UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL

Tema: ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS FUNCIONES DE IMPEDANCIA EN LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA PARA EDIFICACIONES DE ACERO EN SUELOS INTERMEDIOS DE LA CIUDAD DE AMBATO - ECUADOR

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas.

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyecto de titulación con Componentes de Investigación Aplicada y/o Desarrollo.

Autor: Ing. Juan Javier Cañizares Proaño.

Director: Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega, Mg.

Ambato – Ecuador

2025

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg., e integrado por los señores: Ing. Lourdes Gabriel Peñafiel Valla Msc e Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, PhD, designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS FUNCIONES DE IMPEDANCIA EN LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA PARA EDIFICACIONES DE ACERO EN SUELOS INTERMEDIOS DE LA CIUDAD DE AMBATO – ECUADOR" elaborado y presentado por el señor Ing. Juan Javier Cañizares Proaño, para optar por el Titulo de cuarto nivel de Magíster Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, MSc

Miembro del Tribunal

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, PhD

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS FUNCIONES DE IMPEDANCIA EN LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA PARA EDIFICACIONES DE ACERO EN SUELOS INTERMEDIOS DE LA CIUDAD DE AMBATO – ECUADOR, le corresponde exclusivamente a: Ing. Juan Javier Cañizares Proaño, Autor bajo la Dirección de Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega, Mg. Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Juan Javier Cañizares Proaño

c.c.: 1804455374

AUTOR

Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega, Mg.

c.c.: 1715218911

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Juan Javier Cañizares Proaño

C.C.: 1804455374

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA……i

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACION……ii

DERECHOS DE AUTOR……iv

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS……v

ÍNDICE DE TABLAS……viii

ÍNDICE DE FIGURAS……ix

CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN……1

1.1. Introducción……1

1.2. Justificación……2

1.3. Objetivos……3

1.3.1. Objetivo General……3

1.3.2. Objetivos Específicos……3

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO……4

2.1. Antecedentes investigativos……4

2.2. Fundamentación científica……8

2.2.1. Efectos de interacción suelo estructura……8

2.2.2. Clasificación de los perfiles del suelo……11

2.2.3. Aceleración pico del suelo PGA……12

2.2.4. Coeficientes sísmicos……13

2.2.5. Comportamiento esperado de la edificación……15

CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO……16

3.1. Equipos y materiales 16
3.1.1. Equipos 16
3.1.2. Materiales 17
3.2. Tipo de investigación 18
3.3. Población o muestra 18
3.4. Recolección de información 18
3.5. Procesamiento de la información 19
3.5.1. Modelo de base rígida 20
3.5.2. Modelos de Interacción suelo-estructura (ISE) 20
3.3. Recolección de datos 21
3.3.1. Planos de la edificación 21
3.3.2. Ubicación 25
3.3.3. Características de la estructura 26
3.3.4. Características del suelo 30
3.3.5. Análisis sismo tectónico 31
3.4. Materiales 31
3.4.1. Determinar la significancia del análisis suelo estructura 34
3.4.2. Determinación de la velocidad de onda de corte baja promedio 35
3.4.3. Cálculo del módulo de cortante de suelo efectivo 39
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45
4.1. Espectro de respuesta 45
4.2. Modelación de la estructura 50
4.4. Participación de la masa modal 54

4.5. Derivas de piso 55
4.6. Derivas de piso con ise 59
..... 63
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68
5.1. Conclusiones 69
5.2. Recomendaciones 70
BIBLIOGRAFÍA 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de suelo según la velocidad de ondas de corte [30]. 11
Tabla 2. Equipos 16
Tabla 3. Factores de amplificación dinámica del sitio 31
Tabla 4. Especificaciones técnicas del proyecto. 31
Tabla 5. Factor Zg 37
Tabla 6. Datos de entrada 40
Tabla 7. Rigidez en la cara de la fundación 41
Tabla 8. Corrección de profundidad 41
Tabla 9. Rigidez final 42
Tabla 10. Rigidez en la cara de la fundación 43
Tabla 11. Corrección de profundidad 43
Tabla 12. Rigidez final 44
Tabla 13. Espectros elásticos y diseño según NEC-SE-DS 47
Tabla 14. Modo de vibración 53
Tabla 15. Periodo de vibración máximo con base rígida e ISE 54
Tabla 16. Modo de vibración 54
Tabla 17. Validación del cortante estático y dinámico 55
Tabla 18. Derivas de piso 56
Tabla 19. Resumen de resultados Derivas Base Empotrada Vs ISE 62
Tabla 20. Detalle de los sondeos realizados 88
Tabla 21. Norma para los 3 tipos de sondeos 88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos cinemáticos e inerciales de la cimentación suelo [4]. 9

Figura 2. La flexibilidad del suelo impacto significativo en el desplazamiento lateral y en el período. [23] 10

Figura 3. Modelo 1 GDL, de un sistema masa resorte. [13] 10

Figura 4. Fallas geológicas que cruzan la ciudad de Ambato, líneas entre cortadas rojas, fallas inversas, líneas negras fallas normales [17] 13

Figura 5. Espectro Elástico de Aceleraciones para el Sismo de Diseño. [13] 14

Figura 6. Planta baja 21

Figura 7. Primera Planta. 22

Figura 8. Segunda Planta 23

Figura 9. Tercera Planta 24

Figura 10. Fachada frontal 25

Figura 11. Ubicación de Google earth del lugar de investigación. [24] 25

Figura 12. Geometría de la placa Deck. [12] 26

Figura 13. Propiedades de la placa Deck 27

Figura 14. Propiedades de las vigas principales 28

Figura 15. Propiedades de las vigas secundarias 28

Figura 16. Propiedades de las columnas 29

Figura 17. Implantación a escala del suelo 30

Figura 18. Propiedad del material 32

Figura 19. Tipo de material 33

Figura 20. Elementos de acero estructural 33
Figura 21. Elementos de hormigón armado 34
Figura 22. Velocidad de onda de corte baja promedio [25] 35
Figura 23. Espectro de respuesta de diseño [26, 27] 36
Figura 24. Máxima aceleración del suelo [26, 26] 37
Figura 25. Velocidad de onda de corte efectiva [27] 38
Figura 26. Módulo de corte efectivo [27] 39
Figura 27. Parámetro para ingreso de datos 40
Figura 28. Espectro de diseño 46
Figura 29. Modelación de la estructura 50
Figura 30. Asignación de carga muerta 51
Figura 31. Asignación de carga viva 52
Figura 32. Periodo fundamental de vibración 53
Figura 33. Participación de la masa modal 54
Figura 34. Derivas de piso 56
Figura 35. Cálculos de la rigidez lateral, vertical y rotacional Springs para suelo limo-arenoso 57
Figura 36. Cálculos de la rigidez lateral, vertical y rotacional Springs para suelo arcilla blanda 58
Figura 37. Derivas de piso con ISE 59
Figura 38. Reacciones de base rígida vs ISE 60
Figura 39. Desplazamientos de base rígida vs ISE 61
Figura 40. Grafica Derivas Sx Empotramiento Rigido vs ISE 62

Figura 41. Grafica Derivas Sy Empotramiento Rígido vs ISE 63
Figura 42. Grafica Periodo de vibración por tipo de empotramiento 63
Figura 43. Ingreso de datos para limo-arenoso 64
Figura 44. Mallado de resultados para limo-arenoso 65
Figura 45. Grafica de desplazamientos totales para limo arenoso 65
Figura 46. Grafica de líneas de influencia limo arenoso 66
Figura 47. Ingreso de datos para arcilla blanda 67
Figura 48. Mallado de resultados para arcilla blanda 67
Figura 49. Grafica de desplazamientos totales para arcilla blanda 68
Figura 50. Grafica de líneas de influencia limo arenoso 68
Figura 51. Registro de perforación sondeo N°1 81
Figura 52. Registro de perforación sondeo N°2 82
Figura 53. Registro de perforación sondeo N°3 83
Figura 54. Granulometría sondeo N°1 84
Figura 55. Granulometría sondeo N°2 85
Figura 56. Granulometría sondeo N°3 86
Figura 57. Gráfico esquema de penetración 87
Figura 58. Cuadro de resumen de parámetros determinados por el ensayo SPT. 90

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer este trabajo primero a Dios, pues aunque quisiera ser más cercano a él, sé que siempre me ha bendecido, con mi familia, con los éxitos y fracasos y con las situaciones adversas, que me han formado y enseñado que con él nunca estoy solo, quiero agradecer a todas las personas que me inspiran a ver las situaciones y tropiezos como enseñanza, a esas personas que forman parte de mi vida, mis amigos quienes siempre me ayudan, y aportan, espero ser también de aporte y motivación en sus vidas a través de este trabajo, a mis profesores y mentores de quienes he entendido el sacrificio que conlleva hacer las cosas bien por querer ser alguien que pueda contribuir algo útil en la vida, a mis hermanos que tuvieron la paciencia para encaminarme, a través de su ejemplo y su amor y nunca se rindieron conmigo y de los cuales estoy orgulloso y agradecido, a mis padres, porque a través de los años he entendido su lucha y su esfuerzo, y el haberme llevado a donde hoy estoy y ser quien soy en este momento de culminación académica, a mi novia Hasiel, y a mi pequeña hijita Amelia, que son y siempre serán la luz de mi vida, la razón de levantarme, y el motivo por el que corro la milla extra, quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a todas las personas y a la Universidad Técnica de Ambato que han contribuido a la realización de esta tesis de maestría, quiero agradecer a mi asesor de tesis, el Ingeniero Fernando Cañizares, por su dedicación, orientación y paciencia a lo largo de este proceso. Su sabiduría y apoyo fueron fundamentales para dar forma a esta investigación.

Gracias a todos por ser parte de este viaje académico y por su valioso aporte a mi crecimiento y desarrollo profesional.

Juan Javier Cañizares Proaño

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a la memoria de mi padre, quien siempre quiso lo mejor para mí, y que, aunque ya no esté presente, busco aún su consejo, aprender de él, y convertirme en un mejor hombre para mí, mi familia y mis amigos, quiero dedicar mi trabajo a mi hijita, mi pedazo de cielo, mi dulce Amelia, ese regalo de Dios en mi vida, a mi esposa Hasiel quien ha creído en mí y en lo que soy capaz desde que estamos juntos, Te amo!, a mi madre, que ha sido mi ejemplo de fortaleza y esfuerzo, siempre me saco adelante,. A mi hermano César, que ha sido desde que tengo memoria como un padre y un guía, te admiro, no sabes lo importante que fuiste, eres y serás siempre en mi vida, gracias., A mi hermana Paulina, quien siempre fue como una madre, y a la cual agradezco infinitamente el nunca dejar de insistir conmigo, gracias por creer en mí., A mi hermana Estefy, por permitirme aprender de ti, aunque yo sea mayor, eres una mujer llena de virtudes e inteligencia, gracias por inspirarme a ser como tú., A mi hermana Diana, gracias por ser esa amiga con la que puedo hablar y de la que siempre recibo apoyo.

Dedico esta tesis a las personas que han sido mi inspiración, y me han brindado apoyo y amor a lo largo de este viaje académico.

A mis amigos, quienes han estado en lo bueno y en lo malo, risas, preocupaciones y momentos de aprendizaje en todo este camino.

A mi asesor de tesis, y profesores por su sabiduría, paciencia y guía. Sus conocimientos y dedicación fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

A todos los que han formado parte de este viaje, quienes han compartido su tiempo, experiencia y conocimiento, les agradezco profundamente por su contribución a este logro.

Juan Javier Cañizares Proaño

RESUMEN EJECUTIVO

El diseño de edificios convencional, se realiza comúnmente basándose en supuestos de que la estructura está fijada al suelo y su base es rígida, es así que la interacción suelo estructura puede marcar una diferencia en cómo se comportan los edificios durante un terremoto y en consecuencia en cómo se diseñan, el objetivo de la presente investigación fue determinar qué tanta influencia tiene la interacción suelo estructura sobre las derivas de piso a través de la implementación de las funciones de impedancia, todo esto dependiente de la altura de la edificación, profundidad del cimiento, velocidad de onda de corte promedio efectiva, y periodo de vibración de la estructura, entendiendo que la respuesta de una estructura emplazada sobre un suelo intermedio (Vs menor a 360m/s), es diferente a como si se tratara de un suelo infinitamente rígido, ante la solicitación dinámica de un sismo, por lo tanto, es necesario el análisis de este tipo de estructuras sobre cimentaciones flexibles, mediante la implementación de resortes elásticos y efectos de amortiguamiento del suelo.

En el desarrollo del proyecto se analizó si existe aumento de derivas de piso implementando la ISE basándose en los parámetros de la guía de la FEMA P 2091, ASCE 7-16, la microzonificación sísmica de Ambato, un ensayo de suelos realizado en el sitio de estudio de la estructura, un estrato blando a manera de ejemplo y un modelo matemático.

Como resultado de esta situación en particular no existió una gran diferencia entre las derivas de piso del modelo 1 estructura de base empotrada, y el modelo 2 en sitio, con la incorporación de una base flexible, pero si con el modelo de estrato blando con base flexible, evidenciando un cambio en el periodo de vibración de la estructura, y también las derivas de piso.

Finalmente se concluyó que en este caso la ISE(Interacción Suelo Estructura) no tomó un papel significante en la estructura con una Vs mayor a 360m/s, y que el diseño a través de la consideración totalmente empotrada es un método que se acerca mucho a la realidad, tomando en consideración que los parámetros del emplazamiento, también se consideran para el incremento de la carga sísmica actuante en la edificación, convirtiendo el método en una opción eficiente, practica y económica, mientras que por otro para un estrato con una Vs entre 180 y 360m/s se evidencio que existe una subestimación, en cuanto a derivas, cargas y periodo de vibración, concluyendo que la ingeniería estructural debería avanzar en los estudios de refracción sísmica de los diferentes sectores en la ciudad, para poder mejorar la eficiencia de los diseños, sobre todo en rellenos, y suelos propensos a la licuefacción.

DESCRIPTORES: DERIVAS DE PISO, FEMA P2091, FLEXIBILIDAD, INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA, RESORTES, VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE.

EXECUTIVE SUMMARY

Conventional building design is commonly carried out under the assumption that the structure is fixed at its base and the foundation is rigid. However, soil-structure interaction (SSI) can significantly influence the seismic performance of buildings and, consequently, their design. The objective of this research was to evaluate the extent to which SSI affects interstory drifts through the implementation of impedance functions. This analysis depends on various factors such as building height, foundation depth, effective average shear wave velocity (Vs), and the fundamental vibration period of the structure. It is well understood that a structure founded on an intermediate soil (with Vs less than 360 m/s) responds differently under dynamic seismic excitation compared to one on an infinitely rigid base. Therefore, it becomes necessary to analyze such structures considering flexible foundations by implementing soil springs and damping effects

In the development of this study, the influence of SSI on interstory drifts was assessed using parameters provided by FEMA P-2091, ASCE 7-16, the seismic microzonation of Ambato, an in-situ geotechnical investigation, a soft soil stratum as a reference example, and a mathematical model.

The results showed that, for this particular case, there was no significant difference in interstory drifts between Model 1 (structure with a fixed-base assumption) and Model 2 (structure with a flexible-base on the actual site). However, a notable difference was observed in the model incorporating a soft soil layer with a flexible base, which exhibited changes in both the vibration period and interstory drifts of the structure.

It was concluded that, in this case, SSI did not play a significant role for the structure built over soil with Vs greater than 360 m/s. Thus, designing based on a fully fixed-base assumption is a practical, efficient, and economical approach, especially considering that site-specific parameters are also included when determining the seismic loading on the structure. Conversely, for soil strata with Vs values between 180 and 360 m/s, the study showed that such assumptions lead to underestimations in

interstory drifts, seismic demands, and structural periods. Therefore, it is recommended that structural engineering efforts incorporate seismic refraction studies across various zones of the city to enhance design efficiency, particularly in areas with artificial fill or soils susceptible to liquefaction.

KEYWORDS: STORY DRIFTS, FEMA P-2091, FLEXIBILITY, SOIL-STRUCTURE INTERACTION, SPRINGS, SHEAR WAVE VELOCITY.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

El propósito de este esta investigación es estudiar la interacción suelo-estructura y el impacto que tiene en su desempeño estructural, tanto en el diseño, así como en la construcción de edificaciones, enfocado a la ciudad debido a su alta sismicidad dado que su reseña histórica relata sobre el suceso más significativo, el terremoto de 1949 mismo que provocó daños y dejo un precedente de temor e incertidumbre en la población, en gran medida por el tipo y cantidad de fallas existentes, tomando en cuenta que la forma en que una estructura responde a las fuerzas sísmicas está intrínsecamente ligada a las características del suelo en el que se asienta. Esta relación entre el suelo y la estructura se convierte en un elemento esencial en el desarrollo de edificaciones sismorresistentes.

Ambato se encuentra ubicado en una zona geográfica sísmicamente activa de Ecuador, pudiendo destacar 3 sectores, huachi, totoras y el centro de la ciudad, destacando la presencia de suelos tipos C y D es decir intermedios, los cuales añaden un nivel adicional de complejidad a esta interacción sobre todo debido a la utilización de métodos tradicionales de base rígida, comúnmente conocida como empotramiento perfecto situación que se aleja a lo real, dando como producto final el método por el estudio de las funciones de impedancia en la interacción suelo estructura para comparar la disipación sísmica del método tradicional vs el anteriormente dicho.

Esta investigación busca contribuir al conocimiento existente en el campo de la ingeniería sísmica y geotécnica, proporcionando información valiosa para ingenieros, diseñadores y profesionales involucrados en la construcción de edificaciones en suelos intermedios en Ambato y, en última instancia, mejorar la capacidad de la región para hacer frente a los desafíos sísmicos.

A medida que avanzamos en esta investigación, nos adentramos en un campo de estudio crítico para la seguridad y el desarrollo sostenible de Ambato, demostrando que la comprensión de la interacción suelo-estructura es esencial en la búsqueda de un futuro más resiliente y seguro para esta comunidad.

1.2. Justificación

Cuando se diseña una estructura basándose en principios sismorresistentes, el objetivo principal es que durante una solicitación sísmica importante (sismo de diseño) la estructura no colapse, se mantenga en pie lo suficiente para permitir la evacuación, salvaguardando las vidas humanas tanto dentro como fuera de la misma, debido a que adoptar medidas antisísmicas, encarecería económicamente los proyectos, sean estos en hormigón o acero, en la cual los requerimientos mínimos son dados por la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC) [1], el Instituto Americano del Concreto y el Instituto Americano de Construcción en Acero (ACI - AISC, por sus siglas en inglés) [2] [3].

Estudios realizados indican que la interacción del suelo y la estructura podría tener una gran influencia en el comportamiento sísmico de edificios, pero hay poca implementación de estos por los ingenieros en ejercicio. Las estructuras se diseñan para sufrir daños controlados, mediante investigaciones es posible estimar el comportamiento que tendrá la estructura en base a sus solicitaciones sísmicas, particulares de cada caso, en relación con su forma, en planta y elevación, y más específicamente en el tema de estudio, su cimentación, razón por la cual resulta más eficiente comprender la relación de esta con el suelo. En la práctica actual esto se aplica solamente a proyectos grandes y críticos, como plantas atómicas, puentes, estaciones subterráneas, represas, estructuras marítimas, requiriendo una experiencia especializada [4].

La realidad del país y más específicamente de la ciudad, mostro suelos con variada estratigrafía, haciéndose indispensable un estudio de mecánica de suelos en el sitio de

emplazamiento de la estructura a construir, con lo que se acercó a la realidad presente, todo esto se enfocó a obtener una predicción aproximada del comportamiento estructural en relación con su suelo circundante, donde fue uno de los parámetros importantes la velocidad de onda de corte(Vs) del suelo, debido a que una Vs alta implica una rigidez relativa mayor entre la estructura y el suelo, lo que tiene un impacto en la distribución de las fuerzas, deformaciones y vibraciones de la estructura. Se uso técnicas y recomendaciones para la asignación de resortes, mediante la programación de funciones de impedancia, en función de las características geométricas del suelo, recomendadas por [5].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Estudiar y analizar la influencia de las funciones de impedancia en la interacción suelo-estructura en edificaciones de acero, sobre suelos intermedios de la ciudad de Ambato, Ecuador, para evaluar su impacto en el comportamiento y diseño de las estructuras.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento sísmico de las estructuras, para comprender la redistribución de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos provocados en el suelo.
- Comparar los resultados obtenidos de la estructura considerando o no la interacción suelo-estructura, y determinar las diferencias significativas en términos de seguridad y desempeño.
- Mediante el modelado de la estructura, proponer recomendaciones de diseño en las estructuras ubicadas en suelos intermedios de la ciudad de Ambato para mejorar la eficiencia de las construcciones civiles en la ciudad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Es recomendable realizar un estudio de suelos, previo a la construcción de cualquier estructura, todo esto para saber sobre qué base se construye y si es o no necesario un mejoramiento de este, con el fin de garantizar la inversión, funcionalidad, y resistencia de la edificación sobre todo durante un terremoto. En particular, la ciudad de Ambato se encuentra en una región con actividad sísmica importante, lo que hace que la consideración de la interacción suelo-estructura sea esencial para garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado de las edificaciones, y así se reduzca la probabilidad de colapso.

Según el estudio realizado por FEMA P-2091[27]. La metodología para la interacción suelo-estructura propuesto presento un modelo más cercano a la realidad, gracias a que muestra un comportamiento del suelo tomando características propias de cada estrato donde está emplazada la estructura, en la que se evidencia la interacción que existe a nivel de suelo con la estructura, siendo un aspecto fundamental en el diseño y análisis de edificaciones, especialmente en áreas sísmicamente activas. La utilización común de modelo empotrado no considera aspectos relevantes, por un lado, la disminución de las derivas, así mismo como la fuerza sísmica, así como también un aumento del periodo de vibración resultado de un mayor grado de flexibilidad de la estructura bajo la influencia de la interacción suelo-estructura.

De acuerdo con lo que dice Kausel [5], las funciones de impedancia juegan un papel crucial en la interacción suelo-estructura. Estas funciones describen las características de la transferencia de energía entre el suelo y la estructura durante un evento sísmico. Incluyen tanto la respuesta del suelo a la carga sísmica como la influencia de la estructura en la respuesta del suelo. Comprender y modelar adecuadamente estas

funciones es esencial para evaluar el comportamiento dinámico de las edificaciones de acero y hormigón en suelos intermedios de Ambato.

Uno de los aportes más relevantes en el estudio de la interacción suelo-estructura ha sido el desarrollado [5], quienes propusieron funciones de impedancia para cimentaciones apoyadas y embebidas en suelos estratificados. Estas funciones permiten modelar el comportamiento dinámico del suelo a través de parámetros que relacionan cargas aplicadas con desplazamientos o rotaciones en la fundación.

Las funciones de impedancia se componen de una parte real, que representa la rigidez dinámica del suelo, y una parte imaginaria, que considera el amortiguamiento asociado a la disipación de energía por radiación de ondas y comportamiento histérico del terreno. Estas funciones varían según el tipo de movimiento (traslacional, rotacional o torsional) y la geometría de la cimentación.

El uso de estas funciones es fundamental en el método de subestructuras, ya que permite desacoplar el análisis estructural del análisis del suelo, representando el apoyo mediante elementos elásticos equivalentes (resortes y amortiguadores). Esto posibilita una simulación más precisa del sistema suelo-estructura, especialmente en cimentaciones superficiales y en contextos donde el suelo presenta estratificación significativa.

En el contexto de la evaluación sísmica de edificaciones, estudios realizados después del terremoto del 16 de abril de 2016 en la ciudad de Bahía de Caráquez evidenciaron la importancia de considerar parámetros geofísicos adicionales en la caracterización del suelo. En dicho análisis, se realizaron estudios en 17 puntos estratégicos, clasificando 13 suelos como tipo “C” y 4 como tipo “D”. Sin embargo, se observó que incluso los suelos tipo “D” presentaban velocidades de onda de corte elevadas (Vs), lo que, según los criterios de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15), indica una buena capacidad de resistencia. [29].

En estudios recientes sobre la evaluación sísmica de Ambato, se ha realizado el cálculo de la peligrosidad sísmica en roca mediante un enfoque probabilístico, con el fin de

establecer espectros de diseño más representativos de la realidad geológica de la región. Este análisis contempló doce ramas metodológicas diferentes para estimar la amenaza sísmica, cuyos resultados fueron ponderados para generar un espectro de peligro sísmico uniforme, siguiendo las prácticas actuales recomendadas a nivel internacional.

El estudio organizó las fallas geológicas en 25 fuentes sísmicas, clasificadas en cinco interplaca, cuatro intraplaca y dieciséis corticales. Además, se emplearon seis ecuaciones de movimiento fuerte que, si bien se mencionan inicialmente, adquieren relevancia en capítulos posteriores del análisis, donde se abordan los factores de sitio y los espectros de control.

En la literatura especializada, se ha profundizado en la influencia de la interacción suelo-estructura (ISE) sobre la respuesta dinámica de edificaciones, especialmente en estructuras regulares de concreto armado. En este contexto, se abordan los conceptos fundamentales del análisis dinámico considerando dicha interacción, así como los métodos más representativos para su evaluación: el método de la subestructura y el propuesto por la guía FEMA 440.

Ambos enfoques permiten incorporar los efectos del suelo en los modelos estructurales. En el primero, se introducen constantes elásticas en la base de la edificación para modelar la flexibilidad del terreno, mientras que, en el segundo, se modifica el espectro de diseño reduciendo su amplitud para reflejar la disipación adicional de energía inducida por la ISE, sin necesidad de abandonar el supuesto de empotramiento rígido comúnmente usado por los ingenieros estructurales.

Se proporciona además un conjunto de fórmulas para calcular la rigidez dinámica y el amortiguamiento de cimentaciones superficiales (como losas de fundación), lo que facilita una mejor representación del comportamiento del suelo ante solicitaciones sísmicas. Utilizando estos métodos, se analizaron edificios de 4, 8 y 12 niveles sobre distintos tipos de suelo (arena densa y arcilla blanda), aplicando el análisis dinámico propuesto por la norma técnica peruana E030.

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en los periodos de vibración, fuerzas cortantes, deformaciones y derivas de piso, al comparar modelos con ISE frente a aquellos con base empotrada. Estas variaciones se acentúan en suelos con mayor degradación sísmica, evidenciando que considerar la interacción suelo-estructura aporta mayor realismo y precisión al diseño sísmico estructural [16].

La [30] establece directrices sobre la interacción suelo-estructura (SSI, por sus siglas en inglés), reconociendo su impacto en la respuesta dinámica de las edificaciones durante eventos sísmicos. Este fenómeno se refiere a la influencia mutua entre el comportamiento del suelo y el de la estructura, especialmente en términos de deformación y disipación de energía. A diferencia del enfoque tradicional que considera la base de la estructura como empotrada y rígida, el análisis con SSI incluye la flexibilidad del suelo, el amortiguamiento por radiación y el acoplamiento de movimientos en la base. La norma permite considerar SSI en el análisis estructural, aunque no lo exige de forma obligatoria. Su aplicación es recomendable cuando se esperan beneficios como la reducción de fuerzas sísmicas o una representación más realista del comportamiento estructural en suelos blandos. No obstante, para su uso se requiere contar con estudios geotécnicos detallados que definan las propiedades dinámicas del terreno y modelos estructurales que incluyan las rigideces y amortiguamientos apropiados en la cimentación. Si se pretende justificar reducciones en las demandas sísmicas mediante SSI, es obligatorio realizar análisis avanzados, como el análisis dinámico no lineal. El efecto más común al incluir la interacción suelo-estructura es el aumento del periodo natural del sistema, lo cual puede disminuir las aceleraciones de diseño, pero también generar mayores desplazamientos y derivas. Por esta razón, la ASCE 7-16 recomienda su uso solo cuando se tenga una modelación adecuada y justificada técnica y geotécnicamente, especialmente en proyectos especiales o ubicados en suelos deformables.

