedad %	28.91	48.46	13.88
Promedio	30.42		
Límites de Atterberg			
L. Líquido (LL)		Índice de Plasticidad (IP)	
Eje X		Eje Y	
38.966		8.55	



J.3. Análisis granulométrico del sondeo 2.

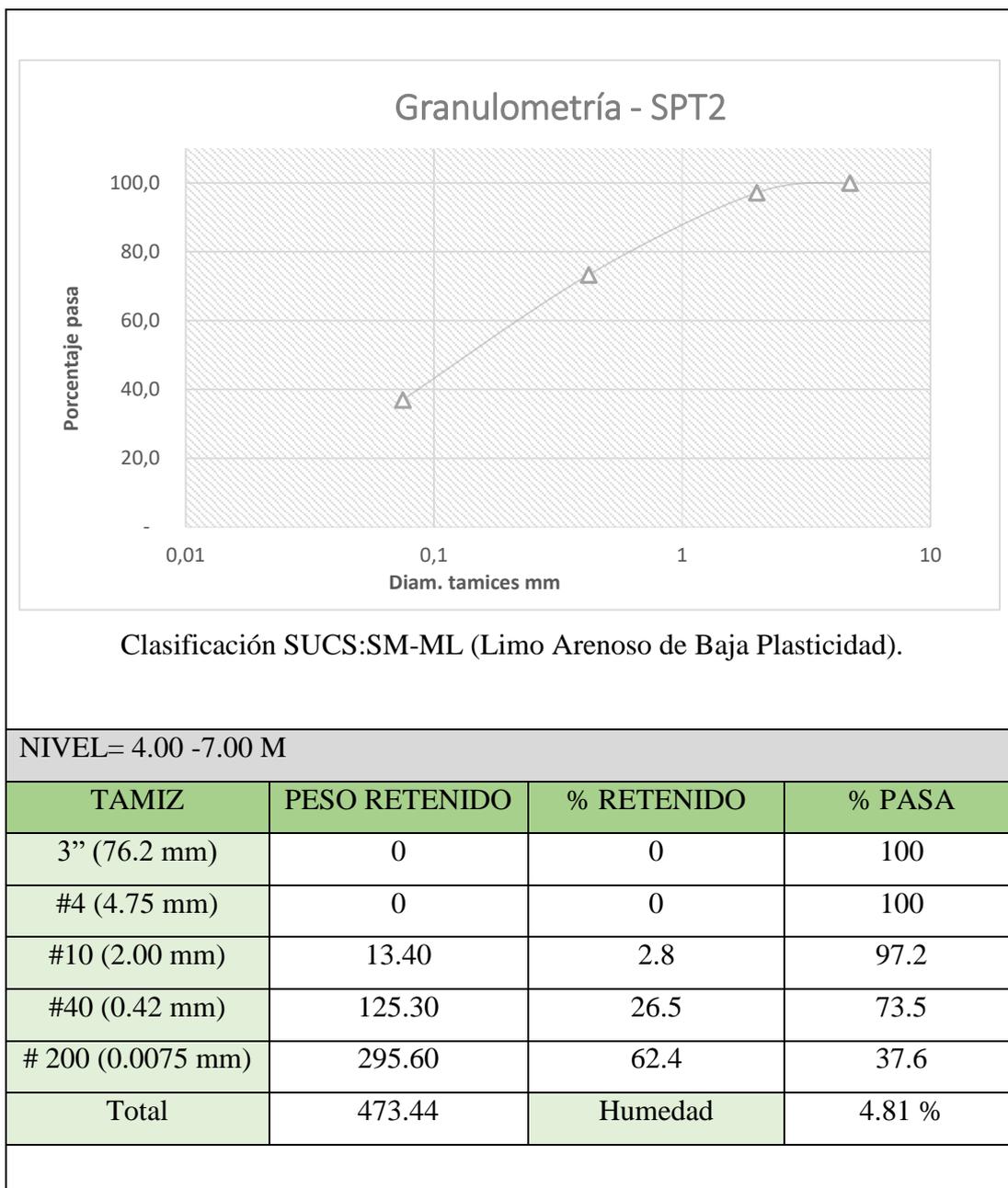
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Proyecto Analizado	“Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes”		
Localización	12 de Noviembre y Ambato, Baños de Agua Santa		
Muestra	Suelo Perforación II h = 1.0 – 7.0 M		
NORMA INEN 872			
NIVEL= 0.00 -2.00 M			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3” (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	12.90	2.8	97.2
#40 (0.42 mm)	124.80	26.8	73.2
# 200 (0.0075 mm)	295.10	63.4	36.6
Total	465.19	Humedad	6.67 %

