



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PILOTES  
PARA UNA EDIFICACIÓN DE 5 PLANTAS DENTRO DE LA UPS – SEDE  
GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Civil

**AUTORES:** Ivanna Darianna Torres Fuentes  
Jorge Gabriel Walsh Jurado

**TUTOR:** Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSc.

Guayaquil - Ecuador

2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Ivanna Darianna Torres Fuentes con documento de identificación N° 0930630348 y Jorge Gabriel Walsh Jurado con documento de identificación N° 0931017560; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 17 de enero del año 2026

Atentamente,



---

Ivanna Darianna Torres Fuentes

0930630348



---

Jorge Gabriel Walsh Jurado

0931017560

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ivanna Darianna Torres Fuentes con documento de identificación N° 0930630348 y Jorge Gabriel Walsh Jurado con documento de identificación N° 0931017560, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PILOTES PARA UNA EDIFICACIÓN DE 5 PLANTAS DENTRO DE LA UPS - SEDE GUAYAQUIL”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2026

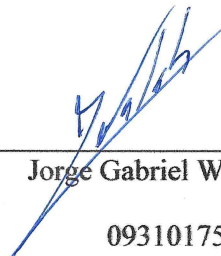
Atentamente,



---

Ivanna Darianna Torres Fuentes

0930630348



---

Jorge Gabriel Walsh Jurado

0931017560

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra con documento de identificación N° 1205363326, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PILOTES PARA UNA EDIFICACIÓN DE 5 PLANTAS DENTRO DE LA UPS - SEDE GUAYAQUIL”, realizado por Ivanna Darianna Torres Fuentes con documento de identificación N° 0930630348 y Jorge Gabriel Walsh Jurado con documento de identificación N° 0931017560, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2026

Atentamente,



---

Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSc

1205363326

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a todas las personas que me brindaron su apoyo durante mi formación académica y profesional. Que este esfuerzo sirva como guía y respaldo para los futuros profesionales que emprendan este camino.

Extiendo también esta dedicatoria a cada uno de los ingenieros que contribuyeron a mi desarrollo académico y cuyo acompañamiento fue fundamental para alcanzar esta meta. En este proyecto se refleja un poco de cada materia y enseñanza recibida de ustedes: Ing. Fausto Cabrera, Ing. Kevin Proaño, Ing. Fabián Macas, Ing. Leonardo Echeverría e Ing. Jorge Morán.

Y a mi grupito de amigos quienes supieron apoyar en cualquier inquietud durante la carrera, su apoyo fue significativo.

*Ivanna Darianna Torres Fuentes*

## **DEDICATORIA**

Este logro es un testimonio de fe, amor y perseverancia que dedico con profundo agradecimiento a quienes fueron mi guía y mi soporte en este camino: A Dios,

Por ser la fuente de mi sabiduría, mi fortaleza y mi salud, y por alumbrar mi camino con su infinita gracia. Mi fe en Él fue el motor que me permitió superar cada obstáculo. A mis amados padres, Jorge Walsh y Celia Jurado, Por su amor incondicional, sus sacrificios incansables y sus valiosas lecciones de vida. Su ejemplo de esfuerzo es el cimiento más sólido sobre el que he construido mis sueños.

A mi hermana, María Sol Walsh, Por ser mi cómplice, mi apoyo constante y por inyectar alegría y aliento en los momentos de mayor presión. A mi abuelito, Jorge Walsh Mera,

Por sus valiosas enseñanzas y por ser un modelo de perseverancia. Su recuerdo y su espíritu me han acompañado e impulsado hasta la meta. A mi pareja,

Por su paciencia, comprensión y por ser el refugio donde siempre encontré paz y la motivación para seguir adelante.

Y finalmente, a mis queridas mascotas, Por los momentos de felicidad, sus silenciosas terapias de afecto y por recordarme la importancia de las pausas en el camino.

Este triunfo es de todos ustedes. Mi gratitud es eterna.

*Jorge Gabriel Walsh Jurado*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por permitirme llegar hasta este momento y brindarme la fortaleza necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida. Su guía ha sido fundamental para continuar avanzando con esperanza y determinación.

Mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo. A mi papá, por su esfuerzo y respaldo económico, por buscar siempre la manera más segura y adecuada de ayudarme a cumplir con mis responsabilidades universitarias. A mi mamá, por estar pendiente cada día de mis horarios de trabajo y de clases, por sus cuidados constantes y por asegurarse de que nunca me falte un plato de comida al llegar a casa. A ambos, gracias por su amor incondicional y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mi pareja, por su paciencia, por acompañarme en los momentos de cansancio, por motivarme a no descuidar mis estudios y por estar siempre presente cuando necesitaba apoyo emocional o laboral. Gracias por ayudarme a mantener el equilibrio en este último semestre, que ha sido tan decisivo para mi formación.

Ingenieros y docentes de la universidad, quienes compartieron sus conocimientos con dedicación y compromiso. En especial, agradezco al Ing. Kevin Proaño por su guía constante, por animarnos en cada clase y por su paciencia al explicar nuevamente cada duda, impulsándonos siempre a mejorar. Sus enseñanzas han sido esenciales para mí.

Finalmente, agradezco a la Universidad por brindarnos los recursos académicos, el espacio adecuado para nuestra preparación y la oportunidad de desarrollarnos como profesionales. Gracias por facilitar cada etapa de este proyecto y por permitirnos crecer en un entorno de aprendizaje.

*Ivanna Darianna Torres Fuentes*

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis ha sido la culminación de un proceso que no habría sido posible sin el apoyo invaluable de diversas personas.

En primer lugar, mi más sincero y profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Kevin Proaño, su guía experta, paciencia inagotable y rigor académico han sido los pilares fundamentales para la concepción, desarrollo y conclusión de esta investigación. Su mentoría ha marcado una diferencia crucial en mi formación profesional.

Mi gratitud se extiende a los miembros del Comité Evaluador por sus valiosas observaciones y sugerencias críticas que enriquecieron significativamente el manuscrito final.

A la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme los recursos necesarios, el espacio académico y la oportunidad de desarrollar este proyecto.

A mis colegas y compañeros de estudio por el ambiente de colaboración, el intercambio de ideas y el apoyo mutuo durante las jornadas de estudio e investigación.

Finalmente, deseo reiterar mi gratitud a mi familia y seres queridos. A mis padres y a mi pareja, por la comprensión y el soporte emocional incondicional que me permitieron concentrarme en mis estudios.

Gracias a todos por ser parte de este importante logro.

*Jorge Gabriel Walsh Jurado*

## RESUMEN

El estudio caracteriza geotécnica y dinámicamente el subsuelo de la Universidad Politécnica Salesiana (Guayaquil) para el diseño de cimentaciones profundas sometidas a cargas gravitacionales. El área de estudio se emplaza geológicamente sobre depósitos estuarinos compuestos por arcillas y limos de alta compresibilidad y baja resistencia al corte.

La metodología consistió en una prospección geofísica indirecta mediante el uso de un sismógrafo Gea24 PASI y una configuración de 24 geófonos verticales. Para el ensayo de Sísmico de Refracción (Norma ASTM D 5777), orientado a determinar la estratigrafía en 2D y velocidades de onda longitudinal, se utilizaron geófonos de 15 Hz. Complementariamente, se aplicó el método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) y Refracción de Microtermores con geófonos de 4.5 Hz para obtener el perfil de velocidad de onda de corte en 1D hasta los 30 metros de profundidad.

Posteriormente, se desarrolló la modelación numérica mediante el software de elementos finitos. Para la superestructura se simuló el comportamiento ante cargas de gravedad, mientras que para la infraestructura se modeló el sistema de pilotaje, considerando la interacción suelo-estructura y las propiedades no lineales de los estratos identificados.

Los resultados definieron una estratigrafía compuesta por 4 niveles: El primer estrato va desde los 0.00 m hasta los 3.38 m, el segundo estrato va desde los 3.38 m hasta 9.36 m, el tercer estrato va desde los 9.36 m hasta los 21.15 m, el cuarto estrato va desde los 21.15 m hasta los 30.00 m. El subsuelo se categorizó como tipo D según la NEC-2015 con un periodo de vibración de 0.33. La modelación por elementos finitos confirmó que el desplante de los pilotes debe alcanzar el cuarto estrato para garantizar la estabilidad, logrando que los asentamientos calculados se mantengan dentro de los límites de servicio.

**Palabras clave:** Capacidad portante, pilotes, geófonos, sísmica de refracción, MASW, ReMi, NEC-2015.

## ABSTRACT

This research was conducted with the purpose of characterizing the stratigraphic profile, bearing capacity, and dynamic behavior of the subsoil at the Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil campus, for the design of deep foundations under gravity loads. Geologically, the study area is located on estuarine deposits composed of high-compressibility clays and silts with low shear strength.

The methodology involved indirect geophysical prospecting using a Gea24 PASI seismograph and a configuration of 24 vertical geophones. For the Seismic Refraction test (ASTM D 5777 standard), aimed at determining 2D stratigraphy and longitudinal wave velocities ( $V_p$ ), 15 Hz geophones were utilized. Additionally, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) and Refraction Microtremor (ReMi) methods were applied using 4.5 Hz geophones to obtain the 1D shear wave velocity ( $V_s$ ) profile up to a depth of 30 meters. The energy source consisted of controlled impacts using an 8 kg sledgehammer on a steel plate.

Subsequently, numerical modeling was developed using finite element software. The superstructure's behavior under gravity loads was simulated, while the piling system was modeled for the infrastructure, considering soil-structure interaction and the non-linear properties of the identified strata.

The results defined a stratigraphy composed of four levels: the first stratum extends from 0.00 m to 3.38 m; the second from 3.38 m to 9.36 m; the third from 9.36 m to 21.15 m; and finally, the fourth stratum from 21.15 m to 30.00 m. The subsoil was categorized as Type D according to the NEC-2015 (Ecuadorian Construction Code) with a vibration period of 0.33. The finite element modeling confirmed that the pile tip must reach the fourth stratum to ensure stability, ensuring that calculated settlements remain within serviceability limits.

**Keywords:** Bearing capacity, piles, geophones, seismic refraction, MASW, ReMi, NEC-2015.

## CONTENIDO

II. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ... II	
III. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	III
IV. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
V. DEDICATORIA .....	V
VI. RESUMEN .....	IX
VII. ABSTRACT .....	X
CAPITULO 1 .....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1.1 Descripción del problema.....	12
1.1.2 Planteamiento del problema .....	13
1.1.3 Delimitación .....	15
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Objetivo general .....	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
CAPITULO 2 .....	19
1.4 MARCO TEORICO .....	19
1.4.1 Fundamentos de Cimentaciones .....	19
1.4.2 Tipo de pilotes .....	21
1.4.3 Procedimiento constructivo .....	25
1.4.4 Mecanismo de transferencia de carga.....	26

1.4.5	Capacidad portante del suelo y asentamientos .....	28
1.4.6	Factores que influyen en la capacidad portante.....	29
1.4.7	Geotecnia Aplicada a Pilotes.....	31
1.4.8	Tipos de ensayos geotécnicos.....	32
1.4.9	Parámetros elásticos y geomecánicos.....	38
1.4.10	Pilotes en Zona Sísmica .....	42
1.4.11	Normativa Aplicable .....	44
1.4.12	Doble excentricidad en cimentaciones superficiales .....	48
1.4.13	Método NAVFAC .....	51
1.4.14	Modelación estructural .....	54
CAPITULO 3 .....		56
1.5	MARCO METODOLÓGICO .....	56
1.5.1	Ensayo de suelo .....	56
1.5.2	Modelado de estructura en Revit.....	67
1.5.3	Espectro elástico.....	71
1.5.4	Prediseño de la estructura.....	77
1.5.5	Modelado en Etabs .....	80
1.5.6	Base de resultados calculados por el software ETABS.....	105
1.5.7	Propuesta de cimentación superficial.....	109
1.5.8	Cálculo de doble excentricidad en zapatas .....	110
1.5.9	Propuesta de cimentación profunda.....	145
1.6	RESULTADOS .....	153
1.7	CRONOGRAMA .....	156

1.8	PRESUPUESTO .....	157
CAPITULO 4 .....		157
1.9	CONCLUSIONES.....	157
1.10	RECOMENDACIONES .....	158
1.11	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	159
CAPITULO 5 .....		162
1.12	ANEXOS.....	162
1.12.1	Planos de vista en planta, edificio 1. ....	166
1.12.2	Modelo tridimensional y detalles internos del edificio 1. ....	170
1.12.3	Vista en planta de edificación general, primera propuesta .....	176

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rango y condiciones para los tipos de cimentación.....	21
Tabla 2 Rango de velocidades para ondas de compresión en el suelo y rocas.....	37
Tabla 3 Valores promedio de $V_p$ y $V_s$ en materiales del subsuelo.....	38
Tabla 4 Parámetros físico–mecánicos representativos de los depósitos estuarinos de Guayaquil.....	57
Tabla 5 Valores de la aceleración máxima $Z$ en función de la zona sísmica.....	58
Tabla 6 Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MASW ejecutados en el proyecto.....	58
Tabla 7 Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MASW ejecutados en el proyecto.....	60
Tabla 8 Parámetros de primera línea de ensayo LS-01.....	66
Tabla 9 Parámetros de segunda línea de ensayo LS-02.....	66
Tabla 10 Tabla resumen de coeficientes de perfil de suelo.....	72
Tabla 11 Factor de zona sísmica ( $Z$ ).....	74
Tabla 12 Resumen de componentes de espectro elástico de diseño.....	75
Tabla 13 Resumen de datos para periodo fundamental.....	75
Tabla 14 Aceleraciones espectrales.....	76
Tabla 15 Propiedades geométricas.....	77
Tabla 16 Control de altura equivalente.2.....	77
Tabla 17 Control de altura mínima de losa.....	77
Tabla 18 Peso de losa aligerada.....	78
Tabla 19 Sección de vigas transversales.....	78
Tabla 20 Sección de vigas longitudinales.....	78
Tabla 21 Prediseño de columnas.....	78
Tabla 22 Columna fuerte - Viga débil en esquinas en x-x.....	79
Tabla 23 Columna fuerte - Viga débil en laterales en x-x.....	79
Tabla 24 Columna fuerte - Viga débil en centrales x-x.....	79
Tabla 25 Columna fuerte - Viga débil en esquinas en y-y.....	79
Tabla 26 Columna fuerte - Viga débil en laterales en y-y.....	79
Tabla 27 Columna fuerte - Viga débil en centrales y-y.....	80

Tabla 28 Resultado de reacciones del Modelo 1 (Sin muros) .....	105
Tabla 29 Resumen de resultados sin corregir del modelo 1 .....	105
Tabla 30 Corrección de cortante basal caso sismo dinámico, modelo 1 .....	105
Tabla 31. Relación de masas participantes modales, modelo 1.....	106
Tabla 32 Cálculo de torsión, modelo 1.....	106
Tabla 33 Derivas máximas, modelo 1 .....	106
Tabla 34 Resultado de reacciones del Modelo 2 (Con muros).....	107
Tabla 35 Resumen de resultados sin corregir, modelo 2.....	107
Tabla 36 Corrección de cortante basal caso sismo dinámico modelo 2 .....	107
Tabla 37 Relación de masas participantes modales, modelo 2.....	108
Tabla 38 Cálculo de torsión, modelo 2.....	108
Tabla 39 Derivas máximas, modelo 2 .....	108
Tabla 40 Cargas, momentos y dimensiones de zapatas.....	110
Tabla 41 Resumen de períodos y porcentajes de torsión.....	153
Tabla 42 Resumen de resultados de derivas.....	153
Tabla 43 Resumen de cortante Basal V.....	153
Tabla 44 Resumen de masa participativa de en ambos casos.....	154
Tabla 45 Resumen de geometría y factor de seguridad de cada zapata.....	154

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del campus María Auxiliadora. ....	15
Figura 2 Ubicación del área de estudio. ....	15
Figura 3 Esquema general de interacción suelo–estructura.....	20
Figura 4 Vista en corte de una cimentación superficial.....	20
Figura 5 Vista en corte de una cimentación profunda.....	21
Figura 6 Geometría típica de un pilote prefabricado.....	22
Figura 7 Descripción de proceso de pilote perforado.....	22
Figura 8 Pilote trabajando por punta. ....	23
Figura 9 Pilote trabajando por fricción.....	23
Figura 10 Vista de pilotes mixtos.....	24
Figura 11 Tipos de pilotes según el material empleado. ....	24
Figura 12 Transferencia de carga por fricción lateral.....	26
Figura 13 Resistencia de punta en un pilote.....	27
Figura 14 Esquema de distribución de carga en pilotes por fricción, punta y mixtos. ....	27
Figura 15 Falla general de corte.....	28
Figura 16 Falla local de corte.....	28
Figura 17 Falla por punzonamiento.....	28
Figura 18 Asentamiento y desplazamiento diferencial en estructura.....	30
Figura 19 Proceso de ensayo SPT. ....	32
Figura 20 Método de ensayo CPT.....	33
Figura 21 Esquema de ensayo sísmico de refracción.....	34
Figura 22 Esquema de sismograma.....	35
Figura 23 Curvas de tiempo – distancia, dromocronas.....	36
Figura 24 Esquema de Ensayo ReMI + MASW. ....	36
Figura 25 Clasificación de perfiles de suelo.....	43
Figura 26 Ábacos para caso II.....	49
Figura 27 Ábacos para caso III.....	50

Figura 28 Ábacos para caso IV. ....	51
Figura 29 Vista de modelados SAP2000 y Etabs .....	54
Figura 30 Vista de modelado Robot Structural .....	55
Figura 31 Vista de modelado ANSYS.....	55
Figura 32 Geología de la zona en estudio. Depósitos Estuarinos.....	56
Figura 33 Zonas y aceleraciones sísmicas en el Ecuador .....	57
Figura 34 Localización de puntos de línea LS-01 .....	59
Figura 35 Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-01.....	59
Figura 36 Localización de puntos de línea LS-02.....	60
Figura 37 Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-02.....	60
Figura 38 Dromocronas generadas de la línea LS-01. ....	61
Figura 39 Dromocronas generadas de la línea LS-02 .....	61
Figura 40 Perfil geofísico estratigráfico inferido línea LS-01, velocidades de onda Vp. ....	62
Figura 41 Perfil geofísico estratigráfico inferido línea LS-02, velocidades de onda Vp .....	62
Figura 42 Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MASW LS-01 hasta los 30 m de profundidad. ....	64
Figura 43 Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MASW LS-02 hasta los 30 m de profundidad. ....	65
Figura 44 Modelado tridimensional del primer edificio propuesto para análisis .....	67
Figura 45 Modelado y propuesta inicial de edificación multifuncional dentro del campus María Auxiliadora.....	67
Figura 46 Vista en planta - Área de estacionamiento.....	68
Figura 47 Vista en planta - Área de biblioteca.....	68
Figura 48 Vista en planta - Área de estudio o sala computacional.....	69
Figura 49 Vista en planta - Área de descanso o recreación.....	69
Figura 50 Vista en planta - Área terraza y mesas.....	70
Figura 51 Factores de sitio Fa. ....	71
Figura 52 Factores de sitio Fd. ....	71