Hasta la fecha, se han realizado pocas investigaciones sobre la interacción suelo-estructura tomando en cuenta los diferentes contextos geotécnicos y geográficos del país. Hay una brecha de conocimiento en relación con la influencia de las funciones de

impedancia en las edificaciones de acero en suelos intermedios específicamente en la ciudad de Ambato. Dado que cada región tiene características geológicas y geotécnicas únicas, es fundamental realizar estudios específicos en áreas de alto riesgo sísmico para comprender cómo interactúan las estructuras de acero con el suelo circundante y cómo afecta esto al rendimiento de las edificaciones.

El objetivo de este trabajo es investigar y analizar la influencia de las funciones de impedancia en la interacción suelo-estructura para edificaciones de acero en suelos intermedios de la ciudad de Ambato, Ecuador. Se examinarán las propiedades geotécnicas del suelo y se llevarán a cabo análisis detallados utilizando métodos numéricos y herramientas de simulación avanzadas. Además, se considerarán diferentes escenarios sísmicos y se evaluará el comportamiento dinámico de las edificaciones de acero en función de las funciones de impedancia del suelo.

Los resultados de esta investigación proporcionarán información valiosa para los ingenieros y profesionales del campo de la ingeniería estructural en Ambato, permitiéndoles tomar decisiones informadas en el diseño y análisis de edificaciones de acero en suelos intermedios.

Se espera que los hallazgos contribuyan al desarrollo de recomendaciones y pautas específicas para mejorar la resiliencia sísmica de las estructuras en la región.

2.2. Fundamentación científica

2.2.1. Efectos de interacción suelo estructura

El efecto ISE (Interacción suelo estructura) es la modificación de las propiedades dinámicas relevantes de la estructura, así como las características del movimiento del suelo en la vecindad de la fundación.

De acuerdo con la norma mexicana CFE 2015 [9] los efectos de interacción suelo estructura (ISE), para suelos de mediana rigidez se deberán tomar en cuenta si cumple con la siguiente relación.

$$\frac{T_e H_s}{T_s H_e} \leq 2.5$$

Donde los términos de la ecuación representan: Te, es el periodo de la estructura de base rígida y He es la altura de la edificación, a su vez Ts y Hs es el periodo y el espesor de la estratigrafía del suelo. Esta expresión es un indicativo de la influencia de la ISE sobre una estructura sin embargo la obtención de estos parámetros direcciona hacia un análisis más detallado del suelo de fundación.

Los efectos cinemáticos generan influencia en el desplazamiento, cabeceo y torsión en la cimentación, así como efectos inerciales de alargamiento del fundamental de la estructura, modificación del amortiguamiento del suelo de fundación.

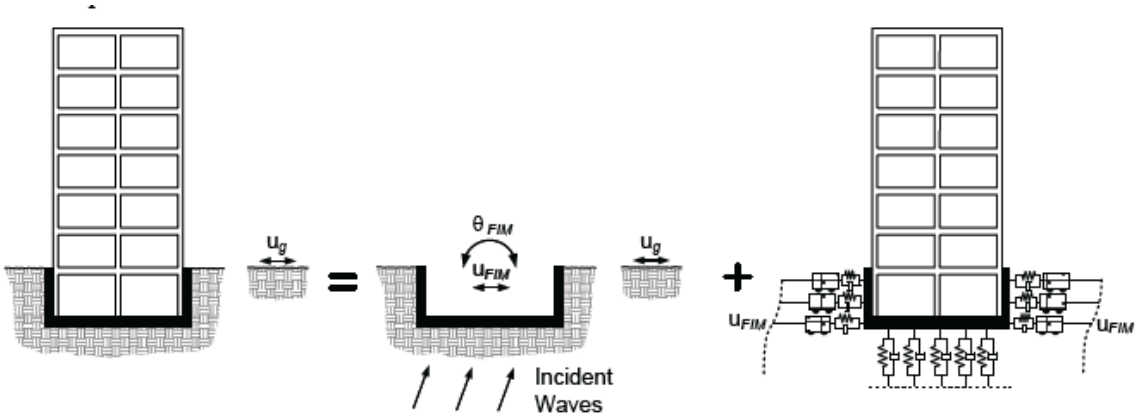


Figura 1. Efectos cinemáticos e inerciales de la cimentación suelo **[4]**.

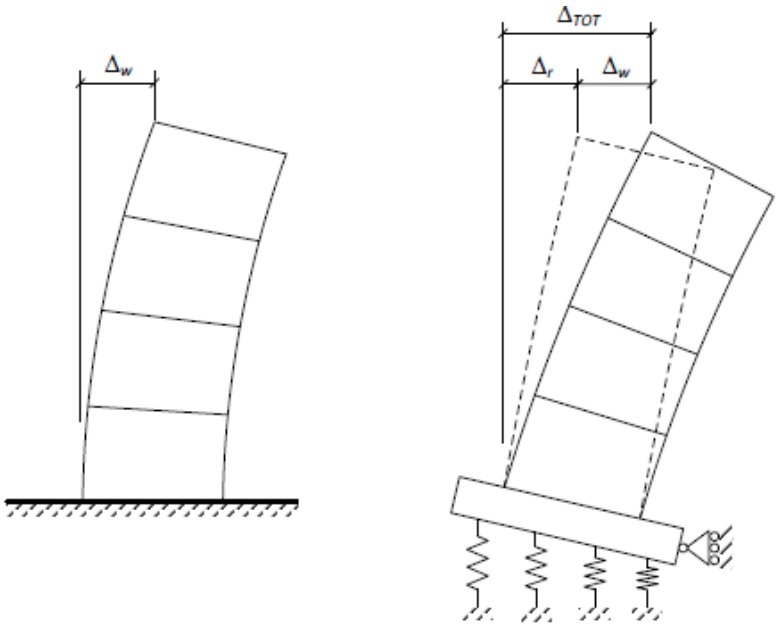


Figura 2. La flexibilidad del suelo impacto significativo en el desplazamiento lateral y en el período. **[23]**

El tratamiento matemático de la interacción suelo estructura se hace mediante la formulación de modelos de un grado de libertad o péndulo invertido con una masa concentrada y los resortes que simulan los efectos del suelo en un estado elástico lineal con tres traslaciones y tres rotaciones de grados de libertad.

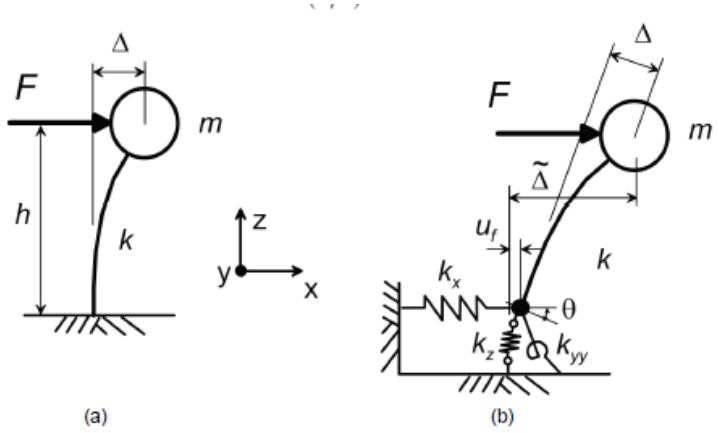


Figura 3. Modelo 1 GDL, de un sistema masa resorte. **[13]**

2.2.2. Clasificación de los perfiles del suelo

La clasificación es fundamental para evaluar el comportamiento sísmico de los suelos, ya que determina cómo se propagan las ondas sísmicas a través de distintos materiales geológicos. Los diferentes tipos de suelos se agrupan según su rigidez, variando desde rocas rígidas hasta suelos especiales, lo que influye directamente en la respuesta estructural ante un sismo.

Tabla 1. Tipos de suelo según la velocidad de ondas de corte **[30].**

Tipo	Descripción	Vs30 (m/s)
A	Roca rígida	>1500
B	Roca de rigidez media	760 a 1500
C	Suelos muy densos o roca	360 a 760
D	Suelos rígidos	180 a 360
E	Arcillas blandas	<180
F	Suelos especiales	-

- Roca (Vs30 > 760 m/s): Este tipo de suelo se caracteriza por una alta velocidad de onda de corte y una alta rigidez. Ofrece una excelente resistencia sísmica y es menos susceptible a la amplificación sísmica. Las estructuras construidas sobre roca suelen experimentar un movimiento sísmico moderado.
- Suelos Duros (360 m/s < Vs30 ≤ 760 m/s): Estos suelos tienen una velocidad de onda de corte moderada y una rigidez intermedia. Proporcionan una buena resistencia sísmica y son menos susceptibles a la amplificación sísmica en comparación con suelos más blandos. A menudo, las estructuras construidas sobre suelos duros experimentan movimientos sísmicos moderados.
- Suelos Intermedios (180 m/s < Vs30 ≤ 360 m/s): Los suelos intermedios tienen una velocidad de onda de corte más baja y son más propensos a experimentar amplificación sísmica. Las estructuras en estos suelos pueden experimentar movimientos sísmicos significativos, y se deben tomar precauciones de diseño para garantizar la seguridad.

- Suelos Blandos (Vs30 ≤ 180 m/s): Los suelos blandos tienen una velocidad de onda de corte baja y son altamente susceptibles a la amplificación sísmica. Las estructuras construidas sobre suelos blandos pueden experimentar movimientos sísmicos significativos, y es crucial el diseño y la construcción adecuados para mitigar el riesgo.

Es importante destacar que esta clasificación es general y puede variar según las normativas de diseño sísmico y las condiciones geotécnicas específicas de la región. Los ingenieros geotécnicos y estructurales utilizan la información de la Vs30 para realizar análisis de respuesta sísmica y diseñar estructuras adecuadas para las condiciones del sitio. La evaluación precisa de la Vs30 es esencial en la ingeniería sísmica para garantizar la seguridad de las estructuras y la población.

2.2.3. Aceleración pico del suelo PGA

Es importante tener en cuenta la aceleración pico del suelo ya que es la máxima aceleración del movimiento del suelo registrada durante un terremoto. Representa la intensidad del sacudimiento del suelo en un lugar específico y es uno de los parámetros más importantes para evaluar el impacto sísmico en estructuras y edificaciones se clasifica en tres tipologías:

- Bajo PGA (< 0.10 g): En áreas con un PGA bajo, la aceleración sísmica es relativamente pequeña. Las estructuras en estas áreas generalmente experimentan una baja carga sísmica y, por lo tanto, requieren menos refuerzo sísmico. Estas áreas suelen considerarse de bajo riesgo sísmico.
- Moderado PGA (0.10 g - 0.40 g): En áreas con un PGA moderado, la aceleración sísmica es de magnitud intermedia. Las estructuras en estas áreas pueden experimentar cargas sísmicas significativas, y se requiere un diseño y refuerzo sísmico adecuado para garantizar la seguridad de las estructuras. La mayoría de las áreas sísmicas caen en esta categoría.
- Alto PGA (> 0.40 g): En áreas con un PGA alto, la aceleración sísmica es sustancial y puede representar un riesgo significativo para las estructuras. Se

necesitan medidas de diseño y refuerzo sísmico rigurosas para garantizar la seguridad de las estructuras en estas áreas.

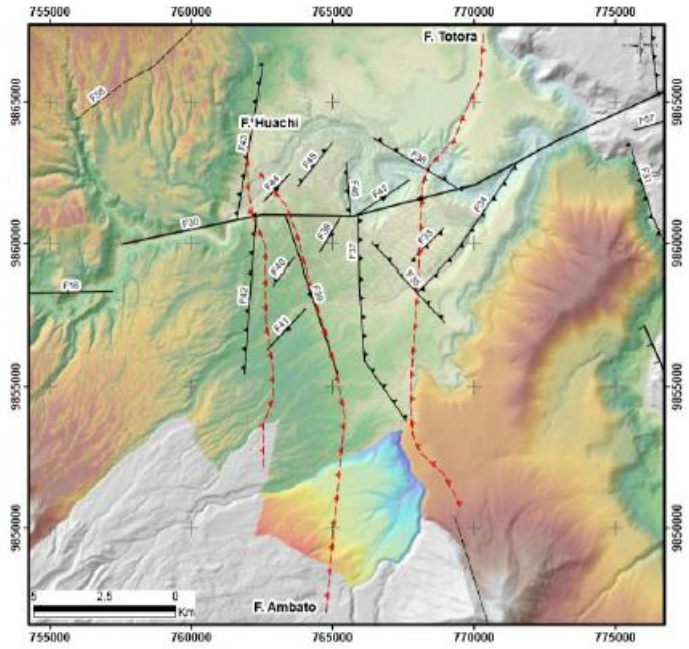


Figura 4. Fallas geológicas que cruzan la ciudad de Ambato, líneas entre cortadas rojas, fallas inversas, líneas negras fallas normales **[17]**

La evaluación del PGA del suelo es esencial para determinar la respuesta sísmica esperada de las estructuras y para diseñar medidas de mitigación de riesgos en áreas propensas a terremotos. Los ingenieros geotécnicos y estructurales utilizan información sobre el PGA del suelo para realizar análisis de respuesta sísmica y diseñar estructuras que puedan resistir las fuerzas sísmicas.

2.2.4. Coeficientes sísmicos

El Espectro Elástico de Aceleraciones para el Sismo de Diseño es una representación gráfica que muestra cómo varía la aceleración máxima que experimentará una estructura en función de su periodo natural de vibración, para un sismo de diseño específico.

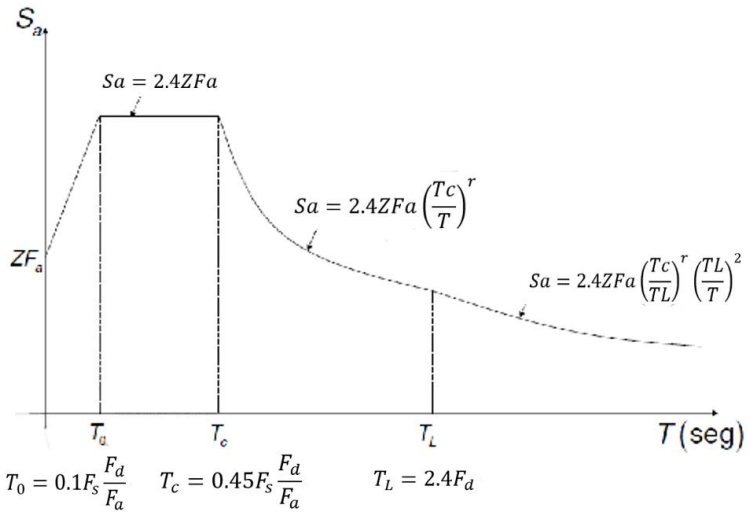


Figura 5. Espectro Elástico de Aceleraciones para el Sismo de Diseño. [13]

Donde:

N: Razón entre la aceleración espectral Sa y el PGA para el periodo de retorno seleccionado

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en zona de periodo corto

Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseños en roca

Fs: Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica.

Sa: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad

T: Periodo fundamental de vibración de la estructura

T0: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico

Tc: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones

Z: Aceleración máxima en roca esperada en el sismo de diseño

2.2.5. Comportamiento esperado de la edificación

1. Incremento en el período de vibración

Un suelo más flexible o menos rígido suele aumentar la flexibilidad global del sistema, lo que lleva a un incremento en el período de vibración de la estructura. Esto podría significar que, si la estructura es lo suficientemente flexible para pasar la meseta en el espectro de diseño, las fuerzas tenderían a disminuir con lo que los diseños podrían resultar más económicos.

2. Reducción del cortante basal

Con un mayor período de vibración, la estructura entraría en una zona de menor demanda sísmica en el espectro de respuesta, lo que reduciría la fuerza cortante basal. Este fenómeno ocurre porque los edificios con períodos más largos tienden a experimentar menores aceleraciones sísmicas en comparación con aquellos con períodos más cortos, lo cual reduciría las derivas de piso.

3. Modificación en la distribución de esfuerzos

La presencia de una base flexible podría redistribuir los esfuerzos internos en los elementos estructurales. Por ejemplo, se podría esperar un aumento de los momentos flectores en la base de columnas y cimentación, debido a los desplazamientos adicionales generados por la interacción con el suelo.

4. Mayor amortiguamiento debido a la disipación de energía en el suelo

Dependiendo de las propiedades del suelo, la disipación de energía por amortiguamiento podría aumentar, reduciendo en cierta medida la demanda sísmica sobre la estructura. Este efecto es más pronunciado en suelos blandos, donde la interacción entre la cimentación y el suelo absorbe parte de la energía sísmica entrante.

CAPITULO III

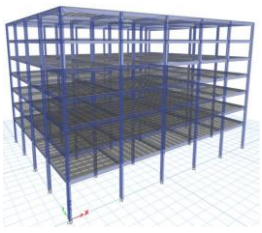
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Equipos y materiales

3.1.1. Equipos

En la Tabla 2 se detallan los equipos necesarios para la presente investigación

Tabla 2. Equipos

Equipos		
Nombre	Descripción	Imagen
Computador	Ordenador de alto rendimiento necesario para el análisis de datos y simulaciones y modelos matemáticos. Debe contar con mínimo 16Gb de procesamiento y memoria RAM para ejecutar software de modelado y simulación, con fluidez.	
Software Etabs V20	Para modelar la estructura de acero y simular la respuesta de la edificación bajo carga sísmica,	

Equipo SPT	Equipo compuesto de motor de 1.5hp. tripote, martinete, de 63.5kg, tubo receptor, para la obtención de la muestra de estratos, y con esto obtener los parámetros y clasificación del suelo de estudio.	
Tamices	Equipo de tamices para la realizar la clasificación de suelos a través de su granulometría, es decir el tamaño de las partículas que lo componen, desde el tamiz 0.002mm hasta el 2mm.	

3.1.2. Materiales

- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) sección NEC-SE-DS Peligro Sísmico, NEC-SE-CG-Cargas-No-Sísmicas.
- Norma de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos, (FEMA P2091) sección 2 Situaciones donde el ISE es importante, sección 6 Cimentación y flexibilidad del suelo.
- Informes geológicos y estudios de suelos en la ciudad de Ambato, que permitan identificar las características del suelo intermedio en la zona de estudio.
- Material bibliográfico
- Materiales de oficina (papel, lápices, esferos, calculadora, entre otros)

3.2. Tipo de investigación

La investigación adopta un enfoque aplicado al centrarse en la recopilación y análisis de datos de una misma estructura para su tipo de suelo de emplazamiento, pues este último es determinante en el comportamiento final de la edificación, buscando así una solución viable para abordar desafíos y problemas del mundo real, implica la aplicación práctica de conocimientos científicos o académicos con el objetivo de encontrar soluciones y mejoras en diversas áreas, como la ingeniería sísmica para lograr un comportamiento eficiente de las edificaciones frente a amenaza de sismo. Además, implica la búsqueda de datos y la revisión de normas para realizar una comparación de los datos obtenidos versus los datos especificados.

Esta investigación también se considera cuantitativa ya que se utilizaron datos del suelo en la ubicación especifica de la edificación además se analizarán las variables relacionadas con el comportamiento estructural de la edificación.

La investigación se divide en fases y se basa en la revisión bibliográfica de artículos científicos, libros, normas y guías con el fin de establecer la metodología adecuada para la determinación de los datos necesarios del estudio de suelos. También se examinan trabajos previos seleccionados con el tema de estudio donde se determinan el estado actual de la investigación en esta área específica.

3.3. Población o muestra

En este trabajo no se utilizará una muestra o población ya que su desarrollo corresponde al análisis de la interacción de una edificación con su suelo de fundación, basados en normativas y programas de software para su determinación.

3.4. Recolección de información

Documental: Para ello se utilizó tablas de resumen en donde se anotaron todos los datos relevantes de la bibliografía de consulta, planos de la edificación construida.

Fichaje: se empleó fichas de recolección de datos de los resultados realizados por los ensayos de suelos para determinar las características donde se colocará la imagen de la estratigrafía del perfil del suelo, así como también los datos de la onda de corte, también del modelado de la estructura en software ingenieril especializado.

Detallará las técnicas y los instrumentos utilizados, los cuales deberán ser validados, destacando el nivel de confiabilidad, validez y forma de aplicación. Estas técnicas e instrumentos se presentarán en los anexos.

3.5. Procesamiento de la información

A continuación, se detalla la metodología para la recopilación de información esencial que permitirá alcanzar los objetivos establecidos en este trabajo:

- Debido a la naturaleza de la investigación, que implica el uso de programas de modelado estructural en comparación con normativas, no será necesario llevar a cabo un análisis estadístico convencional.
- Se procederá a obtener los planos arquitectónicos y estructurales de una edificación de hormigón armado.
- Se identificará los materiales y el sistema estructural de la construcción.
- Se cuantificarán las cargas gravitacionales según el uso de cada área, utilizando como referencia los planos arquitectónicos.
- Determinarán los valores de irregularidad tanto en planta como en elevación de la edificación.
- Se calcularán las cargas sísmicas conforme a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS.
- Se obtendrán las características del suelo del sitio donde está ubicada la edificación.

Para llevar a cabo este trabajo de investigación, se empleará el software Etabs para modelar la estructura, teniendo en cuenta una base rígida y la interacción entre el suelo y la estructura.

3.5.1. Modelo de base rígida

- Modelar la estructura en el software Etabs de acuerdo con los planos arquitectónicos.
- Establecer las cargas y combinaciones en función de lo cuantificado y de la normativa aplicable.
- Obtener la respuesta estructural mediante un análisis basado en la NEC-15, utilizando un modelo tradicional de base rígida.
- Definir las propiedades no lineales del material y las rotulas plásticas en los elementos. Determinar las curvas de demanda y capacidad de la edificación, así como el punto de desempeño.
- Analizar los resultados obtenidos del modelo de base rígida.

3.5.2. Modelos de Interacción suelo-estructura (ISE)

- Modelar la estructura en el software Etabs acorde a los planos arquitectónicos.
- Establecer las cargas y combinaciones en función de lo cuantificado y de la normativa aplicable.
- Obtener la respuesta estructural mediante un análisis lineal basado en la NEC-15, utilizando un modelo tradicional de base rígida.
- Calcular la rigidez de la cimentación para incorporar a los springs, para el suelo de estudio, y para un suelo con mas baja Vs a manera de ejemplo.
- Analizar los resultados obtenidos de los dos modelos de ISE.