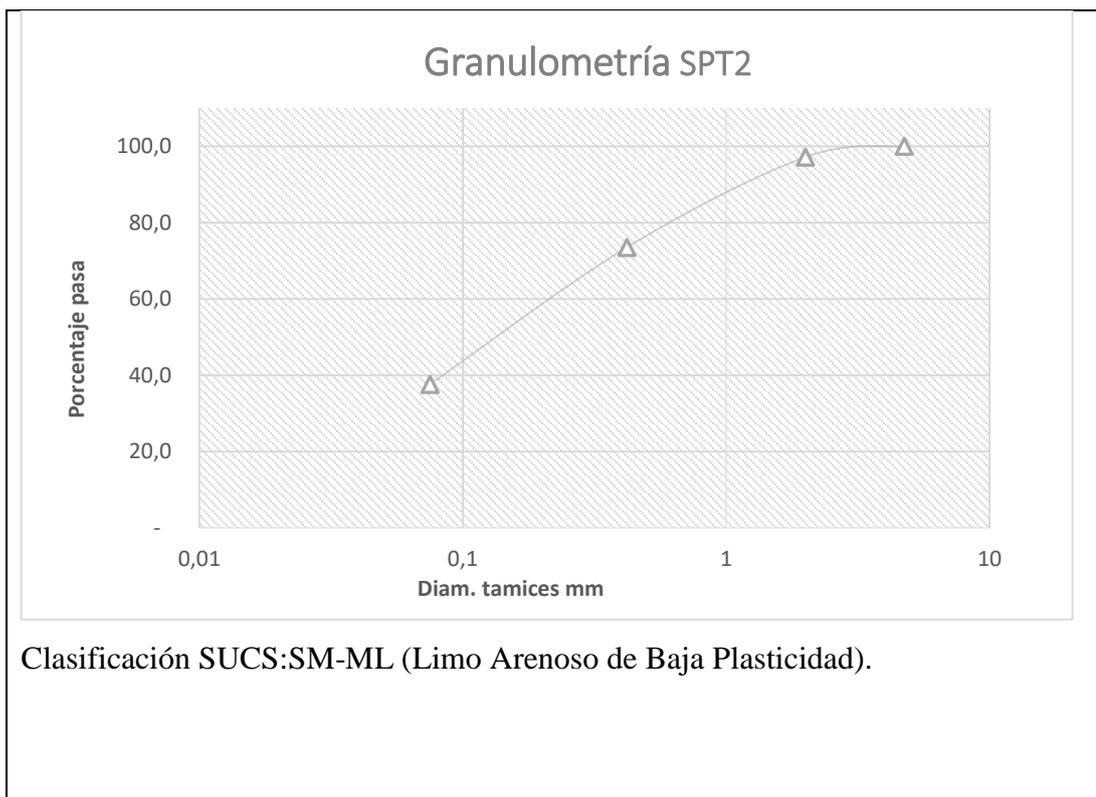


Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL= 2.00 - 4.00 M

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	13.20	2.8	97.2
#40 (0.42 mm)	125.10	26.7	73.3
# 200 (0.0075 mm)	295.40	63.1	36.9
Total	468.47	Humedad	5.92 %

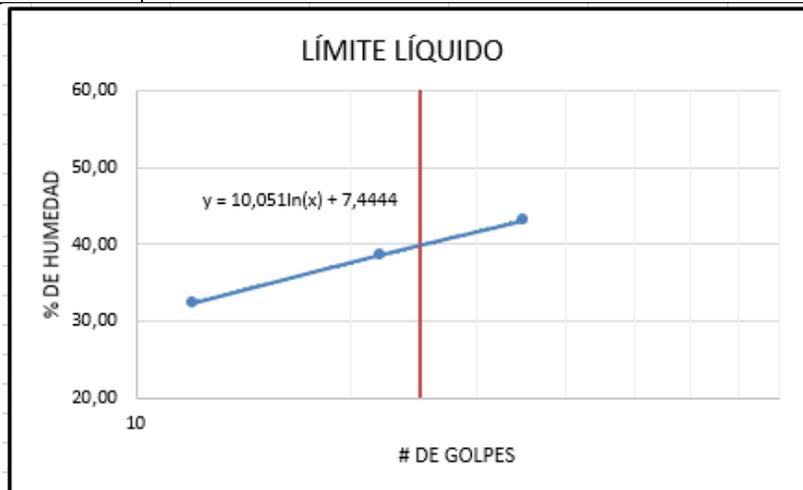




J.4. Análisis de límites de consistencia del sondeo 2

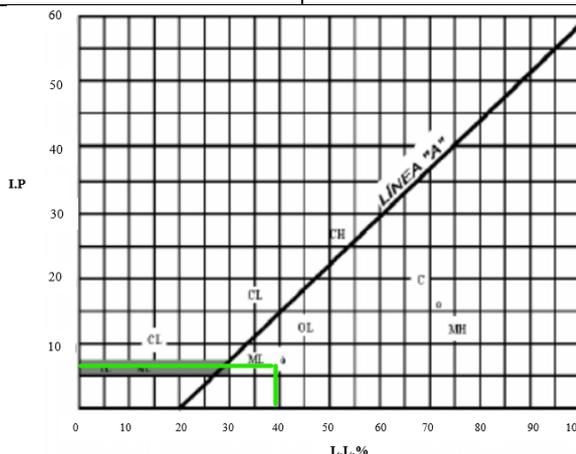
Suelo Perforación II h = 1,0 – 7,0 M			
NORMA INEN 691			
NIVEL= 0.00 -2.00 M			
Límite Líquido			
# Golpes	35	22	12
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.8	19.63	18.17
Peso (S+t)	18.83	16.5	15.5
Peso (t)	9.62	8.4	7.25
Humedad %	43.11	38.64	32.36
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.25	16.8	17.42
Peso (S+t)	14.6	14.27	14.65
Peso (t)	6.36	6.34	6.39
Humedad %	32.16	31.90	33.54

Promedio	32.53
----------	-------



Límites de Atterberg

L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
39.797	7.26



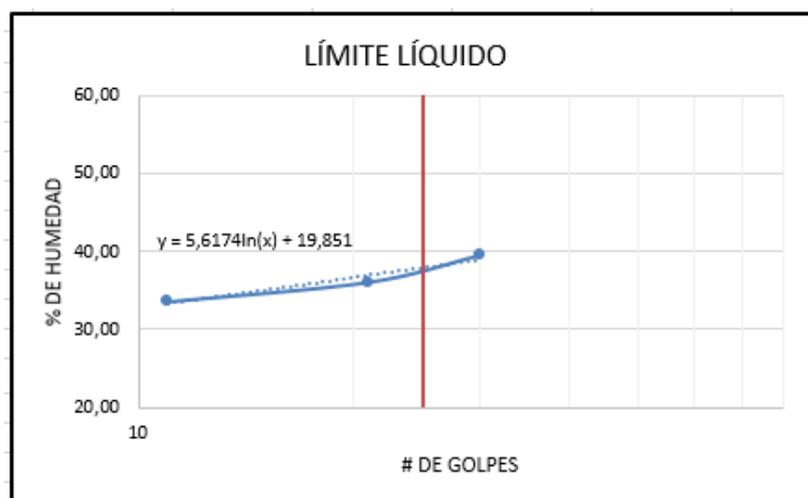
Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL = 2.00 - 4.00 M

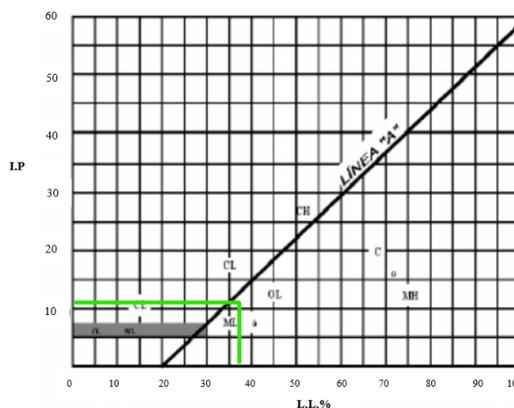
Límite Líquido

# Golpes	30	21	11
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.42	19.47	18.52
Peso (S+t)	18.77	16.52	15.8
Peso (t)	9.53	8.35	7.71
Humedad %	39.50	36.11	33.62

Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.36	17.5	16.28
Peso (S+t)	14.56	14.92	14.79
Peso (t)	6.48	6.34	6.39
Humedad %	34.65	30.07	17.74
Promedio	27.49		