Figura 53 Factores del comportamiento inelástico del subsuelo $F_s$ .....	72
Figura 54 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (I) .....	72
Figura 55 Coeficientes $C_t$ y $\alpha$ para la estimación del período fundamental.....	75
Figura 56 Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. ....	76
Figura 57 Interfaz del software ETABS V.22.....	80
Figura 58 Determinación de los parámetros normativos de diseño.....	81
Figura 59 Configuración de formato de rejilla.....	81
Figura 60 Definición de las distancias entre ejes según el modelado arquitectónico.....	82
Figura 61 Determinación de las alturas de entepiso.....	82
Figura 62 Vista en planta y vista tridimensional de la rejilla estructural. ....	83
Figura 63 Definición de los materiales para el diseño. ....	83
Figura 64 Modificación de las propiedades del material.....	84
Figura 65 Modificación de la resistencia del concreto.....	85
Figura 66 Modificación de la resistencia del acero. ....	85
Figura 67 Revisión de las propiedades del acero. ....	86
Figura 68 Localización del ícono para la modificación de casos de carga.....	86
Figura 69 Casos de carga utilizados en el modelo estructural.....	87
Figura 70 Modificación del caso de carga “Sismo estático X”. ....	87
Figura 71 Acceso al ícono de configuración del espectro elástico.....	88
Figura 72 Determinación de la norma de diseño aplicable .....	88
Figura 73 Modificación de los parámetros del espectro elástico.....	89
Figura 74 Modificación del coeficiente C en ambos casos de sismo estático.....	89
Figura 75 Especificación de la aceleración sísmica de la zona de estudio para el caso “Sismo Estático X” .....	90
Figura 76 Especificación de la aceleración sísmica de la zona de estudio para el caso “Sismo Estático Y” .....	90
Figura 77 Acceso al ícono de asignación de cargas estructurales .....	91
Figura 78 Selección de cargar estructurales analizar.....	91

Figura 79 Acceso al ícono para la configuración de secciones. ....	92
Figura 80 Creación de secciones según predimensionamiento. ....	92
Figura 81 Listado de secciones para el modelo. ....	93
Figura 82 Acceso al ícono para configuración de losa aligerada. ....	93
Figura 83 Modificación de las propiedades de losa aligerada. ....	94
Figura 84 Modelado de cada nivel de la estructura. ....	94
Figura 85 Creación de combinaciones de carga según normativa. ....	95
Figura 86 Aplicación de cargas sobre losas. ....	95
Figura 87 Asignación del valor de sobrecarga. ....	96
Figura 88 Asignación del valor de carga viva. ....	96
Figura 89 Asignación de valor de carga de techo. ....	97
Figura 90 Verificación de datos cargados. ....	97
Figura 91 Verificación de la inexistencia de errores en el modelado. ....	98
Figura 92 Acceso al ícono para implementación de diafragmas. ....	98
Figura 93 Aplicación de diafragma en cada nivel. ....	99
Figura 94 Simulación de estructura. ....	99
Figura 95 Ícono para ver los diagramas de desplazamiento y torsión. ....	100
Figura 96 Diagrama de desplazamiento. ....	100
Figura 97 Diagrama de torsión. ....	101
Figura 98 Ícono para verificación de columnas y vigas. ....	101
Figura 99 Análisis de estructura - Modelo 1 ....	102
Figura 100 Análisis de estructura - Modelo 2 ....	102
Figura 101 Diagrama de interacción de columna - Modelo 1 ....	103
Figura 102 Diagrama de interacción de columnas -Modelo 2. ....	103
Figura 103 Vista en planta y tridimensional del Modelo 2 ....	104
Figura 104 Casos de capacidad de carga para el nivel freático. ....	110
Figura 105 Vista en planta de zapatas. ....	111
Figura 106 Detalle geométrico de cada tipo de zapata. ....	111

Figura 107 Configuración de normativa dentro del Software. ....	145
Figura 108 Implementación de espesores de suelo de la línea LS-02. ....	145
Figura 109 Digitalización de los parámetros del suelo – arcilla blanda. ....	146
Figura 110 Digitalización de los parámetros del suelo – arcilla media. ....	146
Figura 111 Digitalización de los parámetros del suelo – arcilla muy rígida. ....	147
Figura 112 Característica de cada estrato. ....	147
Figura 113 Detalle de cimentación profunda. ....	148
Figura 114 Geometría de pilote. ....	148
Figura 115 Especificación de material del pilote. ....	149
Figura 116 Especificación del nivel freático. ....	149
Figura 117 Características de cargas para un primer caso. ....	150
Figura 118 Resultado con carga de mayor demanda. ....	150
Figura 119 Curva de desplazamiento de la mayor carga. ....	150
Figura 120 Características de cargas para un segundo caso. ....	151
Figura 121 Resultado con la carga más frecuente. ....	151
Figura 122 Curva de desplazamiento de carga frecuente. ....	152
Figura 123 Factores de seguridad en cada zapata. ....	155
Figura 124 Condiciones actuales del sitio del proyecto. ....	162
Figura 125. Vista en planta actual del terreno analizado. ....	162
Figura 126 Trazado de primera línea sísmica LS-01. ....	163
Figura 127 Colocación de geófonos. ....	163
Figura 128 Impacto sísmico en línea LS-01. ....	164
Figura 129 Segunda línea sísmica LS-02. ....	164
Figura 130 Impacto sísmico en línea LS-02. ....	165
Figura 131 Estrato de suelo superficial. ....	165
Figura 132 Vista del modelo 3D del Edificio 1. ....	170
Figura 133 Visualización de planta baja, Edificio 1. ....	171
Figura 134 Visualización interna de nivel 1 – Biblioteca. ....	172

Figura 135 Visualización interna y externa nivel 2 - sala de estudio.....	173
Figura 136 Visualización interna nivel 3 -sala de descanso.....	174
Figura 137 Visualización externa nivel 4 - terraza.....	175

## CAPITULO 1

### 1.1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1.1 Descripción del problema

En años recientes, la Universidad Politécnica Salesiana – campus María Auxiliadora, situada en el kilómetro 19 de la carretera hacia la costa, ha vivido un notable crecimiento en lo académico y en su población, impulsado por la llegada de nuevas carreras y un aumento continuo en la matrícula de estudiantes. Aunque este aumento es beneficioso, ha sobrepasado la infraestructura actual en varias áreas del campus, lo que ha generado restricciones en los espacios destinados a estudiar, recrearse y llevar a cabo actividades académicas complementarias.

En respuesta a esta problemática, la universidad tiene a su disposición un amplio terreno sin utilizar en la parte trasera del campus, lo que abre la puerta a la creación de un nuevo edificio multifuncional que combine áreas académicas, recreativas y de estudio. No obstante, el diseño y la construcción de una estructura de este tipo requieren un análisis técnico minucioso de su sistema de cimientos, dado que la zona se distingue por tener suelos con baja capacidad de carga y condiciones sísmicas significativas.

Dentro de este marco, la falta de conocimiento sobre el comportamiento estructural de los pilotes frente a diversas combinaciones de carga presenta un desafío técnico que necesita ser tratado. La carencia de investigaciones locales que examinen la respuesta de este tipo de cimientos en construcciones de mediana altura en el campus siembra dudas en la etapa de diseño y podría poner en riesgo la seguridad estructural y la eficacia en el uso de materiales.

Por lo tanto, es imperativo llevar a cabo un análisis estructural exhaustivo de los pilotes utilizando software de elementos finitos, siguiendo las Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC), con el objetivo de generar información confiable que apoye la toma de decisiones para proyectos de construcción futuros en la universidad.

### *1.1.2 Planteamiento del problema*

El campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana, situado en el kilómetro 19 de la ruta hacia la costa en Guayaquil, está en un proceso continuo de expansión, tanto en número de estudiantes como en opciones académicas. Sin embargo, el crecimiento físico de las instalaciones no ha ido a la par, lo que ha provocado limitaciones en los espacios destinados al estudio, la investigación, el descanso y las actividades extracurriculares. Las instalaciones existentes, como la biblioteca, los laboratorios y las áreas comunes, son insuficientes para satisfacer la demanda diaria de la comunidad universitaria.

Para abordar estas carencias, la universidad planea construir nuevos edificios en el campus, utilizando el terreno trasero que actualmente no ha sido desarrollado. Sin embargo, la implementación de un proyecto de edificación de mediana altura en esta área presenta retos técnicos importantes, dado el tipo de suelo, la alta actividad sísmica de la zona y la falta de estudios previos que analicen el comportamiento estructural de los pilotes bajo diversas combinaciones de carga.

Desde un enfoque técnico, la escasez de información precisa sobre la interacción entre el suelo y la estructura limita la correcta planificación del sistema de cimentación profunda, lo que podría resultar en diseños sobredimensionados o, de manera opuesta, en estructuras susceptibles frente a fuerzas sísmicas o cargas verticales excesivas.

En el ámbito social, la falta de espacios apropiados impacta directamente en la calidad de vida de los estudiantes, lo que afecta tanto su rendimiento académico como su bienestar general durante las largas horas que pasan en el campus.

Desde la perspectiva económica, la ausencia de estudios estructurales específicos provoca costos adicionales en proyectos futuros, debido a la necesidad de sobredimensionar elementos o hacer cambios durante la construcción.

Finalmente, considerando un enfoque ambiental y de planificación, un diseño estructural mejorado a través del análisis computacional ayudaría a un uso más eficiente de los materiales, así como a reducir el impacto en el terreno y garantizar un uso sostenible del espacio universitario.

Por lo tanto, es necesario abordar de forma integral esta problemática tanto técnica como de planificación, estableciendo parámetros estructurales bien definidos que permitan mejorar el diseño y asegurar la seguridad de las construcciones planeadas dentro del campus María Auxiliadora.

### 1.1.3 Delimitación



Figura 1 Ubicación del campus María Auxiliadora.

Fuente: Google Earth Pro.



Figura 2 Ubicación del área de estudio.

Fuente: Google Earth Pro.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El presente análisis se fundamenta en la necesidad de aumentar el entendimiento técnico y científico relativo al comportamiento estructural de cimientos profundos en construcciones de mediana altura, especialmente en áreas con condiciones geotécnicas fluctuantes, como ocurre en la vía a la costa, donde se encuentra el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil. La evaluación estructural de los pilotes es clave en el proceso del diseño estructural, ya que permite entender la forma en que las cargas se transfieren desde la superestructura al terreno, asegurando así la estabilidad y la seguridad del edificio frente a la influencia de cargas gravitacionales y sísmicas.

Desde la perspectiva institucional, este proyecto aborda la necesidad de hacer un uso más eficiente del terreno disponible en la parte trasera del campus, sugiriendo la futura edificación de un edificio de cinco niveles destinado a satisfacer demandas académicas y recreativas insatisfechas. Esto incluye el déficit de espacio en la biblioteca existente, la limitada cantidad de equipamiento y áreas para maquetas, y la falta de lugares adecuados para el descanso y la realización de actividades extracurriculares. La revisión estructural de los pilotes para esta nueva infraestructura establecerá bases técnicas firmes que aseguren un diseño eficaz, seguro y en cumplimiento con las normativas actuales, apoyando el crecimiento organizado del campus universitario.

Desde un enfoque académico, este estudio representa una chance para poner en práctica los conocimientos adquiridos en mecánica de suelos, análisis estructural, dinámica sísmica y modelado computacional, fortaleciendo así la formación profesional de los estudiantes de ingeniería civil. Adicionalmente, la incorporación de herramientas avanzadas, como software de elementos finitos y la observancia de normas tales como NEC-SE-GC, NEC-SE-DS y ACI 318-25, aseguran un análisis minucioso y conforme a los estándares nacionales e internacionales para el diseño estructural. Esta experiencia práctica contribuye al desarrollo de

habilidades profesionales que están orientadas al análisis exhaustivo de estructuras y al uso responsable de recursos técnicos y materiales.

Desde una óptica técnica, social y ambiental, la investigación tiene como fin promover soluciones estructurales sostenibles que se adapten a las características del entorno natural. Un adecuado diseño de cimientos profundos puede disminuir el impacto ambiental relacionado con el movimiento de tierras, la producción de desechos de construcción y la alteración del subsuelo. En este contexto, la selección correcta del tipo y disposición de los pilotes ayuda a reducir el consumo de materiales y energía, optimizando así el uso de concreto y acero, y reduciendo la huella ecológica del proyecto. Igualmente, la estabilidad estructural del edificio beneficiará indirectamente la seguridad de los usuarios y permitirá el uso prolongado de la infraestructura sin requerir intervenciones tempranas o costosas rehabilitaciones.

Finalmente, los hallazgos obtenidos serán utilizados como referencia técnica para proyectos futuros en la Universidad Politécnica Salesiana y como un valioso aporte académico al ámbito de la ingeniería estructural en Ecuador. Este trabajo no solo ampliará el entendimiento acerca del rendimiento de cimientos profundos en construcciones de mediana altura, sino que también promoverá la adopción de criterios estructurales y ambientales que faciliten un desarrollo urbano más seguro, resistente y sostenible.

## **1.3 OBJETIVOS**

### *1.3.1 Objetivo general*

Evaluar el comportamiento estructural de pilotes en un edificio proyectado para ampliar espacios académicos y recreativos en la Universidad Politécnica Salesiana, considerando cargas gravitacionales y sísmicas mediante modelación por elementos finitos de acuerdo con las normas NEC y ACI 318-25.

### *1.3.2 Objetivos específicos*

- Realizar el estudio de suelos mediante ensayos de laboratorio y refracción sísmica, para determinar el perfil estratigráfico y los parámetros geotécnicos necesarios para el diseño de pilotes, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas (ASTM).
- Determinar las características mecánicas de los materiales estructurales y establecer las acciones gravitacionales y sísmicas de la edificación, conforme a las disposiciones de la NEC para garantizar los parámetros adecuados de entrada en el modelo por elementos finitos.
- Modelar tridimensionalmente la estructura del edificio y su sistema de cimentación por pilotes en el software de elementos finitos, incorporando las condiciones de carga y restricciones reales del terreno.
- Evaluar la distribución de esfuerzos, desplazamientos y reacciones en los pilotes frente a diferentes combinaciones de carga, determinando su comportamiento estructural ante acciones sísmicas.

## CAPITULO 2

### 1.4 MARCO TEORICO

#### 1.4.1 *Fundamentos de Cimentaciones*

Una cimentación es parte esencial de cualquier estructura, ya que su función es transmitir cargas de la superestructura hacia el terreno de soporte de manera que no se produzcan asentamientos ni fallas que comprometan la estabilidad. En términos generales, la cimentación actúa como el vínculo entre la obra y el suelo natural, garantizando la seguridad estructural y funcionalidad a lo largo de la vida útil de la edificación.

Según (Das B. M., 2016), una cimentación “es el elemento estructural encargado de transferir la carga al suelo de modo que las tensiones producidas no excedan la capacidad portante del terreno y los asentamientos permanezcan dentro de límites tolerables”. Del mismo modo (Bowles J. , 1996) enfatiza que la selección del tipo de cimentación debe basarse en la interacción entre el suelo y la estructura, así como en las condiciones ambientales que rodean el proyecto.

En Ecuador donde los suelos varían desde arcillas blandas hasta arenas densas especialmente en zonas costeras como Guayaquil, Portoviejo y Manta, el diseño de cimentaciones debe considerar el nivel freático alto, la posible presencia de capas compresibles y la sismicidad del territorio. La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-GC (2015) exige que toda cimentación sea diseñada para transmitir cargas verticales y horizontales sin generar desplazamientos excesivos ni pérdida de capacidad resistente del suelo.

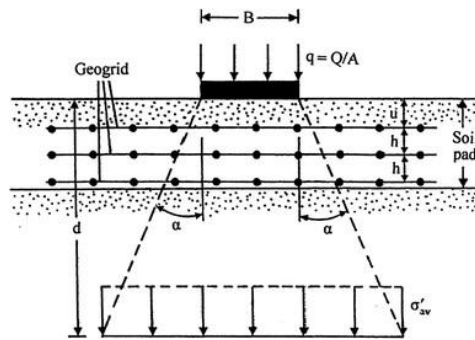


Figura 3 Esquema general de interacción suelo-estructura

Fuente: Braja M. Das 2016.

Las cimentaciones se pueden clasificar como superficiales y profundas, y la elección de ellas dependerá de la resistencia del terreno, magnitud de cargas y profundidad del estrato competente. (Bowles J. , 1996) señala que esta clasificación responde fundamentalmente al mecanismo de transmisión de cargas y a la profundidad relativa de apoyo.

#### a) Cimentaciones superficiales

Las cimentaciones superficiales transmiten las cargas estructurales directamente a las capas superiores del terreno, a profundidades menores de tres veces el ancho de la cimentación. Entre los tipos más comunes se incluyen zapatas aisladas, zapatas combinadas, losas de cimentación y zapatas corridas (Das B. M., 2016).

Su uso es apropiado cuando el suelo presenta una capacidad portante adecuada y asentamientos controlables. En Guayaquil, por ejemplo, los estratos arenosos densos de la parte norte permiten emplear zapatas corridas o losas de cimentación; en cambio, en sectores con arcillas blandas (como el sur de la ciudad), este tipo de fundación puede ser ineficiente por los asentamientos diferenciales generados.

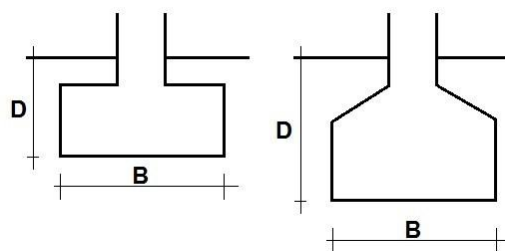


Figura 4 Vista en corte de una cimentación superficial

## b) Cimentaciones profundas

Cuando los estratos superficiales son débiles o compresibles, se recurre a cimentaciones profundas, entre las que destacan los pilotes, micropilotes, pilas y caissons.

La NEC-SE-GC (2015, art. 4.3.2) establece que el uso de pilotes es recomendable cuando los suelos de fundación presentan baja capacidad portante, nivel freático alto, o cuando la estructura está sujeta a cargas sísmicas significativas.

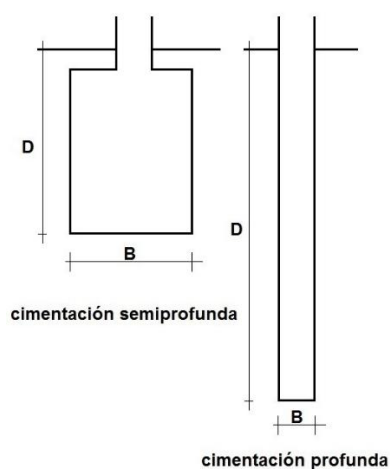


Figura 5 Vista en corte de una cimentación profunda

Fuente: Yepes, 2026

Tipo de cimentación	Profundidad Típica	Condiciones de aplicación	Ejemplos
Superficial	$< 3m$	Suelos firmes, cargas moderadas.	Zapata aislada, losa de cimentación
Profunda	$> 3m$	Suelos blandos, cargas altas.	Pilotes, pilas, caissons

Tabla 1 Rango y condiciones para los tipos de cimentación.

### 1.4.2 Tipo de pilotes

Se pueden clasificar según el método constructivo, el material y el mecanismo de transmisión de carga. (Tomlinson & Woodward, 2015).

### a) Pilotes prefabricados

Estos se elaboran fuera del sitio y luego se hincan en el terreno mediante impacto o vibración. Suelen ser de concreto pretensado, acero o madera. Las ventajas incluyen control de calidad y capacidad de carga uniforme, aunque pueden generar vibraciones durante la instalación (Tomlinson & Woodward, 2015)

En el Ecuador, los pilotes prefabricados de hormigón pretensado se utilizan en obras costeras con nivel freático alto, como en los muelles y tanques de almacenamiento.