3.3. Recolección de datos

3.3.1. Planos de la edificación

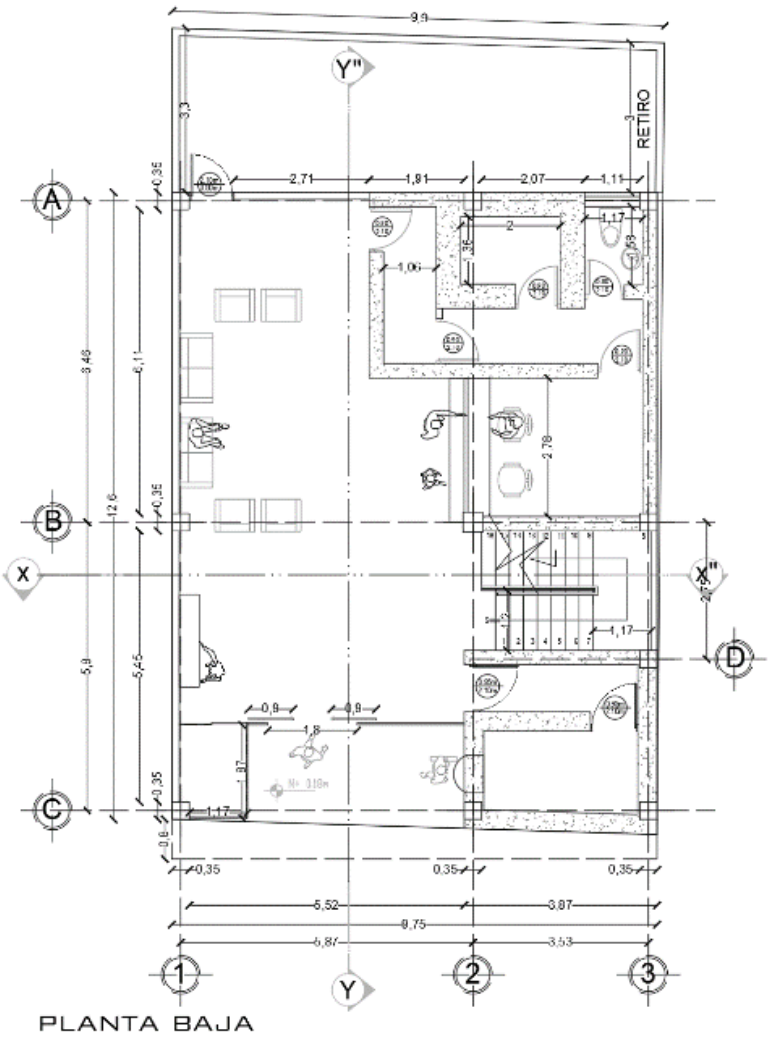


Figura 6. Planta baja

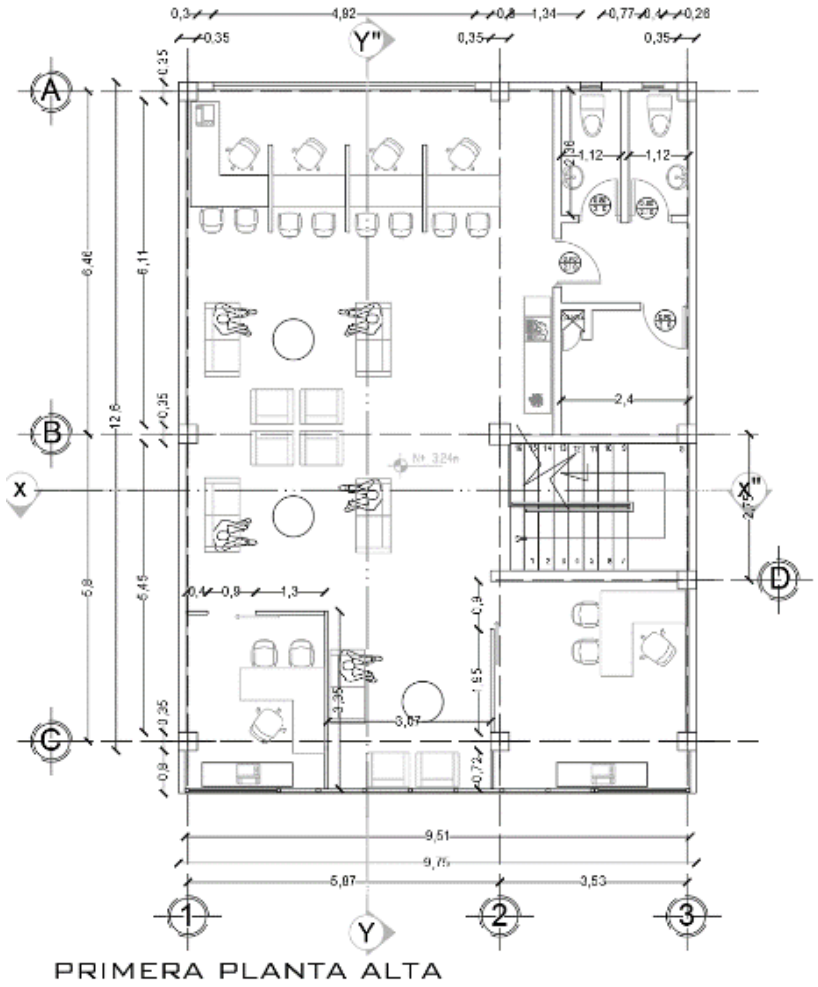


Figura 7. **Primera Planta.**

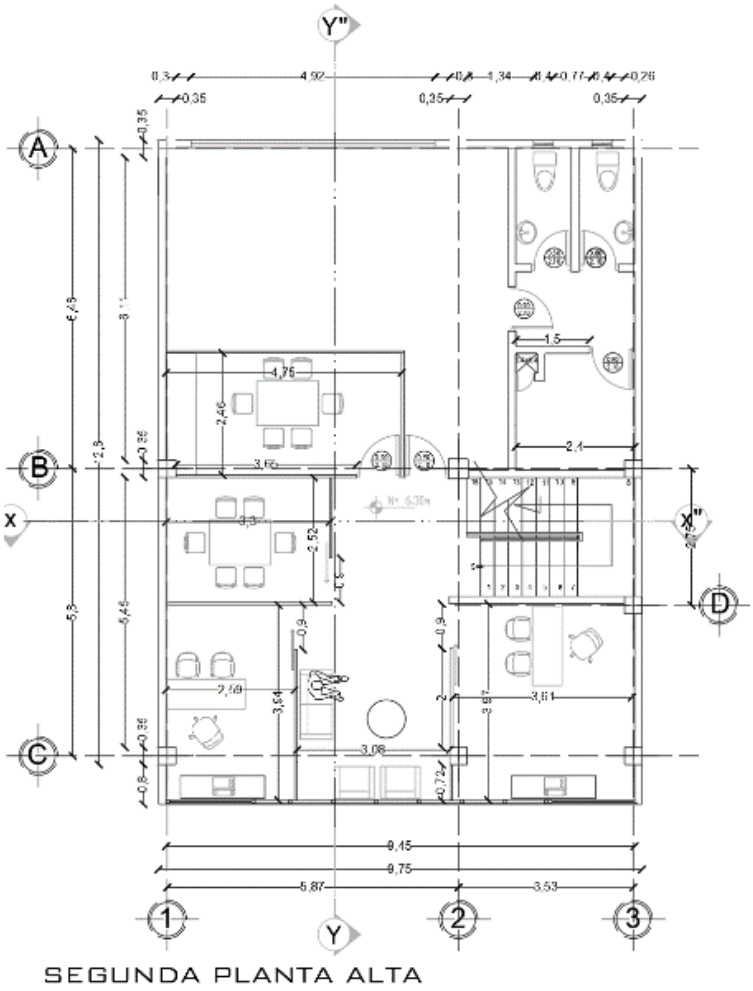


Figura 8. Segunda Planta

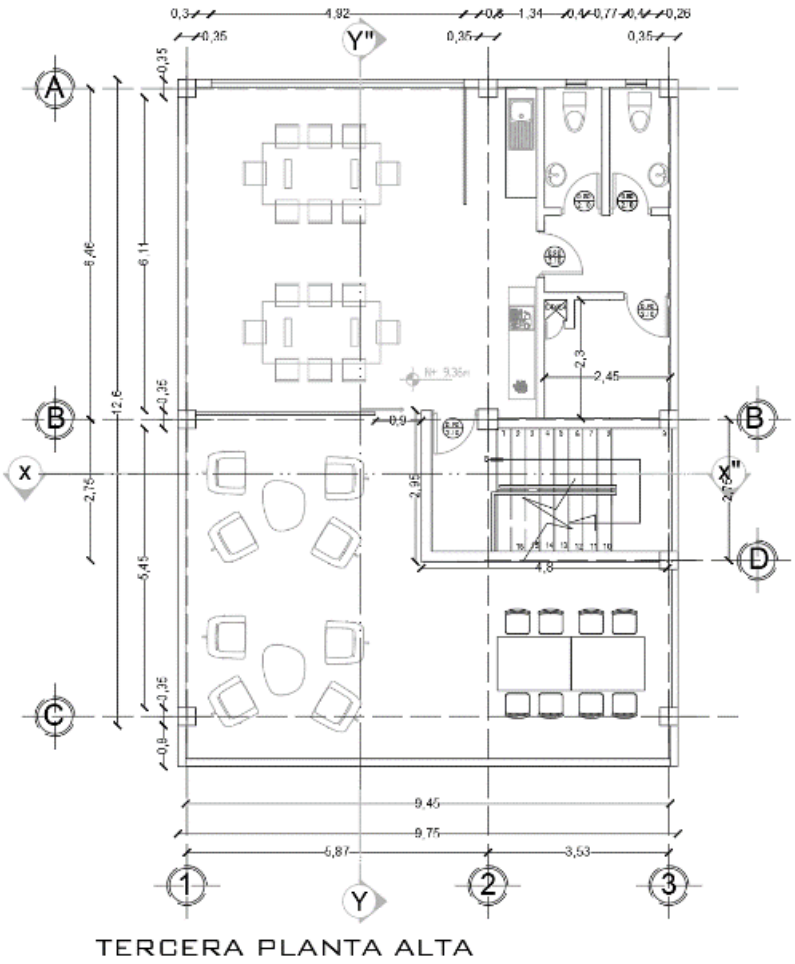


Figura 9. Tercera Planta

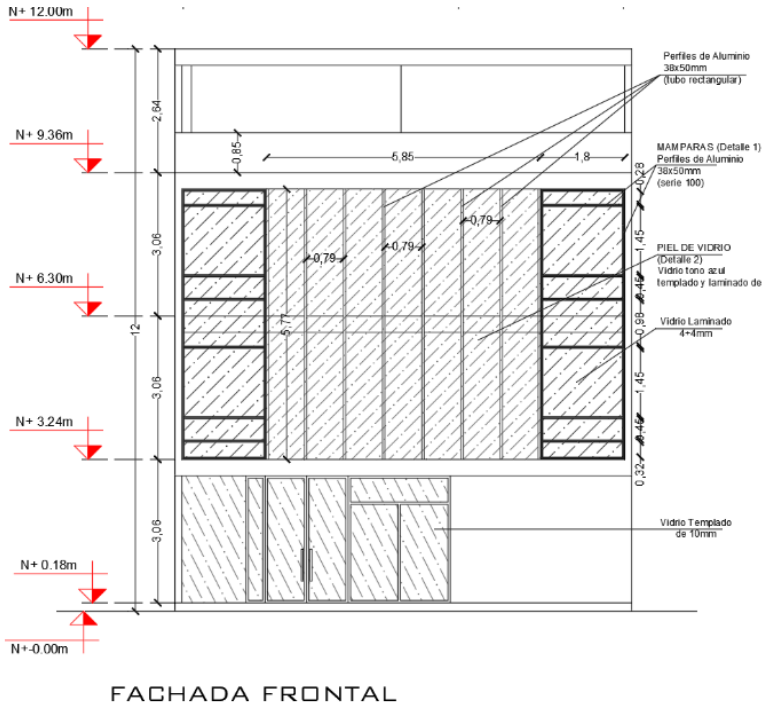


Figura 10. Fachada frontal

3.3.2. Ubicación

La ubicación del proyecto está en San Luis de Tigua, parroquia Pishilata, en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.



Figura 11. Ubicación de Google earth del lugar de investigación. **[24]**

Coordenadas:

Este: 768482.14 E.

Sur: 9860714.93 S.

3.3.3. Características de la estructura

El proyecto comprende la construcción de un edificio de 4 pisos con estructura metálica, usando el sistema "Special Moment Frame (SMF)", En el cálculo se utilizarán los siguientes materiales:

- **ASTM 572 Gr. 50 y ASTM A36:** Las columnas, vigas (principales y secundarias), también las escaleras estarán compuestas de Acero. Se debe tener en cuenta que el momento de la fabricación y montaje de estos elementos cumplan la resistencia mínima de fluencia especificado Fy la edificación está compuesta por planta baja, y 3 plantas altas, abarcando una superficie de 429.31m2 de construcción.
- **Losa Deck**: El pre-dimensionamiento de la placa colaborante o steel deck es definido a partir de catálogos del fabricante, en donde el objetivo del cálculo es encontrar el espesor de la placa que generalmente se encuentra en función de la carga viva sobre impuesta y de la luz máxima sin apuntalar según condiciones de apoyo**.**

Geometría Placa Deck

Lap máx	2.4	m	Longitud máxima de apuntalamiento
e	0.65	mm	Espesor placa deck
hr	5.5	cm	Altura del nervio de la placa deck
tc	6	cm	Altura por encima del nervio
ht	11.5	cm	Altura total de losa
wrt	19.6	cm	Ancho de lámina en la parte superior
wrb	13.4	cm	Ancho de la lámina en la parte inferior
sr	33	cm	Espaciamiento entre valles de la placa

Peso de la placa y volumen del hormigón / m²

Vol horm	0.09	m3/m²	Volumen de hormigón
w deck	6.38	kg/m²	Peso de la placa deck
w D horm	212	kg/m²	Peso del hormigón
w D losa deck	218.38	kg/m²	Peso total de la losa deck

Figura 12. Geometría de la placa Deck. **[12]**

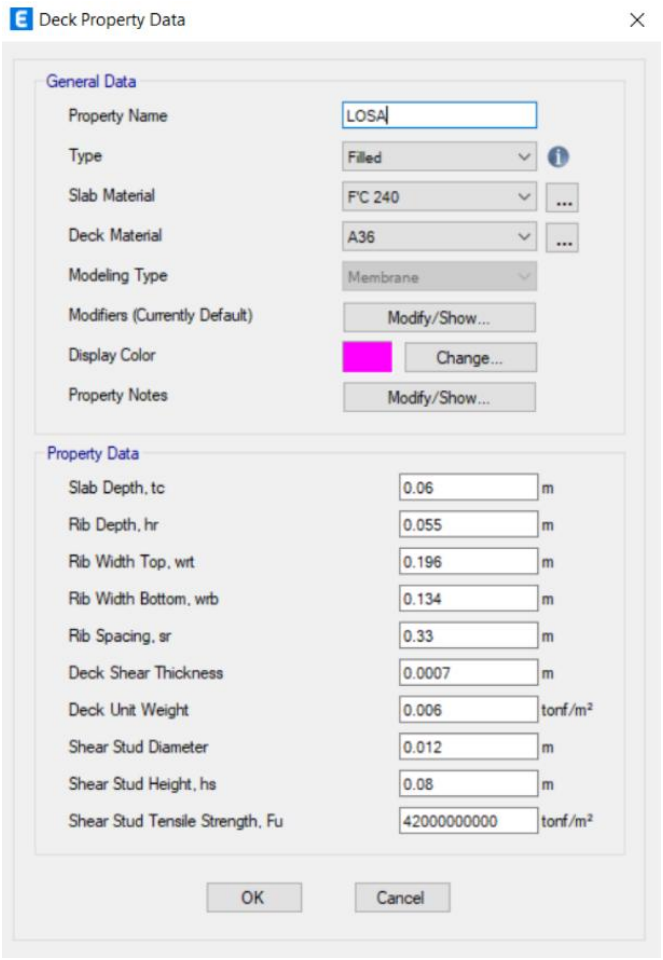


Figura 13. Propiedades de la placa Deck

- **Vigas Principales:** Para el pre dimensionamiento se inició con los siguientes datos, mismas que al ser analizados cumplen los requerimientos normados para miembros flexionados, es decir deben ser elementos compactos o sísmicos.

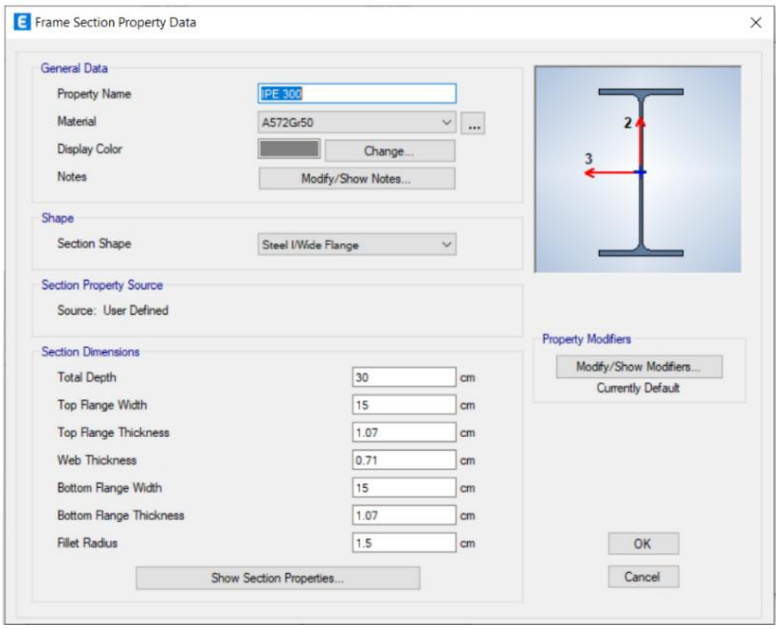


Figura 14. Propiedades de las vigas principales

- **Vigas Secundarias:** Para el pre dimensionamiento se inició con los siguientes datos, mismas que al ser analizados cumplen los requerimientos normados para miembros flexionados, es decir deben ser elementos compactos o sísmicos.

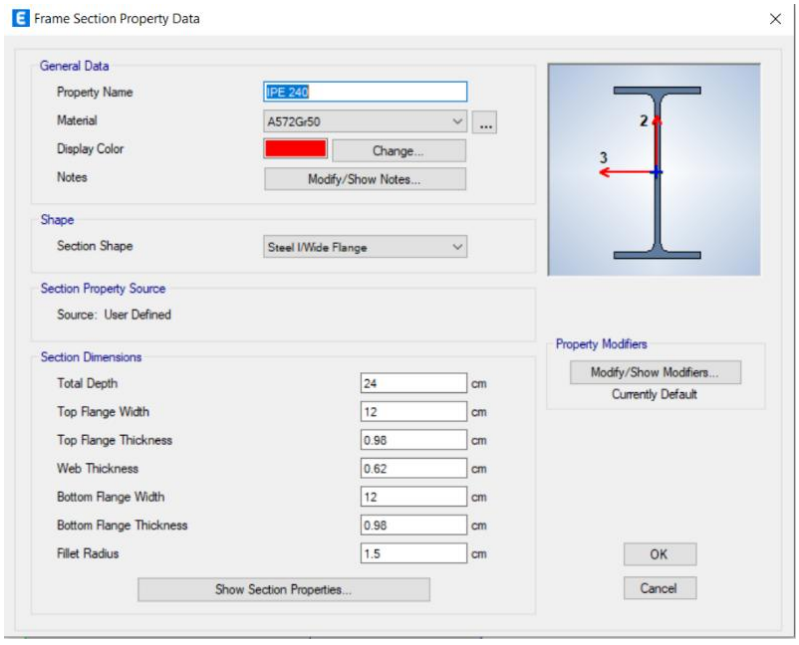


Figura 15. Propiedades de las vigas secundarias

- **Columnas:** Las columnas trabajan a flexo-compresión, en el presente diseño se van a utilizar columnas tipo I, las mismas que cumplen con los requerimientos normados para elementos en flexo compresión.

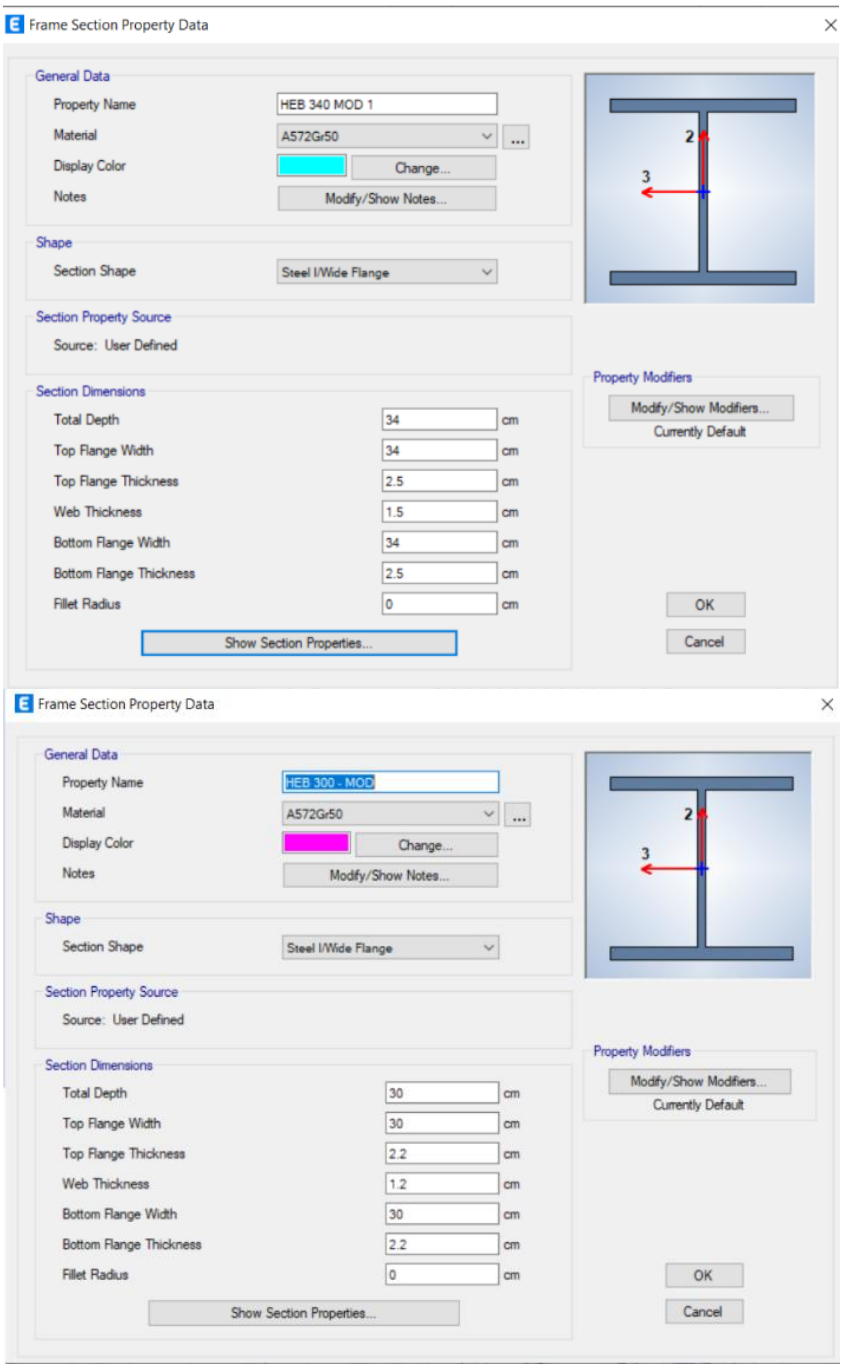


Figura 16. Propiedades de las columnas

3.3.4. Características del suelo

Para este trabajo se realizó un estudio de suelos en el área seleccionada a través del Ensayo de Penetración Estándar “SPT”, cuyo procedimiento se encuentra detallado en la Norma NTE INEN 0689 con el fin de obtener muestras del estrato de suelo presente en la zona, y el número de golpes del SPT se tendrá como resultado el tipo de suelo presente y la misma vez la velocidad de onda de corte, datos que serán se suma importancia para el desarrollo completo de esta investigación.

- La capacidad portante normal del suelo natural en el nivel -1,80 m se determina en 15.50 Tn/m², dándonos como resultado un suelo intermedio.
- El área analizada en el estudio de mecánica de suelos se establece como sondeos S1, S2, S3 en donde se encuentra un SM- Arena Limosa.
- En el ítem de caracterización del suelo se detalla por sondeo de exploración.
- Se analiza en base a los resultados obtenidos por cada extracción de muestra y con relación a la Microzonificación Sísmica de Ambato en donde establece los perfiles del suelo y las fallas geológicas que presenta la ciudad.
- El tipo de cimentación escogida es zapata aislada.
- No se detecta nivel freático.
- Los datos presentados en los anexos sus niveles se toman como referencia la cota de boca de sondeo, o nivel de subrasante.

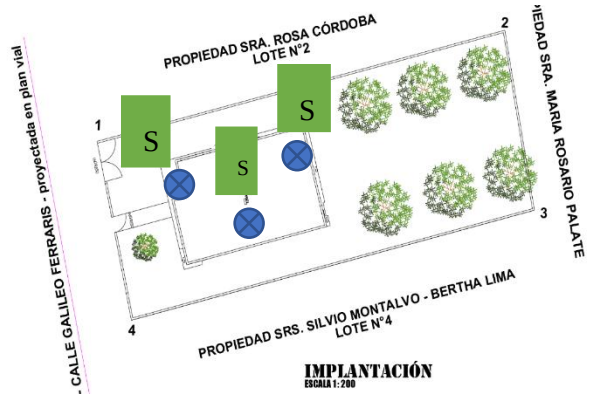


Figura 17. Implantación a escala del suelo

3.3.5. Análisis sismo tectónico

Las evaluaciones realizadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS 2015), zonifican al País en función de la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño. Según esa zonificación, el área del proyecto se encuentra en zona sísmica V en la cual se aplica un factor sísmico de 0,4g, como se representa.

El número de golpes promediado calculado es menor a 50, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los Factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Factores de amplificación dinámica del sitio

Tipo de suelo	Zona sísmica	Z	FA	FD	FS
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

3.4. Materiales

Para obtener las propiedades de los materiales del edificio se revisó las especificaciones técnicas del proyecto.

Este trabajo tiene como objetivo analizar una estructura de acero, considerando la influencia de la flexibilidad del suelo y comparándola con un modelo tradicional de base rígida. No se realizará una evaluación exhaustiva de la edificación, por lo que se asumirán las propiedades mecánicas del acero especificadas en las condiciones técnicas del proyecto. A continuación, se presenta una tabla detallando las características de los diferentes elementos estructurales de acero en la edificación:

Tabla 4. Especificaciones técnicas del proyecto.

Elemento estructural	Tipo de acero	Resistencia a la fluencia (Fy)	Resistencia última (Fu)
Columnas	ASTM A572 Gr.50	345 MPa	450 MPa

Vigas	ASTM A36	250 MPa	400 MPa
Conexiones	ASTM A325 (pernos)	827 MPa	1034 MPa
Placas base	ASTM A36	250 MPa	400 MPa

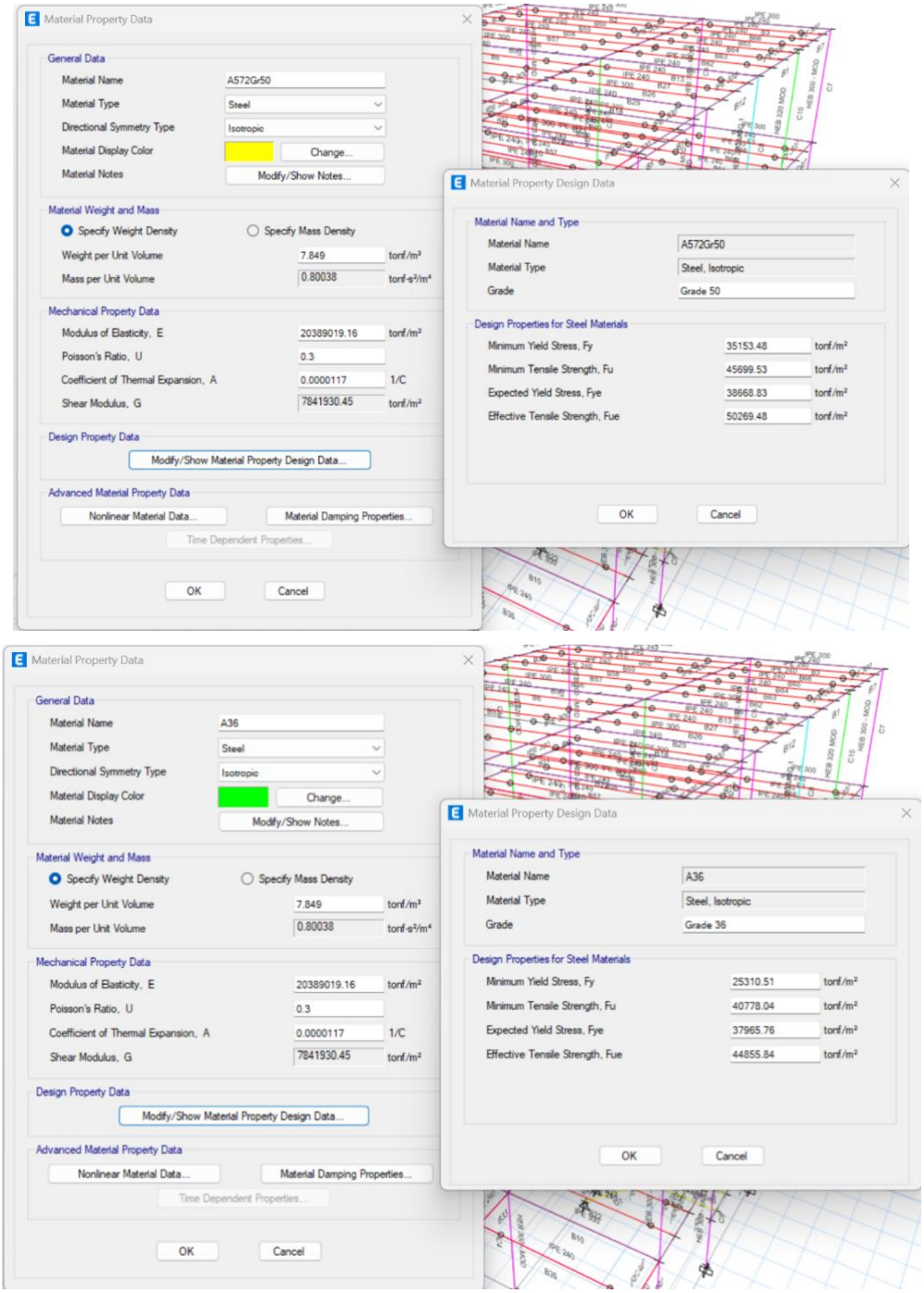


Figura 18. Propiedad del material

Los elementos estructurales tales como: plintos de cimentación, pedestales, cadenas de amarre están compuestas de hormigón armado cuya resistencia a la compresión es f´c = 240 kg/cm2; y la losa es mixta (Losa Deck) donde está compuesta de Hormigón y acero (ASTM A36).