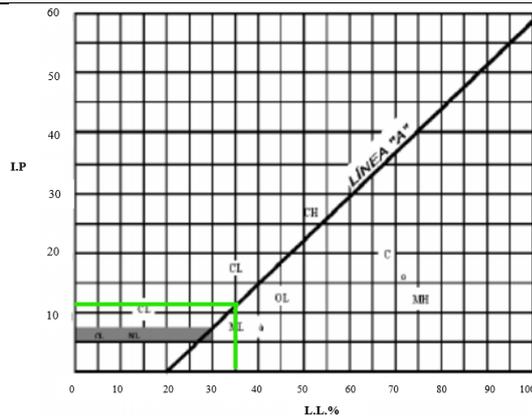


Límites de Atterberg	
L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
37.933	10.45



Clasificación SUCS: SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

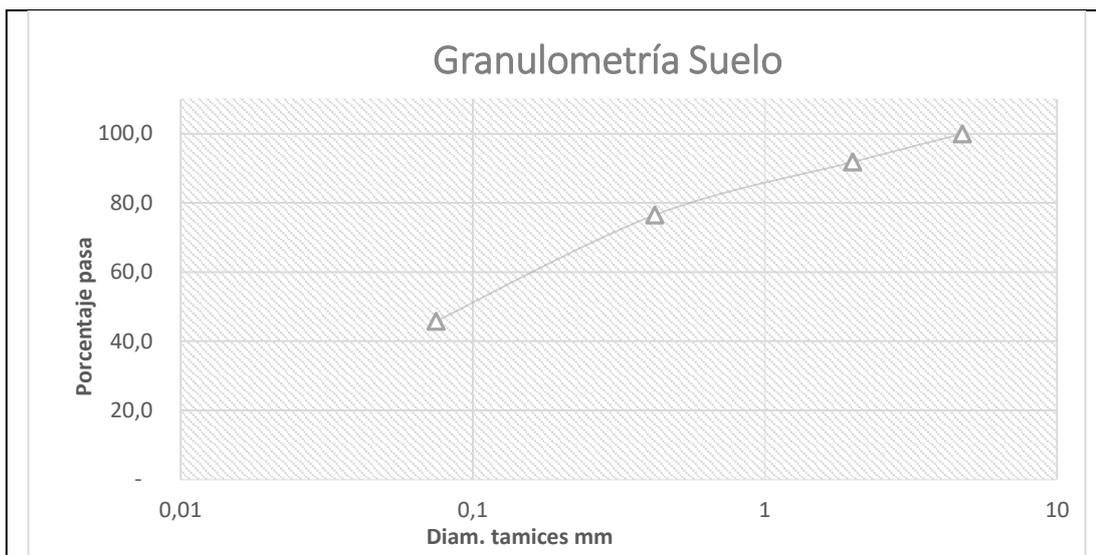
NIVEL = 4.00 -7.00 M			
Límite Líquido			
# Golpes	32	23	14
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	21.62	20.38	19.61
Peso (S+t)	18.97	16.97	15.89
Peso (t)	9.83	8.27	7.51
Humedad %	28.99	39.20	44.39
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.38	17.32	17.59
Peso (S+t)	15.97	15.27	14.82
Peso (t)	6.34	6.34	6.43
Humedad %	14.64	22.96	33.02
Promedio	23.54		
Límites de Atterberg			
L. Líquido (LL)		Índice de Plasticidad (IP)	
Eje X		Eje Y	
35.027		11.49	



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

J.5. Análisis granulométrico del sondeo 3.

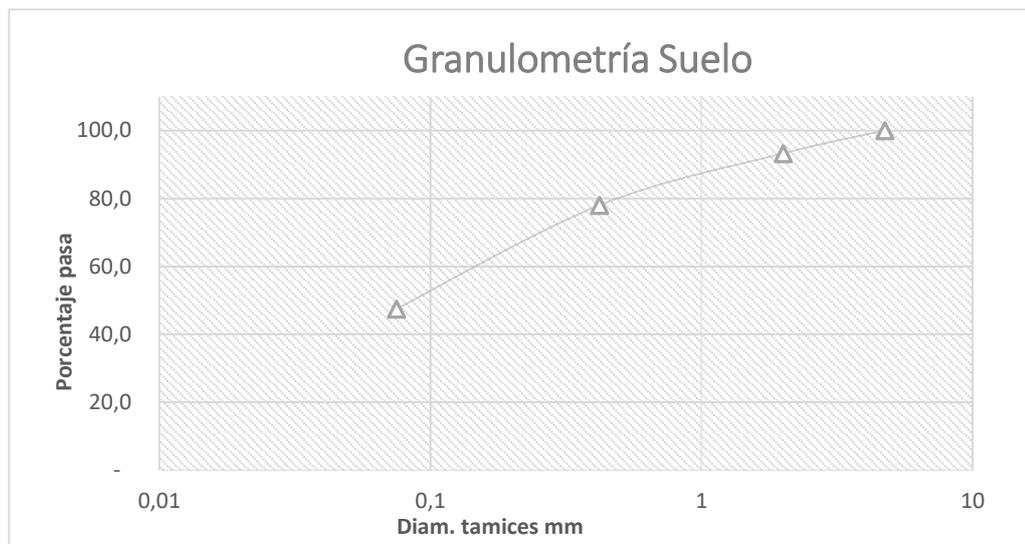
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Proyecto Analizado	“Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes”		
Localización	12 de Noviembre y Ambato, Baños de Agua Santa		
Muestra	Suelo Perforación III h = 1.0 – 7.0 M		
NORMA INEN 872			
NIVEL= 0.00 -2.00 M			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3” (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	33.1	8.1	91.9
#40 (0.42 mm)	95.6	23.5	76.5
# 200 (0.0075 mm)	220.7	54.2	45.8
Total	406.82	Humedad	4.20%