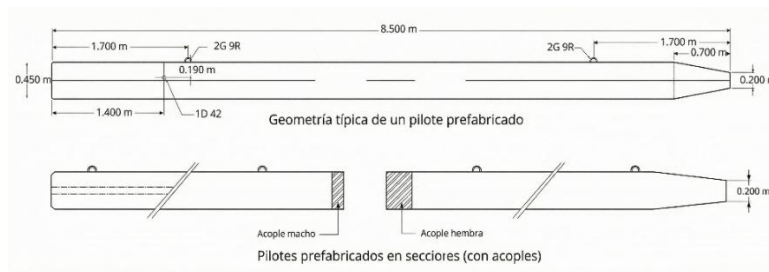


Figura 6 Geometría típica de un pilote prefabricado.

Fuente: Holcim

### b) Pilotes colados in situ

Estos se construyen directamente en el sitio mediante la perforación del terreno y el posterior vaciado del concreto. Permiten adaptarse a distintas profundidades y condiciones del subsuelo, minimizando vibraciones y ruidos (Bowles J. , 1996) destaca su uso en zonas urbanas densas o donde se deben evitar daños a estructuras adyacentes.

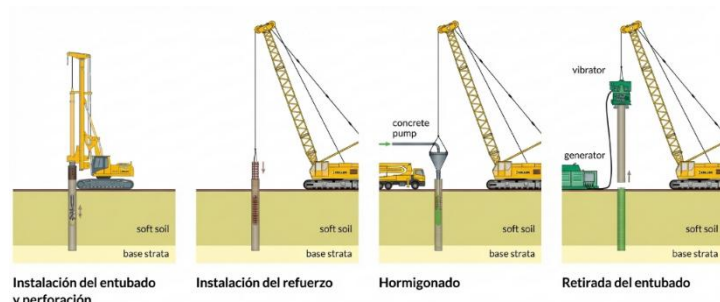


Figura 7 Descripción de proceso de pilote perforado.

Fuente: Keller, 2025

### c) Pilotes de punta

Transmiten la carga principalmente por apoyo en el estrato firme subyacente. Son efectivos cuando se dispone de un suelo resistente a poca profundidad, como una capa de grava o roca. Según (DAS, 2016), la capacidad de punta se calcula en función del área de base y la resistencia a compresión del estrato de apoyo.

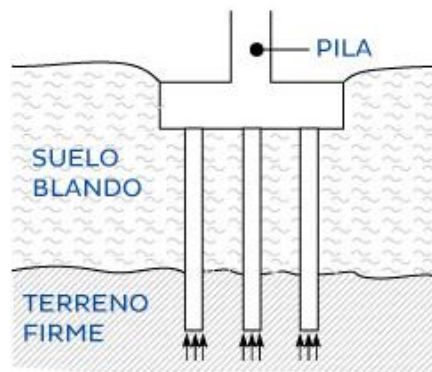


Figura 8 Pilote trabajando por punta.

Fuente: Aceros Arequipa

### d) Pilotes de fricción

Su resistencia proviene de la fricción entre el fuste del pilote y el suelo circundante. Son útiles en suelos cohesivos profundos donde no existe una capa rígida accesible (Tomlinson & Woodward, 2015).

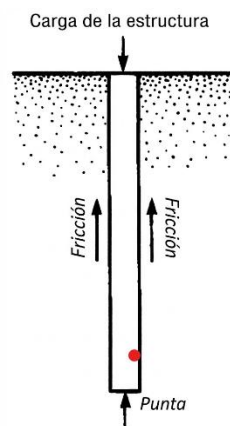


Figura 9 Pilote trabajando por fricción.

Fuente: Cimentación a base de pilotes de fricción, México 2012.

### e) Pilotes mixtos

Combinan ambos mecanismos, desarrollando resistencia tanto por punta como por fricción. (Bowles J. , 1996) sugiere emplearlos cuando las características del suelo cambian significativamente con la profundidad.



Figura 10 Vista de pilotes mixtos.

Fuente: ESC Steel LLC, 2025.

### f) Según el material empleado

- Pilotes de madera: empleados en obras temporales o cargas ligeras; sensibles al deterioro biológico.
- Pilotes de acero: alta capacidad, pero susceptibles a la corrosión en ambientes marinos.
- Pilotes de concreto: los más usados por su durabilidad, rigidez y costo moderado (Coduto, Kitch, & Yeung, 2019)

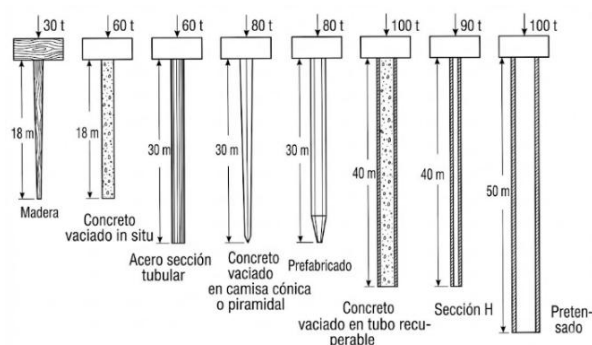


Figura 11 Tipos de pilotes según el material empleado.

### 1.4.3 Procedimiento constructivo

El procedimiento constructivo a emplearse depende principalmente de las condiciones del subsuelo, los recursos técnicos y equipos disponibles, así como de las especificaciones estructurales del proyecto. En función del grado de desplazamiento del subsuelo generado durante la instalación de los elementos de cimentación, los procedimientos constructivos pueden clasificarse de la siguiente manera:

#### a) **Con desplazamiento**

Corresponden a sistemas en los cuales los elementos se instalan sin perforación previa, generando un desplazamiento. La instalación se realiza mediante; hincado a percusión, presión o vibración

Estos métodos implican la aplicación de energía dinámica y presión, siendo comúnmente utilizados en suelos blandos, mientras que el hincado por vibración resulta más adecuada en suelos predominantemente friccionantes. (Silva, 2012)

#### b) **Poco desplazamiento**

Incluyen sistemas en los que el desplazamiento del terreno es reducido, debido a la existencia de una perforación previa parcial o a la geometría del elemento estructural. Entre ellos se encuentran:

- Hincado en una perforación previa
- Hincado con chiflón
- Sección transversal pequeña

Estos procedimientos generan menores perturbaciones en el subsuelo en comparación con los métodos de hincado directo.

### c) Sin desplazamiento

Corresponden a aquellos métodos en los que no se produce desplazamiento apreciable del suelo, ya sea porque se realiza una perforación previa que circunscribe el elemento a instalar, o porque los elementos de cimentación son colados in situ. En estos casos, el suelo únicamente actúa como medio de confinamiento, sin sufrir desplazamientos laterales significativos (Silva, 2012).

#### 1.4.4 Mecanismo de transferencia de carga

##### a) Fricción lateral

La fricción lateral ocurre cuando la carga se transmite gradualmente a lo largo del fuste del pilote. El rozamiento entre la superficie del pilote y el suelo genera resistencia por adherencia (DAS, 2016). La magnitud de esta fricción depende de la rugosidad del fuste, el tipo de suelo y las condiciones de instalación.

En suelos cohesivos (arcillas), la fricción lateral es proporcional a la cohesión no drenada; mientras que en suelos granulares (arenas), depende del ángulo de fricción interna y la presión efectiva lateral.

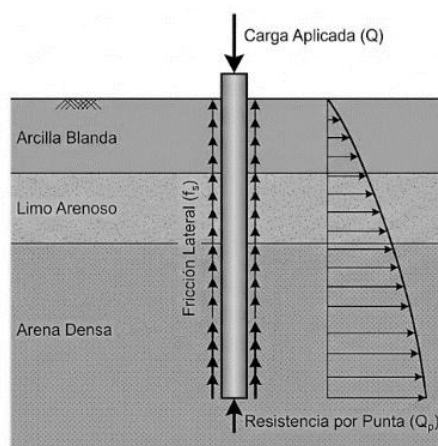


Figura 12 Transferencia de carga por fricción lateral.

## b) Resistencia de punta

Corresponde a la reacción del terreno en el extremo inferior del pilote. Cuando se apoya en un estrato competente, la carga se concentra en la base y se disipa mediante esfuerzos de compresión. (Tomlinson & Woodward, 2015) recomiendan verificar que la resistencia del material del pilote sea superior a la del terreno para evitar aplastamientos o fallas locales.

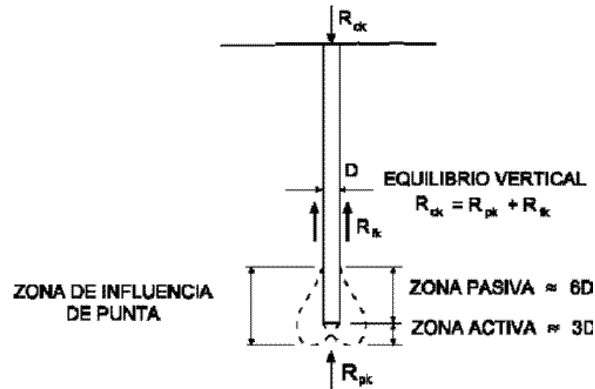


Figura 13 Resistencia de punta en un pilote

## c) Comportamiento combinado

En la mayoría de los casos, los pilotes trabajan por una combinación de fricción lateral y resistencia de punta. El porcentaje relativo depende del tipo de suelo, la longitud del pilote y la secuencia constructiva. (Gazetas, 1991) destaca que, durante eventos sísmicos, el aporte de fricción puede variar significativamente debido al incremento temporal de las presiones de poros, lo que influye directamente en la interacción suelo-pilote-estructura.

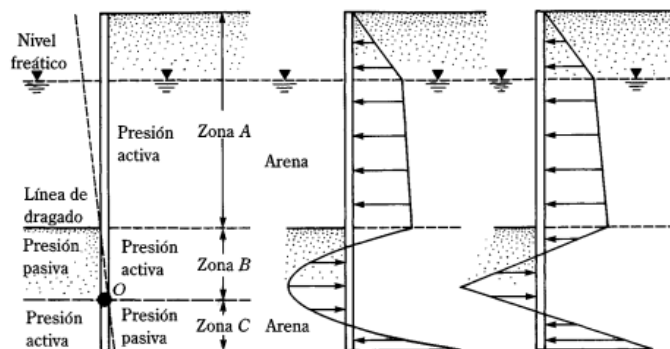


Figura 14 Esquema de distribución de carga en pilotes por fricción, punta y mixtos.

Fuente: Das (2016)

### 1.4.5 Capacidad portante del suelo y asentamientos

La capacidad portante se define como la presión máxima que el suelo puede resistir sin experimentar falla por corte o asentamientos excesivos (DAS, 2016). Esta capacidad depende de las características del suelo, del tipo de cimentación, de la profundidad de apoyo y de la forma en que se transmite la carga.

(Bowles J. , 1996) clasifica la falla del terreno en tres modos principales:

1. Falla general de corte, que se produce cuando todo el terreno bajo la cimentación se deforma plásticamente.

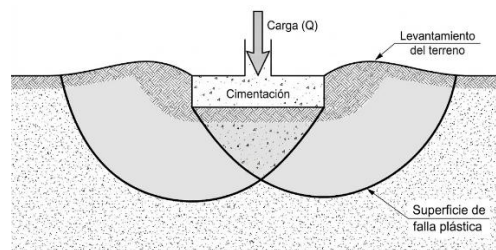


Figura 15 Falla general de corte

2. Falla local de corte, cuando solo parte del terreno inmediato cede.

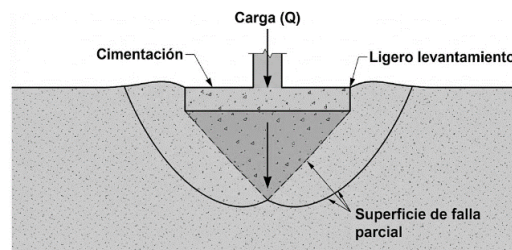


Figura 16 Falla local de corte

3. Falla por punzonamiento, común en suelos muy compresibles o cuando la cimentación es muy rígida.

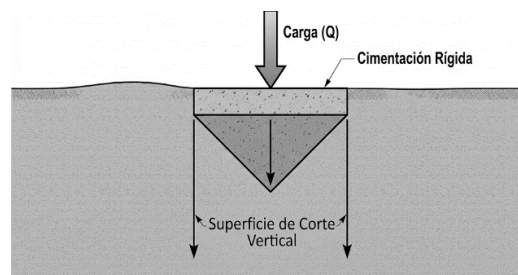


Figura 17 Falla por punzonamiento

#### 1.4.6 Factores que influyen en la capacidad portante

Diversos factores controlan la capacidad portante de un suelo (Coduto, Kitch, & Yeung, 2019):

- **Tipo de suelo:** Los suelos granulares (arenas) desarrollan resistencia por fricción, mientras que los cohesivos (arcillas) la obtienen principalmente por cohesión no drenada.
- **Condiciones del nivel freático:** El aumento de la presión intersticial reduce la resistencia efectiva del terreno.
- **Forma y tamaño de la cimentación:** Cimentaciones más anchas o profundas movilizan un volumen mayor de suelo, aumentando la resistencia.
- **Modo de carga:** Las cargas inclinadas, excéntricas o dinámicas modifican la distribución de esfuerzos en el suelo.
- **Condiciones sísmicas:** La reducción temporal de rigidez y resistencia del suelo durante un sismo puede provocar pérdida de capacidad portante o incremento de asentamientos diferenciales (Gazetas, 1991).

Método de determinación

La capacidad portante se determina mediante métodos analíticos, empíricos y de campo:

- **Métodos analíticos:** Basados en teorías de la mecánica de suelos, como las expresiones de (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996) y (Meyerhof, 1963), que emplean los parámetros de cohesión ( $c$ ), peso específico ( $\gamma$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).
- **Métodos empíricos:** Derivados de correlaciones con ensayos in situ, como el SPT (Standard Penetration Test) o el CPT (Cone Penetration Test).

- **Ensayos de carga de placa o de pilotes:** Utilizados para verificar en campo la respuesta real del suelo y calibrar los modelos teóricos (Tomlinson & Woodward, 2015).

En Ecuador, la NEC-SE-GC (2015, Anexo A) recomienda combinar métodos teóricos y resultados de campo, y exige realizar al menos un ensayo de carga por cada tipo de cimentación profunda empleada en el proyecto.

#### Evaluación sísmica del terreno y su influencia en la capacidad portante

El Ecuador se encuentra en una zona de alta actividad sísmica debido a la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Por ello, la NEC-SE-DS (2015) exige una evaluación geotécnica sísmica del sitio, considerando la velocidad promedio de ondas de corte ( $V_{s30}$ ) y el tipo de suelo.

Los suelos blandos amplifican el movimiento sísmico y reducen temporalmente su capacidad resistente, lo que puede inducir licuación o pérdidas de soporte en pilotes.

Durante el sismo de Pedernales (2016), se observaron en la costa ecuatoriana asentamientos y desplazamientos diferenciales en estructuras con cimentaciones superficiales, mientras que aquellas apoyadas en pilotes experimentaron un desempeño significativamente mejor (INEC, 2017).



*Figura 18 Asentamiento y desplazamiento diferencial en estructura*

*Fuente: EEFIT, 2018*

#### 1.4.7 Geotecnia Aplicada a Pilotes

La caracterización del suelo constituye el primer paso fundamental en el diseño de cualquier cimentación profunda. Su objetivo es determinar las propiedades físicas, mecánicas y dinámicas del terreno, que condicionan la capacidad portante y el comportamiento ante cargas estáticas y sísmicas.

Según (Bowles J. , 1996), “*una cimentación no puede ser más fuerte que el suelo que la soporta*” (p. 14), por lo que conocer con precisión los estratos y su respuesta al esfuerzo es esencial para evitar fallas o asentamientos excesivos.

La caracterización del suelo incluye:

- Reconocimiento geotécnico del terreno
- Ensayos en campo
- Ensayos de laboratorio
- Síntesis estratigráfica

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-GC, 2015) establece que para proyectos con cimentaciones profundas se deben ejecutar mínimo dos perforaciones por bloque de pilotes, hasta una profundidad equivalente a dos veces la longitud estimada de los pilotes o hasta alcanzar un estrato competente.

### 1.4.8 Tipos de ensayos geotécnicos

#### a) Ensayo SPT (Standard Penetration Test)

El SPT es el ensayo más común en exploraciones de campo. Consiste en hincar una toma de muestras estandarizado de 2" mediante golpes de un martillo de 63.5 kg cayendo desde 76 cm, registrando el número de golpes necesarios para penetrar tres tramos consecutivos de 15 cm cada uno.

El número de golpes  $N_{60}$  (corregido por energía, diámetro y presión de confinamiento) representa la resistencia a la penetración y se correlaciona con la densidad relativa ( $D_r$ ) en arenas o la consistencia ( $q_u$ ) en arcillas.

De acuerdo con la ASTM D1586-11, los valores típicos de  $N_{60}$  son:

- Arcillas blandas:  $N < 4$
- Arenas sueltas:  $N = 4-10$
- Arenas medianamente densas:  $N = 10-30$
- Arenas densas:  $N > 30$

El SPT permite obtener correlaciones empíricas con la capacidad portante ( $q_u$ ), el módulo de elasticidad ( $E_s$ ) y la resistencia al corte ( $\tau$ ), esenciales para el diseño de pilotes.

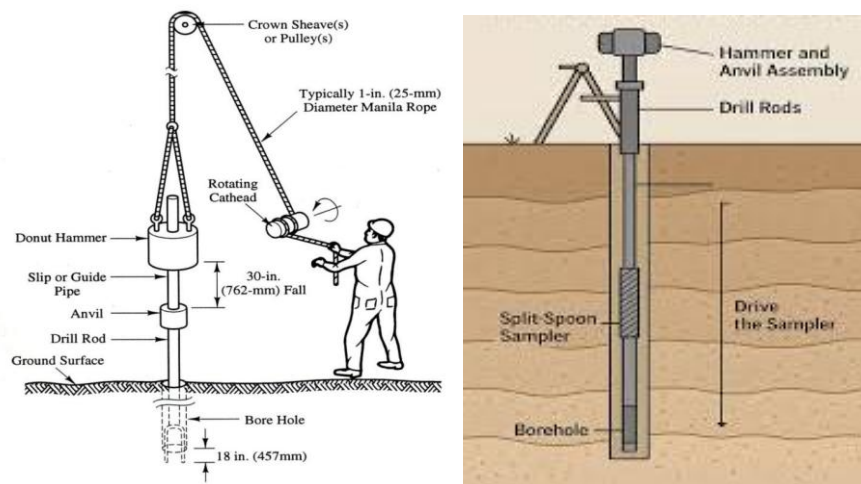


Figura 19 Proceso de ensayo SPT.

## b) Ensayo CPT (Cone Penetration test)

El CPT consiste en hincar un cono metálico de 10 cm<sup>2</sup> a velocidad constante (2 cm/s), registrando la resistencia de punta ( $q_t$ ), la fricción lateral ( $f_s$ ) y la presión de poros ( $u_2$ ). A diferencia del SPT, el CPT ofrece un registro continuo y de alta resolución.

Según (Robertson & Cabal, 2010), los datos del CPT permiten clasificar el tipo de suelo mediante el índice de comportamiento  $I_c$ , calculado como:

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q_t)^2 + (1.22 + \log F_r)^2}$$

El CPTU (versión piezocónica) permite identificar niveles freáticos, estratos licuables y capas de transición.

La (NEC-SE-GC, 2015) recomienda usar CPT o CPTU en zonas costeras, donde la alta saturación puede afectar la precisión del SPT.