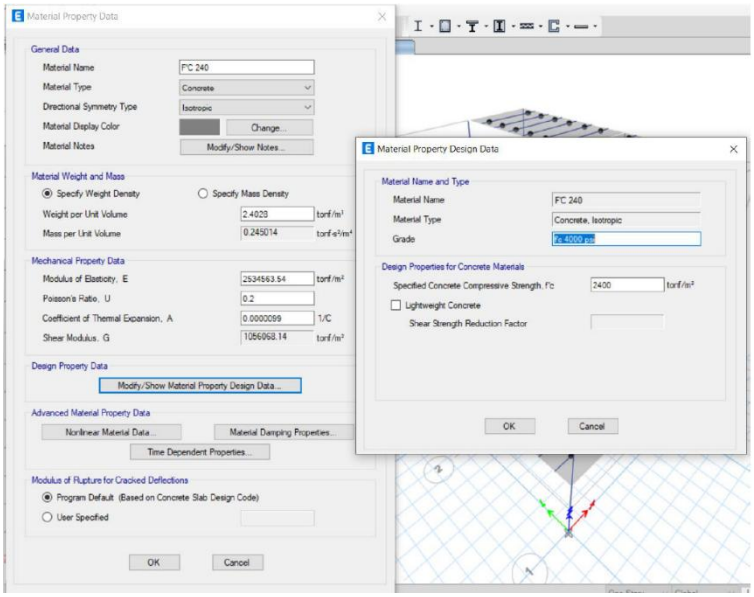


Figura 19. Tipo de material

Elementos de acero estructural

ASTM A 36			
Fy	2531.05	kg/cm²	Esfuerzo de fluencia del acero estructural
Fu	4077.8	kg/cm²	Resistencia última del acero estructural
ASTM A 572 Gr. 50			
Fy	3515.35	kg/cm²	Esfuerzo de fluencia del acero estructural
Fu	4569.95	kg/cm²	Resistencia última del acero estructural
E acero estructural	2038901.9	kg/cm²	Módulo de elasticidad del acero estructural

Figura 20. Elementos de acero estructural

Elementos de hormigón armado			
F´c	240	kg/cm²	Esfuerzo de fluencia del acero estructural
Fy	4200	kg/cm²	Resistencia última del acero estructural
ϒ hormigón	2.4	t/m3	Esfuerzo de fluencia del acero estructural
ϒ acero de refuerzo	7.85	t/m3	Resistencia última del acero estructural
E hormigón	2534563.54	kg/cm²	Módulo de elasticidad del hormigón
E acero estructural	2100000	kg/cm²	Módulo de elasticidad del acero de refuerzo

Figura 21. Elementos de hormigón armado

3.4.1. Determinar la significancia del análisis suelo estructura

La influencia de la interacción suelo estructura se vuelve significante en la estructura siempre y cuando se cumpla que:

$$\frac{h'}{Vs * T} > 0.1$$

h' - altura efectiva de la estructura, medida desde la base de los cimientos hasta el centro de masa del modo fundamental (en pies). aproximadamente 2/3 hn.

hn – Altura de la edificación.

Vs - la velocidad promedio efectiva de la onda de corte (pies/s) para el suelo del sitio condiciones, tomadas como el valor promedio de la velocidad sobre la distancia efectiva profundidad para la rotación de la base determinada usando v

T – Periodo fundamental de la estructura.

$$Vs = [Vs/Vso] * (Vso)$$

3.4.2. Determinación de la velocidad de onda de corte baja promedio

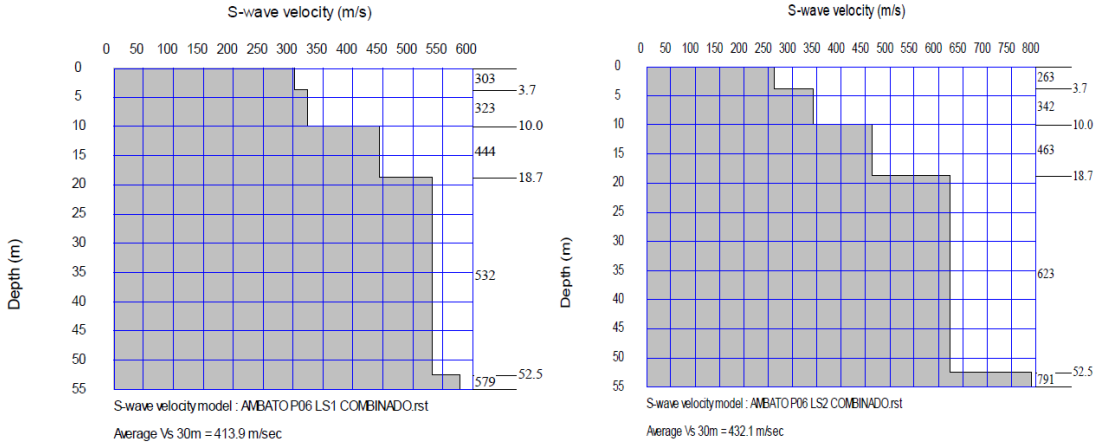


Figura 22. Velocidad de onda de corte baja promedio, San Vicente de Pishilata Línea Sísmica 1, Línea Sísmica 2 **[25]**

$$h1 = 3.7\ m \quad v1 = 303\frac{m}{s} \qquad h5 = 3.7\ m \quad v5 = 263\frac{m}{s}$$

$$h2 = 6.3\ m \quad v2 = 323\frac{m}{s} \qquad h6 = 6.3\ m \quad v6 = 342\frac{m}{s}$$

$$h3 = 8.7\ m \quad v3 = 444\frac{m}{s} \qquad h7 = 8.7\ m \quad v7 = 437\frac{m}{s}$$

$$h4 = 11.3\ m \quad v4 = 532\frac{m}{s} \qquad h8 = 11.3\ m \quad v8 = 623\frac{m}{s}$$

$$Vs = h * v$$

$$Vs1 = 1121.1\ \frac{m}{s} \qquad Vs5 = 973.1\frac{m}{s}$$

$$Vs2 = 2034.9\ \frac{m}{s} \qquad Vs6 = 2154.6\frac{m}{s}$$

$$Vs3 = 3862.8\frac{m}{s} \qquad Vs7 = 3801.9\frac{m}{s}$$

$$Vs4 = 6011.6\frac{m}{s} \qquad Vs8 = 7039.9\frac{m}{s}$$

$$Vso1 = \frac{Vs1 + Vs2 + Vs3 + Vs4}{30} = 434.347\frac{m}{s}$$

$$Vso2 = \frac{Vs5 + Vs6 + Vs7 + Vs8}{30} = 465.65\frac{m}{s}$$

$$Vso = \frac{Vso1+Vso2}{2} = 449.998\frac{m}{s}$$

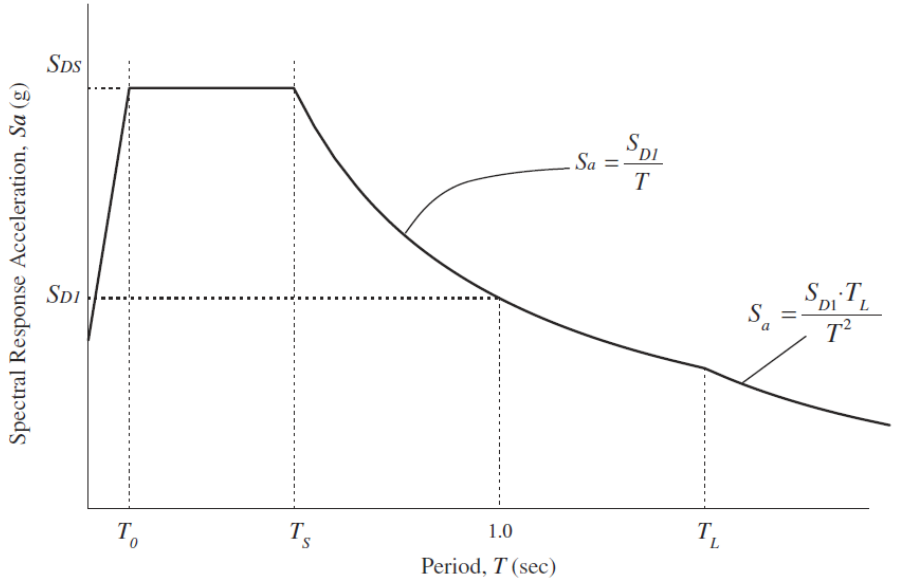


Figura 23. Espectro de respuesta de diseño **[26, 27]**

$$S_{DS} = S_a = \eta * Z * Fa$$

Para obtener el factor S_{DS} se determina mediante la ASCE 7-16 que es la máxima aceleración del suelo, o la meseta al momento de la realización del espectro de diseño:

Sa - Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g) Depende del período o modo de vibración de la estructura.

η – Razón entre la aceleración espectral Sa (T = 0.1 s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

Z - Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Fa – Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

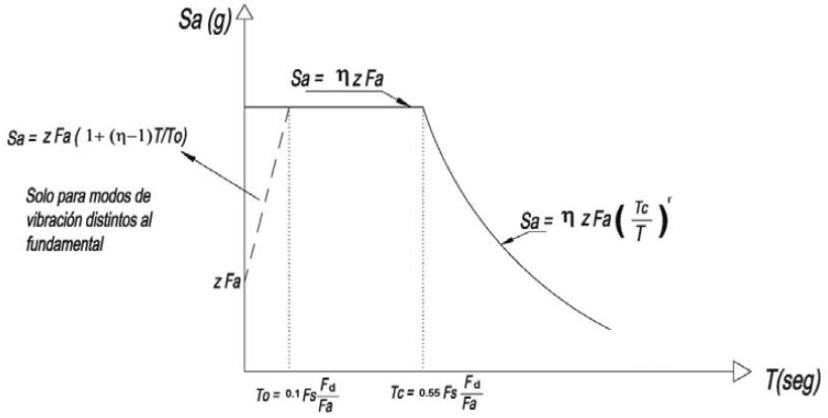


Figura 24. Máxima aceleración del suelo **[26, 26]**

Tabla 5. Factor Zg

Factor Z(g)	Fa	Fd	Fs
0.4	1.2	1.19	1.28

$$S_{DS} = S_a = \eta * Z * Fa$$

$$S_a = 2.48 * 0.4 * 1.2$$

$$S_a = 2.48 * 0.4 * 1.2$$

$$S_a = 1.19$$

Table 19.3-1 Effective Shear Wave Velocity Ratio (v_s/v_{so})

Site Class	Effective Peak Acceleration, $S_{DS}/2.5$[a]			
	$S_{DS}/2.5 = 0$	$S_{DS}/2.5 = 0.1$	$S_{DS}/2.5 = 0.4$	$S_{DS}/2.5 \geq 0.8$
A	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	0.97	0.95
C	1.00	0.97	0.87	0.77
D	1.00	0.95	0.71	0.32
E	1.00	0.77	0.22	[b]
F	[b]	[b]	[b]	[b]

[a]Use straight-line interpolation for intermediate values of $S_{DS}/2.5$.
[b]Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed.

Figura 25. Velocidad de onda de corte efectiva **[27]**

$$\frac{Vs}{Vso} = 0.32$$

h(ft)	39.360	12 m
h'(ft)	26.240	8 m
vso(ft/seg)	1475.9344	449.9 m/seg
vs/vso	0.32	
vs	472.299008	
T(seg)	0.5256	

$$\frac{26.24}{472.3 * 0.5256} > \mathbf{0.1}$$

$0.1057 > \mathbf{0.1}$ Realizar el ISE

3.4.3. Cálculo del módulo de cortante de suelo efectivo

Table 19.3-2 Effective Shear Modulus Ratio (G/G_0)

	Effective Peak Acceleration, $S_{DS}/2.5^a$			
Site Class	$S_{DS}/2.5=0$	$S_{DS}/2.5=0.1$	$S_{DS}/2.5=0.4$	$S_{DS}/2.5 \geq 0.8$
A	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	0.95	0.90
C	1.00	0.95	0.75	0.60
D	1.00	0.90	0.50	0.10
E	1.00	0.60	0.05	[b]
F	[b]	[b]	[b]	[b]

[a]Use straight-line interpolation for intermediate values of $S_{DS}/2.5$.
[b]Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed.

Figura 26. Módulo de corte efectivo **[27]**

$$\frac{G}{Go} = 0.10$$

$$G_o = \frac{\gamma v_{so}^2}{g}$$

G/G0 **(adimensional)**	0.1	
λ (ton/m3)	1.6	
vso (m/seg)	449.86	
g (m/s2)	9.81	
G(tonf/m2)	3301	
G(kips/ft2)	687	

Cálculo de la rigidez vertical y rotacional.

El método por utilizarse será el de Pais y Kausel (1988) en donde se emplea el valor de G (módulo de cortante efectivo equivalente), que depende de las características geotécnicas del suelo.

Tabla 6. Datos de entrada

Datos de entrada					
LIMO-ARENOSO G(kips/ft2)		687	h (m)	0.6	2.0´
ARCILLA BLANDA G(kips/ft2)		131	d (m)	0.4	1.3´
B(m)	4.875	16´	D (m)	0.8	2.6´
V	0.3				
L(m)	6.315	20.7´			

DIMENSION IMPLANTACION	
B(m)	9.75
L(m)	12.63

Grafico. Parámetros del proyecto

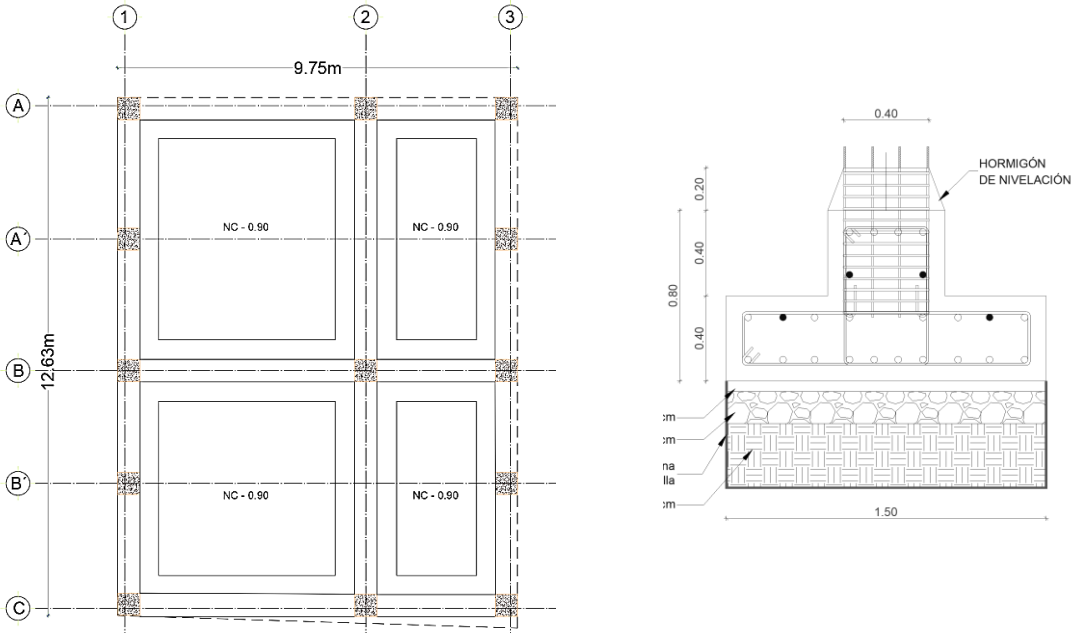


Figura 27. Parámetro para ingreso de datos

Rigidez vertical y rotacional para suelo limo arenoso

Tabla 7. Rigidez en la cara de la fundación

Rigidez en la cara de la fundación		
Kz	62643.14819 tonf/m	42093
Kyy	5429285.636 tonf/m	3648223
Kxx	3693370.552 tonf/m	2481770
Kzz	6312063.672 tonf/m	4241408
Ky	51366.76391 tonf/m	34516
Kx	50230.43522 tonf/m	33752

Tabla 8. Corrección de profundidad

Corrección por profundidad	
βz	1.12
βyy	1.41
βxx	1.24
βzz	1.49
βy	1.43
βx	1.40

Tabla 9. Rigidez final

Rigidez final	
Kz	70320.89586 tonf/m
Kyy	7649908.321 tonf/m
Kxx	4576463.797 tonf/m
Kzz	9375989.763 tonf/m
Ky	73574.59429 tonf/m
Kx	70231.51552 tonf/m

Rigidez vertical y rotacional para suelo arcilla blanda

Tabla 10. Rigidez en la cara de la fundación

Rigidez en la cara de la fundación		
Kz	12866.05727 tonf/m	8645
Kyy	1115102.002 tonf/m	749296
Kxx	758568.4697 tonf/m	509722
Kzz	6312063.672 tonf/m	4241408
Ky	8916.212428 tonf/m	5991
Kx	9870.04516 tonf/m	6632

Tabla 11. Corrección de profundidad

Corrección por profundidad	
βz	1.12
βyy	1.41
βxx	1.24
βzz	1.49
βy	1.43
βx	1.40

Tabla 12. Rigidez final

Rigidez final	
Kz	14442.96304 tonf/m
Kyy	1571187.934 tonf/m
Kxx	939943.9049 tonf/m
Kzz	9375989.763 tonf/m
Ky	12771.03446 tonf/m
Kx	13800.16372 tonf/m

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Espectro de respuesta

De acuerdo con lo establecido en la NEC 2015 de Peligro Sísmico se presenta el Espectro de respuesta con los datos proporcionados previamente por un Estudio de Suelos.

CORTANTE BASAL ESTÁTICO SEGÚN NEC-SE-DS

TIPO DE SUELO	D
UBICACIÓN	AMBATO
ZONA SÍSMICA	V
TIPO ESTRUCTURA	ACERO SIN ARRIOST.
TIPO VIGAS	
IMPORTANCIA	OTRAS ESTRUCTURAS

DATOS PARA V					
Z (g)	0.4				
I	1				
R	7				
Φp	1				
Φe	1				
Ct	0.072				
α	0.8				
hn (m)	12				
η	2.48				
Fa	1.2				
Fd	1.19				
Fs	1.28				
r	1				
Tc	0.6981				
To	0.1269				
T	0.5256	**Tmax (1.3T)**	0.683	**Tmodal (s)**	0.670
Sa (T)	1.1904	**Sa (Tmax)**	1.1904	**Sa (Tmodal)**	1.1904
V	**0.1701**	**V (Tmax)**	**0.1701**	**V (Tmodal)**	**0.1701**
k	1.013	**k(max)**	1.092	**k(modal)**	1.085

Dónde:

$\boldsymbol{Z}$: Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño

$\boldsymbol{r}$: Factor del espectro elástico respecto a la ubicación geográfica – Región Sierra

$\boldsymbol{\eta}$: Relación de aceleración espectral Sa (T=0.1s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado

$\boldsymbol{Fa}$: Coeficientes de amplificación del suelo en la zona de periodo corto (Suelo tipo E).

$\boldsymbol{Fd}$: Coeficientes de amplificación del suelo (Suelo tipo E).

$\boldsymbol{Fs}$: Coeficientes de amplificación del suelo (Suelo tipo E).

$\boldsymbol{I}$: Factor de importancia.

$\boldsymbol{a}$ ($\boldsymbol{T}$): Aceleración en el espectro de diseño.

$\boldsymbol{T}$: Periodo de vibración.

$\boldsymbol{T}$o y Tc: Periodo límites de vibración.

$\boldsymbol{R}$: Coeficiente de reducción de respuesta estructural.

$\boldsymbol{Øp}$ *y* $\boldsymbol{Øe}$: Coeficientes de configuración en planta y elevación.

$\boldsymbol{W}$: Peso reactivo de la estructura.

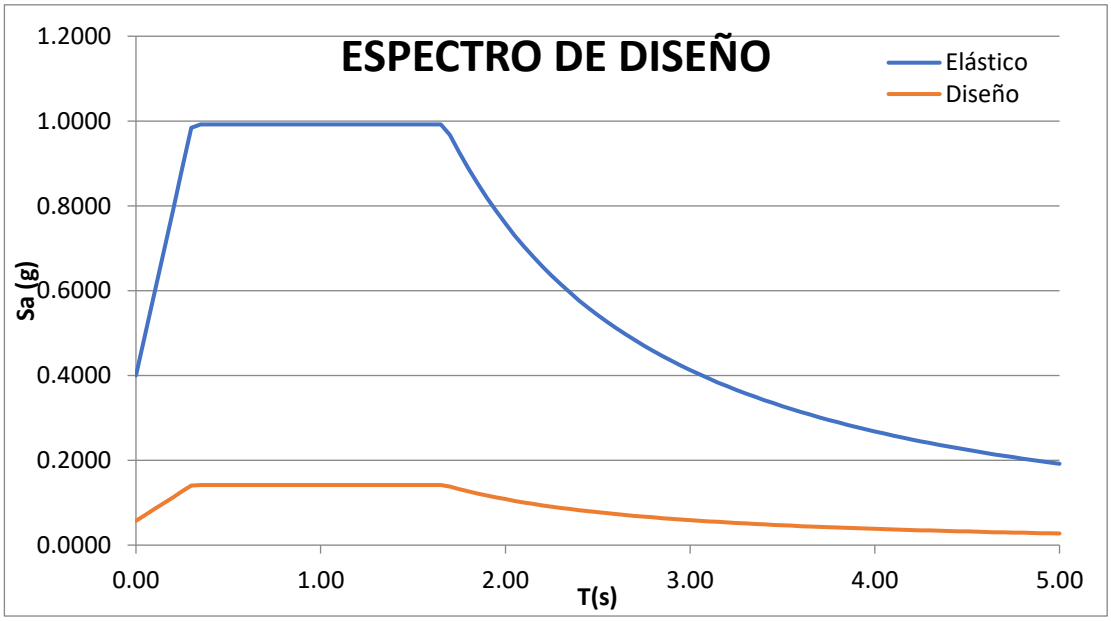


Figura 28. Espectro de diseño

Tabla 13. Espectros elásticos y diseño según NEC-SE-DS

ESPECTROS ELÁSTICO Y DE DISEÑO SEGÚN NEC-SE-DS				
ESPECTRO ELÁSTICO		**ESPECTRO REDUCIDO (PARA DISEÑO)**		
T (s)	**Sa (g)**	**Sa (g)**	**T (s)**	**Sa (g)**
0.00	0.4000	0.0571	0	0.0571
0.05	0.4974	0.0711	0.05	0.071
0.10	0.5947	0.0850	0.1	0.0849
0.15	0.6921	0.0989	0.15	0.0988
0.20	0.7895	0.1128	0.2	0.1127
0.25	0.8868	0.1267	0.25	0.1266
0.30	0.9842	0.1406	0.3	0.1406
0.35	0.9920	0.1417	0.35	0.1417
0.40	0.9920	0.1417	0.4	0.1417
0.45	0.9920	0.1417	0.45	0.1417
0.50	0.9920	0.1417	0.5	0.1417
0.55	0.9920	0.1417	0.55	0.1417
0.60	0.9920	0.1417	0.6	0.1417
0.65	0.9920	0.1417	0.65	0.1417
0.70	0.9920	0.1417	0.7	0.1417
0.75	0.9920	0.1417	0.75	0.1417
0.80	0.9920	0.1417	0.8	0.1417
0.85	0.9920	0.1417	0.85	0.1417
0.90	0.9920	0.1417	0.9	0.1417
0.95	0.9920	0.1417	0.95	0.1417
1.00	0.9920	0.1417	1	0.1417
1.05	0.9920	0.1417	1.05	0.1417
1.10	0.9920	0.1417	1.1	0.1417
1.15	0.9920	0.1417	1.15	0.1417
1.20	0.9920	0.1417	1.2	0.1417
1.25	0.9920	0.1417	1.25	0.1417
1.30	0.9920	0.1417	1.3	0.1417
1.35	0.9920	0.1417	1.35	0.1417
1.40	0.9920	0.1417	1.4	0.1417
1.45	0.9920	0.1417	1.45	0.1417
1.50	0.9920	0.1417	1.5	0.1417
1.55	0.9920	0.1417	1.55	0.1417
1.60	0.9920	0.1417	1.6	0.1417

ESPECTROS ELÁSTICO Y DE DISEÑO SEGÚN NEC-SE-DS			
ESPECTRO ELÁSTICO		**ESPECTRO REDUCIDO (PARA DISEÑO)**	
1.65	0.9920	0.1417	1.65 0.1417
1.70	0.9676	0.1382	1.7 0.1382
1.75	0.9264	0.1323	1.75 0.1323
1.80	0.8881	0.1269	1.8 0.1268
1.85	0.8523	0.1218	1.85 0.1217
1.90	0.8189	0.1170	1.9 0.1169
1.95	0.7876	0.1125	1.95 0.1125
2.00	0.7583	0.1083	2 0.1083
2.05	0.7307	0.1044	2.05 0.1043
2.10	0.7048	0.1007	2.1 0.1006
2.15	0.6803	0.0972	2.15 0.0971
2.20	0.6573	0.0939	2.2 0.0938
2.25	0.6355	0.0908	2.25 0.0907
2.30	0.6149	0.0878	2.3 0.0878
2.35	0.5953	0.0850	2.35 0.085
2.40	0.5768	0.0824	2.4 0.0824
2.45	0.5593	0.0799	2.45 0.0798
2.50	0.5426	0.0775	2.5 0.0775
2.55	0.5267	0.0752	2.55 0.0752
2.60	0.5116	0.0731	2.6 0.073
2.65	0.4972	0.0710	2.65 0.071
2.70	0.4834	0.0691	2.7 0.069
2.75	0.4703	0.0672	2.75 0.0671
2.80	0.4578	0.0654	2.8 0.0653
2.85	0.4458	0.0637	2.85 0.0636
2.90	0.4343	0.0620	2.9 0.062
2.95	0.4233	0.0605	2.95 0.0604
3.00	0.4127	0.0590	3 0.0589
3.05	0.4026	0.0575	3.05 0.0575
3.10	0.3929	0.0561	3.1 0.0561
3.15	0.3836	0.0548	3.15 0.0548
3.20	0.3747	0.0535	3.2 0.0535
3.25	0.3661	0.0523	3.25 0.0522
3.30	0.3578	0.0511	3.3 0.0511
3.35	0.3498	0.0500	3.35 0.0499
3.40	0.3421	0.0489	3.4 0.0488
3.45	0.3347	0.0478	3.45 0.0478

ESPECTROS ELÁSTICO Y DE DISEÑO SEGÚN NEC-SE-DS			
ESPECTRO ELÁSTICO		**ESPECTRO REDUCIDO (PARA DISEÑO)**	
3.50	0.3275	0.0468	3.5 0.0467
3.55	0.3206	0.0458	3.55 0.0458
3.60	0.3140	0.0449	3.6 0.0448
3.65	0.3076	0.0439	3.65 0.0439
3.70	0.3013	0.0430	3.7 0.043
3.75	0.2953	0.0422	3.75 0.0421
3.80	0.2895	0.0414	3.8 0.0413
3.85	0.2839	0.0406	3.85 0.0405
3.90	0.2785	0.0398	3.9 0.0397
3.95	0.2732	0.0390	3.95 0.039
4.00	0.2681	0.0383	4 0.0382
4.05	0.2631	0.0376	4.05 0.0375
4.10	0.2583	0.0369	4.1 0.0369
4.15	0.2537	0.0362	4.15 0.0362
4.20	0.2492	0.0356	4.2 0.0355
4.25	0.2448	0.0350	4.25 0.0349
4.30	0.2405	0.0344	4.3 0.0343
4.35	0.2364	0.0338	4.35 0.0337
4.40	0.2324	0.0332	4.4 0.0331
4.45	0.2285	0.0326	4.45 0.0326
4.50	0.2247	0.0321	4.5 0.032
4.55	0.2210	0.0316	4.55 0.0315
4.60	0.2174	0.0311	4.6 0.031
4.65	0.2139	0.0306	4.65 0.0305
4.70	0.2105	0.0301	4.7 0.03
4.75	0.2072	0.0296	4.75 0.0295
4.80	0.2039	0.0291	4.8 0.0291
4.85	0.2008	0.0287	4.85 0.0286
4.90	0.1977	0.0282	4.9 0.0282
4.95	0.1947	0.0278	4.95 0.0278
5.00	0.1918	0.0274	5 0.0274

4.2. Modelación de la estructura

La modelación y análisis lineal en el rango elástico de la estructura, en acero estructural, con la utilización de un software de elementos finitos.

Antes de empezar con la modelación propia de cada estructura, se necesita definir las normativas y códigos de diseño aplicados para el análisis.