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL= 2.00 - 4.00 M

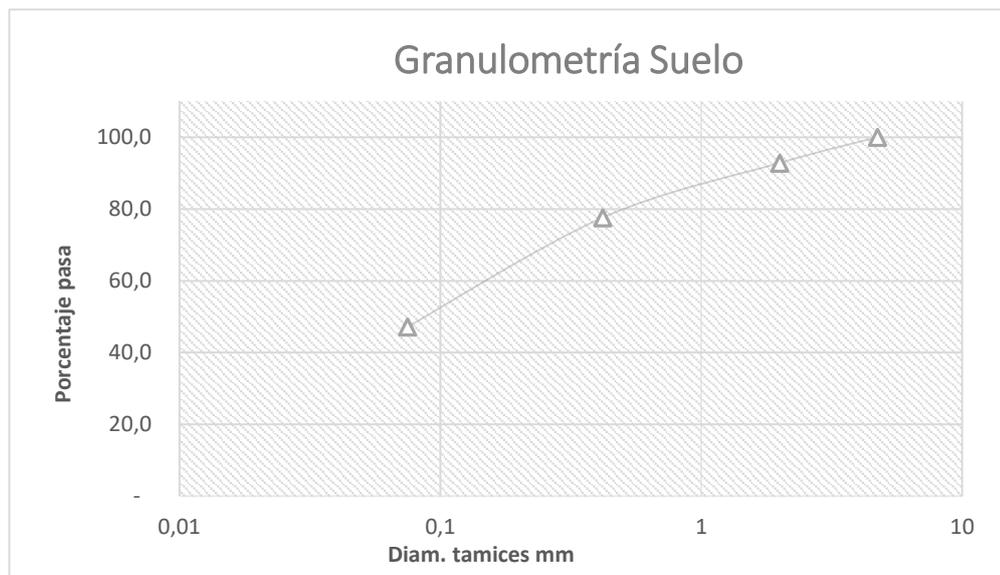
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	27.6	6.7	93.3
#40 (0.42 mm)	90.1	22.0	78.0
# 200 (0.0075 mm)	215.2	52.5	47.5
Total	409.68	Humedad	3.47 %



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL = 4.00 -7.00 M

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	29.4	7.2	92.8
#40 (0.42 mm)	91.9	22.4	77.6
# 200 (0.0075 mm)	217.0	52.8	47.2
Total	410.68	Humedad	3.22 %

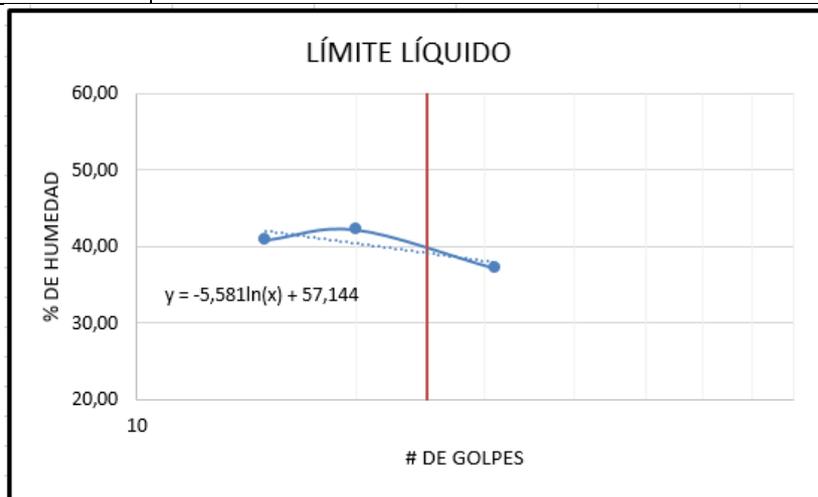


Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

J.6. Análisis de límites de consistencia del sondeo 3.

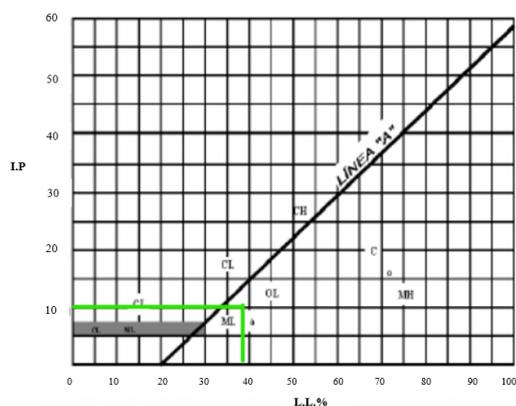
Suelo Perforación III h = 1,0 – 7,0 M			
NORMA INEN 691			
NIVEL= 0.00 -2.00 M			
Límite Líquido			
# Golpes	31	20	15
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	21.7	20.53	19.27
Peso (S+t)	18.4	16.92	15.78
Peso (t)	9.54	8.38	7.25
Humedad %	37.25	42.27	40.91
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.36	17.12	17.34
Peso (S+t)	14.92	14.86	14.72

Peso (t)	6.38	6.57	6.45
Humedad %	28.57	27.26	31.68
Promedio	29.17		



Límites de Atterberg

L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
39.18	10.01



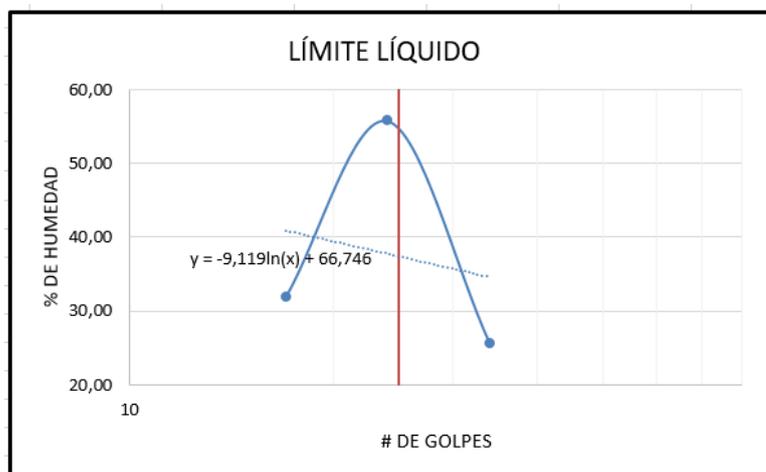
Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL = 2.00 - 4.00 M

Límite Líquido

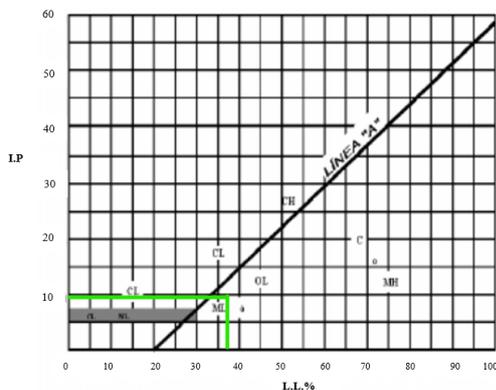
# Golpes	34	24	17
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	21.2	21.43	19.85
Peso (S+t)	18.76	16.79	16.82

Peso (t)	9.24	8.47	7.31
Humedad %	25.63	55.77	31.86
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	18.12	17.42	17.29
Peso (S+t)	15.65	15.11	14.83
Peso (t)	6.42	6.45	6.49
Humedad %	26.76	26.67	29.50
Promedio	27.64		



Límites de Atterberg

L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
37.393	9.75



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad)