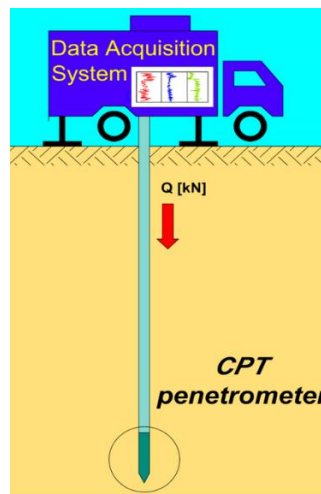


Figura 20 Método de ensayo CPT

## c) Ensayo de laboratorio

Los ensayos de laboratorio permiten determinar las propiedades mecánicas y de resistencia del suelo, entre ellas:

- **Granulometría (ASTM D422):** proporción de gravas, arenas, limos y arcillas.
- **Límites de Atterberg (ASTM D4318):** consistencia y plasticidad.

- **Ensayo triaxial (ASTM D4767):** resistencia al corte efectivo bajo confinamiento.
- **Ensayo de consolidación (ASTM D2435):** asentamientos por compresión.

Los valores de cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) obtenidos en estos ensayos se emplean en el cálculo de la capacidad portante de los pilotes, tanto de fricción como de punta.

(Bowles J. , 1996) indica que los módulos elásticos derivados de ensayos triaxiales suelen ser entre 1/3 y 1/5 de los obtenidos en laboratorio sin confinamiento, por lo que deben ajustarse a condiciones reales de campo.

#### d) Método de refracción sísmica

Esta metodología se fundamenta en el registro de los tiempos de viaje de las ondas sísmicas primarias (ondas P) a través del subsuelo, lo cual permite estimar las propiedades de rigidez y densidad de los diferentes estratos geológicos. En general, los materiales más compactos y consolidados presentan mayores velocidades de propagación de ondas P, mientras que los materiales sueltos o no consolidados se caracterizan por velocidades menores.

Las mediciones del ensayo se obtienen mediante el uso de múltiples sensores alineados (geófonos) dispuestos a lo largo del perfil de estudio. La generación de las ondas sísmicas se realiza mediante la aplicación de impactos controlados en diferentes posiciones, específicamente en los extremos y en el centro del tendido de la línea, conforme se ilustra en la Figura 21.

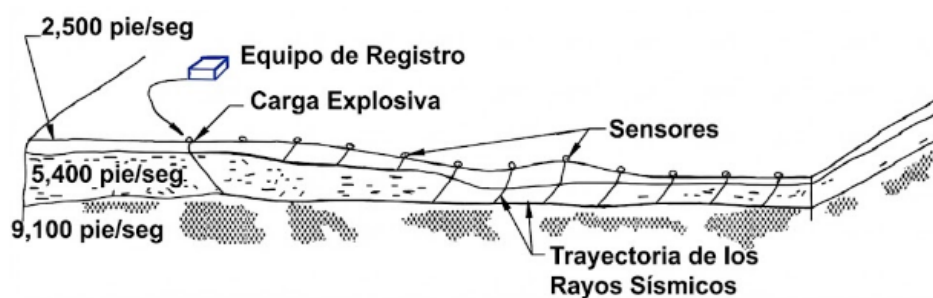


Figura 21 Esquema de ensayo sísmico de refracción

Fuente: Georys Ingenieros

Las curvas tiempo – distancia se construyen a partir de los tiempos de llegada de la onda primaria (onda P) registrados en cada sensor para cada punto de disparo. Una vez que los datos de campo son transferidos y procesados mediante software especializado, es posible calcular y visualizar directamente dichos tiempos, obteniéndose como resultado un conjunto de sismogramas, los cuales constituyen la base para la interpretación sísmica del subsuelo.

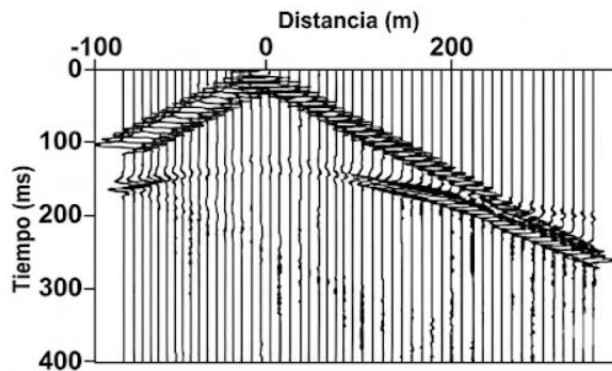


Figura 22 Esquema de sismograma

Fuente: Boyd, 1999

Para obtener una información más detallada del subsuelo, se realizan tendidos sísmicos directos, reversos e intermedios. En este procedimiento, el primer y segundo punto de disparo se ubican en cada uno de los extremos del tendido, separados por una distancia previamente conocida, mientras que el tercer punto de disparo se localiza en el centro del tendido.

Cuando se investigan áreas extensas o se requiere una mayor resolución del modelo geofísico, se emplean tendidos traslapados, los cuales permiten una mejor representación de la topografía de las discontinuidades y de la geometría de los estratos del subsuelo. Las curvas tiempo – distancia, correspondientes a los diferentes puntos de disparo se trazan de forma conjunta, tal como se muestra en la Figura 23.

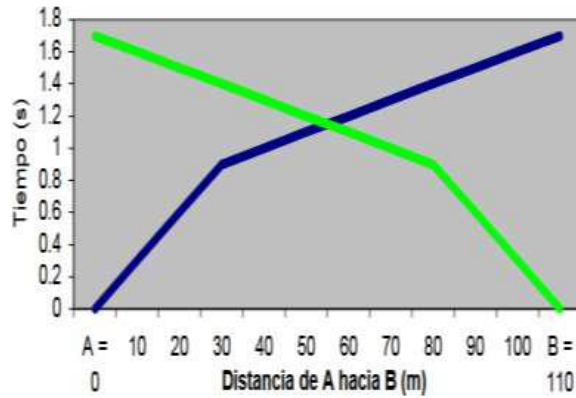


Figura 23 Curvas de tiempo – distancia, dromocronas

Fuente: Boyd, 1999

**e) MASW (Multichannel analysis of Surface Waves)**

Se trata de un ensayo geofísico no invasivo, en el cual las ondas superficiales registradas son generadas mediante el impacto de un martillo sobre la superficie del terreno, produciendo una perturbación que se propaga a lo largo del subsuelo (Careaga Arriagada, 2016)

Las señales sísmicas generadas por dicho impacto son captadas por un arreglo de geófonos dispuestos de forma lineal y equidistante, lo que permite registrar adecuadamente la propagación de las ondas superficiales (Rivas Lucero, 2016). Este método presenta una gran similitud con la medición sísmica de reflexión de punto común de profundidad (CMP); por tal razón, el método MASW puede aplicarse tanto en configuraciones de reflexión como de refracción, según los objetivos del estudio (López Ávalos, Mejía Carrillos, & Vega, 2008), tal como se ilustra en la figura siguiente.

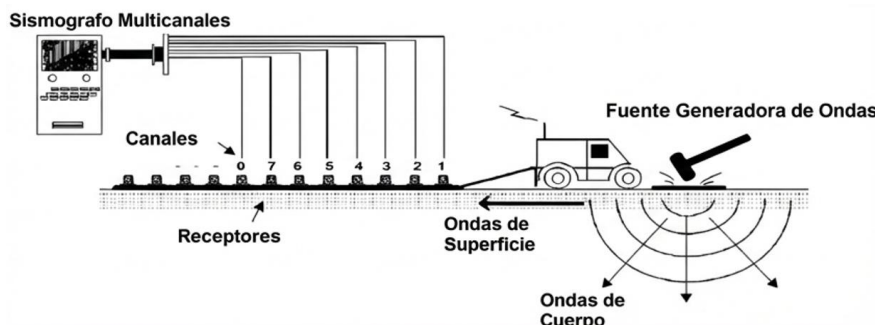


Figura 24 Esquema de Ensayo ReMI + MASW.

Fuente: López Ávalos, Mejía Carrillos, & Vega, 2008

Mediante la aplicación conjunta de los métodos ReMi - MASW se obtienen las curvas de dispersión, las cuales representan la relación entre la velocidad de fase y la frecuencia de las ondas superficiales. Para la interpretación de dichas ondas, (Escalona Medina, 2016) señala que, a mayor frecuencia, la longitud de onda tiende a disminuir, en función de las velocidades de propagación de los estratos superficiales.

Con el fin de clasificar el tipo de suelo o roca a partir de las velocidades obtenidas, se emplean tablas de velocidades de onda de corte, las cuales permiten asociar rangos de velocidad con materiales geotécnicos característicos. Estas tablas de referencia son proporcionadas por la norma (D5777, 2018) utilizada como criterio complementario para la interpretación y clasificación del subsuelo.

<b>Tipo de material</b>	<b>V<sub>p</sub> (m/s)</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s)</b>
<b>Suelo de superficie erosionado</b>	240 - 610	144 - 366
<b>Grava o arena seca</b>	460 - 915	276 - 549
<b>Arena saturada</b>	1220 - 1830	732 - 1098
<b>Arcilla saturada</b>	910 - 2750	546 - 1650
<b>Agua</b>	1430 - 1665	858 - 999
<b>Agua de mar</b>	1460 - 1525	876 - 915
<b>Arenisca</b>	1830 - 3950	1098 - 2376
<b>Esquisto, arcilla esquistosa</b>	2750 - 4270	1650 - 2562
<b>Yeso o Tiza</b>	1830 - 3950	1098 - 2376
<b>Caliza</b>	2134 - 6100	1280 - 3660
<b>Granito</b>	4575 - 5800	2745 - 3480
<b>Roca metamórfica</b>	3050 - 7000	1830 - 4200

*Tabla 2 Rango de velocidades para ondas de compresión en el suelo y rocas.*

*Fuente: ASTM D 5777*

<b>Tipo de suelo / material</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Ligero y seco</b>	183 - 274	110 - 165
<b>Arcilloso húmedo o Limoso</b>	305 - 396	183 - 219
<b>Arcilloso</b>	396 - 610	238 - 366
<b>Arcilla roja</b>	497	298
<b>Arena arcillosa semi-consolidada</b>	381 - 655	228 - 393
<b>Marga húmeda</b>	762	457
<b>Arcilla densa y húmeda según profundidad</b>	914 - 1524	549 - 914
<b>Escombros o grava</b>	600 - 792	360 - 475
<b>Arena cementada</b>	853 - 975	512 - 585
<b>Arcilla arenosa</b>	975 - 1158	585 - 695

*Tabla 3 Valores promedio de Vp y Vs en materiales del subsuelo.*

*Fuente: Redpath, 1973*

#### 1.4.9 Parámetros elásticos y geomecánicos.

##### a) Módulo de Young

Es un parámetro mecánico que determina la rigidez de un material y que, conforme a la ley de Hooke, relaciona el esfuerzo y la deformación uniaxiales aplicados en un mismo eje (Tezcan, Keceli, & Özdemir, 2009), tal como se expresa en la ecuación siguiente.

$$E = 2(1 + \nu)G$$

Donde:

$E =$  Módulo de Young

$\nu =$  Coeficiente de poisson

$G =$  Módulo de cortante

##### b) Módulo de corte

Es la relación existente entre los esfuerzos cortantes inducidos en una muestra y las deformaciones de cizalladura generadas por dichos esfuerzos. Este parámetro se determina en

función de la velocidad de propagación de las ondas de corte ( $V_s$ ), mediante la expresión correspondiente (Tezcan, Keceli, & Özdemir, 2009).

$$G = \gamma \frac{v_s^2}{g}$$

Donde:

$G$  = *Módulo de Corte*

$\gamma$  = *Peso específico*

$V_s$  = *Velocidad de onda secundarias*

$g$  = *gravedad*

### c) **Peso específico**

Para el cálculo del peso específico del suelo, en función de la velocidad de propagación de las ondas de corte ( $V_s$ ), se emplea una expresión empírica, la cual permite estimar este parámetro a partir de relaciones sísmico geotécnicas, conforme a lo propuesto por (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012).

$$\gamma = 1.516 * 10^{-2} * \sqrt{V_p} + 1.597$$

Donde:

$\gamma$  = *Peso específico*

$V_p$  = *Velocidades de onda primarias*

### d) **Coefficiente de Poisson**

Se define como la relación entre la deformación transversal y la deformación longitudinal que experimenta un cuerpo al ser sometido a una fuerza de tracción o compresión uniaxial, y se expresa mediante la relación matemática siguiente (Tezcan, Keceli, & Özdemir, 2009)

$$\nu = \frac{\alpha - 2}{2(\alpha - 1)}; \alpha = \left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2$$

Donde:

$\nu$  = *Coeficiente de Poisson*

$V_p$  = *Velocidades de onda principales*

$V_s$  = *Velocidades de onda secundarias*

$\alpha$  = *coeficiente que depende de  $V_p$  y  $V_s$*

**e) Módulo de Bulk**

El módulo Bulk o de compresibilidad cuantifica la resistencia de un material a la compresión volumétrica, indicando la presión necesaria para producir una variación unitaria de volumen, y se determina mediante la ecuación correspondiente. (Tezcan, Keceli, & Özdemir, 2009)

$$K_b = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

Donde:

$E$  = *Módulo de Young*

$\nu$  = *Coeficiente de poisson*

**f) Módulo Edométrico**

El módulo edométrico es un parámetro análogo al módulo de elasticidad, que representa la compresión unidimensional del suelo bajo condiciones de confinamiento lateral, siendo válido únicamente para determinados niveles de carga. Su aplicación es fundamental en el cálculo de asentamientos, especialmente en suelos arcillosos, y se determina en geotecnia mediante el ensayo de consolidación, conforme a la expresión correspondiente. (Tezcan, Keceli, & Özdemir, 2009).

$$E_c = \frac{\alpha E}{2(3\alpha - 4)}$$

Donde:

$E = \text{Módulo de Young}$

$\alpha = \text{coeficiente que depende de } V_p \text{ y } V_s$

**g) Módulo Balasto**

Este módulo será definido, conociendo parámetros elásticos del material, como lo expone la Ecuación siguiente expuesta por Vesic:

$$K = \frac{E}{B(1 - \nu^2)}$$

Donde:

$E = \text{Módulo de Young}$

$\nu = \text{Coeficiente de poisson}$

$K = \text{Módulo de Balasto}$

$B = \text{Ancho de cimentación}$

**h) Periodo de vibración**

El período fundamental de vibración de un edificio es un parámetro esencial en el diseño sísmico, y en edificaciones existentes constituye un indicador relevante para evaluar su estado de seguridad estructural.

$$T_s = \frac{4 * H_s}{v_s}$$

Donde:

$T_s = \text{periodo dominante del estrato equivalente}$

$H_s = \text{espesor total del estrato del terreno}$

$V_s = \text{velocidad efectiva de propagación de ondas de corte en el estrato}$

**i) Cohesión en función de velocidades de onda (fórmula empírica)**

$$c' = 0.908 - 0.168 * \frac{V_p}{V_s}$$

**j) Ángulo de fricción (fórmula empírica)**

$$\varphi(\text{grados}) = 0.7792 * \frac{V_p}{V_s} + 26.529$$

**k) Correlación del número de golpes N del ensayo SPT con las Vp.**

$$N = 0.0284 * V_p - 7.6$$

#### *1.4.10 Pilotes en Zona Sísmica*

Durante un evento sísmico, el suelo experimenta movimientos dinámicos complejos que dependen de su rigidez, densidad, nivel de saturación y tipo de material. Estos movimientos influyen directamente en las fuerzas transmitidas a las cimentaciones y pilotes, afectando tanto su capacidad portante como su estabilidad.

Según (Kramer, 1996), “el movimiento del suelo en superficie es resultado de la interacción entre la energía sísmica transmitida desde la fuente y las propiedades dinámicas del terreno” (p. 47). Los parámetros que definen este comportamiento son la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ), el módulo de rigidez dinámica ( $G_{max}$ ) y el coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ).

En Ecuador, la Norma Ecuatoriana de la Construcción – (NEC-SE-DS, 2015) clasifica los suelos en seis tipos (A a F) según su velocidad promedio de ondas  $V_{s30}$ , que representa la rigidez del perfil de 30 metros de profundidad. Los suelos tipo D y E, comunes en zonas costeras como Guayaquil, Portoviejo y Esmeraldas, presentan alta amplificación del movimiento sísmico y tendencia a licuar.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100$ kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Figura 25 Clasificación de perfiles de suelo.

Fuentes: NEC-SE-DS, 2015

## **Peligros sísmicos y variabilidad del terreno**

Los peligros sísmicos que afectan las cimentaciones profundas incluyen:

- Licuefacción: pérdida temporal de resistencia al corte en suelos saturados.
- Asentamientos diferenciales inducidos: desplazamientos verticales no uniformes del terreno.
- Pérdida de soporte lateral: reducción de la presión pasiva del suelo.
- Falla por arrastre o inclinación: desplazamiento horizontal de la masa de suelo.

(Seed & Idriss, 1983) establecieron los primeros métodos para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción, mediante la comparación entre la resistencia cíclica del suelo (CRR) y el esfuerzo cortante inducido (CSR).

La NEC-SE-DS (2015, Anexo 7.3) adopta estos criterios e indica que los suelos con  $N_{60} < 15$  en ensayos SPT o con  $V_{s30} < 200$  m/s deben evaluarse por posible licuefacción.

En proyectos con pilotes, este fenómeno puede causar pérdida de fricción lateral, reducción de confinamiento y excentricidades en los esfuerzos transmitidos al encepado (Gazetas, 1991).

## **Respuesta de pilotes ante cargas sísmicas**

El comportamiento sísmico de los pilotes depende de tres componentes principales:

1. Propiedades dinámicas del suelo.
2. Características estructurales del pilote (rigidez, diámetro, longitud, material).
3. Interacción suelo – pilote – estructura.

### *1.4.11 Normativa Aplicable*

El cumplimiento normativo constituye un pilar esencial en todo proyecto de ingeniería civil, ya que garantiza la seguridad estructural, la uniformidad de criterios de diseño y la

compatibilidad con las regulaciones nacionales e internacionales. En el caso de las cimentaciones profundas y estructuras con pilotes, el marco normativo proporciona los parámetros mínimos para el cálculo de capacidad portante, asentamientos, resistencia de materiales y comportamiento sísmico.

Según el *American Concrete Institute* (ACI, 2019), las normas técnicas tienen por objetivo “proporcionar los requisitos esenciales para que las estructuras de concreto y sus cimentaciones alcancen un desempeño satisfactorio en términos de resistencia, durabilidad y servicio” (p. 12).

En Ecuador, la normativa se rige por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), emitida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). En ella, los capítulos NEC-SE-GC (Geotecnia y Cimentaciones), NEC-SE-DS (Diseño Sísmico) y NEC-SE-CG (Concreto Estructural) establecen los criterios que rigen la planificación, diseño y construcción de cimentaciones profundas.

### **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)**

La NEC es el documento rector del diseño estructural en Ecuador. Su última actualización (2015) incorpora criterios derivados de normas internacionales (ACI, AASHTO, Eurocode) y adapta los requerimientos al contexto geotécnico y sísmico nacional.

Los capítulos relevantes para cimentaciones con pilotes son los siguientes:

#### **a) NEC-SE-GC: Seguridad Estructural – Geotecnia y Cimentaciones**

Este capítulo regula el diseño de cimentaciones tanto superficiales como profundas.

Según el artículo 4.2.1, el diseño de cimentaciones profundas debe asegurar:

- Capacidad portante adecuada, considerando resistencia del suelo y del pilote.
- Control de asentamientos totales y diferenciales.
- Verificación estructural del pilote y del cabezal o encepado.

El artículo 4.3.2 especifica que las cimentaciones profundas deben ser diseñadas para resistir cargas verticales, horizontales y de momento, considerando además la interacción suelo – estructura.