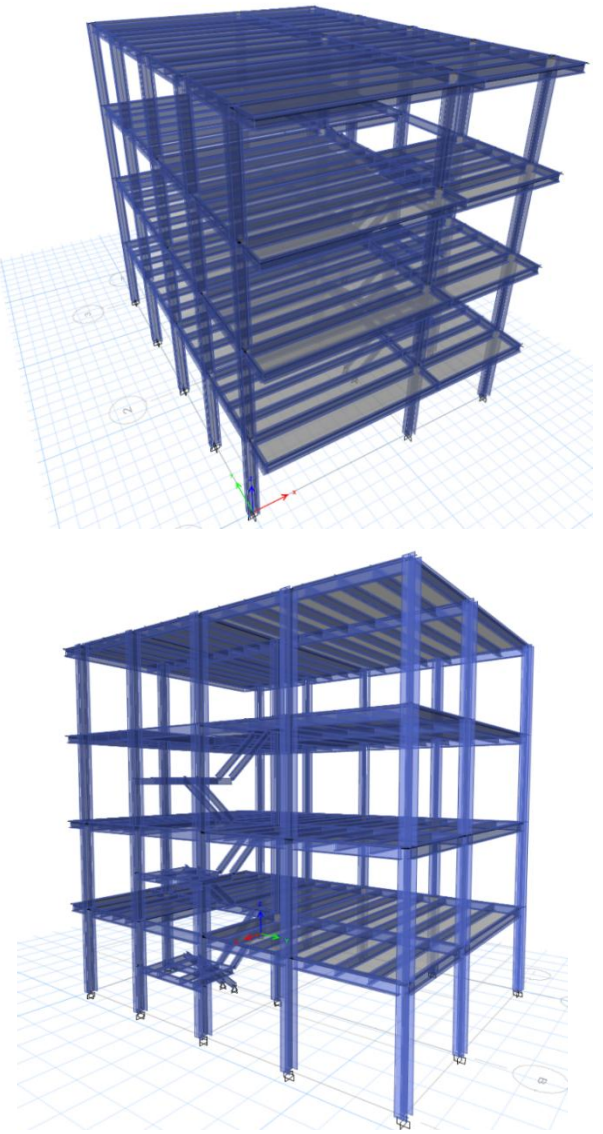


Figura 29. Modelación de la estructura

4.3.CARGAS GRAVITATORIAS

- **Carga Muerta**

Se considera como carga muerta a todos los elementos estructurales propios de la edificación, mampostería, enlucidos, masillados, recubrimientos, instalaciones, acabados y demás.

El software ETABS considera ya el peso propio de los elementos estructurales, es decir, se debe considerar la sobrecarga de cada tablero para el metrado de cargas; donde se consideró una sobrecarga de 288.00 kg/m² (Peso de mampostería, enlucido y macillado, recubrimiento e instalaciones).

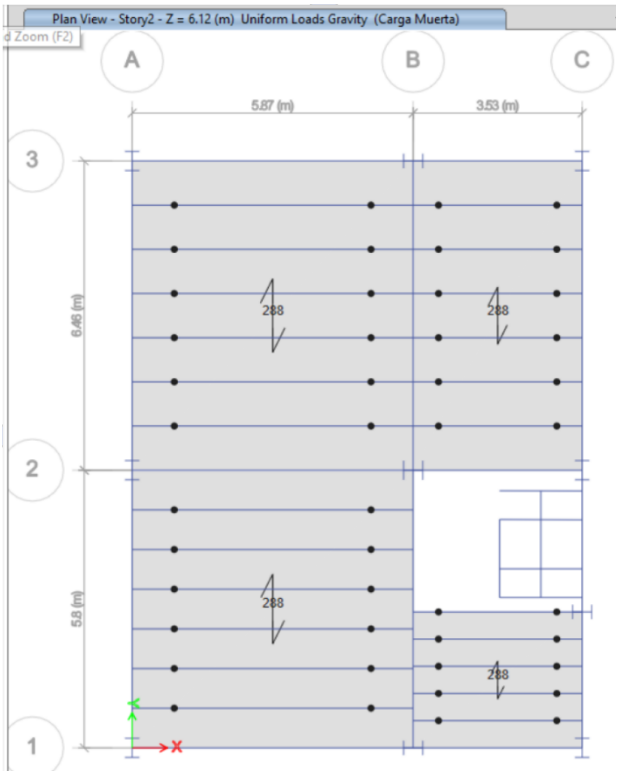


Figura 30. Asignación de carga muerta

- **Carga Viva**

La carga viva está en función del uso a la que va a ser destinada la edificación, para la estructura en estudio el uso es de oficinas, la norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo de cargas no sísmicas, NEC-SE-CG, indica valores referenciales de dicha sobrecarga que se espera va a estar sometida la estructura.

La carga viva que está considerada en dicho diseño es 400.00 kg/m².

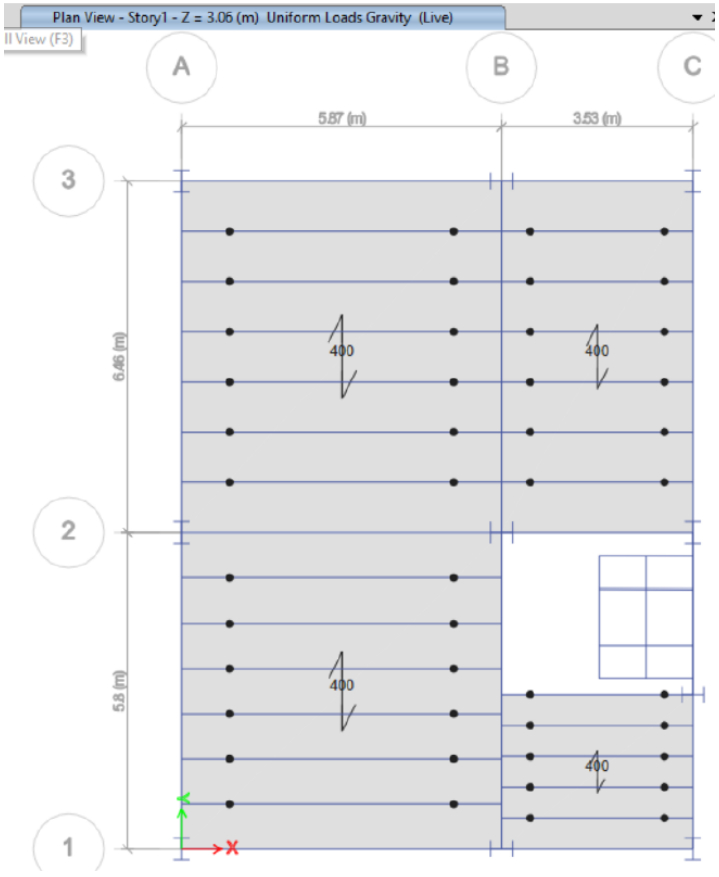


Figura 31. Asignación de carga viva

Tabla 14. Modo de vibración

NIVEL	DESCRIPCIÓN	Carga Permanente (kg/m²)	Carga Viva (kg/m²)
Nv. + 3.24 m	Losa Deck	288	400
Nv. + 6.30 m	Losa Deck	288	400
Nv. + 9.36 m	Losa Deck	288	400
Nv. + 12.00 m	Losa Deck	288	150

Periodo Fundamental de Vibración

	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad²/sec²
▶	Modal	1	0.624	1.603	10.0741	101.4874
	Modal	2	0.574	1.742	10.9467	119.8302
	Modal	3	0.485	2.064	12.9677	168.161
	Modal	4	0.183	5.463	34.3227	1178.0483
	Modal	5	0.177	5.649	35.4917	1259.6621
	Modal	6	0.148	6.74	42.3471	1793.2764
	Modal	7	0.104	9.637	60.554	3666.7898
	Modal	8	0.084	11.935	74.9919	5623.7871
	Modal	9	0.078	12.805	80.4565	6473.2505
	Modal	10	0.074	13.551	85.1448	7249.6365
	Modal	11	0.053	18.731	117.6882	13850.5127
	Modal	12	0.051	19.571	122.9696	15121.5256

Figura 32. Periodo fundamental de vibración

Se puede observar que el periodo de vibración en el modo fundamental es de 0.5256 s, de acuerdo a la NEC 2015 el periodo calculado mediante el método 2 no debe ser mayor en un 30% al periodo de vibración calculado por el método 1; como se muestra en el Espectro de Respuesta, sin embargo, más adelante se muestra el control de derivas de la edificación y estas no sobrepasen el límite estipulado por la NEC y se busca darle ductilidad a la estructura con cierta flexibilidad en su modo fundamental; como conclusión se aceptaría este periodo de vibración.

Tabla 15. Periodo de vibración máximo con base rígida e ISE

T	0.5256
Tmax (30%)	0.6833
T modo I	**0.6231**
T modo I Limo Arenosa	**0.6262**
T modo I Arcilla Blanda	**0.6830**

4.4. Participación de la masa modal

	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	SumRZ
▶	Modal	1	0.624	0.7829	0.0002	0.006	0.006
	Modal	2	0.574	0.0009	0.8029	0.0412	0.0472
	Modal	3	0.485	0.0049	0.0424	0.7771	0.8243
	Modal	4	0.183	0.0016	0.1016	0.0031	0.8274
	Modal	5	0.177	0.1344	0.0018	0.0016	0.8291
	Modal	6	0.148	0.0027	0.0021	0.1111	0.9402
	Modal	7	0.104	1.656E-05	0.0372	0.0006	0.9407
	Modal	8	0.084	0.0491	0.0001	0.0048	0.9456
	Modal	9	0.078	0.0061	0.0004	0.0402	0.9858
	Modal	10	0.074	7.027E-06	0.0111	0.0001	0.9859
	Modal	11	0.053	0.0058	0.0001	0.0092	0.9951
	Modal	12	0.051	0.0116	4.084E-05	0.0049	1

Figura 33. Participación de la masa modal

Se puede observar que en el 8vo modo de vibración se cumple al menos 90% de masa participativa acumulada, por lo tanto, para garantizar un menor costo computacional de análisis de la estructura se pueden bajar los modos de vibración calculada previamente.

Tabla 16. Modo de vibración

MODO	UX	UY	RZ	TORSION	≤30%
1	0.7829	0.0002	0.006	0.766%	Traslacional
2	0.0009	0.8029	0.0412	5.126%	Traslacional
3	0.0049	0.0424	0.7771	1642.918%	Torsión

Al tomar en cuenta los movimientos en los 3 primeros modos de vibración, y el giro en el eje Z de la edificación se puede observar que el porcentaje de torsión más alto se da en el modo 3, esto nos muestra que la estructura se comporta de una manera óptima al moverse de forma traslacional en los 2 primeros modos (X e Y) y que el tercer modo sea de torsión.

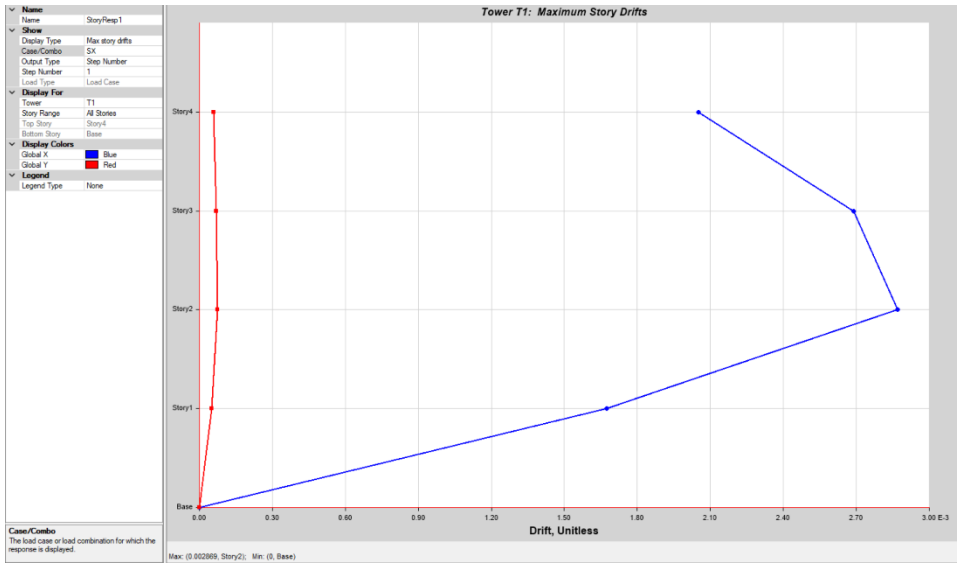
Tabla 17. Validación del cortante estático y dinámico

TIPO	**Vx**	**Vy**
	(Tn)	**(Tn)**
Estático	41.45	41.45
Dinámico	35.21	35.21
85% Estático	85%	85%

Dentro del programa de elementos finitos se tienen los valores de los cortantes por fuerzas estáticas y por fuerzas dinámicas, y como establece la NEC, en estructuras irregulares debe ser al menos el 85% del cortante estático, por lo que se observa que en el sentido X se cumple el 85%, y en el sentido Y es el 85% por lo que se cumple con la validación de los cortantes.

4.5.Derivas de piso

La norma establece que la deriva de piso en los dos sentidos no debe ser mayor al 2%, y en la estructura se muestra que la deriva estática no sobrepase ese valor:



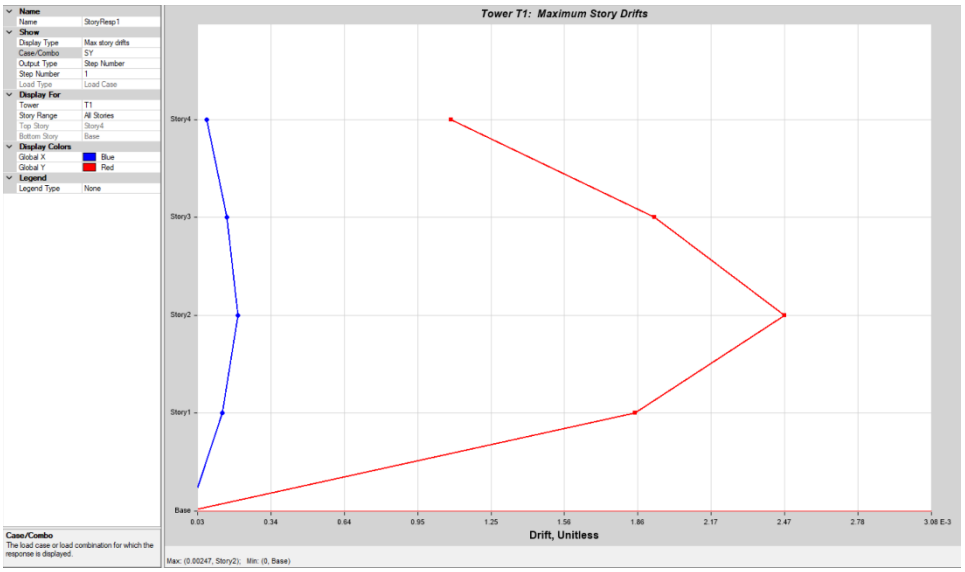


Figura 34. Derivas de piso

Tabla 18. Derivas de piso

DERIVAS DE PISO BASE RIGIDA			
de x	0.002869	1.51%	OK
de y	0.00247	1.30%	OK
DERIVAS DE PISO ISE - LIMO ARENOSO			

de x	0.002909	1.53%	OK
de y	0.002504	1.31%	OK
DERIVAS DE PISO ISE - ARCILLA BLANDA			
de x	0.00353925	1.86%	OK
de y	0.00303378	1.59%	OK

Incorporación de los cálculos de la rigidez lateral, vertical y rotacional a los springs

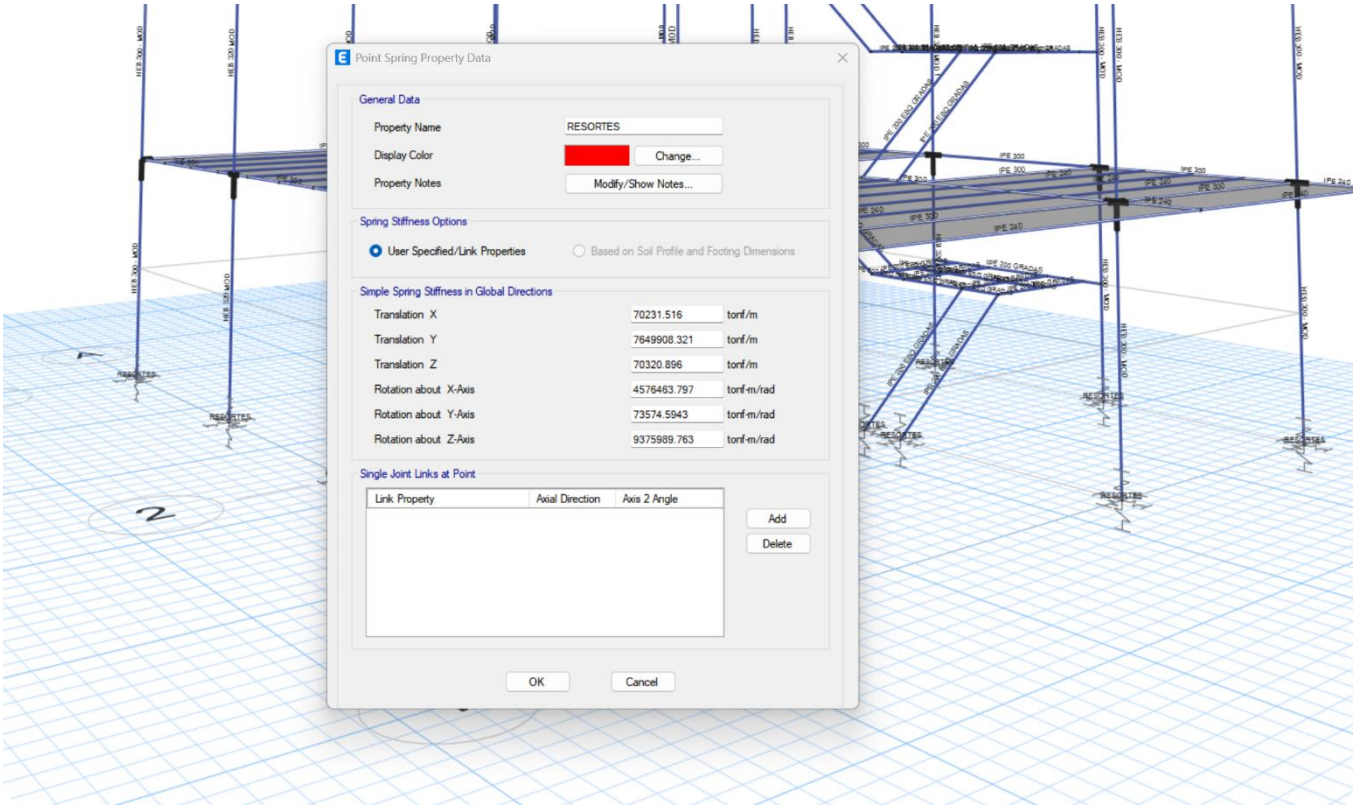


Figura 35. Cálculos de la rigidez lateral, vertical y rotacional Springs para suelo limo-arenoso

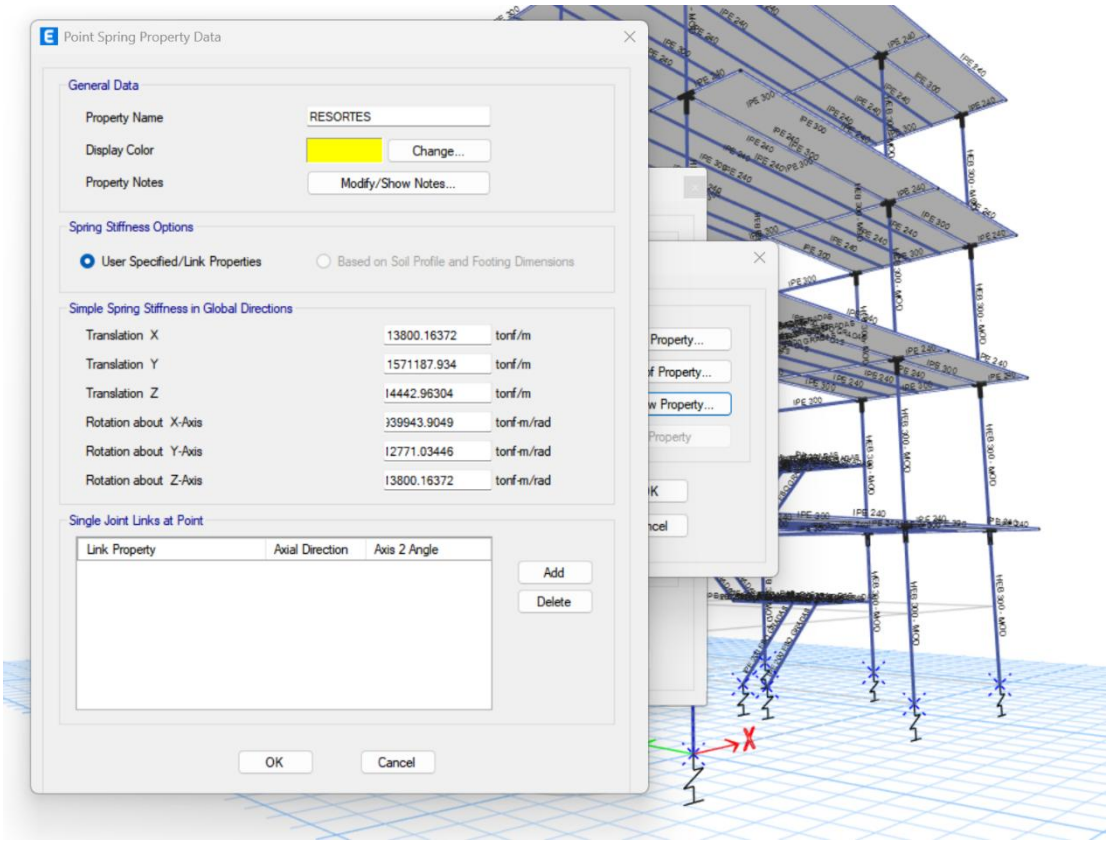
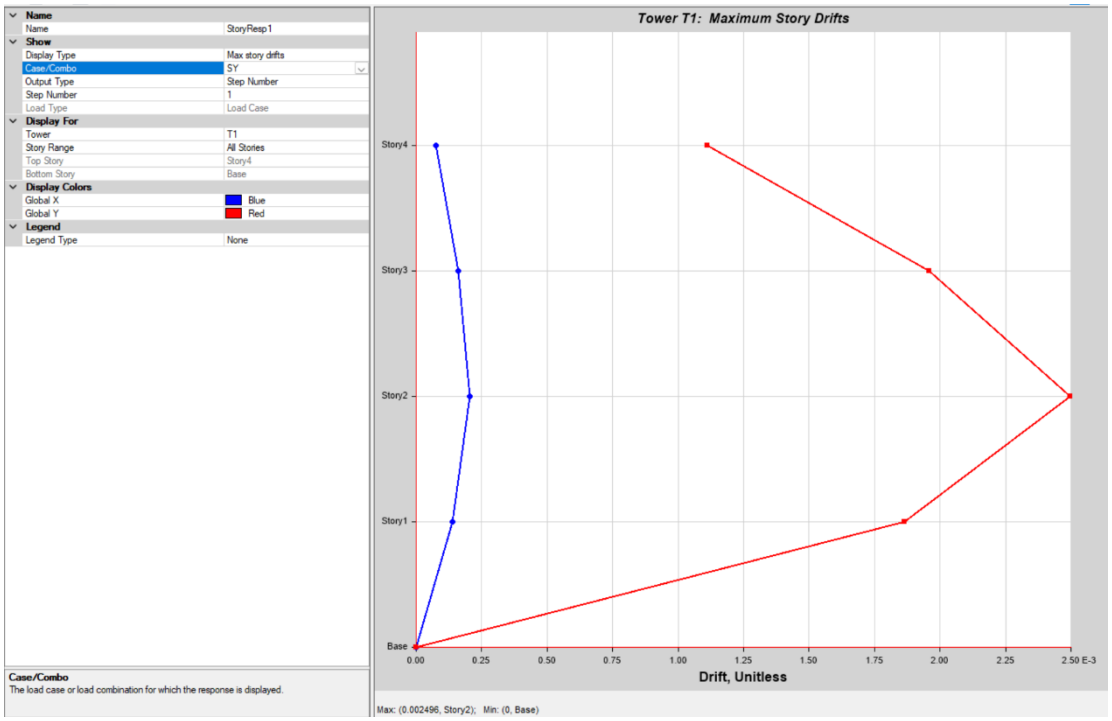


Figura 36. Cálculos de la rigidez lateral, vertical y rotacional Springs para suelo arcilla blanda

4.6. Derivas de piso con ise



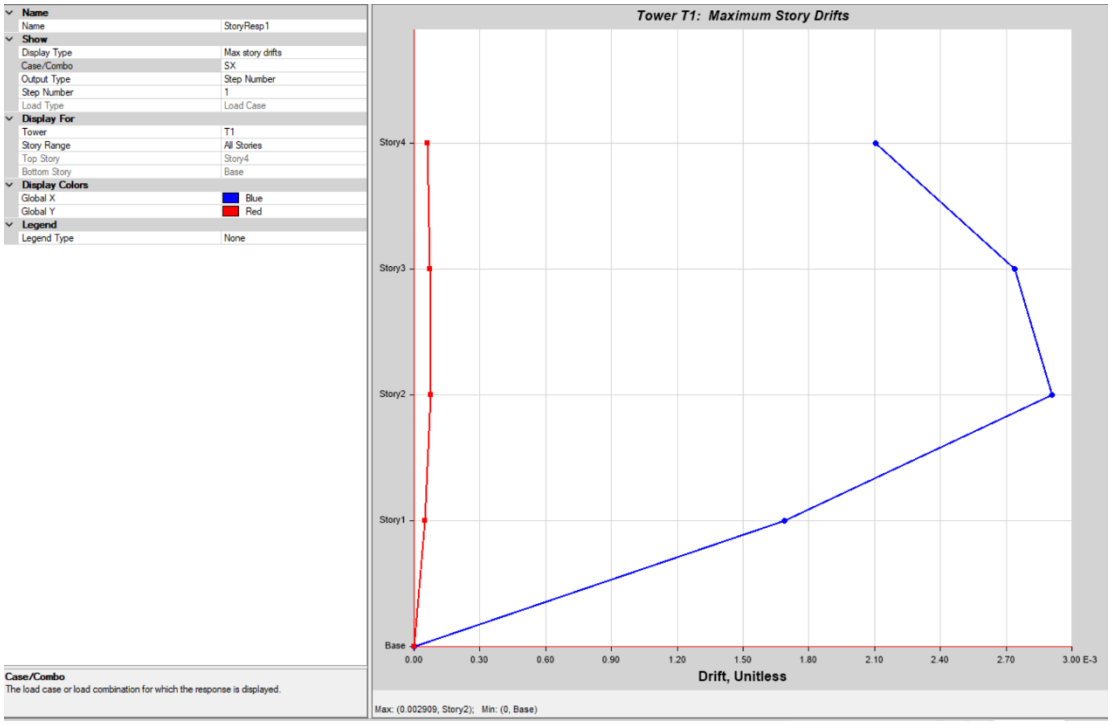
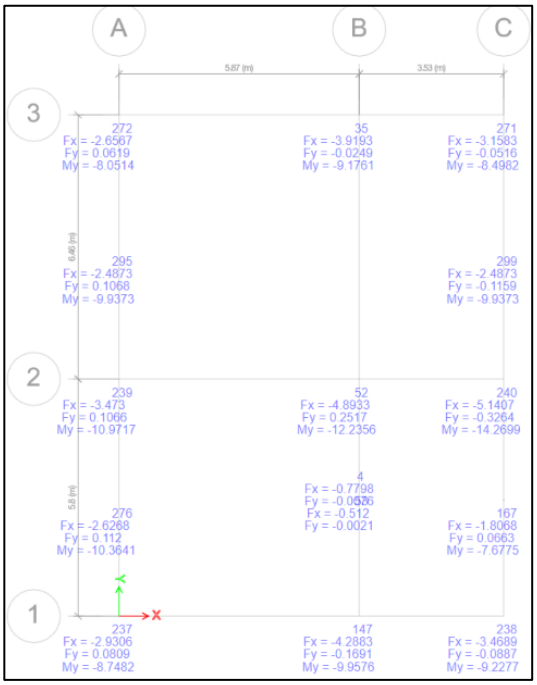
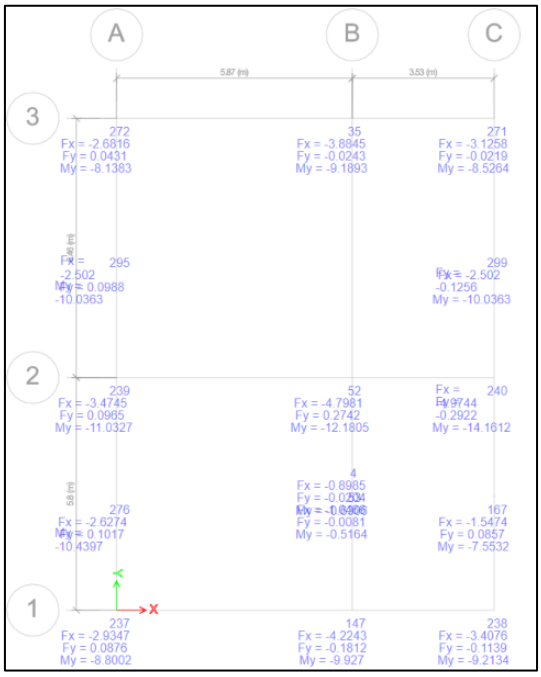