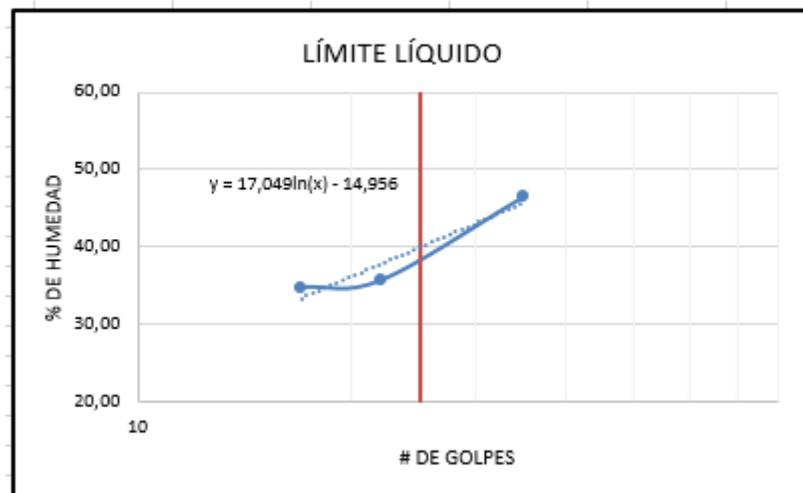
NIVEL = 4.00 -7.00 M

Límite Líquido

# Golpes	35	22	17
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.73	20.34	19.37
Peso (S+t)	18.58	17.21	16.28
Peso (t)	9.64	8.42	7.38
Humedad %	46.42	35.61	34.72

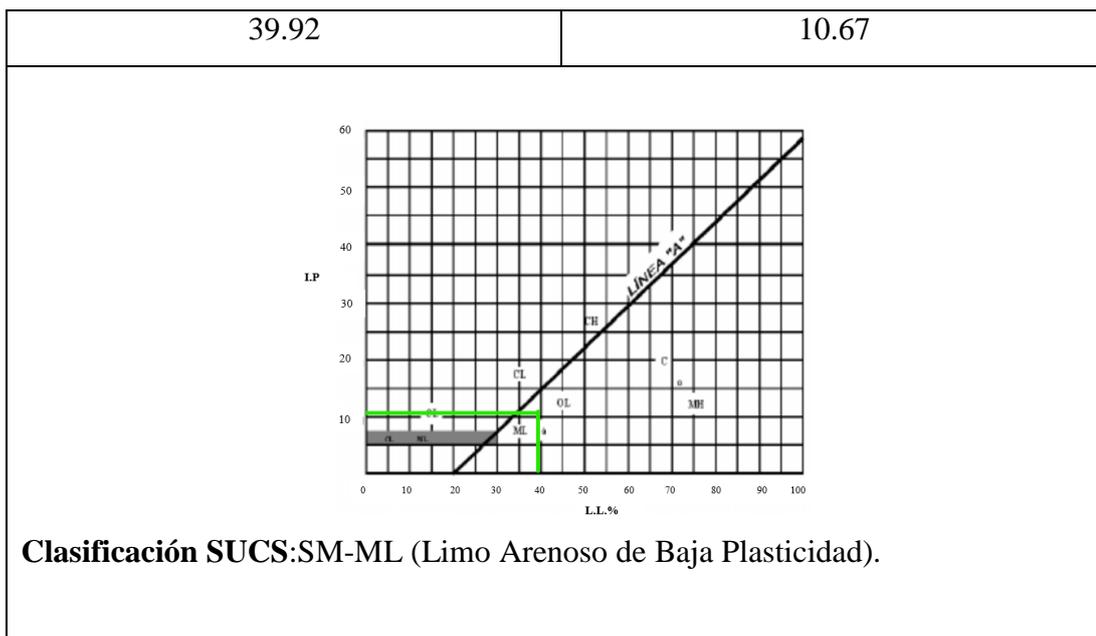
Límite Plástico

Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.72	17.23	17.05
Peso (S+t)	15.23	14.93	14.45
Peso (t)	6.41	6.57	6.33
Humedad %	28.23	27.51	32.02
Promedio	29.25		