La NEC-SE-GC (2015) también exige la realización de ensayos de carga estática o dinámica en pilotes de prueba para verificar la capacidad portante in situ, conforme a la norma ASTM D1143/D1143M-07.

#### **b) NEC-SE-DS: Diseño Sísmico**

Este capítulo establece los parámetros de peligro sísmico, clasificación del suelo y cálculo de fuerzas sísmicas de diseño.

El artículo 2.3.1 define las zonas sísmicas del Ecuador en función de la aceleración efectiva ( $A_0$ ). Las zonas costeras —incluyendo Guayaquil, Portoviejo y Esmeraldas— se ubican en la Zona de Amenaza Alta ( $A_0 \geq 0.35$  g).

El artículo 5.3.2 exige que las cimentaciones profundas sean diseñadas para:

- Resistir las fuerzas inerciales inducidas por la superestructura.
- Considerar los efectos de licuefacción y pérdida de capacidad portante.
- Garantizar la ductilidad estructural del pilote mediante confinamiento de acero.

De acuerdo con el Anexo 7.3, la clasificación del terreno se realiza a partir de la velocidad promedio de ondas de corte  $V_{s30}$ . Esta clasificación condiciona los coeficientes de amplificación sísmica ( $F_a$ ,  $F_v$ ), los cuales afectan directamente la demanda en la cimentación.

#### **c) NEC-SE-CG: Concreto Estructural**

Este capítulo regula el diseño de elementos de concreto armado, incluidos pilotes y encepados.

El artículo 6.4.2 establece los requisitos de resistencia a compresión ( $f'_c \geq 280$  kg/cm<sup>2</sup>) para

pilotes de concreto moldeados in situ, así como el refuerzo mínimo de acero longitudinal y transversal.

La norma exige que los pilotes trabajen dentro del rango elástico del material, y que se evite la falla por aplastamiento del concreto o pandeo del acero de refuerzo.

Además, el artículo 7.2.1 requiere que los encepados se diseñen para distribuir uniformemente las cargas y que su espesor no sea menor al 1.5 veces el diámetro del pilote.

### **Normas internacionales aplicables**

#### **a) ACI 318 – Requisitos de diseño para concreto estructural.**

El ACI 318-19 establece los principios generales de diseño por resistencia y servicio. En cimentaciones profundas, regula el refuerzo mínimo, confinamiento, recubrimiento y desarrollo de barras.

El artículo 16.3.1 exige que los pilotes de concreto armado sean diseñados para resistir cargas combinadas de axial y flexión, aplicando factores de reducción  $\phi$  de 0.65 para compresión y 0.90 para flexión.

Este criterio es coherente con el enfoque de diseño por desempeño (Performance-Based Design) adoptado por la NEC, que busca garantizar tanto la resistencia como la ductilidad ante cargas sísmicas.

El ACI 543R-12 complementa al ACI 318, enfocándose exclusivamente en pilotes. Incluye recomendaciones sobre:

- Tipos de pilotes y métodos constructivos.
- Ensayos de carga estática y dinámica.
- Factores de reducción de resistencia según condiciones de instalación.

Detalles de armado, confinamiento y separación de estribos.

El documento establece que los pilotes deben diseñarse con refuerzo mínimo longitudinal de 1 % del área bruta y que la separación de estribos no supere 6 veces el diámetro longitudinal ni 150 mm, lo cual coincide con los requerimientos de la NEC-SE-CG (2015).

#### **b) AASHTO – LRFD Bridge Design Specifications**

La norma AASHTO (2020) aplica principalmente a puentes y estructuras con altas cargas dinámicas.

Regula el diseño sísmico de cimentaciones profundas mediante el método Load and Resistance Factor Design (LRFD), que introduce factores de carga y resistencia para condiciones sísmicas, térmicas y de impacto.

El artículo 10.8.3.3 define las curvas  $p - y$  para suelos cohesivos y granulares, permitiendo representar la respuesta lateral del suelo ante cargas sísmicas o vientos. Estos modelos han sido adoptados por software como PLAXIS 3D y OpenSees, utilizados para modelar pilotes sometidos a flexión dinámica.

#### *1.4.12 Doble excentricidad en cimentaciones superficiales*

El análisis de cimentaciones con excentricidad en ambas direcciones, es fundamental cuando una zapata o plinto no solo soporta una carga vertical, sino también momentos flectores respecto a los ejes X y Y. Esto ocurre comúnmente en estructuras sujetas a cargas laterales como viento o sismos.

#### **Determinación de las Excentricidades**

El primer paso es transformar los momentos aplicados ( $M_x - M_y$ ) y la carga vertical última ( $Q_{ult}$ ) en excentricidades equivalentes ( $e_L ; e_B$ ).

$$e_L = \frac{M_x}{Q_{ult}} ; e_B = \frac{M_y}{Q_{ult}}$$

Donde L es el largo de la base y B es el ancho. Estas excentricidades determinan qué parte del plinto está realmente trabajando de manera efectiva para soportar la carga.

Existen cuatro casos que depende del resultado de las excentricidades equivalentes:

**Caso I: Grandes excentricidades**

Condición:  $e_L/L \geq 1/6$  y  $e_B/B \geq 1/6$

El área efectiva tiene forma triangular.

$$B_1 = B(1.5 - \frac{3e_B}{B})$$

$$L_1 = L(1.5 - \frac{3e_L}{L})$$

$$A' = \frac{1}{2} * B_1 * L_1$$

L' es el mayor entre  $B_1$  y  $L_1$  ;  $B' = A'/L'$ .

**Caso II: Excentricidad moderada en L, baja en B**

Condición:  $e_L/L < 0.5$  y  $0 < e_B/B < 1/6$

El área efectiva es un trapecio.

$$A' = \frac{1}{2} * (L_1 * L_2) * B$$

Los valores L1 y L2 se obtiene mediante ábacos

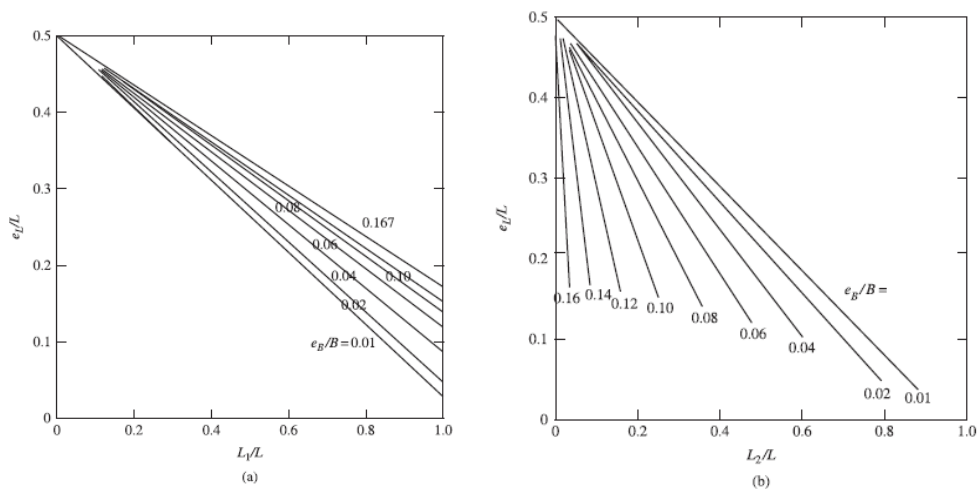


Figura 26 Ábacos para caso II.

Fuente: (Das B. M., 2011)

$L'$  es el mayor entre  $L_1$  y  $L_2$ ;  $B' = \frac{A'}{L}$

### Caso III: Excentricidad baja en L, moderada en B

Condición:  $e_L/L < 1.6$  y  $0 < e_B/B < 0.5$

Es similar al caso II, pero invertido.

$$A' = \frac{1}{2} * (B_1 * B_2) * L$$

$B_1$  y  $B_2$  se determinan por gráficas.

$L' = L$  y  $B' = A'/L'$ .

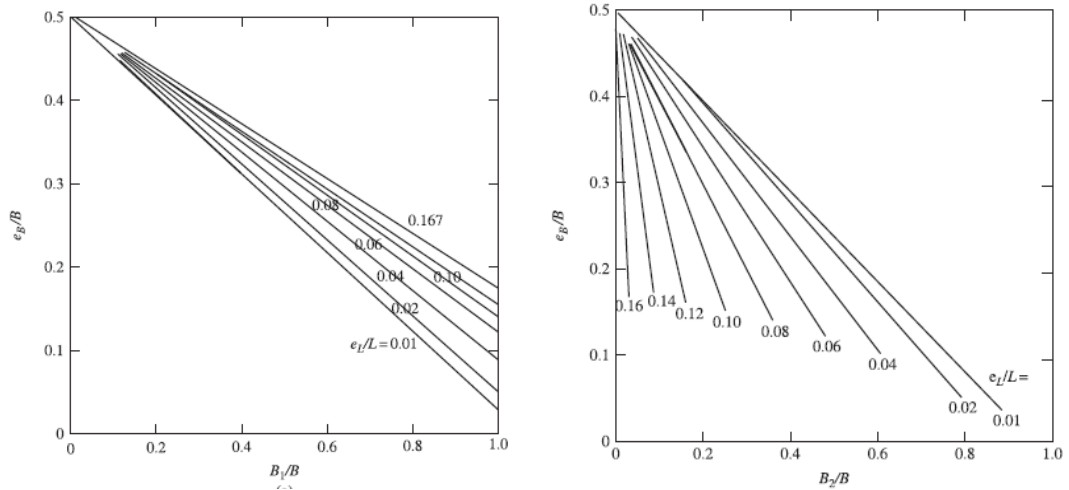


Figura 27 Ábacos para caso III.

Fuente: (Das B. M., 2011)

### Caso IV: Bajas excentricidades en ambos ejes

Condición:  $e_L/L < 1/6$  y  $e_B/B < 1/6$

El área efectiva tiene una forma compleja (Polígono de cinco lados).

$$A' = L_2 * B + \frac{1}{2}(B + B_2)(L - L_2).$$

$B_2$  y  $L_2$  se obtienen de las curvas de variación específicas para este caso.

$$L' = L \text{ y } B' = A'/L'$$

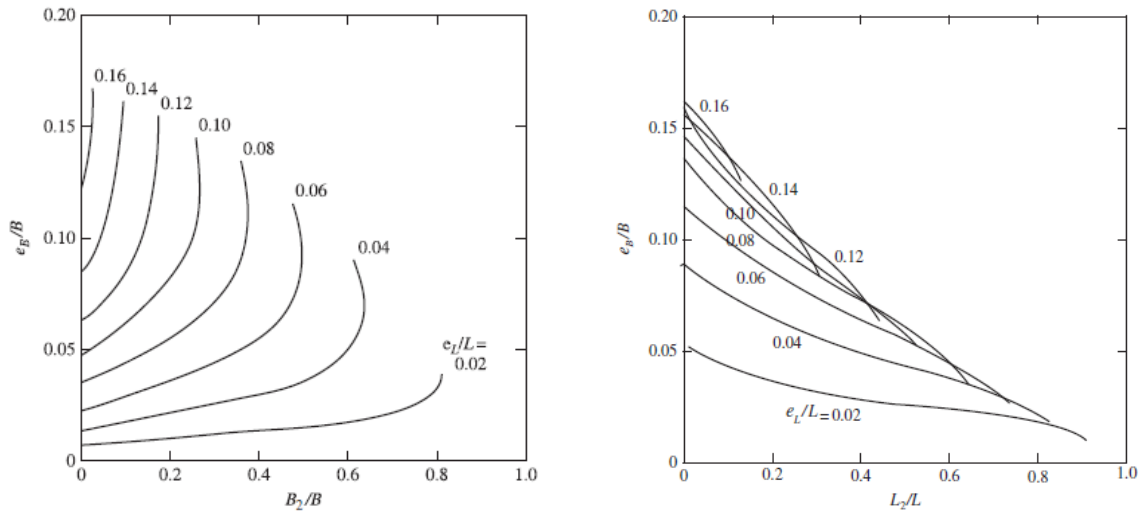


Figura 28 Ábacos para caso IV.

Fuente: (Das B. M., 2011)

Dependiendo de qué tan lejos se mueva la carga del centro, el área que sí toca el suelo cambia de forma. Visualízalo así:

**Caso I (Extremo):** La carga está tan cerca de una esquina que el área de contacto es un triángulo. Es la situación más inestable.

**Casos II y III (Intermedios):** La carga se salió mucho, por un lado, pero poco por el otro. El área de contacto parece un trapecio.

**Caso IV (Leve):** La carga está cerca del centro. Casi toda la zapata toca el suelo, excepto un pequeño triángulo en la esquina opuesta. El área es un pentágono.

#### 1.4.13 Método NAVFAC

El enfoque NAVFAC se considera uno de los métodos analíticos más aplicados en el campo de la ingeniería geotécnica para evaluar la capacidad de carga de los pilotes. Este método se origina del manual de diseño DM 7. 02 (Foundations and Earth Structures) del Naval Facilities Engineering Systems de los Estados Unidos. Se trata de un enfoque empírico y razonado que facilita el cálculo de la resistencia en la punta y el fuste (fricción lateral), fundamentándose en las características del suelo y la forma del pilote.

La capacidad de carga última ( $Q_u$ ) se define como la suma de la resistencia por fuste ( $Q_s$ ) y la resistencia por punta ( $Q_p$ ):

$$Q_u = Q_s + Q_p = \Sigma(f_s * A_s) + q_p * A_p$$

Donde:

$f_s$ : Resistencia unitaria por fricción.

$A_s$ : Área superficial del fuste.

$q_p$ : Resistencia unitaria por punta.

$A_p$ : Área de la sección transversal de la punta

En terrenos, la técnica de NAVFAC resalta que las tensiones no se incrementan de manera indefinida con la profundidad, sino que logran un valor clave (por lo general entre 10 y 20 veces el diámetro del pilote).

### **Resistencia por fuste ( $Q_s$ )**

Se calcula como:

$$f_s = K * \sigma'_{vo} * \tan(\delta)$$

$K$ : Coeficiente de presión lateral de tierra (depende de si el pilote es de desplazamiento o no).

$\sigma'_{vo}$ : Esfuerzo efectivo vertical promedio.

$\delta$ : Ángulo de fricción entre el suelo y el pilote

### **Resistencia por punta ( $Q_p$ )**

$$q_p = \sigma'_{vp} * N'q$$

$N'q$ : Factor de capacidad de carga de NAVFAC (específico para pilotes, no es el mismo de Terzaghi para zapatas).

Para arcillas, el método se basa habitualmente en el análisis de esfuerzo total (Método  $\alpha$ ).

$$\text{Fuste: } f_s = \alpha * c_u$$

Donde  $\alpha$  es un factor de adhesión que varía según la consistencia de la arcilla (arcillas blandas tienen  $\alpha$  cercano a 1, arcillas muy firmes tienen  $\alpha$  mucho menor).

$$\text{Punta: } q_p = 9 * c_u$$

Donde  $c_u$  es la cohesión no drenada en la punta del pilote.

### **Factor de seguridad**

El manual de NAVFAC sugiere utilizar un Factor de Seguridad (FS) que generalmente varía entre 2.0 y 3.0, dependiendo de si se llevaron a cabo pruebas de carga en el lugar o si el diseño se fundamenta únicamente en cálculos teóricos y relaciones con la prueba SPT.

#### 1.4.14 Modelación estructural

El uso de software especializado en análisis estructural integrar la geometría 3D, las propiedades de los materiales y la interacción suelo–estructura en un único entorno numérico. Entre los programas más utilizados se destacan ETABS, SAP2000, Autodesk Robot Structural Analysis (ROBOT) y ANSYS, cada uno con características particulares según el tipo de estructura y el nivel de detalle requerido.

##### a) ETABS y SAP2000 (CSI)

Desarrollados por *Computers and Structures Inc.* (CSI), ETABS y SAP2000 son herramientas ampliamente utilizadas para el análisis y diseño estructural. ETABS se orienta al diseño de edificios, mientras que SAP2000 permite modelar sistemas más generales como puentes, torres o cimentaciones con geometría irregular.

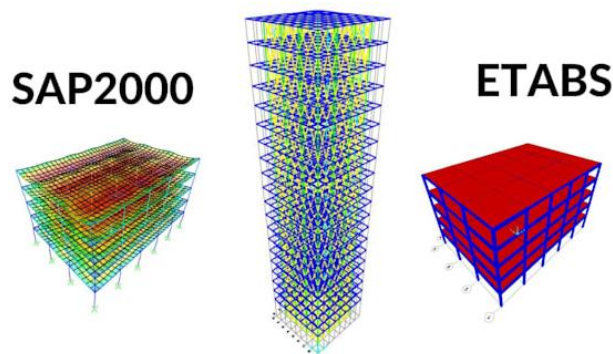


Figura 29 Vista de modelados SAP2000 y Etabs

##### b) Robot Structural Analysis (ROBOT)

Es una herramienta avanzada de análisis estructural tridimensional desarrollada por *Autodesk*, que permite integrar el diseño estructural con el modelado BIM (*Building Information Modeling*).

El flujo de trabajo típico en ROBOT para cimentaciones profundas incluye:

- Importación del modelo geométrico desde Revit o AutoCAD Civil 3D.
- Definición de propiedades de los materiales (suelo, concreto, acero).

- Aplicación de combinaciones de carga (estáticas y sísmicas).
- Análisis por elementos finitos y obtención de esfuerzos, deformaciones y diagramas de interacción P–M.

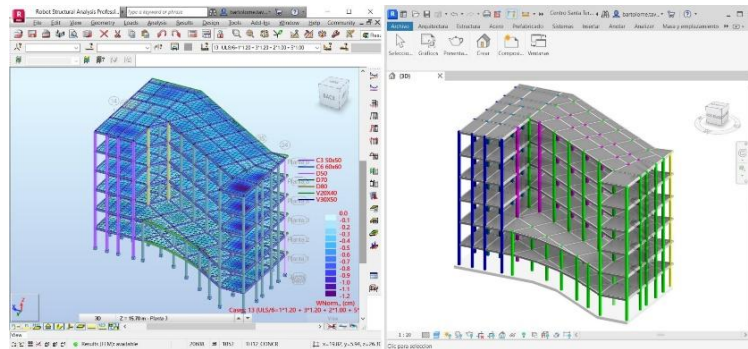


Figura 30 Vista de modelado Robot Structural

### c) ANSYS y software de elementos finitos avanzado

ANSYS es un software de análisis numérico generalista que permite modelar tanto la estructura como el suelo mediante elementos sólidos tridimensionales con comportamiento lineal o no lineal.

Su uso en cimentaciones profundas incluye:

- Modelación del terreno como medio continuo elástico o elastoplástico.
- Representación del contacto suelo–pilote mediante elementos de fricción o cohesión limitada.
- Simulación de fenómenos dinámicos, como licuefacción parcial o vibraciones inducidas.

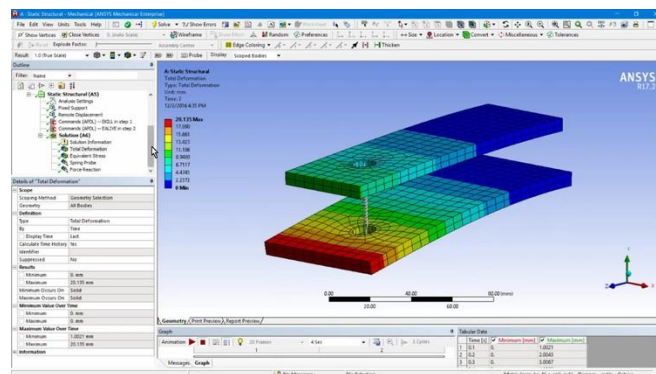


Figura 31 Vista de modelado ANSYS

## CAPITULO 3

### 1.5 MARCO METODOLÓGICO

#### 1.5.1 Ensayo de suelo

Con base en el mapa geológico de la ciudad de Guayaquil, el área de estudio se localiza dentro de una zona correspondiente a depósitos estuarinos (De). Este tipo de formación geológica está constituida por una combinación variable de bloques, gravas, arenas limosas, limos y arcillas, cuya proporción y composición dependen de las condiciones locales de sedimentación.