Figura 37. Derivas de piso con ISE

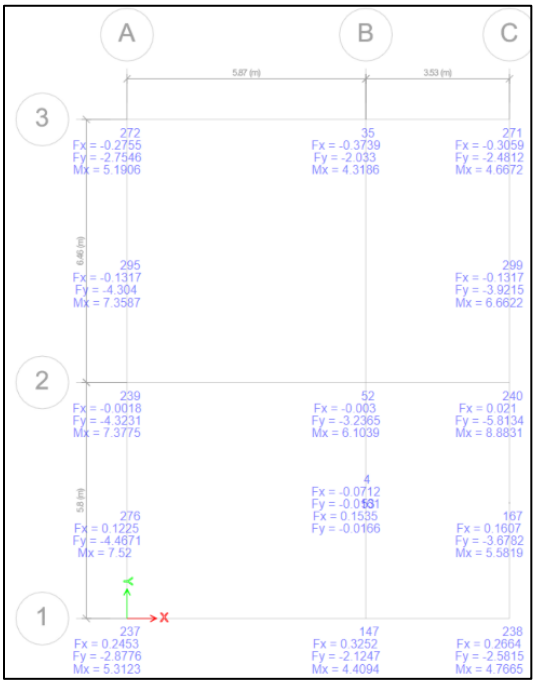
Reacciones en base rígida



Reacciones en base modelo ISE



Reacciones en base rígida



Reacciones en base modelo ISE

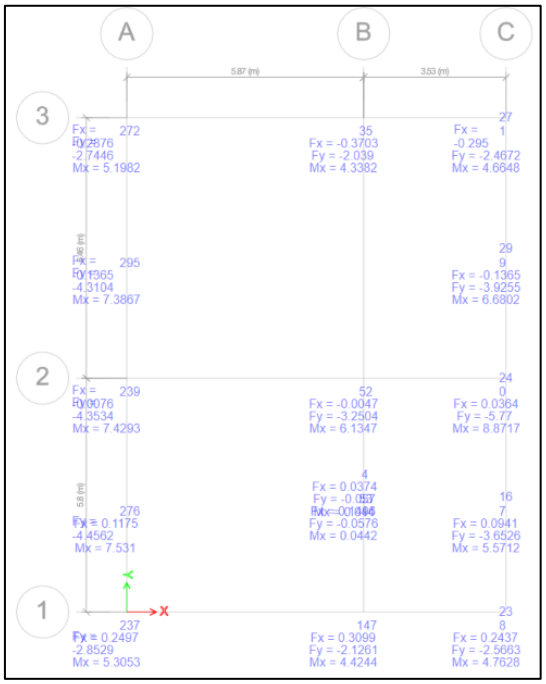
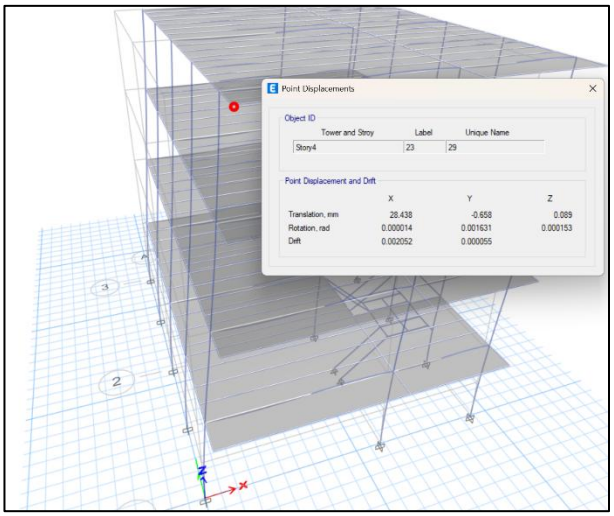
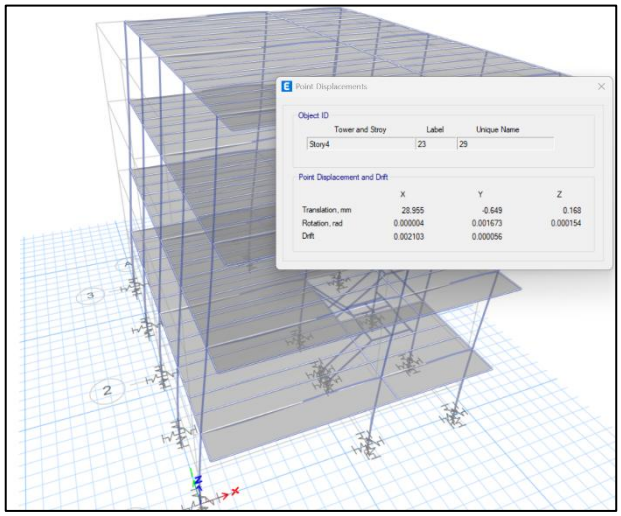


Figura 38. Reacciones de base rígida vs ISE

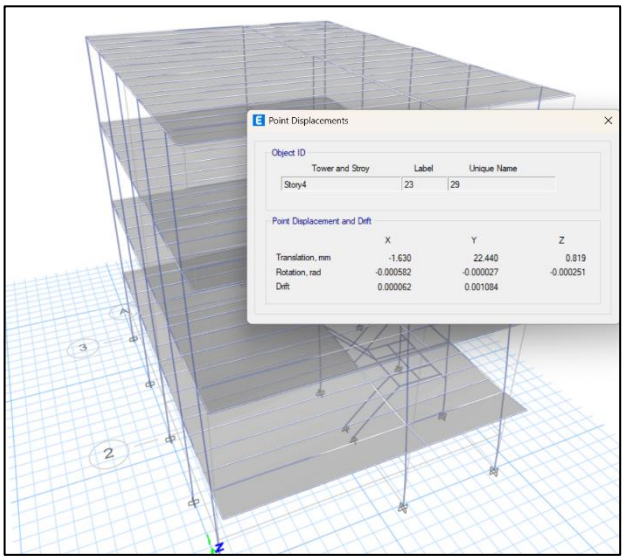
Reacciones en base rígida



Reacciones en base modelo ISE



Reacciones en base rígida



Reacciones en base modelo ISE

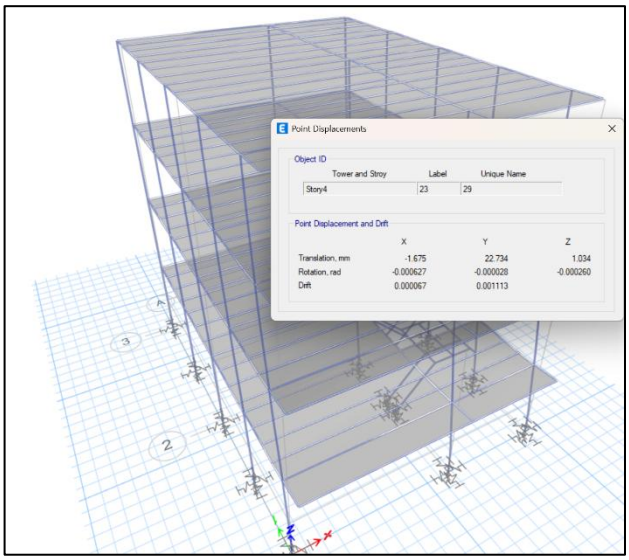


Figura 39. Desplazamientos de base rígida vs ISE

Tabla 19. Resumen de resultados Derivas Base Empotrada Vs ISE

DESCRIPCION	SENTIDO	PISO	BASE RIGIDA	ISE - LIMO ARENOSO	ISE - ARCILLA BLANDA	ISE - LIMO ARENOSO	ISE - ARCILLA BLANDA
DERIVA DE PISO	X	0	0.000000	0.000000	0.000000	0%	0%
		1	0.001655	0.001678	0.00205101	1.01%	1.24%
		2	0.002864	0.002888	0.00353925	1.01%	1.24%
		3	0.002687	0.002714	0.00335907	1.01%	1.25%
		4	0.002051	0.002078	0.00241612	1.01%	1.18%
	Y	0	0.000000	0.000000	0.000000	0%	0%
		1	0.001848	0.001858	0.00227032	1.01%	1.23%
		2	0.00247	0.002484	0.00303378	1.01%	1.23%
		3	0.001929	0.001944	0.0024013	1.01%	1.24%
		4	0.001084	0.001099	0.00132	1.01%	1.22%

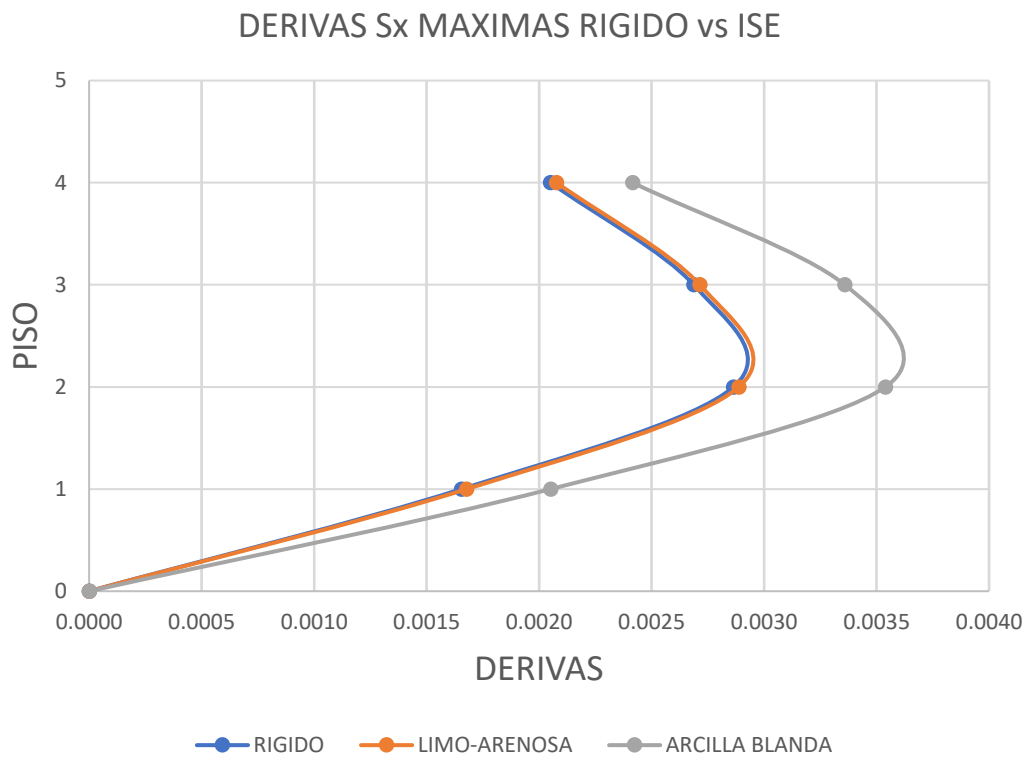


Figura 40. Grafica Derivas Sx Empotramiento Rigido vs ISE

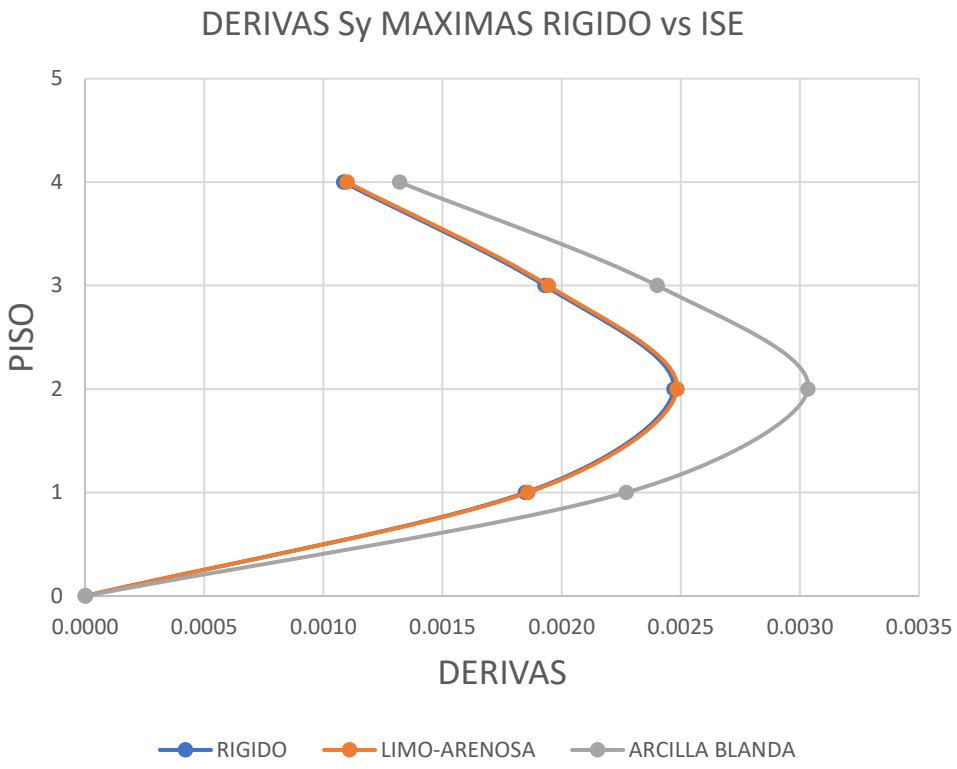


Figura 41. Grafica Derivas Sy Empotramiento Rígido vs ISE

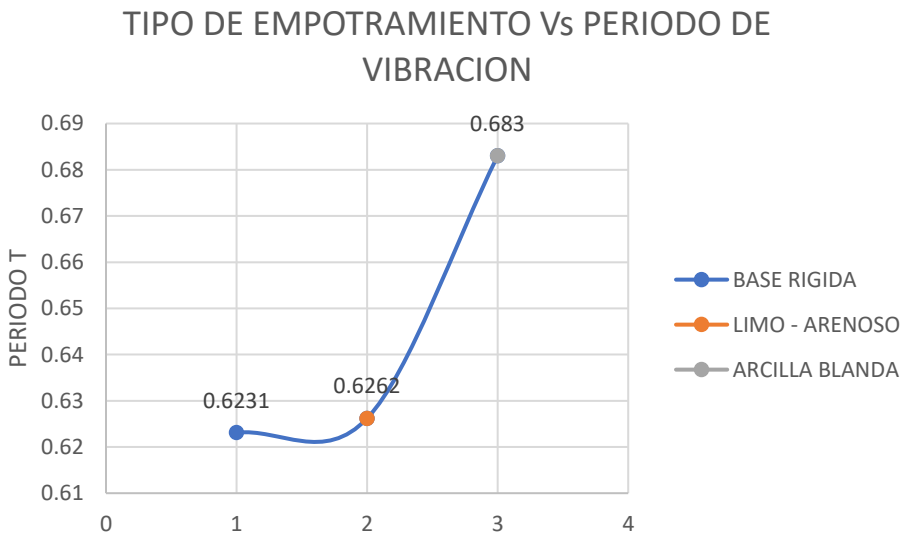


Figura 42. Grafica Periodo de vibración por tipo de empotramiento

4.7. Calculo de los asentamientos para cada tipo de suelo

- Estimaremos el asentamiento de la zapata más cargada Eje C,2, para una zapata de 1.5m de ancho la cual se emplazará sobre una capa de arena limosa, mediante el programa plaxis 2d.

Datos

Zapata rectangular

Dimensión=1.5m x 1.5m

Suelo

Material: Limo – Arenoso — **G**=5000 kN/m2 – Modulo de elasticidad del suelo

a corte — **ɣ**=16Kn/m2 — **P**=3.38kN/m2

Espesor del Suelo: 5m — **μ**=0.3 — **M**=88.19Kn/m

E=13000 KN/m2 — **Vs30**=449.86 m/s

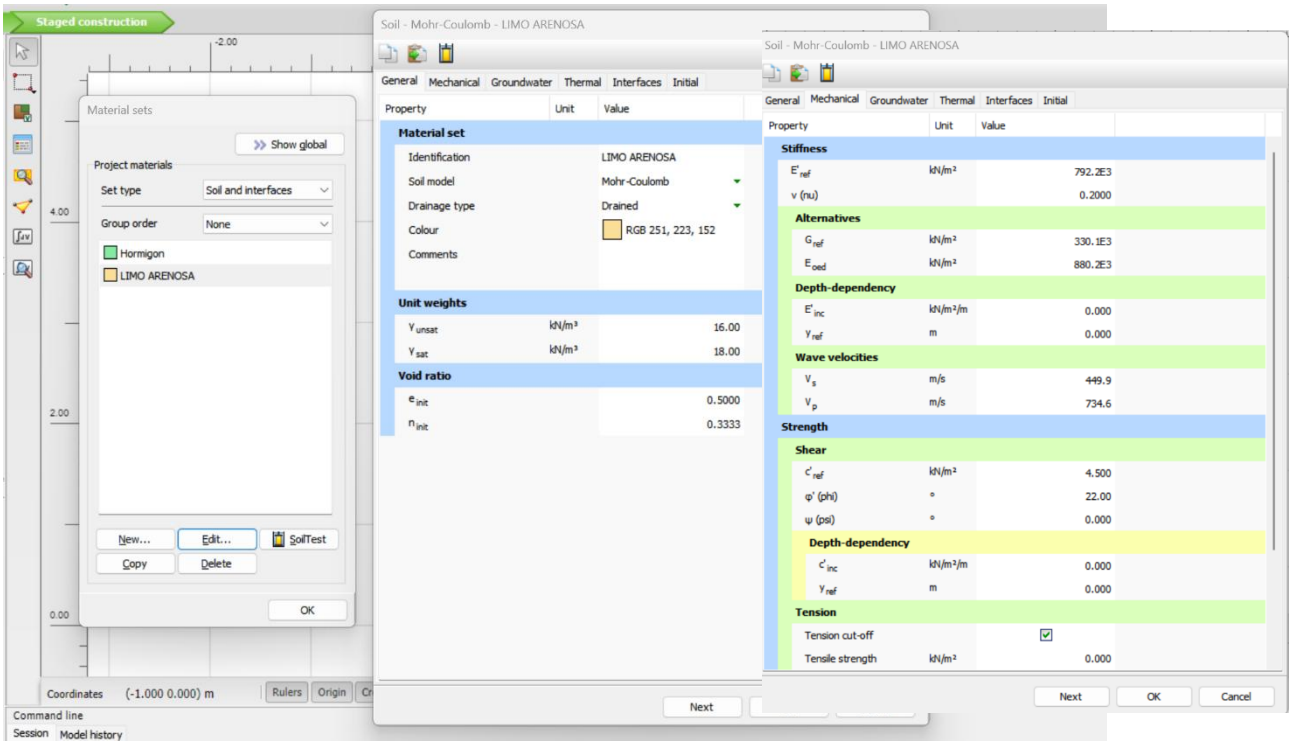


Figura 43. Ingreso de datos para limo-arenoso

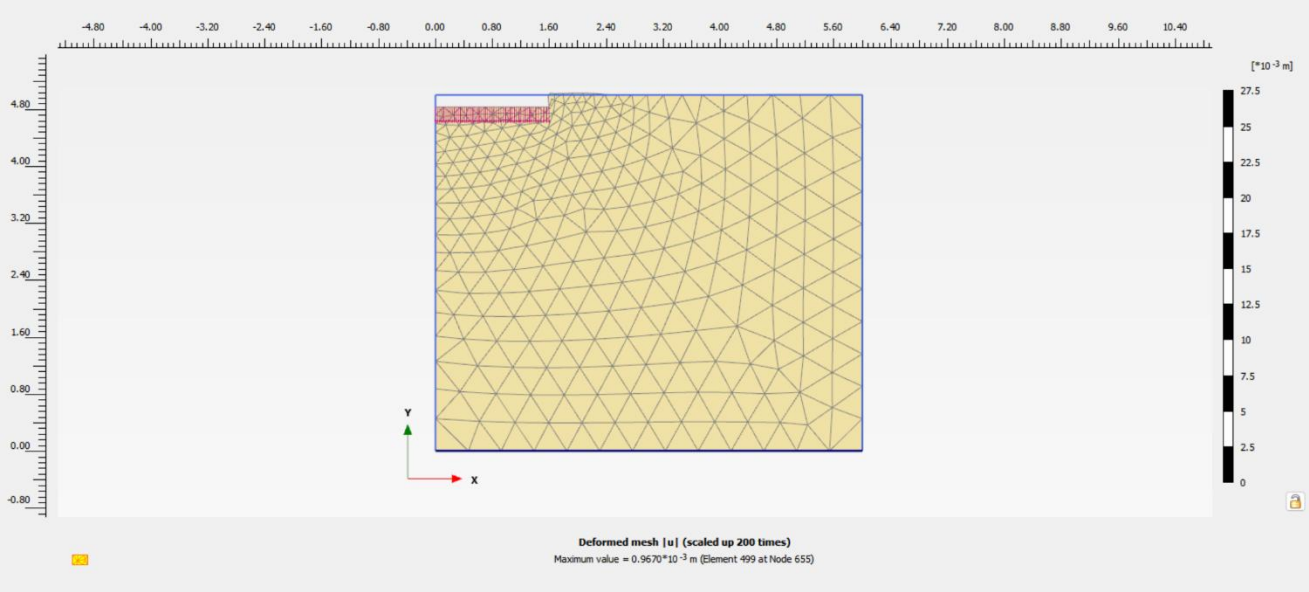


Figura 44. Mallado de resultados para limo-arenoso

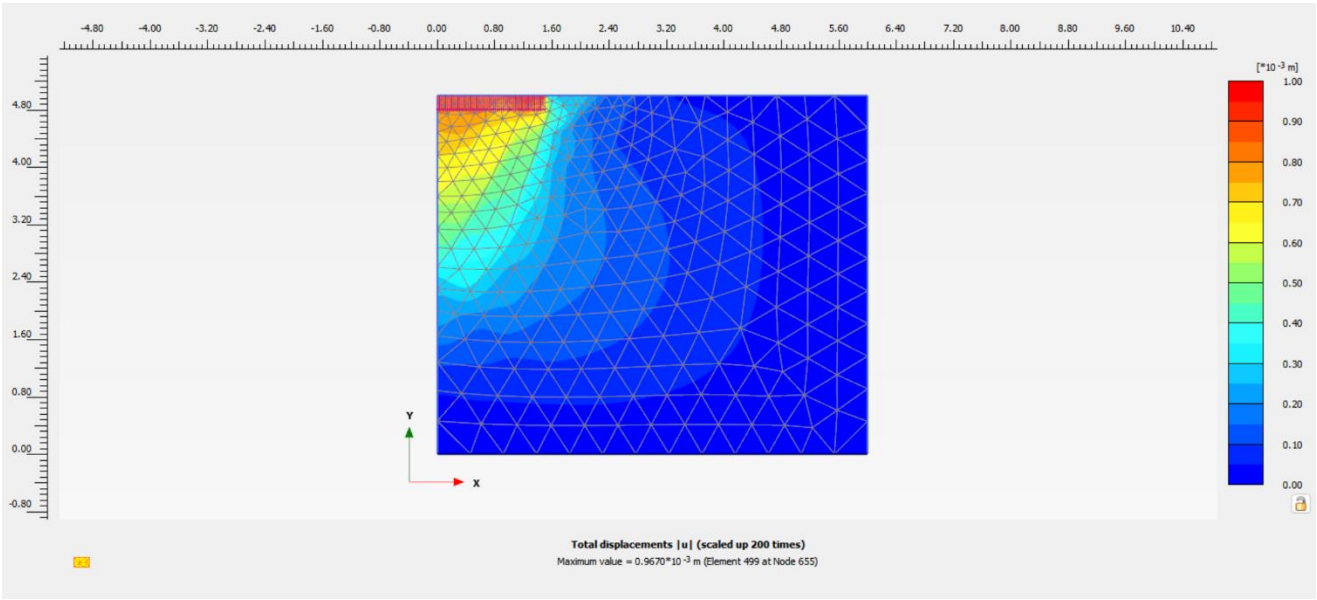


Figura 45. Grafica de desplazamientos totales para limo arenoso

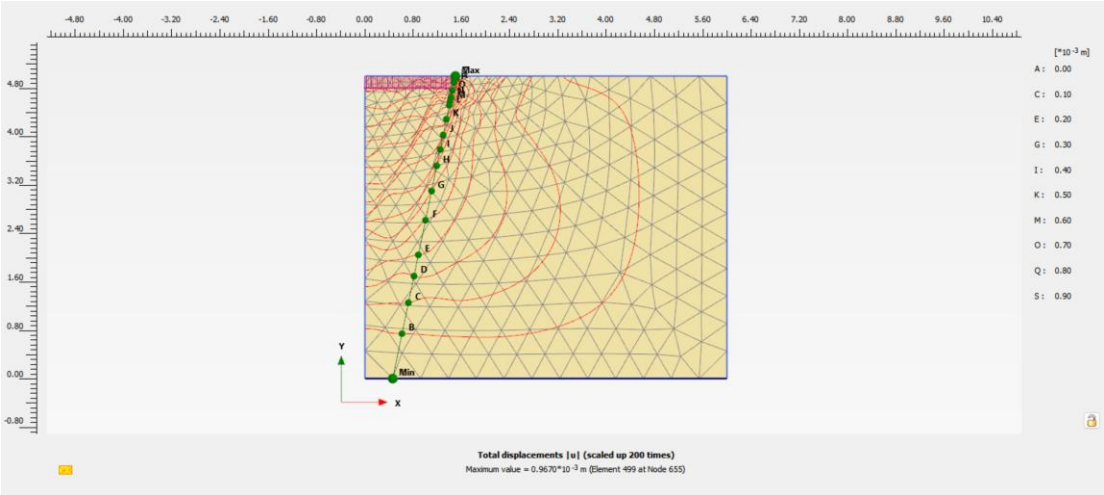


Figura 46. Grafica de líneas de influencia limo arenoso

- Estimaremos el asentamiento de la zapata más cargada Eje C,2, para una zapata de 1.5m de ancho la cual se emplazará sobre una capa de arcilla blanda.