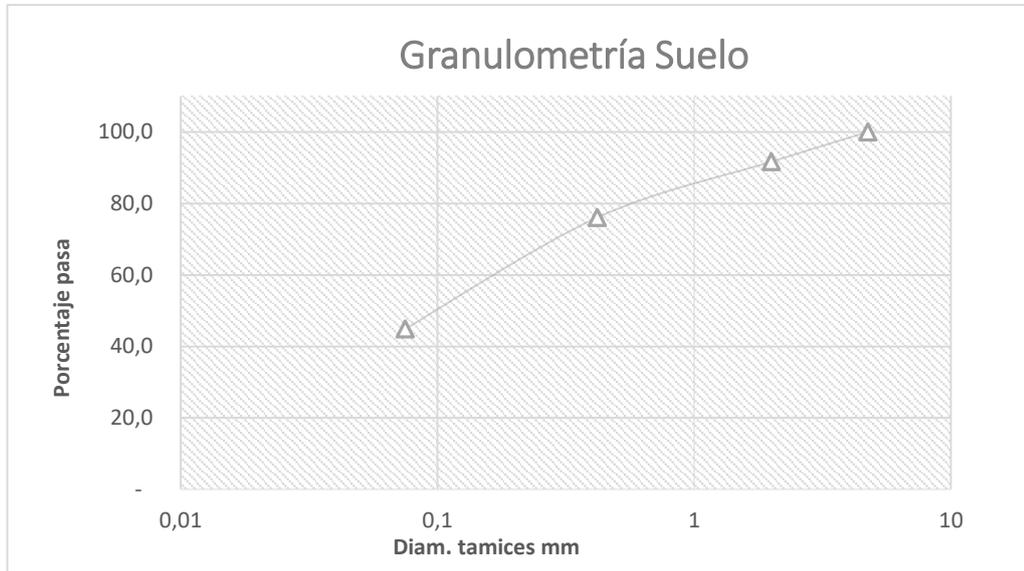
Límites de Atterberg

L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y



J.7. Análisis granulométrico del sondeo 4

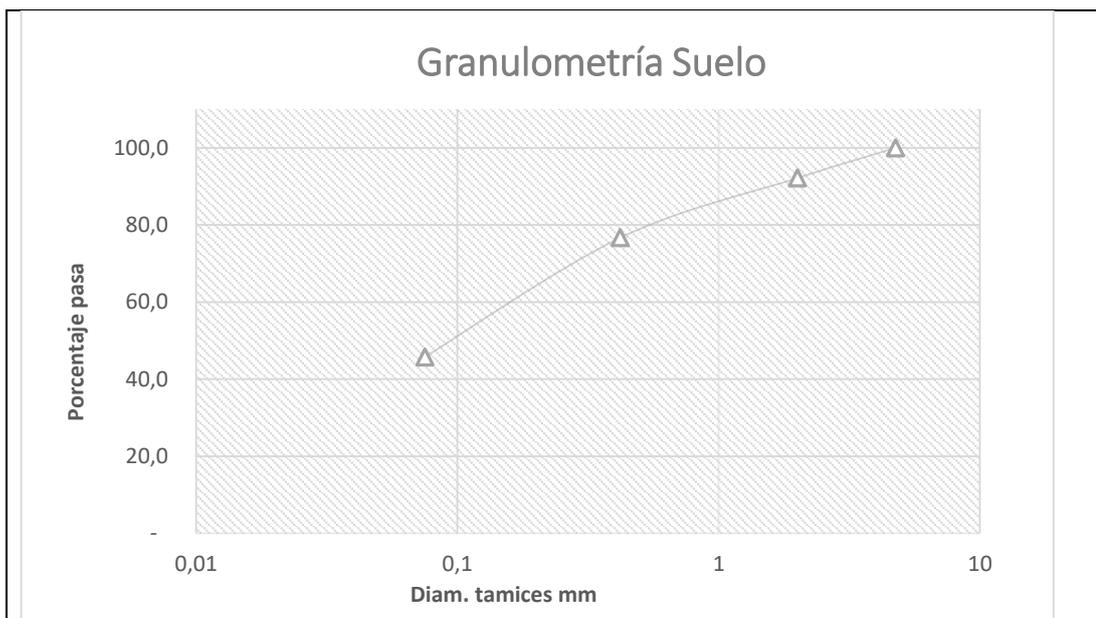
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
Proyecto Analizado	“Unidad Educativa Oscar Efrén Reyes”		
Localización	12 de Noviembre y Ambato, Baños de Agua Santa		
Muestra	Suelo Perforación IV h = 1.0 – 7.0 M		
NORMA INEN 872			
NIVEL= 0.00 -2.00 M			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3” (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	33.3	8.3	91.7
#40 (0.42 mm)	95.8	23.9	76.1
# 200 (0.0075 mm)	220.9	55.2	44.8
Total	400.51	Humedad	5.84%



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL= 2.00 - 4.00 M

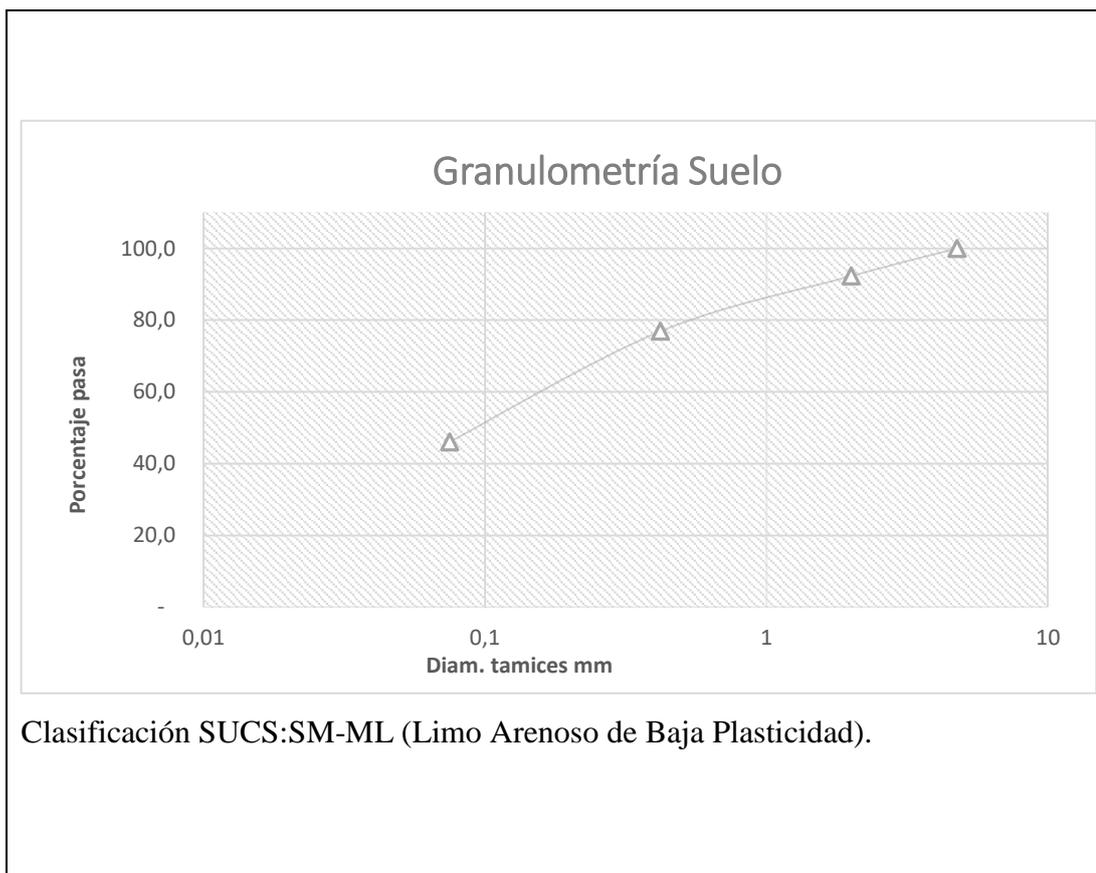
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	31.6	7.8	92.2
#40 (0.42 mm)	94.1	23.3	76.7
# 200 (0.0075 mm)	219.2	54.2	45.8
Total	404.07	Humedad	4.91 %



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL= 4.00 -7.00 M

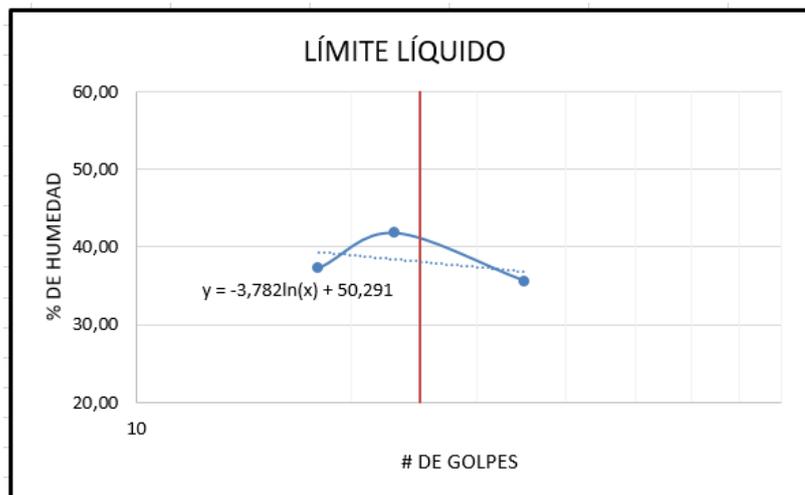
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3" (76.2 mm)	0	0	100
#4 (4.75 mm)	0	0	100
#10 (2.00 mm)	31.2	7.7	92.3
#40 (0.42 mm)	93.7	23.1	76.9
# 200 (0.0075 mm)	218.8	53.9	46.1
Total	405.76	Humedad	4.47 %