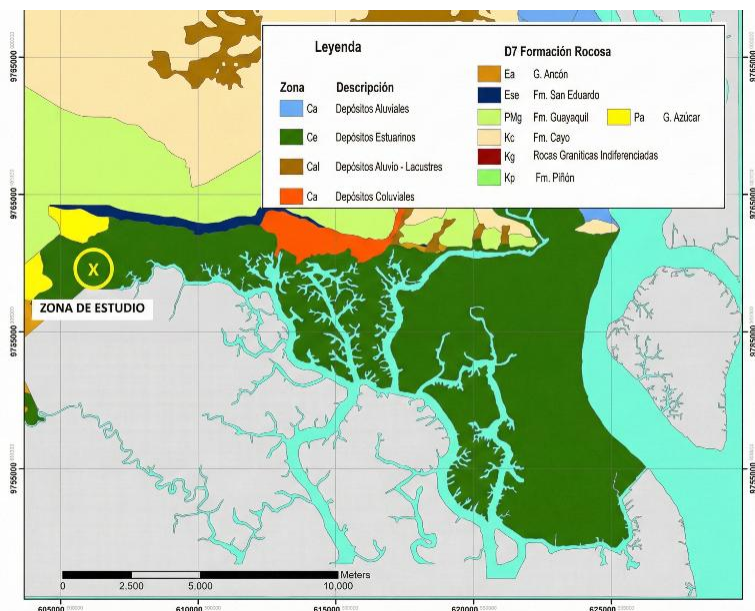


Figura 32 Geología de la zona en estudio. Depósitos Estuarinos

Fuente: Mapa geológico de la ciudad de guayaquil, Geoestudios S.A.

Los depósitos estuarinos se originan en ambientes de transición fluvio – marina, producto de procesos de sedimentación fina que ocurren en zonas de mareas, planicies costeras y esteros, donde la interacción entre aguas dulces y salobres favorece la acumulación de limos y arcillas blandas, con intercalaciones arenosas de espesor y continuidad variable. En estas formaciones, el nivel freático se presenta poco profundo, generalmente entre 0.50 y 2.00 m, con variaciones asociadas a las condiciones estacionales.

Considerando la ubicación del proyecto, los parámetros físico-mecánicos de los depósitos estuarinos característicos de la ciudad de Guayaquil son relevantes para el análisis y diseño geotécnico.

PARAMETROS FISICO-MECANICOS							
CLASIFIC.	K	$\gamma$	C'	$\phi'$	Cu	$\phi_u$	$\sigma_c$
SUCS	(m/s)	(KN/m <sup>3</sup> )	(MN/m <sup>2</sup> )	(°)	(MN/m <sup>2</sup> )	(°)	(MN/m <sup>2</sup> )
CL-CH	$10^{-7} - 10^{-8}$	15-18	0 - 0.02	20 - 26	-	-	

Tabla 4 Parámetros físico-mecánicos representativos de los depósitos estuarinos de Guayaquil

Fuente: MOP-Ecuador, NEC 2015

Adicionalmente, el área de estudio se encuentra emplazada en una zona sísmogénica V, correspondiente a una zona de alta amenaza sísmica, según el mapa de peligros sísmicos establecido en el Código Ecuatoriano de la Construcción (NEC 2015), lo cual debe ser considerado en el diseño estructural y de cimentaciones.

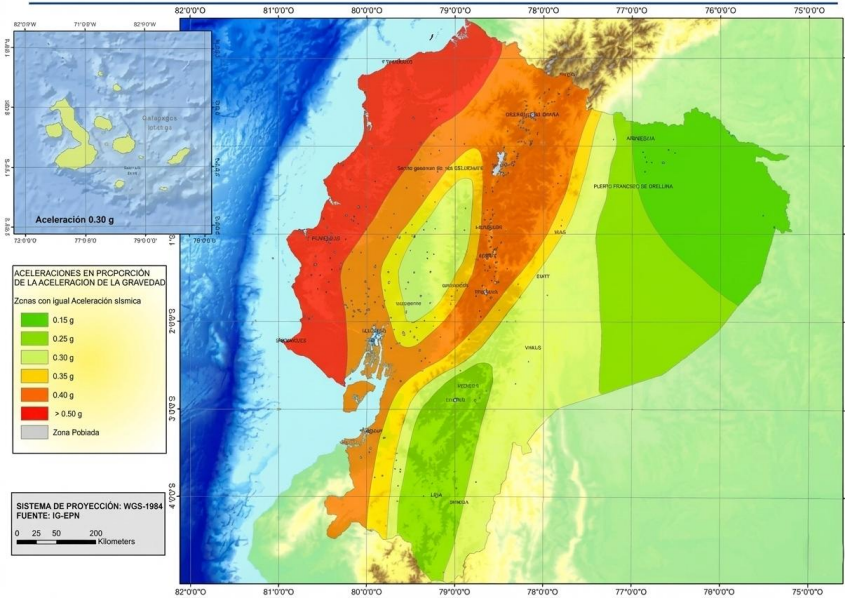


Figura 33 Zonas y aceleraciones sísmicas en el Ecuador

Fuente: NEC 2015

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza Sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Tabla 5 Valores de la aceleración máxima Z en función de la zona sísmica

Fuente: NEC 2015

Para los ensayos geofísicos MASW se utilizó el siguiente equipo:

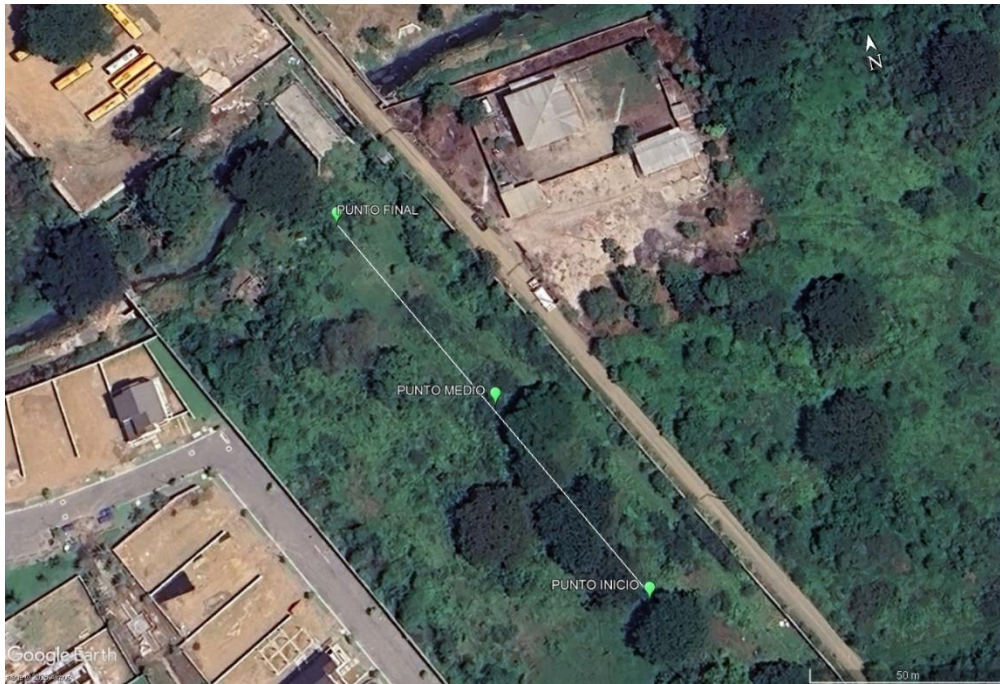
- Sismógrafo Gea24 PASI
- 24 geófonos verticales de 4.5 Hz a 15 Hz de frecuencia
- Cables sísmicos
- Martillo de 8 kg
- Placa de acero
- Cable Trigger
- Software Geopsy
- Software GEA-PC
- Software Easy MAS W
- Computador Lenovo
- Cable USB

Para la primera línea sísmica (LS-01) se estableció una longitud de 120 m, en la cual se instalaron 24 geófonos con un espaciamiento uniforme de 5 m. Asimismo, se registraron las coordenadas geográficas de los puntos de inicio, tramo medio y final de la línea.

Ensayo Sísmico No.	COORDENADAS						Longitud de la Línea Sísmica (m)	Cota aproximada exploración
	Inicio		Medio		Fin			m.s.n.m
	X	Y	X	Y	X	Y		
LS-01	606489	9757013	606462	9757067	606432	9757120	120	26

Tabla 6 Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MASW ejecutados en el proyecto.

Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO).



*Figura 34 Localización de puntos de línea LS-01*

*Fuentes: Google Earth*



*Figura 35 Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-01*

*Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO).*

Para la segunda línea sísmica (LS-02) se estableció una longitud de 48 m, en la cual se dispusieron 24 geófonos con un espaciado uniforme de 2 m. De igual manera, se registraron las coordenadas geográficas de los puntos de inicio, tramo medio y final de la línea.

Ensayo Sísmico No.	COORDENADAS						Longitud de la Línea Sísmica (m)	Cota aproximada exploración
	Inicio		Medio		Fin			m.s.n.m
	X	Y	X	Y	X	Y		
LS-02	606457	9757085	606435	9757074	606414	9757062	48	26

Tabla 7 Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MASW ejecutados en el proyecto.

Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO).

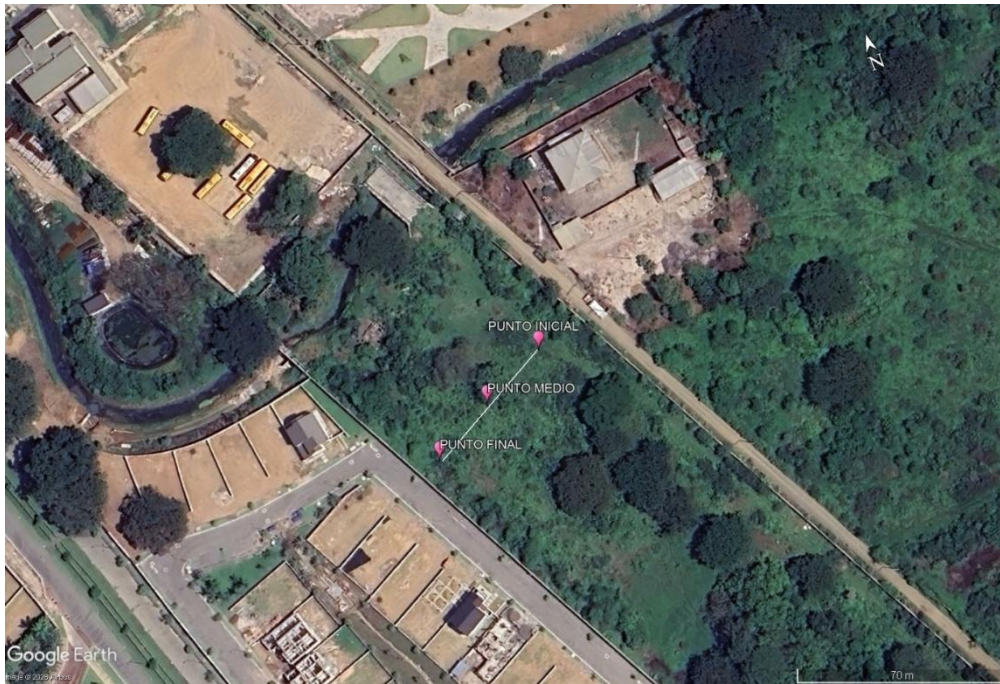


Figura 36 Localización de puntos de línea LS-02.

Fuentes: Google Earth



Figura 37 Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-02

Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO).

Para el ensayo sísmico de refracción, los impactos realizados en cada punto de medición permitieron la obtención de las dromócronas, las cuales fueron procesadas mediante el software especializado GeoTru Easy Refract. A partir de este procesamiento se generó el mapa de velocidades de propagación de ondas sísmicas del subsuelo, así como el perfil geofísico estratigráfico inferido.

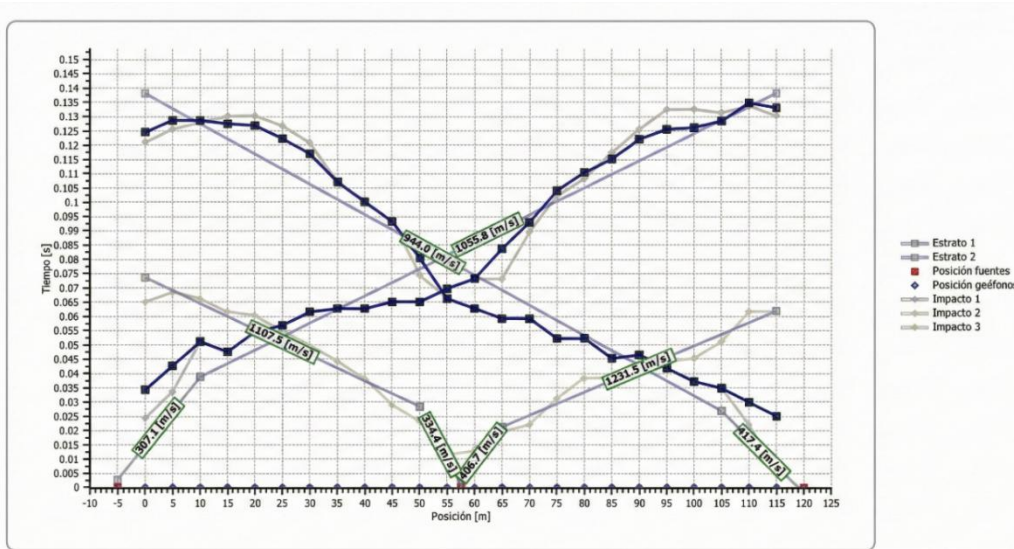


Figura 38 Dromocronas generadas de la línea LS-01.

Fuente: Consultoria & Construcción (INGEO) / Easy Refract

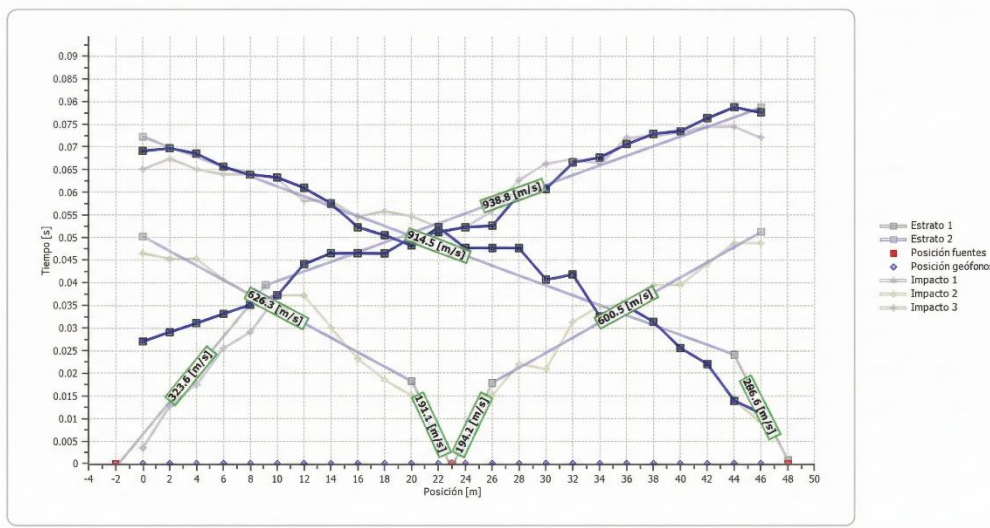


Figura 39 Dromocronas generadas de la línea LS-02

Fuente: Consultoria & Construcción (INGEO) / Easy Refract

En este primer ensayo, con base en los valores de velocidad obtenidos, se identificaron dos tipos de capas de suelo: aquellas asociadas a mayores velocidades, correspondientes a materiales más compactos, y aquellas con velocidades menores, representativas de materiales no consolidados.

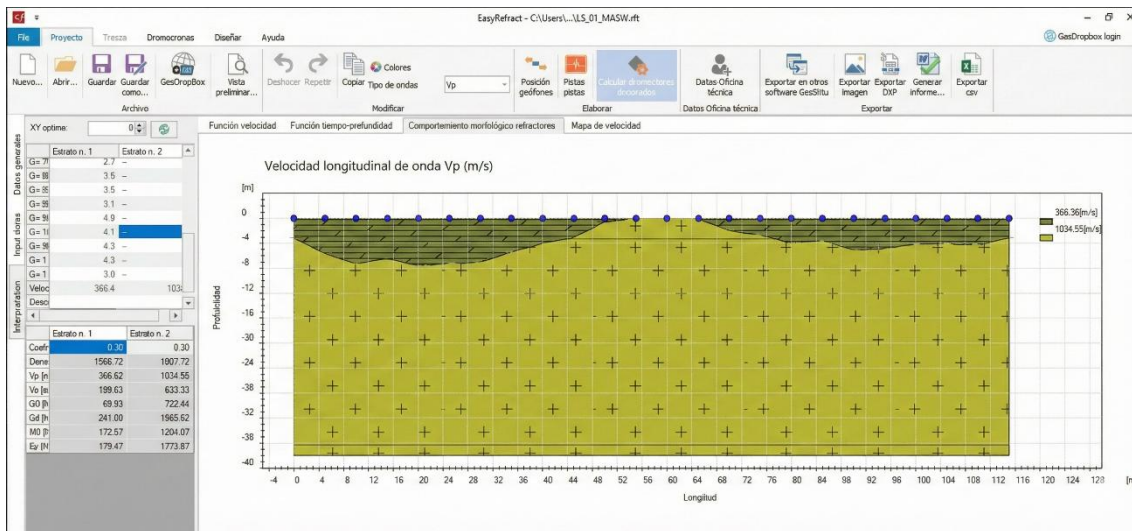


Figura 40 Perfil geofísico estratigráfico inferido línea LS-01, velocidades de onda Vp.

Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO) / Easy Refract

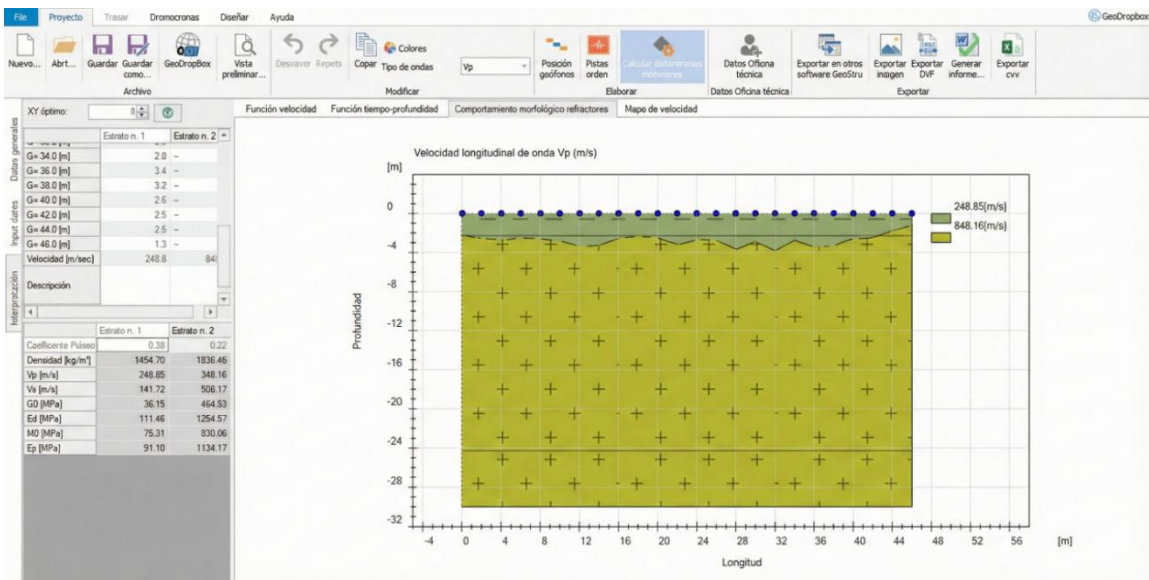


Figura 41 Perfil geofísico estratigráfico inferido línea LS-02, velocidades de onda Vp

Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO) / Easy Refract

El procesamiento de la información de las líneas mediante el método MASW permitió analizar el subsuelo hasta una profundidad aproximada de 30 m. Desde la cata de exploración hasta una profundidad de 3,38 m, se obtuvo un valor promedio de  $V_p = 328,06$  m/s y  $V_s = 175,36$  m/s, lo que sugiere la presencia de materiales arcillosos muy húmedos.

A una profundidad adicional de 5,98 m, se registraron velocidades de  $V_p = 520,78$  m/s y  $V_s = 287,87$  m/s, correspondientes a un material ligeramente más consolidado, posiblemente arcilloso – arenoso.

Descendiendo aproximadamente 11,79 m más, se obtuvieron valores de  $V_p = 456,94$  m/s y  $V_s = 781,22$  m/s, lo cual indica un material más rígido, asociado probablemente a lutitas o limolitas.

Finalmente, a una profundidad adicional de 8,85 m, completando los 30 m de investigación, se registraron velocidades de  $V_p = 543,20$  m/s y  $V_s = 928,71$  m/s, a partir de las cuales se infiere la presencia de una roca blanda o semidura, posiblemente areniscas.

El cálculo del parámetro  $V_{s30}$ , empleado para la clasificación del perfil del subsuelo, arrojó un valor de 463.90 m/s, el cual corresponde a un perfil de subsuelo Tipo C, de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). No obstante, considerando que las capas superficiales, hasta una profundidad aproximada de 10 m, presentan valores de  $V_s$  inferiores a 300 m/s, y adoptando un criterio conservador para el diseño sismorresistente, el perfil del suelo se clasifica como Suelo Tipo D.

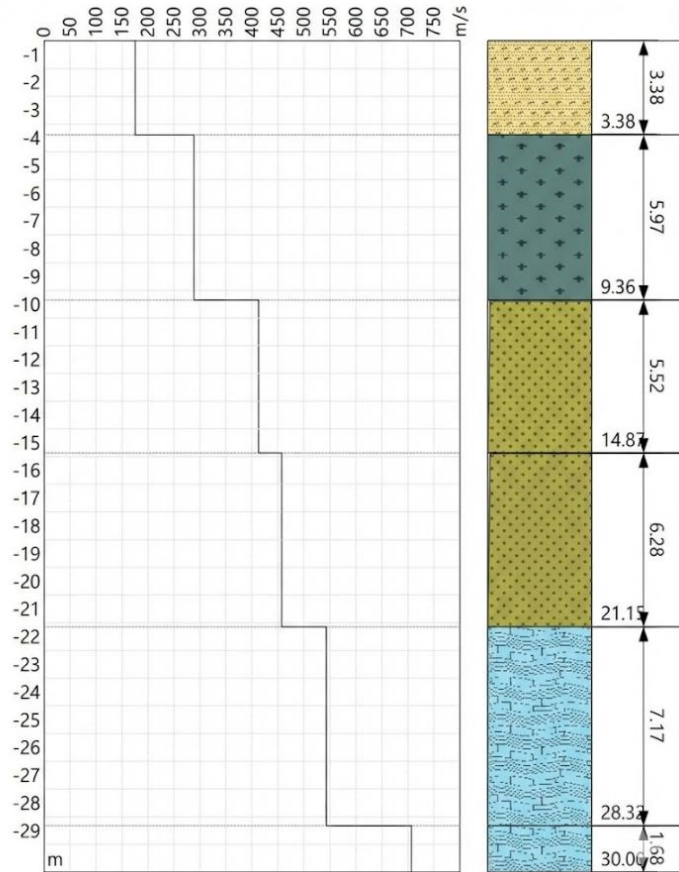


Figura 42 Velocidades de onda cortantes  $V_s$  obtenida para ReMI - MASW LS-01 hasta los 30 m de profundidad.

Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO)

Para la segunda línea sísmica LS-02, desde la cota de exploración hasta una profundidad de 3.09 m, se obtuvo un valor promedio de  $V_p = 251.96$  m/s y  $V_s = 143.49$  m/s, lo que sugiere la presencia de material arcilloso muy húmedo con alta relación de vacíos.

A una profundidad adicional de aproximadamente 8,81 m, se registraron velocidades de  $V_p = 496.06$  m/s y  $V_s = 286.40$  m/s, asociadas a suelos arcilloso arenosos con baja relación de vacío y de mayor grado de consolidación.

Descendiendo alrededor de 12.40 m más, se obtuvieron valores de  $V_p = 426.97$  m/s y  $V_s = 712.64$  m/s, correspondientes a un material más rígido, caracterizado por una baja relación de vacíos.

Finalmente, a una profundidad adicional de 5.70 m, se registraron velocidades de  $V_p = 794.81$  m/s y  $V_s = 476.21$  m/s, lo que indica la presencia de un estrato rígido a roca blanda.

De manera análoga al caso anterior, se obtuvo un valor de  $V_{s30} = 367,35$  m/s, el cual, de acuerdo con los criterios establecidos en la normativa vigente, correspondería a un perfil de subsuelo tipo C. No obstante, debido a que los primeros 12 m del subsuelo presentan velocidades de onda de corte inferiores a los valores normativos, el perfil se considera conservadoramente como tipo D, atendiendo al control que ejerce el estrato superficial en la respuesta sísmica del sitio.

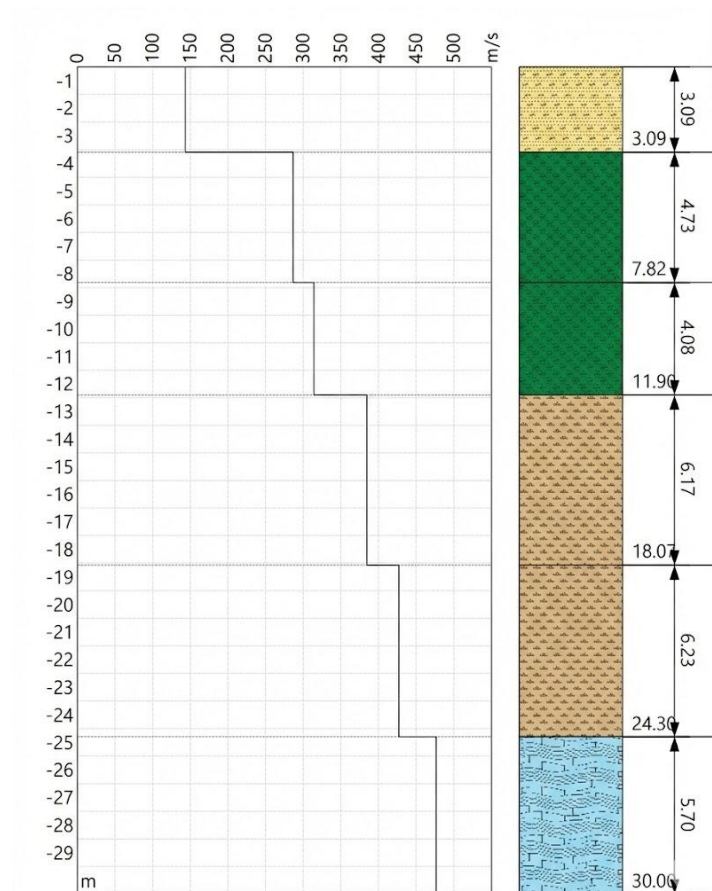


Figura 43 Velocidades de onda cortantes  $V_s$  obtenida para ReMI - MASW LS-02 hasta los 30 m de profundidad.

Fuente: Consultoría & Construcción (INGEO)

Para ambos casos se realizó, además, el cálculo de los parámetros mecánicos y elásticos, así como de los períodos dominantes y la caracterización del perfil del terreno en cada una de las capas del subsuelo.

Línea Sísmica Ejecutada	Estratos geofísicos definidos				Velocidades de ondas			Peso específico	Capacidad admisible	Resistencia a la penetración y capacidad de carga en función de N				Módulo de corte	Coeficiente Poisson	Módulo Young	Módulo Edométrico	Módulo Bulk	Módulo Balasto	Cohesión	Ángulo de fricción	Periodo Dominante		Perfil Estrato	Perfil Vs30
	Capas	Variación estrato	Potencia estrato (i)	Vp	Vs	di/Vsi	$\gamma$			qa	qa	qa (prom)	N referencial									G	v		
		[m]	[H]					[m/s]	[m/s]					[KN/m <sup>3</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]	[-/-]	[ kN/m <sup>2</sup> ]			[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
MAS W - 02	1	0	3.38	3.38	328.06	175.35	0.01927	14.99	115.00	116.85	85.10	9	45988.73	0.30	12217.07	3289.32	10180.89	13425.35	1.34	24.3	0.08	0.33	E	D	
	2	3.38	9.36	5.98	520.78	287.87	0.02077	16.68	196.09	193.26	188.20	15	140902.87	0.28	36071.14	10144.91	27326.62	39139.69	35.25	26.2	0.08		D		
	3	9.36	21.15	11.79	781.22	456.94	0.02580	18.37	286.56	296.63	260.68	22	390983.57	0.25	97745.89	29955.07	65163.93	104262.28	83.78	28.8	0.10		C		
	4	21.15	30	8.85	928.71	543.20	0.01629	18.56	341.70	354.78	295.79	26	395027.49	0.22	96386.71	29538.54	57373.04	101289.10	111.26	30.3	0.07		C		
	$\Sigma di =$		<b>30</b>		$\Sigma di / Vs =$		0.08214	<b>Vs. media (Vs30)</b>															<b>365.22</b>		

Tabla 8 Parámetros de primera línea de ensayo LS-01

Fuente: Consultoria & Construcción (INGEO)

Línea Sísmica Ejecutada	Estratos geofísicos definidos				Velocidades de ondas			Peso específico	Capacidad admisible	Resistencia a la penetración y capacidad de carga en función de N				Módulo de corte	Coeficiente Poisson	Módulo Young	Módulo Edométrico	Módulo Bulk	Módulo Balasto	Cohesión	Ángulo de fricción	Periodo Dominante		Perfil Estrato	Perfil Vs30
	Capas	Variación estrato	Potencia estrato (i)	Vp	Vs	di/Vsi	$\gamma$			qa	qa	qa (prom)	N referencial									G	v		
		[m]	[H]					[m/s]	[m/s]					[KN/m <sup>3</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[kn/m <sup>2</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]	[-/-]	[ kN/m <sup>2</sup> ]			[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
MAS W - 02	1	0	3.09	3.09	251.96	143.49	0.02153	14.41	79.69	90.52	85.10	7	30243.93	0.30	7863.42	2309.10	6552.85	8641.12	0.06	23.5	0.09	0.36	E	D	
	2	3.09	11.9	8.81	524.34	314.16	0.02804	16.91	184.98	191.41	188.20	15	170128.23	0.28	43552.83	13922.99	32994.57	47257.84	35.92	26.2	0.11		D		
	3	11.9	24.3	12.4	712.64	426.97	0.02904	17.50	260.19	261.16	260.68	20	325209.90	0.25	81302.48	25989.64	54201.65	86722.64	71.00	28.1	0.12		C		
	4	24.3	30	5.7	794.81	476.21	0.01197	18.09	299.98	291.60	295.79	22	336174.12	0.22	82026.49	26221.08	48825.29	86198.49	86.31	29.0	0.05		C		
	$\Sigma di =$		<b>30</b>		$\Sigma di / Vs =$		0.09059	<b>Vs. media (Vs30)</b>															<b>331.17</b>		

Tabla 9 Parámetros de segunda línea de ensayo LS-02

Fuente: Consultoria & Construcción (INGEO)

### 1.5.2 Modelado de estructura en Revit

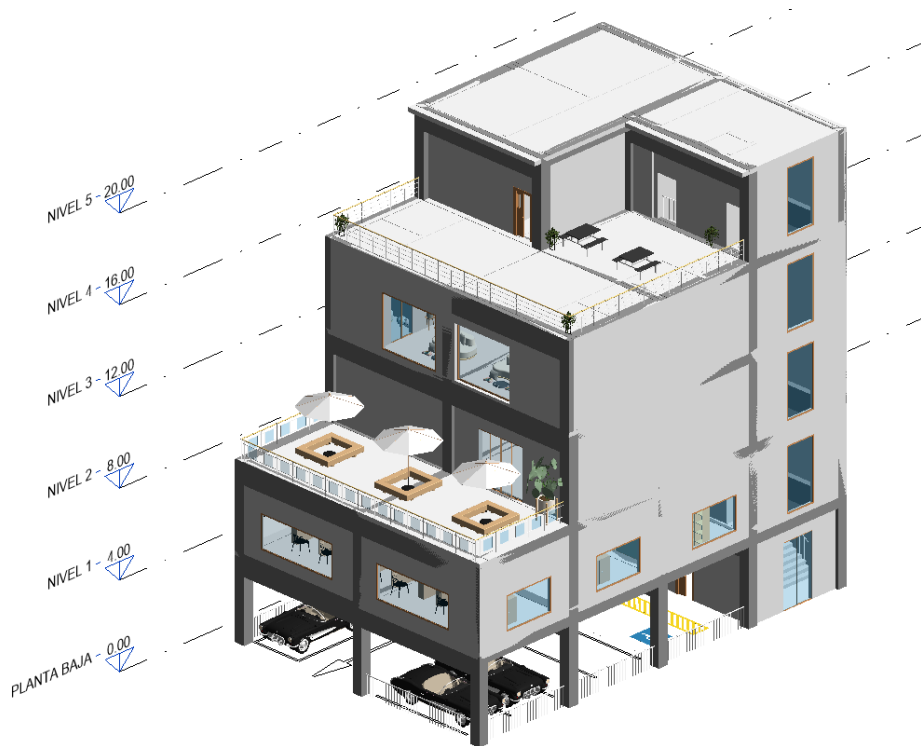


Figura 44 Modelado tridimensional del primer edificio propuesto para análisis

Fuente: Autores / Revit 2024

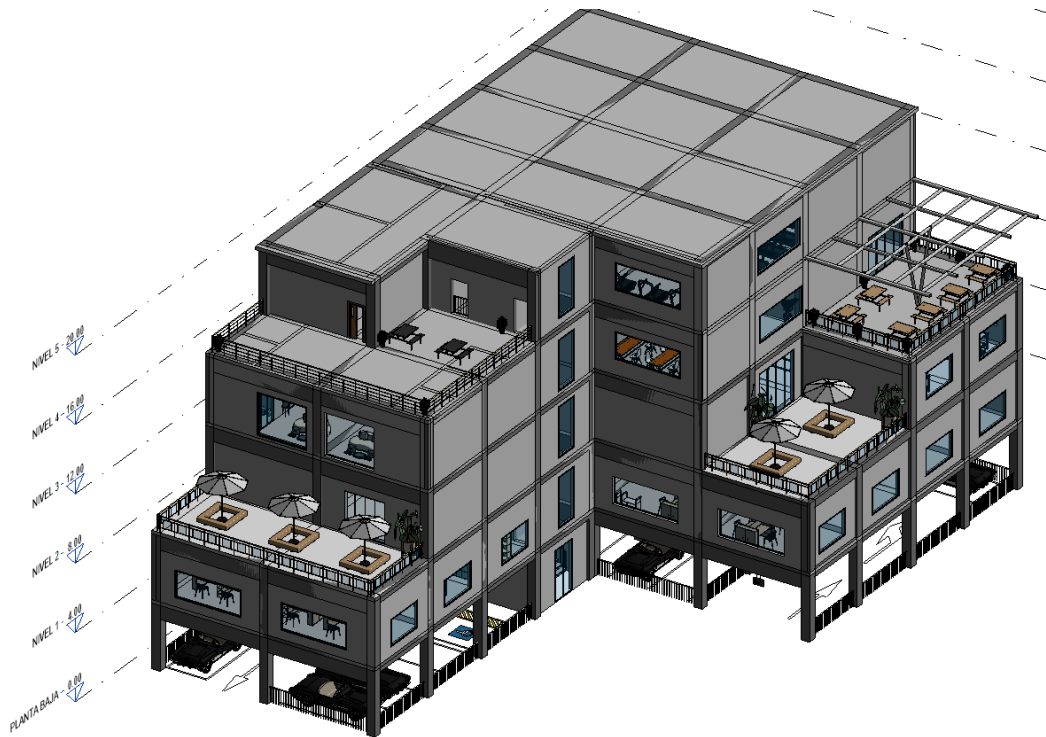
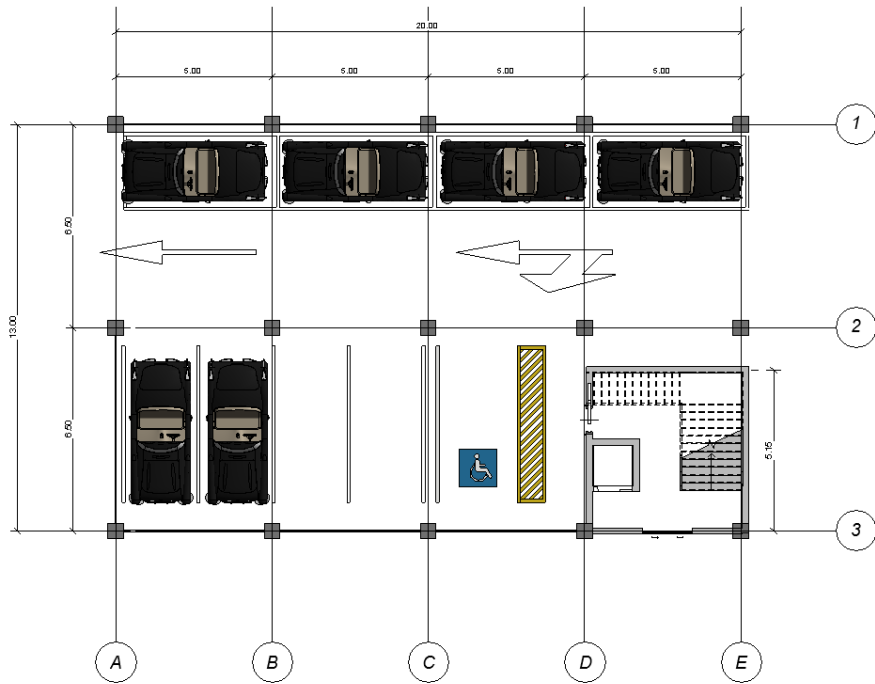


Figura 45 Modelado y propuesta inicial de edificación multifuncional dentro del campus María Auxiliadora.