Zapata rectangular

Dimensión=1.5m x 1.5m

Suelo

Material: Arcilla Blanda a corte

G=5000 kN/m2 – Modulo de elasticidad del suelo

ɣ=19Kn/m2

Espesor del Suelo: 5m

μ=0.2

E=13000 KN/m2

Vs30=449.86 m/s

P=46.98Kn/m2

M=131.67 Kn/m

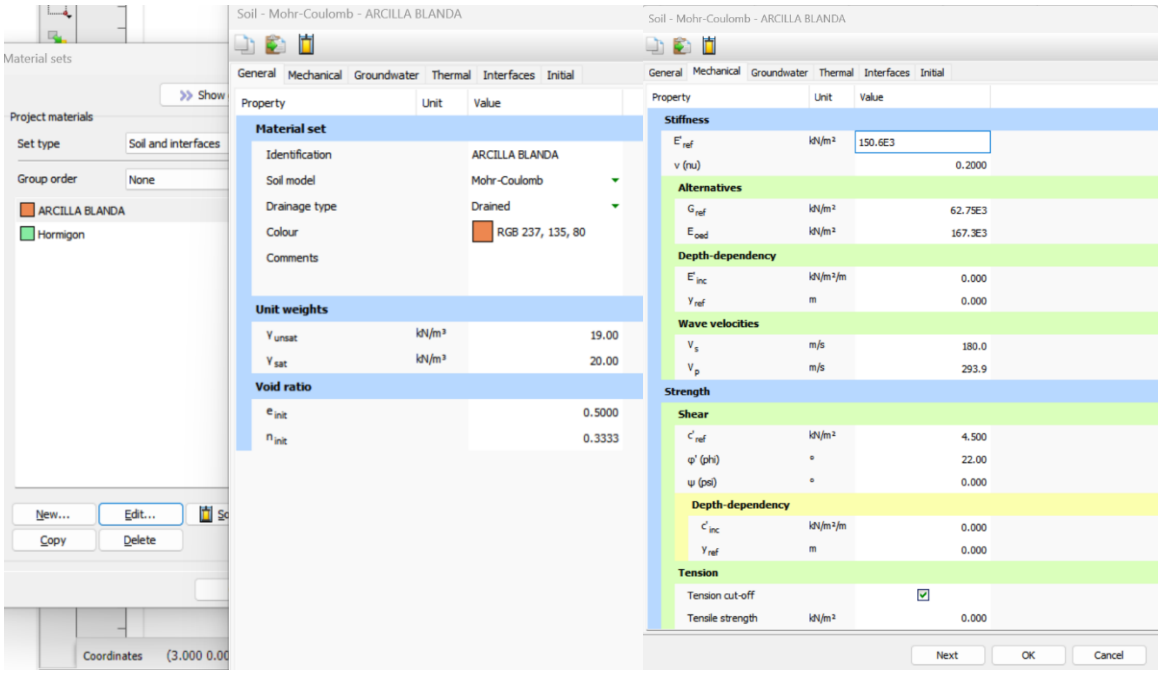


Figura 47. Ingreso de datos para arcilla blanda

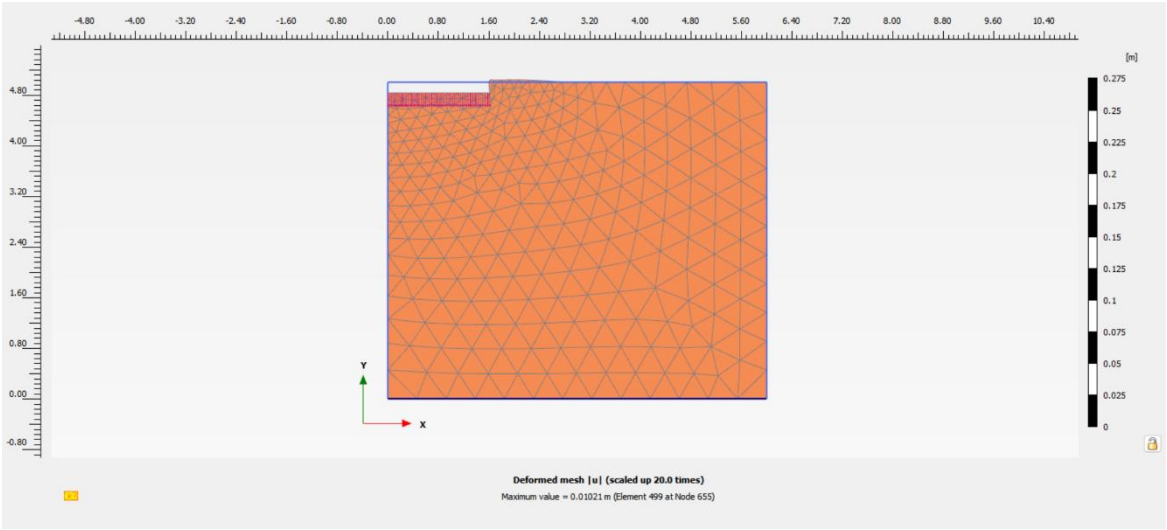


Figura 48. Mallado de resultados para arcilla blanda

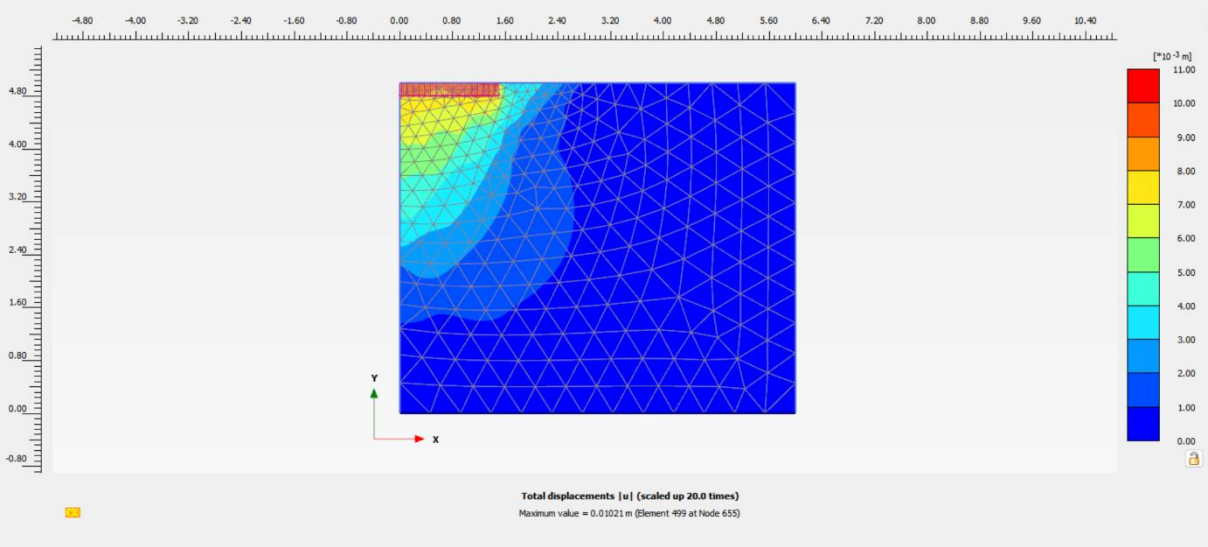


Figura 49. Grafica de desplazamientos totales para arcilla blanda

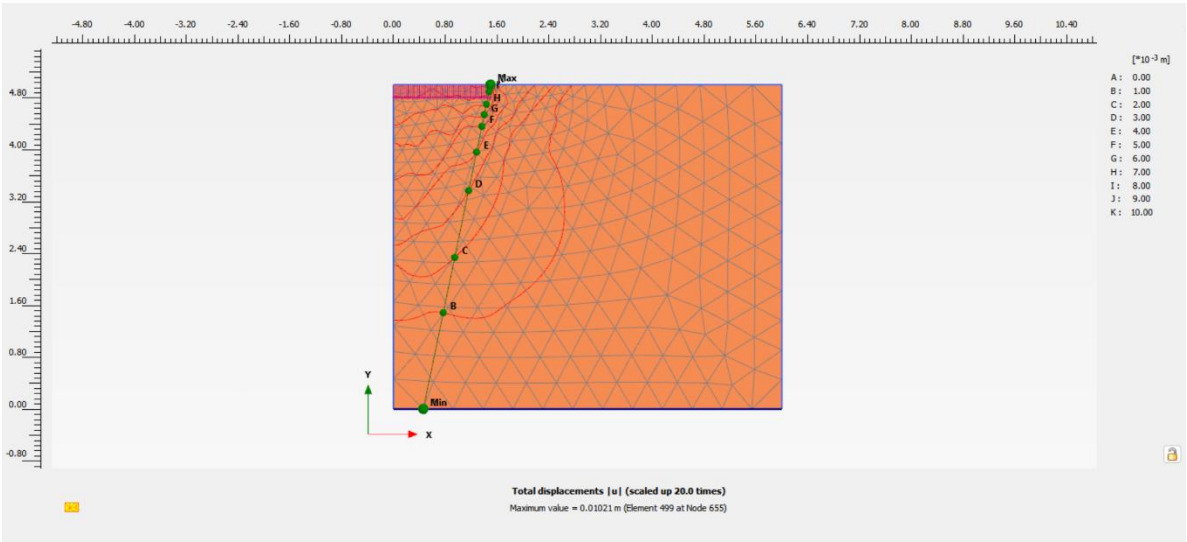


Figura 50. Grafica de líneas de influencia limo arenoso

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se evaluó la influencia de la interacción suelo-estructura implementada en la edificación a través de las fórmulas de rigidez dinámica, con resortes en base, en un suelo tipo D, intermedio, en donde al incorporar más flexibilidad a la estructura se observó que los resultados de derivas de piso, periodo de la estructura, y transmisión de cortante basal no tienen una variación significativa, en comparación con la estructura de base empotrada, por ende, no afectan a la estructura.
- Se evaluó la influencia de la interacción suelo estructura, para el comportamiento sísmico de la estructura, dándonos como resultado en un suelo tipo D(Limo-arenoso), casi nulas variaciones en cuanto a derivas de piso, 1% de variación, mientras que por otro lado, para un suelo tipo E (arcilla blanda) existió una variación en el incremento de las derivas de piso, 24% evidenciando una subestimación que se tiene de acuerdo a los diseños típicos de base empotrada, lo que provocara posibles daños ante un evento sísmico.
- Se compararon los resultados obtenidos, determinándose que la velocidad de onda de corte (Vs30) representa un parámetro más preciso para la clasificación de suelos en comparación con el ensayo de penetración estándar (SPT). Esto se debe a que Vs30 permite obtener parámetros fundamentales para evaluar la influencia de la interacción suelo-estructura (ISE). Los resultados evidencian que, cuando el suelo presenta buena resistencia Vs>360m/s, Qadm>18Tn/m2, asumir una condición de base empotrada es adecuado, ya que la influencia del sismo sobre la estructura no se manifiesta de forma significativa.
- Se concluye que en suelos con una velocidad de onda de corte superior a 360 m/s (suelos intermedios), la rigidez relativa del suelo respecto a la estructura es

lo suficientemente alta como para minimizar los efectos de la ISE, lo que justifica el uso de una modelación con base empotrada en este tipo de terrenos, para de esta manera no encarecer al proyecto, en estudios que a la final nos darán resultados finales muy parecidos.

- Este estudio permitió concluir que, para edificaciones no esenciales, un estudio basado en el ensayo de penetración estándar (SPT) junto con la consideración de una base empotrada resulta suficiente para lograr un diseño estructural eficiente y económicamente viable. El SPT permite evaluar la capacidad portante del suelo en capas medianamente superficiales (aproximadamente hasta 15 m), mientras que a mayores profundidades (30 m o más), el suelo, al estar más consolidado, incrementa su resistencia. Esto sugiere que el comportamiento del suelo varía con la profundidad, y en consecuencia, también se modifica la forma en que se transmite la energía sísmica liberada.
- A partir del análisis del gráfico de asentamiento del suelo, se concluye que la arena, al tratarse de un estrato con mayor rigidez y velocidad de onda de corte (Vs), presentó un asentamiento prácticamente imperceptible, lo que evidencia su buen desempeño frente a cargas estructurales. En contraste, la arcilla, caracterizada por ser un material más blando y con menor capacidad de soporte, mostró un asentamiento de 0.01021 m, lo que indica una mayor deformabilidad del terreno y la posibilidad de generar asentamientos diferenciales significativos. Esta diferencia en comportamiento reafirma la importancia de considerar las propiedades dinámicas del suelo, como la Vs, en el análisis geotécnico, ya que influyen directamente en la estabilidad y respuesta de la estructura ante cargas estáticas y dinámicas.

5.2. Recomendaciones

- Dado que en suelos intermedios de la ciudad de Ambato la interacción suelo-estructura (ISE) no tuvo un impacto significativo en la respuesta estructural, se recomienda considerar la modelación con base empotrada como una opción

práctica y eficiente para edificaciones de acero en terrenos con velocidades de onda de corte mayores a 360m/s.

- Aunque el tipo de suelo en el área de estudio, clasificado como limo-arcilloso con una velocidad de onda de corte de Vs = 450 m/s, no evidenció una influencia significativa en la interacción suelo-estructura (ISE), se realizó un análisis complementario utilizando un valor de Vs = 180 m/s, correspondiente a una arcilla blanda. En este caso, se observaron variaciones relevantes en el comportamiento estructural. Sin embargo, dado que este tipo de suelos es poco común en la región de la Sierra, se recomienda analizar con mayor profundidad el impacto de la ISE en suelos más blandos o con velocidades de onda de corte inferiores a 360 m/s, donde la mayor flexibilidad del terreno podría amplificar los efectos sísmicos, siendo estos escenarios más representativos de zonas como la Amazonía
- Se recomienda establecer un diálogo con los gobiernos municipales con el fin de promover la realización de estudios de refracción sísmica, indispensables para determinar la velocidad de onda de corte (Vs) en las distintas zonas de Ambato. Dado el alto costo de estos estudios, su ejecución resulta inviable para proyectos de pequeña escala; sin embargo, contar con esta información contribuiría significativamente a mejorar la caracterización del suelo y la precisión en el diseño estructural a nivel regional.
- Se recomienda ampliar la investigación para suelo de relleno o propensos a licuefacción, debido a la pobre capacidad portante de estos para determinar si la ISE puede ser más relevante en estos casos dentro del contexto de la ciudad de Ambato.
- Se recomienda la implementación es estudios de correlación entre Vs30 y resultados de SPT de zonas específicas, para la geología local, lo que permitiría estimaciones más precisas en ausencia de datos geofísicos.
- Se recomienda ahondar más en la investigación sobre los efectos de la Interacción Suelo Estructura ISE en diferentes tipos de suelos, considerando

múltiples configuraciones de cimentación y rigidez, puesto que la ISE no es difícil de implementar, pero si necesita de un seguimiento y entendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. V. Abril Jarrín and D. A. Alviar Malabet, "Análisis De La Interacción Suelo-Estructura Aplicando La Guía Práctica Fema P-2091 En El Bloque G De La Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur," Universidad Politécnica Salesiana, 2022.

[2] J.P. Escobar Montesinos, "Análisis Y Diseño Estructural Con Interacción Suelo-Estructura: Vivienda 7 Niveles". Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2017

[3] L. Morales y A. Espinosa, "Influencia de la interacción suelo-estructura (ISE) de cimentaciones superficiales en suelos no cohesivos en el comportamiento estructural de una edificación de 8 pisos y un subsuelo," Revista INGENIO, vol. 3, no. 1, pp. 5–25, 2020. ISSN: 2697-3243

[4] Y. Nakamura, "A method for estimating the dynamic characterization of the subsoil using microtremors on the soil surface," Quarterly Report of RTRI, vol. 30, no. 1, pp. 25–33, 1989.

[5] A. Pais and E. Kausel, "Approximate formulas for dynamic stiffnesses of rigid foundations," Soil Dyn. Earthq. Eng., vol. 7, no. 4, pp. 213–227, 1988, doi: 10.1016/S0267-7261(88)80005-8.

[6] K. Campbell and Y. Bozorgnia, "NGA-West2 Campbell-Bozorgnia Ground Motion Model for the Horizontal Components of PGA, PGV and 5% Damped Elastic Pseudo-Acceleration Response Spectra," Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, 2013..

[7] G. Awchat, A. Monde, R. Sirsikar, G. Dhanjode, and S. Tayade, “Soil-Structure Interaction: Comparative Review of International Codes and Other Literature with Indian Seismic Code,” Civil and Environmental Engineering, vol. 0, no. 0, 2022, doi: 10.2478/cee-2022-0009.

[8] R. L. Bonett Díaz, Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada, Universidad Politécnica de Madrid, 2018.

[9] J. Moreno y F. Erraez, Análisis y diseño de una estructura nueva de hormigón armado de 5 niveles en la ciudad de Pedernales, aplicando el análisis modal espectral mediante el software ETABS y verificando el desempeño mediante un análisis estático no lineal (Pushover), 2022.

[10] J. Biarez and P. Hicher, Elementary Mechanics of Soil Behaviour. Saturated Remoulded Soils, London: CRC Press, 1994.

[11] A. Alvarado, Neotectonique et cinematique de la deformation continentale en Équateur, Ph.D. tesis, Université de Grenoble, Francia, 2012.

[12] G. M. Martin, “Proceedings of the NCEER/SEAOC/BSSC Workshop on Site Response during Earthquakes and Seismic Code Revisions,” Univ. of Southern California, 1994.

[13] D. Vallejo, Asistencia técnica para la ejecución de la obra CAM Sabaneta y estudio de la nueva guía práctica de interacción suelo-estructura FEMA P-2091, 2021.

[14] G. Awchat, A. Monde, R. Sirsikar, G. Dhanjode, and S. Tayade, “Soil-Structure Interaction: Comparative Review of International Codes and Other Literature

with Indian Seismic Code," Civil and Environmental Engineering, vol. 0, no. 0, 2022, doi: 10.2478/cee-2022-0009.

[15] PEER, Users Manual for the PEER Ground Motion Database Web Application, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2011.

[16] N. Abrahamson, W. Silva, and K. R., "Update of the AS08 Ground-Motion Prediction Equation Based on the NGA-West2 Data Set," Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2013.

[17] N. Abrahamson, W. Silva, and R. Kamai, "Summary of the ASK14 Ground-Motion Relation for Active Crustal Regions," Earthquake Spectra, vol. 30, no. 3, pp. 1025–1055, 2014.

[18] J. Kaklamanos, L. G. Baise, and D. M. Boore, "Estimating Unknown Input Parameters when Implementing the NGA Ground-Motion Prediction Equations in Engineering Practice," Earthquake Spectra, vol. 27, no. 3, pp. 1017–1035, 2011..

[19] R. Aguiar, Espectros de control para la ciudad de Quito-Ecuador, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2015.

[20] R. F. Obrzud and A. Truty, The Hardening Soil Model – A Practical Guidebook, Préverenges: Zace Services Ltd., 2018.

[21] PLAXIS, Material Models Manual, Delft: Plaxis bv, 2017.

[22] N. Abrahamson, W. Silva, and R. Kamai, "Summary of the ASK14 Ground-Motion Relation for Active Crustal Regions," Earthquake Spectra, vol. 30, no. 3, pp. 1025–1055, 2014..

[23] B. Chiou and R. Youngs, “Update of the Chiou and Youngs NGA Ground Motion Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra,” Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, 2013.

[24] NIST GCR 12-917-21, Soil-Structure Interaction for Building Structures, Gaithersburg: U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2012.

[25] R. Aguiar , MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE AMBATO, Ambato: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 2017.

[26] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción – Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente, Quito, Ecuador, 2015.

[27] FEMA (Federal Emergency Management Agency), A Practical Guide to Soil-Structure Interaction P-2091, no. December, pp. 1–218, 2020.

[28] M. Rivera y R. Piedra, «Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica de Medición de Ondas de Corte (MASW y MAM) para usos de cimentación en obras de edificaciones,» *Universidad Nacional de Ingeniería*, vol. I, nº 2, pp. 1-6, 2020.

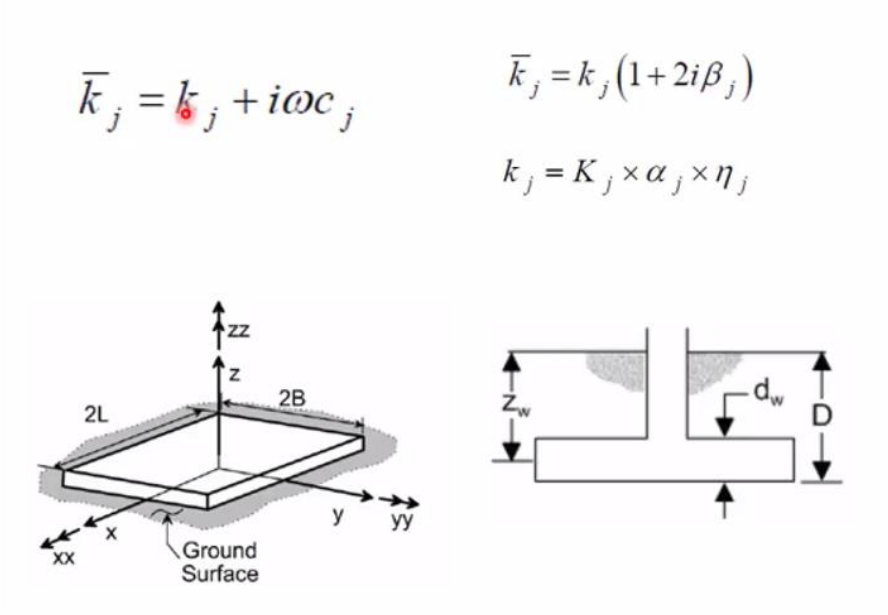
[29] R. Aguiar y Espinosa, «Shear wave velocity is not enought to classify the solil,» *Revista de Ciencia*, vol. XX, nº 1, pp. 1-21, 2014.

[30] American Society of Civil Engineers (ASCE), ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, 2016.

ANEXOS

Anexo 1.

Derivas de piso para dos modelos con base rígida y base flexible con ISE.



Nota: *Elementos de superficie y desplante para la formulación de funciones de impedancia*

Anexo 2.

Soluciones elasticas para la rigidez de zapatas rigidas en la superficie del suelo (Pais&Kause1988l)

Grado de libertad	Pais&Kausel 1988
Traslación a lo largo Eje z	$K_{z,sur} = \frac{GB}{1-v}\left[3.1\left(\frac{L}{B}\right)^{0.75} + 1.6\right]$
Traslación a lo largo del eje y	$K_{y,sur} = \frac{GB}{2-v}\left[6.8\left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 0.8\left(\frac{L}{B}\right) + 1.6\right]$

Traslación a lo largo del eje x	$K_{x,sur} = \frac{GB}{2-\nu}\left[6.8\left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 2.4\right]$
Torsión sobre el eje z	$K_{zz,sur} = GB^3\left[4.25\left(\frac{L}{B}\right)^{2.45} + 4.06\right]$
Torsión sobre el eje y	$K_{yy,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu}\left[3.73\left(\frac{L}{B}\right)^{2.4} + 0.27\right]$
Torsión sobre el eje x	$K_{xx,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu}\left[3.2\left(\frac{L}{B}\right) + 0.8\right]$

Note. Los ejes deben estar orientados de manera que L >B; G: Módulo de corte reducido

Anexo 3.

Factores de correcion para rigidez de zapatas aisladas bajo superficie (Pais&Kause1988l)

Grado de libertad	Pais&Kausel 1988
Traslación a lo largo eje z	$n_z = \left[1 + \left(0.25 + \frac{0.25}{L/B}\right)\left(\frac{D}{B}\right)^{0.8}\right]$
Traslación a lo largo del eje y	$n_y = \left[1.0 + \left(0.33 + \frac{1.34}{1+L/B}\right)\left(\frac{D}{B}\right)^{0.8}\right]$
Traslación a lo largo del eje x	$n_x \approx n_y$
Torsión sobre el eje z	$n_{zz} = \left[1 + \left(1.3 + \frac{1.32}{L/B}\right)\left(\frac{D}{B}\right)^{0.9}\right]$
Torsión sobre el eje y	$n_{yy} = \left[1 + \frac{D}{B} + \left(\frac{1.6}{0.35 + (L/B)^4}\right)\left(\frac{D}{B}\right)^2\right]$
Torsión sobre el eje x	$n_{xx} = \left[1 + \frac{D}{B} + \left(\frac{1.6}{0.35 + L/B}\right)\left(\frac{D}{B}\right)^2\right]$

Note. Kemb=ηKsup

Anexo 4.

Modificadores de rigidez dinamica y relaciones de amortiguamiento por radiacion para zapatas rigidas adoptado por (Pais&Kause1988l)

Grado de libertad	Pais&Kausel 1988
Traslación a lo largo eje z	$\alpha_z = 1.0 - \left[\frac{\left(0.4 + \frac{0.2}{L/B}\right) a_o^2}{\left(\frac{10}{1+3(L/B-1)}\right) + a_o^2} \right]$
Traslación a lo largo del eje y	$\alpha_y = 1$
Traslación a lo largo del eje x	$\alpha_x = 1$
Torsión sobre el eje z	$\alpha_{zz} = 1.0 - \left[\frac{\left(0.33 - 0.03\sqrt{L/B-1}\right) a_o^2}{\left(\frac{0.8}{1+0.33(L/B-1)}\right) + a_o^2} \right]$
Torsión sobre el eje y	$\alpha_{zz} = 1.0 - \left[\frac{0.55 a_o^2}{\left(0.6 + \frac{1.4}{(L/B)^3}\right) + a_o^2} \right]$
Torsión sobre el eje x	$\alpha_{zz} = 1.0 - \left[\frac{\left(0.55 + 0.01\sqrt{L/B-1}\right) a_o^2}{\left(2.4 - \frac{0.4}{(L/B)^3}\right) + a_o^2} \right]$

Note. Orientar los ejes tal que Lsea mayor que B

La amortiguación histeretica del suelo, βs, es adicionada a la amortiguación de la fundación por radiación βj, además el valor de a_o está dada por la siguiente formula:

$$a_o = \frac{wB}{V_s} \qquad \text{(x)}$$

Anexo 5.