J.8. Análisis de límites de consistencia del sondeo 4

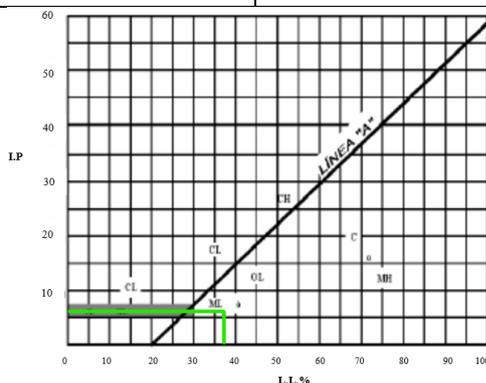
Suelo Perforación IV h = 1,0 – 7,0 M			
NORMA INEN 691			
NIVEL= 0.00 -2.00 M			
Límite Líquido			
# Golpes	35	23	18
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.2	21.12	19.45
Peso (S+t)	18.93	17.35	16.29
Peso (t)	9.75	8.32	7.81
Humedad %	35.62	41.75	37.26
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.61	17.38	17.48
Peso (S+t)	14.93	14.74	14.96

Peso (t)	6.41	6.59	6.53
Humedad %	31.46	32.39	29.89
Promedio	31.25		



Límites de Atterberg

L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
38.117	6.87



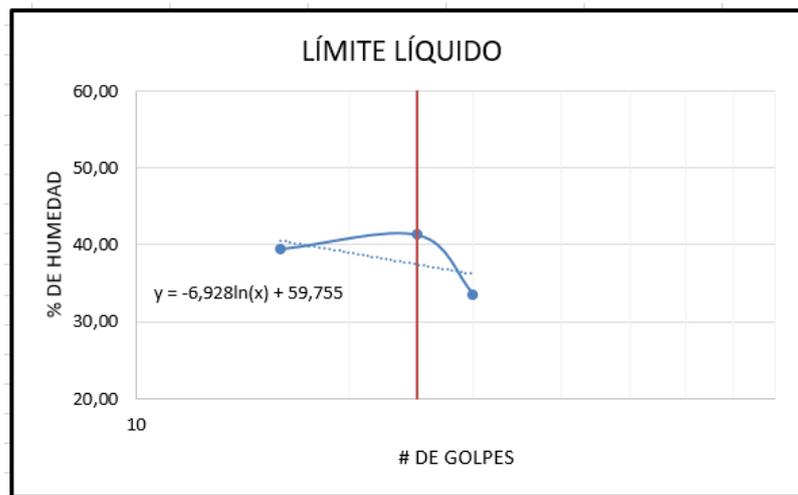
Clasificación SUCS: SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

NIVEL = 2.00 - 4.00 M

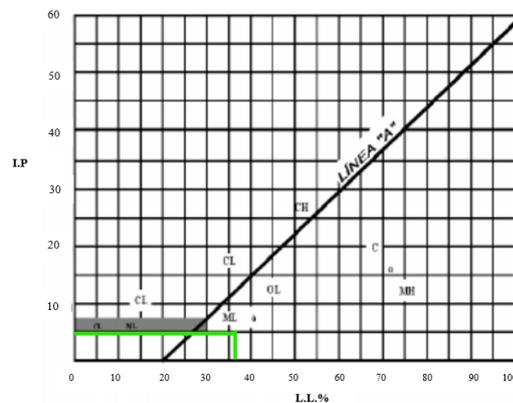
Límite Líquido

# Golpes	30	25	16
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.39	21.32	19.65
Peso (S+t)	19.21	17.53	16.29
Peso (t)	9.71	8.35	7.77

Humedad %	33.47	41.29	39.44
Límite Plástico			
Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.74	17.29	17.52
Peso (S+t)	14.85	14.71	14.84
Peso (t)	6.36	6.51	6.5
Humedad %	34.04	31.46	32.13
Promedio	32.55		



Límites de Atterberg	
L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
37.454	4.91



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

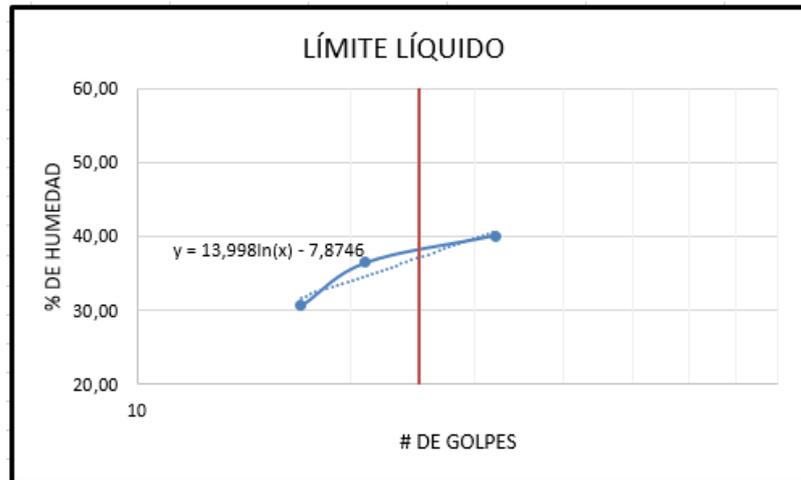
NIVEL = 4.00 -7.00 M

Límite Líquido

# Golpes	32	21	17
Muestra	1	2	3
Peso (H+t)	22.43	19.76	18.37
Peso (S+t)	18.78	16.73	15.79
Peso (t)	9.67	8.42	7.37
Humedad %	40.07	36.46	30.64

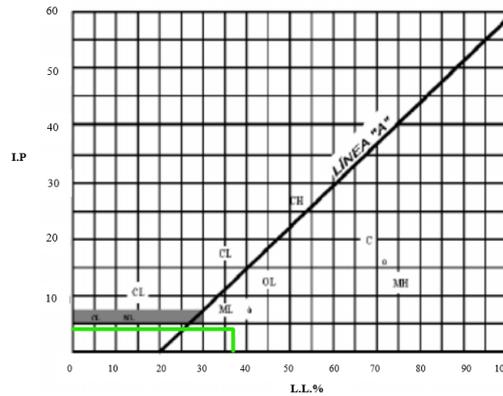
Límite Plástico

Muestra	4	5	6
Peso (H+t)	17.62	17.26	17.56
Peso (S+t)	14.95	14.64	14.72
Peso (t)	6.41	6.48	6.53
Humedad %	31.26	32.11	34.68
Promedio	32.68		



Límites de Atterberg

L. Líquido (LL)	Índice de Plasticidad (IP)
Eje X	Eje Y
37.183	4.50



Clasificación SUCS:SM-ML (Limo Arenoso de Baja Plasticidad).

ANEXO k. Velocidades de corte obtenidas a partir del N_{SPT}

K.1 velocidades de corte – SPT 1

Profundidad (m)	N SPT (PROMEDIO)	N SPT (TOTAL)	Vs30 (m/s)	PROMEDI O Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil (NEC)
0.00				273.71	
0.50					
1.00	Limpieza				
1.15	4	13	205.84		
1.30	6				
1.45	7				
1.50	Limpieza				
1.65	6	16	219.94		TIPO D
1.80	7				
1.95	9				
2.00	Limpieza				
2.15	7	18	228.36		
2.30	8				
2.45	10				
2.50	Limpieza				
2.65	10	27	259.89		

2.80	12			
2.95	15			
3.00	Limpieza			
3.15	12			
3.30	15	32	274.36	
3.45	17			
3.50	Limpieza			
3.65	17			
3.80	20	42	299.23	
3.95	22			
4.00	Limpieza			
4.15	18			
4.30	22	45	305.88	
4.45	23			
4.50	Limpieza			
4.65	21			
4.80	24	49	314.31	
4.95	25			
5.00	Limpieza			
5.15	22			
5.30	23	50	316.34	
5.45	27			
5.50	Limpieza			
5.65	18			
5.80	22	45	305.88	
5.95	23			
6.00	Limpieza			
6.15	21			
6.30	24	49	314.31	
6.45	25			
6.50	Limpieza			
6.65	22	50	316.34	

TIPO D

TIPO D

TIPO D

TIPO D

6.80	23			
6.95	27			
7.00	Limpieza			

K.2. Velocidades de corte – SPT 2

Profundidad (m)	N SPT (PROMEDIO)	N SPT (TOTAL)	Vs30 (m/s)	PROMEDIO Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil (NEC)
0.00				272.03	
0.50					
1.00	Limpieza				
1.15	5	11	195.16		TIPO D
1.30	5				
1.45	6				
1.50	Limpieza				
1.65	6	13	205.84		
1.80	6				
1.95	7				
2.00	Limpieza				
2.15	7	16	219.94		TIPO D
2.30	8				
2.45	8				
2.50	Limpieza				
2.65	10	25	253.59		TIPO D
2.80	12				
2.95	13				
3.00	Limpieza				
3.15	12	32	274.36		TIPO D
3.30	15				
3.45	17				
3.50	Limpieza				
3.65	15	36	284.87		

3.80	17				
3.95	19				
4.00	Limpieza				
4.15	20				
4.30	23	50	316.34		
4.45	27				
4.50	Limpieza				
4.65	22				
4.80	25	55	326.10		TIPO D
4.95	30				
5.00	Limpieza				
5.15	24				
5.30	27	58	331.68		
5.45	31				
5.50	Limpieza				
5.65	20				
5.80	23	50	316.34		TIPO D
5.95	27				
6.00	Limpieza				
6.15	22				
6.30	25	55	326.10		
6.45	30				
6.50	Limpieza				
6.65	24				
6.80	27	58	331.68		TIPO D
6.95	31				
7.00	Limpieza				

K.3. Velocidades de corte –SPT 3

Profundidad (m)	N SPT (PROMEDIO)	N SPT (TOTAL)	Vs30 (m/s)	PROMEDIO Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil (NEC)
--------------------	---------------------	------------------	---------------	------------------------	----------------------------

0.00					
0.50					
1.00	Limpieza				
1.15	5				
1.30	7				
1.45	8	15	215.45		
1.50	Limpieza				
1.65	8				
1.80	9				
1.95	10	19	232.33		
2.00	Limpieza				
2.15	10				
2.30	12				
2.45	13	25	253.59		
2.50	Limpieza				
2.65	10				
2.80	12				
2.95	15				
3.00	Limpieza				
3.15	12				
3.30	15				
3.45	17	32	274.36		
3.50	Limpieza				
3.65	15				
3.80	17				
3.95	19	36	284.87		
4.00	Limpieza				
4.15	17				
4.30	20				
4.45	22	42	299.23		
4.50	Limpieza				
4.65	18	46	308.04		
				277.06	TIPO D
					TIPO D
					TIPO D
					TIPO D

4.80	21				
4.95	25				
5.00	Limpieza				
5.15	22				
5.30	25	52	320.32		
5.45	27				
5.50	Limpieza				
5.65	17				
5.80	20	42	299.23		TIPO D
5.95	22				
6.00	Limpieza				
6.15	18				
6.30	21	46	308.04		
6.45	25				
6.50	Limpieza				
6.65	22				
6.80	25	52	320.32		
6.95	27				
7.00	Limpieza				

K.4. Velocidades de corte – SPT 4

Profundidad (m)	N SPT (PROMEDIO)	N SPT (TOTAL)	Vs30 (m/s)	PROMEDIO Vs30 (m/s)	Tipo de Perfil (NEC)
0.00					
0.50					
1.00	Limpieza				
1.15	5				
1.30	5	11	195.16	272.03	
1.45	6				
1.50	Limpieza				
1.65	6	13	205.84		TIPO D

1.80	6			
1.95	7			
2.00	Limpieza			
2.15	7			
2.30	8	16	219.94	
2.45	8			
2.50	Limpieza			
2.65	10			
2.80	12	25	253.59	
2.95	13			
3.00	Limpieza			
3.15	12			
3.30	15	32	274.36	
3.45	17			
3.50	Limpieza			
3.65	15			
3.80	17	36	284.87	
3.95	19			
4.00	Limpieza			
4.15	20			
4.30	23	50	316.34	
4.45	27			
4.50	Limpieza			
4.65	22			
4.80	25	55	326.10	
4.95	30			
5.00	Limpieza			
5.15	24			
5.30	27	58	331.68	
5.45	31			
5.50	Limpieza			
5.65	20	50	316.34	
				TIPO D

5.80	23				
5.95	27				
6.00	Limpieza				
6.15	22	55	326.10	TIPO D	
6.30	25				
6.45	30				
6.50	Limpieza				
6.65	24	58	331.68		
6.80	27				
6.95	31				
7.00	Limpieza				