Modificadores de rigidez dinamica y relaciones de amortiguamiento por radiacion para zapatas bajo la superficie,adoptado por (Pais&Kause1988l)

Grado de libertad	Pais&Kausel 1988
Traslación a lo largo eje z	$\beta_z = \left[\frac{4\left[\psi(L/B)+(D/B)(1+L/B)\right]}{\left(K_{z,emb}/GB\right)}\right]\left[\frac{a_o}{2\alpha_z}\right]$
Traslación a lo largo del eje y	$\beta_y = \left[\frac{4\left[\psi(L/B)+(D/B)(1+L/B)\right]}{\left(K_{y,emb}/GB\right)}\right]\left[\frac{a_o}{2\alpha_y}\right]$
Traslación a lo largo del eje x	$\beta_x = \left[\frac{4\left[\psi(L/B)+(D/B)(1+L/B)\right]}{\left(K_{x,emb}/GB\right)}\right]\left[\frac{a_o}{2\alpha_x}\right]$
Torsión sobre el eje z	$\beta_{zz} = \left[\frac{(4/3)\left[3(L/B)(D/B)+\psi(L/B)^3(D/B)+3(L/B)^2(D/B)+\psi(D/B)+(L/B)^3+(L/B)\right]a_o^2}{\left(K_{zz,emb}/GB^3\right)\left[\left(\frac{1.4}{1+3(L/B-1)^{0.7}}\right)+a_o^2\right]}\right]\left[\frac{a_o}{2\alpha_{zz}}\right]$
Torsión sobre el eje y	$\beta_{yy} = \left[\frac{(4/3)\left[(L/B)^3(D/B)+\psi(D/B)^3(L/B)+(D/B)^3+3(D/B)(L/B)^2+\psi(L/B)^3\right]a_o^2}{\left(K_{yy,emb}/GB^3\right)\left[\left(\frac{1.8}{1+1.75(L/B-1)}\right)+a_o^2\right]}+\frac{\left(\frac{4}{3}\right)\left(\frac{L}{B}+\psi\right)\left(\frac{D}{B}\right)^3}{(K_{yy,emb}/GB^3)}\right]\left[\frac{a_o}{2\alpha_{yy}}\right]$
Torsión sobre el eje x	$\beta_{xx} = \left[\frac{(4/3)\left[\left(\frac{D}{B}\right)+\left(\frac{D}{B}\right)^3+\psi\left(\frac{L}{B}\right)\left(\frac{D}{B}\right)^3+3\left(\frac{D}{B}\right)\left(\frac{L}{B}\right)+\psi\left(\frac{L}{B}\right)\right]a_o^2}{\left(K_{xx,emb}/GB^3\right)\left[\left(\frac{1.8}{1+1.75(L/B-1)}\right)+a_o^2\right]}+\frac{\left(\frac{4}{3}\right)\left(\psi\frac{L}{B}+1\right)\left(\frac{D}{B}\right)^3}{(K_{xx,emb}/GB^3)}\right]\left[\frac{a_o}{2\alpha_{xx}}\right]$

Anexo 6.

STM
Laboratorio de Mecánica de Suelos

PROYECTO:			
COTA BOCA DE POZO:	2588 M.S.N.M	**MUESTRA**	1
OPERADOR:	STM LAB	**EQUIPO**	SPT
FECHA DE TOMA:	12/10/2024		
LOCALIZACION:	CALLE GALILEO FERRARIS Y AV. BENJAMIN		

PERFORACION	ROFUNDIDAD(	NSPT	SUCS	DESCRIPCION
00-0.70	0,7		.	CALICATA- LIMPIEZA
0.70-1.00	1,7	10	ML	Limo Arenoso, color amarillento, suelo suelto más relleno
1.70-2.70	2,7	16	SM	Arena limosa, color amarillento, suelo suelto densidad media
2.70-3.70	3,7	25	SM	Arena limosa, color amarillento, medio denso
3.70-4.70	4,7	32	SM	Arena limosa, color amarillento suelo denso
4.70-5.70	5,7	45	SM	Arena limosa, color amarillento suelo denso
5.70-6.70	6,7	55	SM	Arena limosa, color amarillento claro suelo denso
6.70-7.70	7,7	58	SM	Arena limosa, color amarillento suelo muy denso
7.70-8.70	8,7	60	SM	Arena limosa, color amarillento suelo muy denso
9.70-14.70	14,7	63	SM	Arena limosa, color amarillento suelo de estrato compacto (rechazo punta de diamante.)

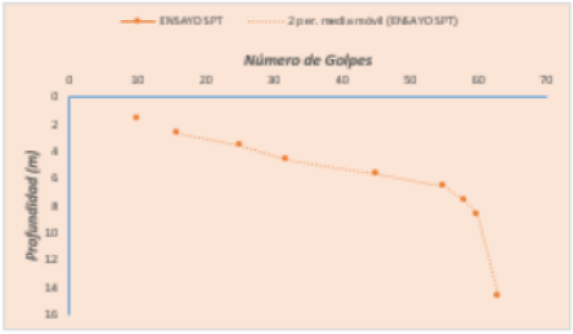


Figura 51. Registro de perforación sondeo N°1

STM
Laboratorio de Mecánica de Suelos

PROYECTO:			
COTA BOCA DE POZO:	2588 M.S.N.M	**MUESTRA**	2
OPERADOR:	STM LAB	**EQUIPO**	SPT
FECHA DE TOMA:	12/10/2024		
LOCALIZACION:	CALLE GALILEO FERRARIS Y AV. BENJAMIN		

PERFORACION	ROFUNDIDAD(	NSPT	SUCS	DESCRIPCION
00-0.70	0,7		.	CALICATA- LIMPIEZA
0.70-1.00	1,7	12	ML	Limo Arenoso, color amarillento, suelo suelto más relleno
1.70-2.70	2,7	18	SM	Arena limosa, color amarillento, suelo suelto densidad media
2.70-3.70	3,7	24	SM	Arena limosa, color amarillento, medio denso
3.70-4.70	4,7	33	SM	Arena limosa, color amarillento suelo denso
4.70-5.70	5,7	44	SM	Arena limosa, color amarillento suelo denso
5.70-6.70	6,7	51	SM	Arena limosa, color amarillento claro suelo denso
6.70-7.70	7,7	57	SM	Arena limosa, color amarillento suelo muy denso
7.70-8.70	8,7	62	SM	Arena limosa, color amarillento suelo muy denso
9.70-14.70	14,7	65	SM	Arena limosa, color café claro suelo de estrato compacto (rechazo punta de diamante.)

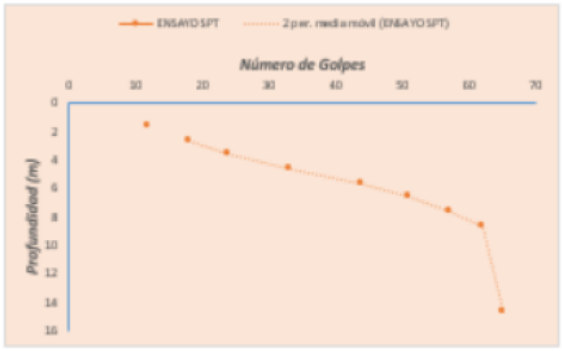


Figura 52. Registro de perforación sondeo N°2

STM
Laboratorio de Mecánica de Suelos

PROYECTO:			
COTA BOCA DE POZO:	2588 M.S.N.M	**MUESTRA**	3
OPERADOR:	STM LAB	**EQUIPO**	SPT
FECHA DE TOMA:	12/10/2024		
LOCALIZACION:	CALLE GALILEO FERRARIS Y AV. BENJAMIN		

PERFORACION	ROFUNDIDAD(I	NSPT	SUCS	DESCRIPCION
00-0.70	0,7		.	CALICATA- LIMPIEZA
0.70-1.00	1,7	15	ML	Limo Arenoso, color amarillento, suelo suelto más relleno
1.70-2.70	2,7	18	SM	Arena limosa, color amarillento, suelo suelto densidad media
2.70-3.70	3,7	27	SM	Arena limosa, color amarillento, medio denso
3.70-4.70	4,7	33	SM	Arena limosa, color amarillento suelo denso
4.70-5.70	5,7	47	SM	Arena limosa, color amarillento suelo denso
5.70-6.70	6,7	54	SM	Arena limosa, color amarillento claro suelo denso
6.70-7.70	7,7	58	SM	Arena limosa, color amarillento suelo muy denso
7.70-8.70	8,7	61	SM	Arena limosa, color amarillento suelo muy denso
9.70-14.70	14,7	64	SM	Arena limosa, color amarillento suelo de estrato compacto (rechazo punta de diamante.)

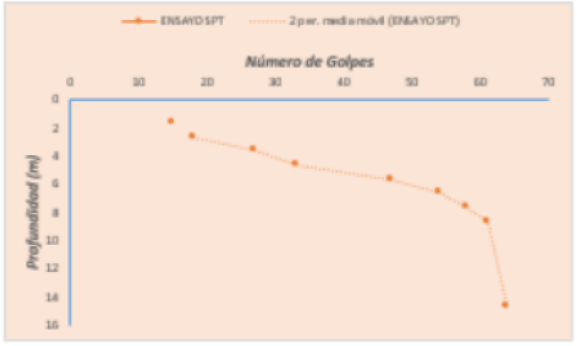


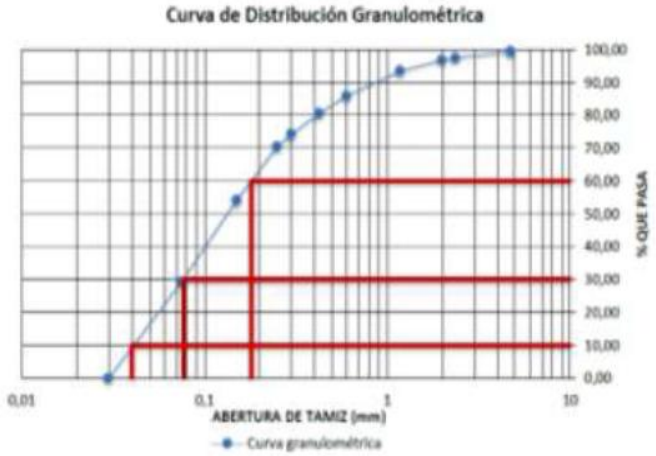
Figura 53. Registro de perforación sondeo N°3

STM

PROYECTO:			
FECHA:	12/10/2024	MUESTRA	1
LOCALIZACION	CALLE GALILEO FERRARIS Y AV. BENJAMIN	NORMA:	INEN 872
COTA:	2588 msnm		

ANALISIS GRANULOMETRICO

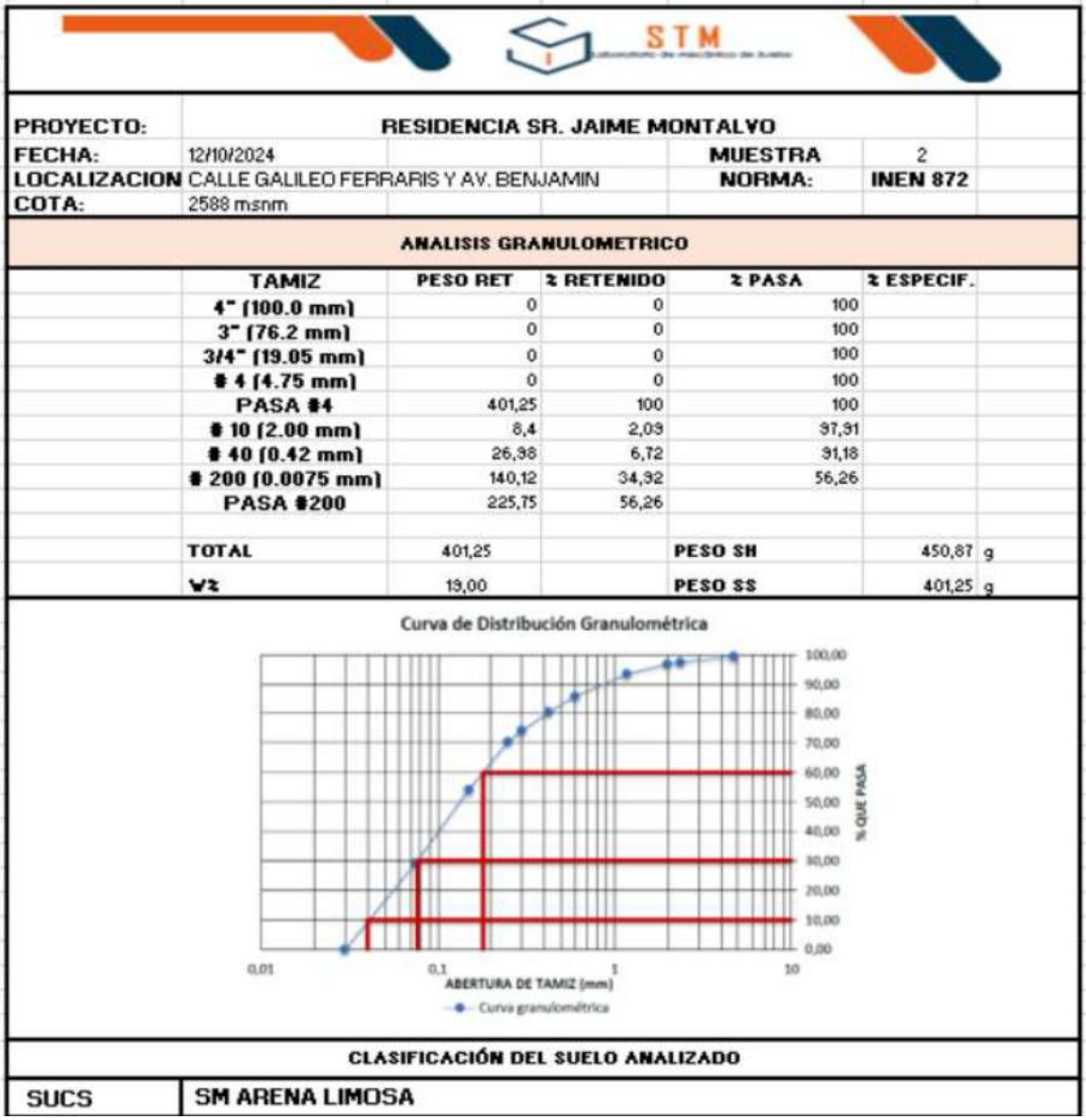
TAMIZ	PESO RET	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
4" (100.0 mm)	0	0	100	
3" (76.2 mm)	0	0	100	
3/4" (19.05 mm)	0	0	100	
# 4 (4.75 mm)	0	0	100	
PASA #4	365,56	100	100	
# 10 (2.00 mm)	7,2	1,97	98,03	
# 40 (0.42 mm)	24,87	6,80	91,23	
# 200 (0.0075 mm)	165,87	45,37	45,85	
PASA #200	167,62	45,85		
TOTAL	365,56		PESO SH	390,61 g
Wz	18,45		PESO SS	365,56 g



CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SUCS	SM ARENA LIMOSA

Figura 54. Granulometría sondeo N°1



PROYECTO:	RESIDENCIA SR. JAIME MONTALVO				
FECHA:	12/10/2024		MUESTRA	2	
LOCALIZACION	CALLE GALILEO FERRARIS Y AV. BENJAMIN		NORMA:	INEN 872	
COTA:	2588 msnm				

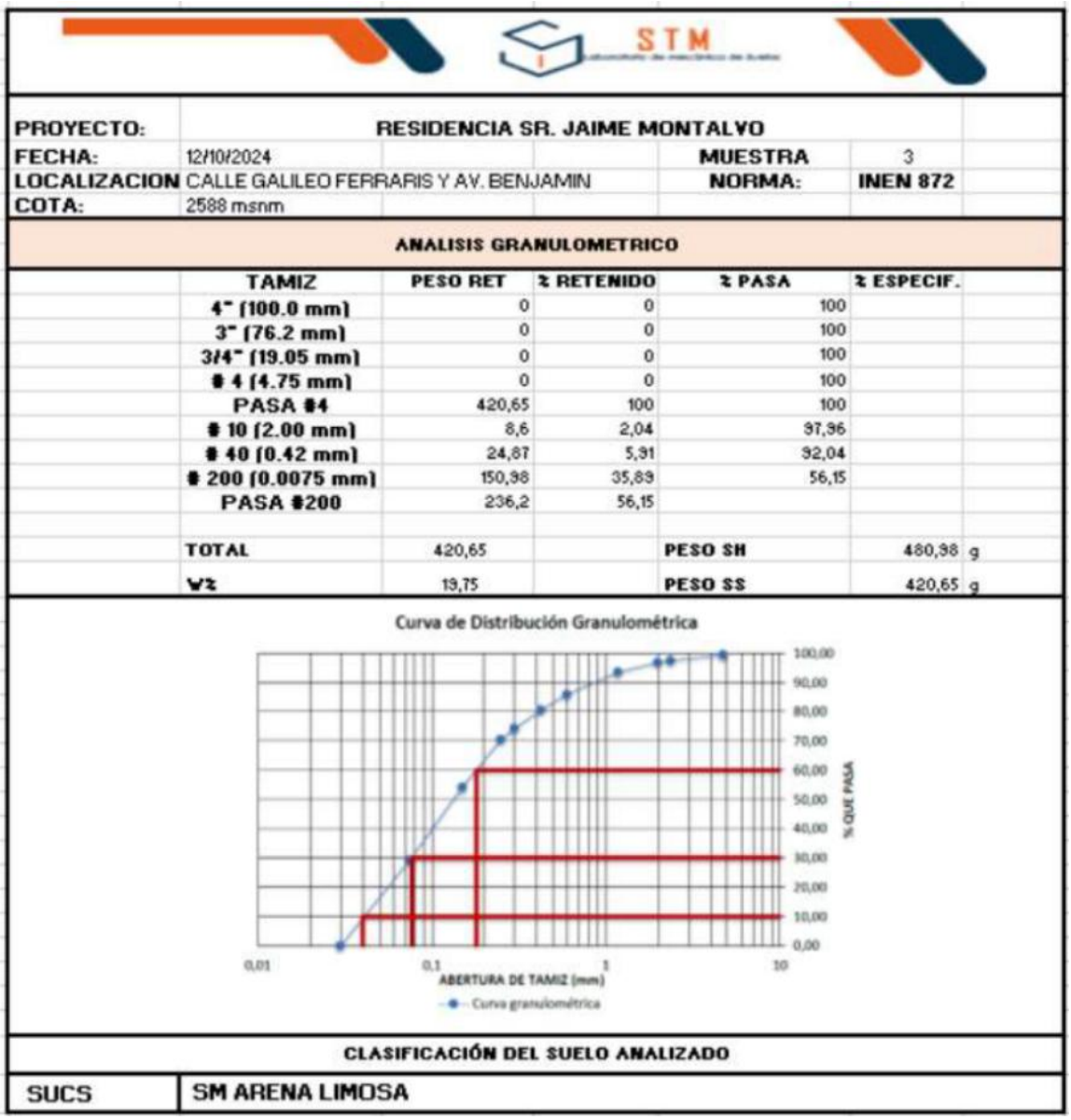
ANALISIS GRANULOMETRICO

TAMIZ	PESO RET	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.	
4" (100.0 mm)	0	0	100		
3" (76.2 mm)	0	0	100		
3/4" (19.05 mm)	0	0	100		
# 4 (4.75 mm)	0	0	100		
PASA #4	401,25	100	100		
# 10 (2.00 mm)	8,4	2,09	97,91		
# 40 (0.42 mm)	26,98	6,72	91,18		
# 200 (0.0075 mm)	140,12	34,92	56,26		
PASA #200	225,75	56,26			
TOTAL	401,25		PESO SH	450,87	g
Wz	19,00		PESO SS	401,25	g

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SUCS	SM ARENA LIMOSA

Figura 55. Granulometría sondeo N°2



PROYECTO:	RESIDENCIA SR. JAIME MONTALVO				
FECHA:	12/10/2024		MUESTRA	3	
LOCALIZACION	CALLE GALILEO FERRARIS Y AV. BENJAMIN		NORMA:	INEN 872	
COTA:	2588 msnm				

ANALISIS GRANULOMETRICO

TAMIZ	PESO RET	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
4" (100.0 mm)	0	0	100	
3" (76.2 mm)	0	0	100	
3/4" (19.05 mm)	0	0	100	
# 4 (4.75 mm)	0	0	100	
PASA #4	420,65	100	100	
# 10 (2.00 mm)	8,6	2,04	97,96	
# 40 (0.42 mm)	24,87	5,91	92,04	
# 200 (0.0075 mm)	150,98	35,89	56,15	
PASA #200	236,2	56,15		
TOTAL	420,65		PESO SH	480,98 g
W%	13,75		PESO SS	420,65 g

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SUCS	SM ARENA LIMOSA

Figura 56. Granulometría sondeo N°3

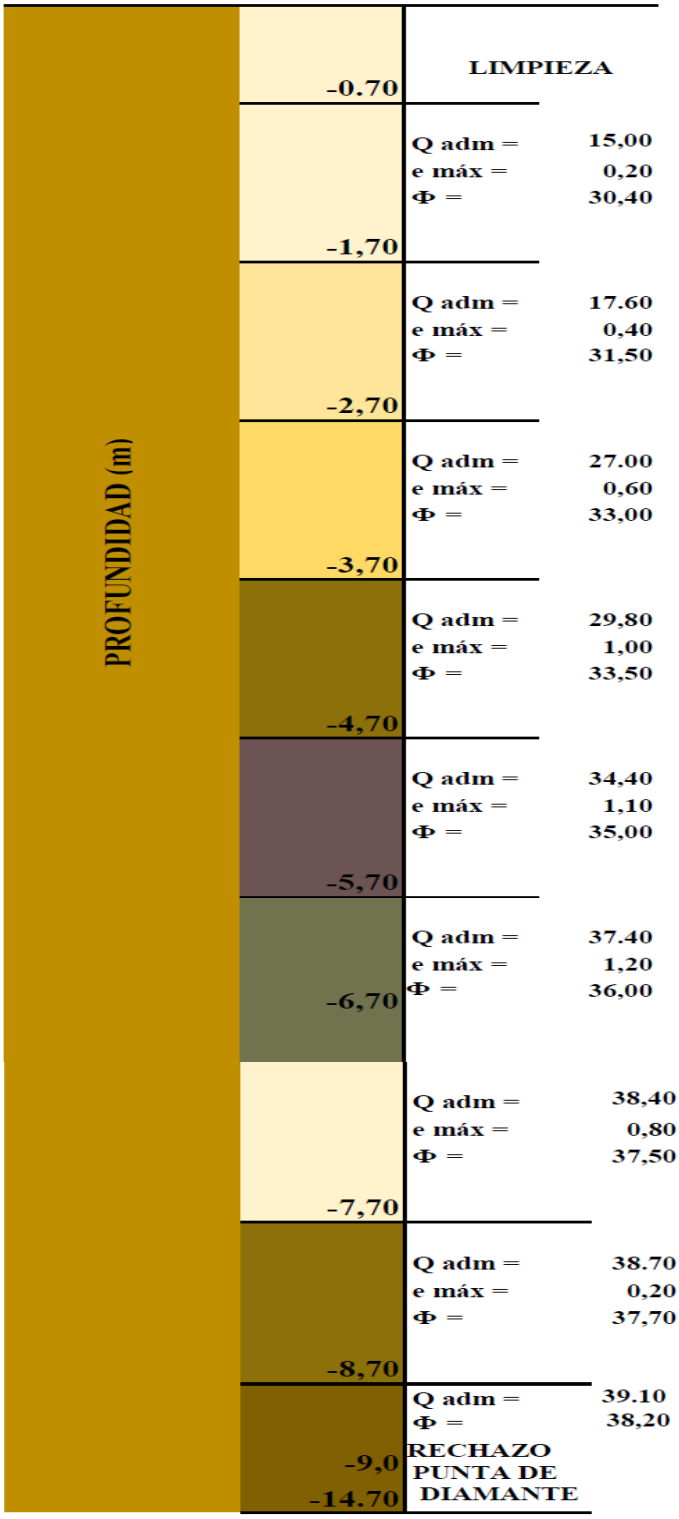


Figura 57. Gráfico esquema de penetración

Se realizaron tres sondeos con el equipo SPT, para determinar la capacidad portante y determinar las propiedades mecánicas del suelo según la gráfica.

Tabla 20. Detalle de los sondeos realizados

PERFORACIONES	Coordenadas	COTA-m.s.n.m	PROF(m)
S1-Sondeo 1	X: 768474,327 Y: 9860715,453	2588 m	15,00
S2-Sondeo 2	X: 768479,352 Y: 9860713,790	2588 m	15,00
S3-Sondeo 3	X: 768483,510 Y: 9860716,238	2588 m	15,00

Tabla 21. Norma para los 3 tipos de sondeos

NORMA	SONDEO NÚMERO	NIVEL FREÁTICO
ASTM D1586-67	S1	No
ASTM D1586-67	S2	No
ASTM D1586-67	S3	No

Investigación De Campo

Sondeo 1

- Se realiza la exploración con limpieza de -0.70 m y se ingresa desde -0.70 m hasta -1.70m donde se detecta ML Limo Arenosa color amarillento, suelo suelto más relleno Del N -1,70m hasta el N-2,70m se detecta un material SM Arena Limoso, color amarillento suelo suelto densidad media del N-2.70m a N-3,70

m, SM Arena Limosa, de color amarillento medio denso del N-3.70m a N-6.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N-6.70m a N-7.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N-7.70m a N-8.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N- 8.70m a N-14.70m, SM Arena Limosa, color amarillento compacto estrato duro donde se detecta rechazo por número de golpes y por ingreso de punta de diamante.

- No se detecta nivel freático.
- Contenidos de Humedad W: 18,45 %

Sondeo 2

- Se realiza la exploración con limpieza de -0.70 m y se ingresa desde -0.70 m hasta -1.70 m donde se detecta ML Limo Arenosa color amarillento, suelo suelto más relleno Del N -1,70m hasta el N-2,70m se detecta un material SM Arena Limoso, color amarillento suelo suelto densidad media del N-2.70m a N-3,70 m, SM Arena Limosa, de color amarillento medio denso del N-3.70m a N-6.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N-6.70m a N-7.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N-7.70m a N-8.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N- 8.70m a N-14.70m, SM Arena Limosa, color amarillento compacto estrato duro donde se detecta rechazo por número de golpes y por ingreso de punta de diamante.
- No se detecta nivel freático.
- Contenidos de Humedad W: 19,00 %

Sondeo 3

- Se realiza la exploración con limpieza de -0.70 m y se ingresa desde -0.70 m hasta -1.70 m donde se detecta ML Limo Arenosa color amarillento, suelo suelto más relleno Del N -1,70m hasta el N-2,70m se detecta un material SM Arena Limoso, color amarillento suelo suelto densidad media del N-2.70m a N-3,70 m, SM Arena Limosa, de color amarillento medio denso del N-3.70m a N-6.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N-6.70m a N-

7.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N-7.70m a N-8.70m, SM Arena Limosa, de color amarillento suelo denso del N- 8.70m a N-14.70m, SM Arena Limosa, color amarillento compacto estrato duro donde se detecta rechazo por número de golpes y por ingreso de punta de diamante.

- No se detecta nivel freático.
- Contenidos de Humedad W: 19,75 %

STM
Laboratorio de Mecánica de Suelos

Número Sondeos	Prof. (m)	Parroquia	Coordenadas x	Coordenadas y	N. Niveles	Capacidad admisible	Fs	Asentamiento Calculado	Asentamiento Norma	Clasificación SUCS	Ángulo de Fricción	Nivel de desplante	Coeficiente de Balasto	Mejoramiento o de Suelo	Nivel Freatico
3	15	Pishilata	768474	9860715	4	15,50 Tn.m2	3	12,46mm	25mm	SM arena limosa	30.40°	1,8	2.50 kg/ cm3	0,60cm	NO

Figura 58. Cuadro de resumen de parámetros determinados por el ensayo SPT.

Anexo 7.

SONDEO N°1	**SONDEO N°2**
	

SONDEO N°3	MEDICION DE LA CAPA SONDEO N°1
	
MEDICION DE LA CAPA SONDEO N°2	**MEDICION DE LA CAPA SONDEO N°3**
	