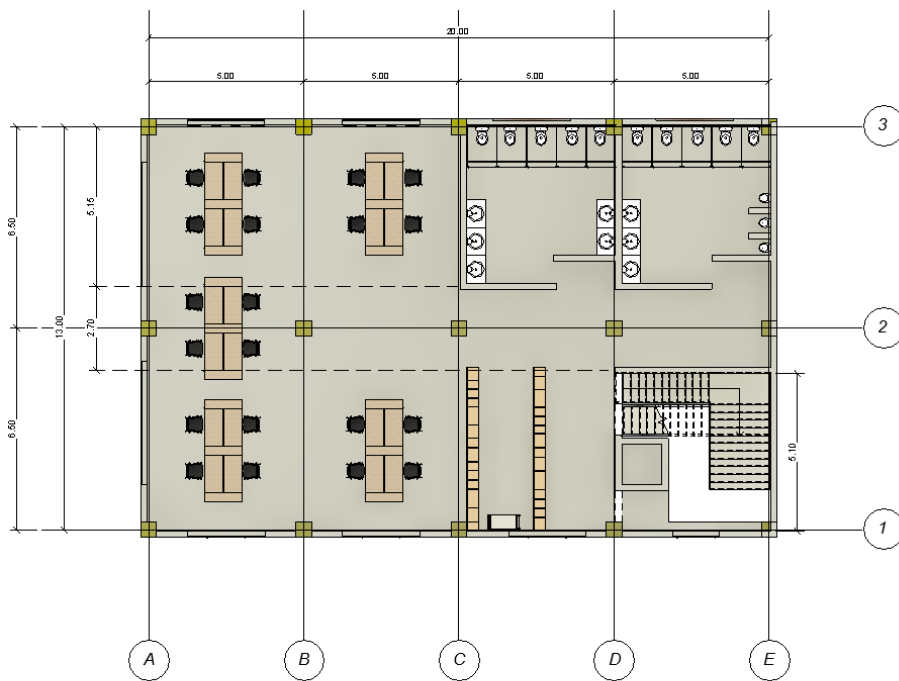
Fuente: Autores / Revit 2024



VISTA PLANTA BAJA - EDIFICIO 1  
ESTACIONAMIENTO

Figura 46 Vista en planta - Área de estacionamiento.

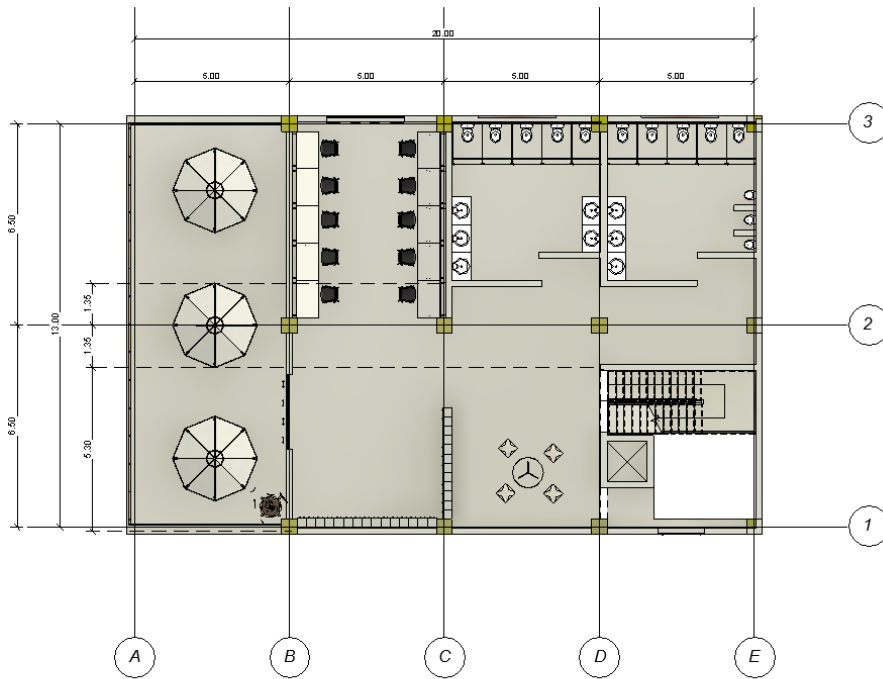
Fuente: Autores / Revit 2024



VISTA PLANTA PRIMER NIVEL - EDIFICIO 1  
BIBLIOTECA

Figura 47 Vista en planta - Área de biblioteca.

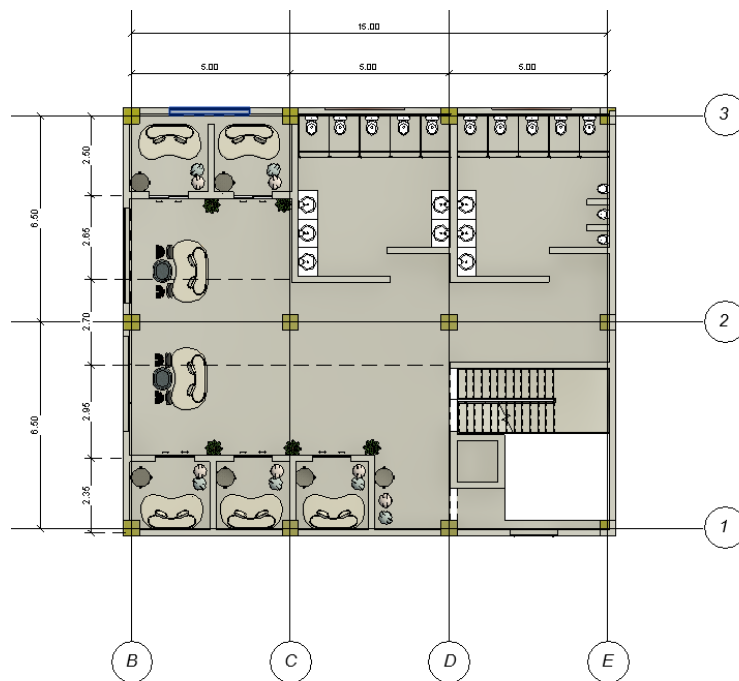
Fuente: Autores / Revit 2024



VISTA PLANTA SEGUNDO NIVEL - EDIFICIO 1  
SALA DE ESTUDIO

Figura 48 Vista en planta - Área de estudio o sala computacional

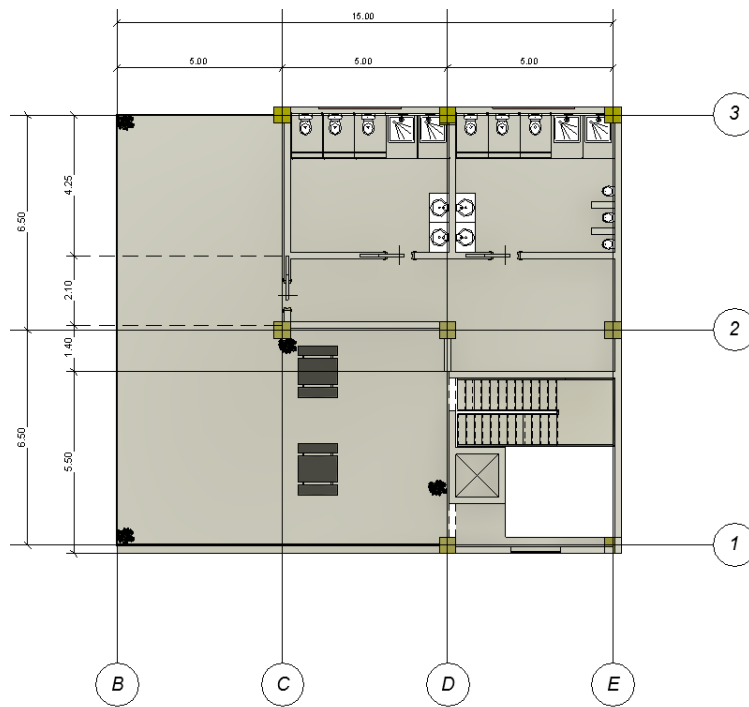
Fuente: Autores / Revit 2024



VISTA PLANTA TERCER NIVEL - EDIFICIO 1  
SALA DE DESCANSO

Figura 49 Vista en planta - Área de descanso o recreación

Fuente: Autores / Revit 2024



VISTA PLANTA CUARTO NIVEL - EDIFICIO 1

Figura 50 Vista en planta - Área terraza y mesas.

Fuente: Autores / Revit 2024

Se realizó el modelado arquitectónico en el software Revit 2024, con el propósito de definir la distribución de la edificación y la localización de los elementos estructurales verticales. El modelo presentado en la Figura 45 representa la configuración conceptual inicial considerada para el análisis. No obstante, debido a que el proyecto está conformado por dos edificaciones, se optó por analizar el modelo correspondiente a la Figura 44, el cual fue seleccionado en función del alcance del estudio y la viabilidad del análisis estructural.

### 1.5.3 Espectro elástico

Con el objetivo de determinar los coeficientes asociados al perfil de suelo, a partir de los resultados del ensayo sísmico con las dos líneas sísmicas se estableció que el área de estudio se encuentra en una zona sísmica IV y presenta un perfil de subsuelo D, con eso se puede determinar el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto ( $F_a$ ), la amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca ( $F_d$ ), el comportamiento no lineal de los suelos ( $F_s$ ).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

Figura 51 Factores de sitio  $F_a$ .

Fuentes. NEC-SE-DS, 2015.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Figura 52 Factores de sitio  $F_d$ .

Fuentes. NEC-SE-DS, 2015.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Figura 53 Factores del comportamiento inelástico del subsuelo  $F_s$

Fuentes. NEC-SE-DS, 2015.

Tipo de perfil	D
<b>Fa</b>	1.20
<b>Fd</b>	1.19
<b>Fs</b>	1.28
<b>r</b>	1.00
<b>Tc</b>	0.70

Tabla 10 Tabla resumen de coeficientes de perfil de suelo.

Fuente: Autores / NEC-SE-DS, 2015

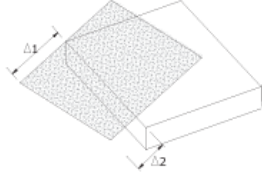
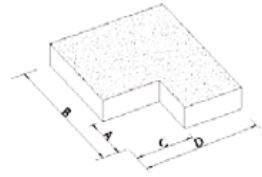
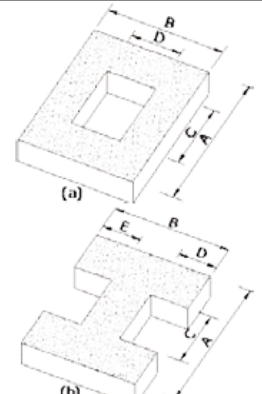
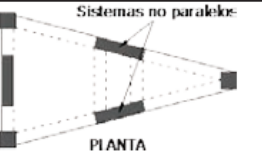
Adicionalmente, es necesario especificar el tipo de uso, destino e importancia (I), cuyo propósito es incrementar la demanda sísmica para el diseño, en función de la relevancia y función del edificio, este factor se determina a partir de la siguiente tabla correspondiente establecida en la normativa.

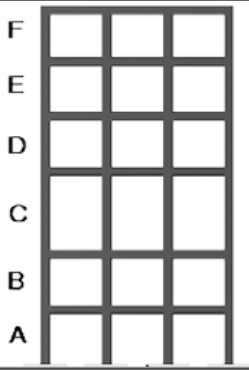
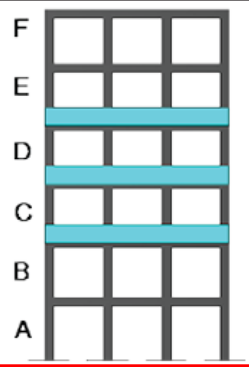
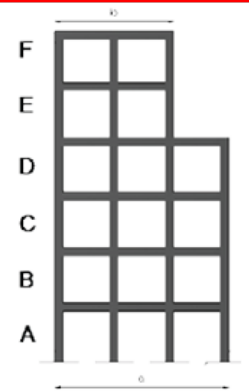
Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Figura 54 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (I)

Fuente: Autores / NEC-SE-DS, 2015

La configuración estructural y la presencia de irregularidades son otros factores adicionales a considerar para el diseño, ya que se incrementan valores de la cortante y permiten evaluar el posible comportamiento sísmico.

<p><b>Tipo 1</b> - Irregularidad torsional  <math>\phi_{pi}=0.9</math>  <math>\Delta &gt; 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}</math></p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p><b>Tipo 2</b> - Retrocesos excesivos en las esquinas <math>\phi_{pi}=0.9</math>  <math>A &gt; 0.15B</math> y <math>C &gt; 0.15D</math></p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p><b>Tipo 3</b> -Discontinuidades en el sistema de piso  <math>\phi_{pi}=0.9</math>  a) <math>CxD &gt; 0.5AxB</math>  b) <math>[Cx D + Cx E] &gt; 0.5Ax B</math></p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p><b>Tipo 4</b> - Ejes estructurales no paralelos  <math>\phi_{pi}=0.9</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  Rigidez <math>K_c &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math>  Rigidez <math>&lt; 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Distribución de masa</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_E</math> ó  <math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Irregularidad geométrica</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>a &gt; 1.3 b</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Otro parámetro requerido para el cálculo de espectros elásticos es la identificación del factor de la zona sísmica (Z) para el presente estudio, la edificación se localiza en la Universidad ubicada dentro del cantón Guayaquil.

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	FACTOR Z
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40

Tabla 11 Factor de zona sísmica (Z)

Fuente: NEC-SE-DS, 2015

El dato de la ampliación espectral ( $n$ ) varía en función de la región geográfica, de acuerdo en lo establecido en la (NEC-SE-DS, 2015), para las provincias de las Costa, con excepción de Esmeraldas, se adopta un valor de  $n=1.80$ .

<b>Espectro Elástico</b>	
<b>I</b>	1.30
<b><math>\phi_p</math></b>	0.90
<b><math>\phi_e</math></b>	0.90
<b>R</b>	6.00
<b>n</b>	1.80
<b>Z</b>	0.40

Tabla 12 Resumen de componentes de espectro elástico de diseño.

Fuente: NEC-SE-DS, 2015.

Para determinar el periodo de vibración ( $T_{Nec}$ ) según la normativa, es necesario definir dos factores dependientes del tipo de edificación: el coeficiente  $C_t$  y  $\alpha$ , los cuales están asociados al sistema estructural y al material predominante.

Tipo de estructura	$C_t$	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Figura 55 Coeficientes  $C_t$  y  $\alpha$  para la estimación del periodo fundamental.

Fuente: NEC-SE-DS, 2015.

<b>Cálculos de periodo fundamental</b>	
<b><math>C_t</math></b>	0.055
<b>Hn</b>	20.00 [m]
<b>a</b>	0.90
<b>T (Nec)</b>	0.82 [s]

Tabla 13 Resumen de datos para periodo fundamental.

Fuente: Autores / NEC-SE-DS, 2015.

De acuerdo con la normativa vigente, para estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural (con  $\alpha=1$ ), el período de vibración aproximado de la edificación de 5 pisos analizada se estima  $T= 0.50$  [s].

T(s)	Cálculo de aceleración espectral -período corto [Sa]	Cálculo de aceleración espectral -período largo [Sa]	T(s)	Cálculo de aceleración espectral -período corto [Sa]	Cálculo de aceleración espectral -período largo [Sa]
<b>0.00</b>	0.86	0.231	<b>1.60</b>	0.38	0.101
<b>0.10</b>	0.86	0.231	<b>1.70</b>	0.35	0.095
<b>0.20</b>	0.86	0.231	<b>1.80</b>	0.34	0.090
<b>0.30</b>	0.86	0.231	<b>1.90</b>	0.32	0.085
<b>0.40</b>	0.86	0.231	<b>2.00</b>	0.30	0.081
<b>0.50</b>	0.86	0.231	<b>2.10</b>	0.29	0.077
<b>0.60</b>	0.86	0.231	<b>2.20</b>	0.27	0.073
<b>0.70</b>	0.86	0.230	<b>2.30</b>	0.26	0.070
<b>0.80</b>	0.75	0.202	<b>2.40</b>	0.25	0.067
<b>0.90</b>	0.67	0.179	<b>2.50</b>	0.24	0.065
<b>1.00</b>	0.60	0.161	<b>2.60</b>	0.23	0.062
<b>1.10</b>	0.55	0.147	<b>2.70</b>	0.22	0.060
<b>1.20</b>	0.50	0.134	<b>2.80</b>	0.22	0.058
<b>1.30</b>	0.46	0.124	<b>2.90</b>	0.21	0.056
<b>1.40</b>	0.43	0.115	<b>3.00</b>	0.20	0.054
<b>1.50</b>	0.40	0.108			

Tabla 14 Aceleraciones espectrales.

Fuente: Autores / NEC-SE-DS, 2015

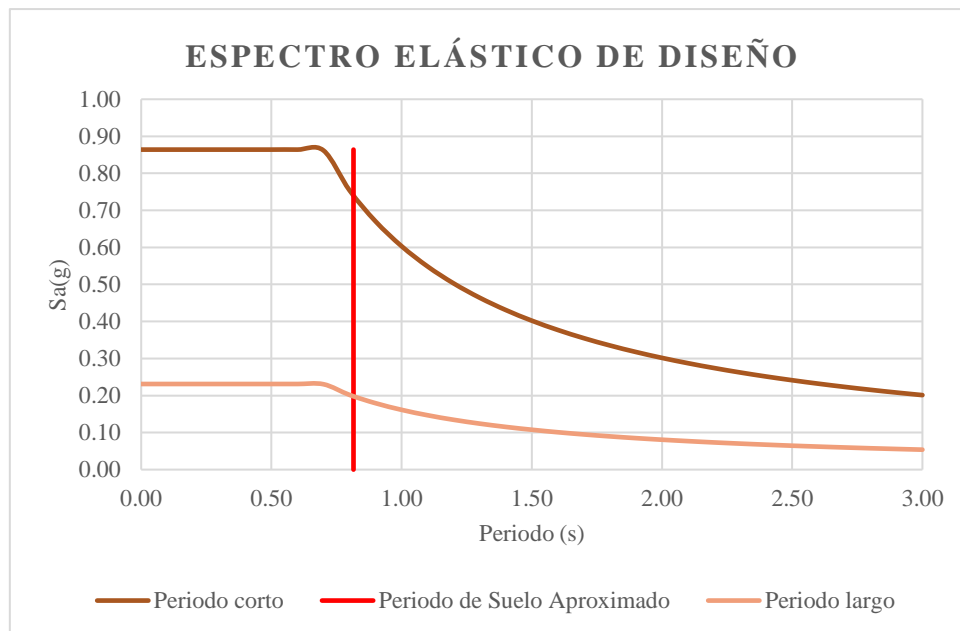


Figura 56 Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Fuente: Autores / NEC-SE-DS, 2015.

### 1.5.4 Prediseño de la estructura

En base a la vista en planta de la Figura 46 nuestro vano mayor es de  $L= 6.50\text{m}$  y vano menor de  $B= 5\text{m}$  por lo que hay que definir si la losa armada es de unidireccional cuando  $L/B > 2$  o bidireccional cuando  $L/B < 2$ .

<b>Losa Unidireccional</b>	1.30	>	2	No Cumple
<b>Losa Bidireccional</b>	1.30	<	2	Ok Cumple

Paso 2) Definimos Espesor de Losa

Se selecciona un espesor tentativo de losa de 20 cm para los 5 niveles con loseta de compresión de 5 cm, nervios de 10 cm de espesor y alivianamiento de bloques de 40 cmx40cm de 20 cm de altura (2 bloques de 40 x 20 x 20 por cada alivianamiento)

Figura	bi(m)	hi(m)	Ai= bi*hi	yi	yi*Ai	di=yeg-yi	Ioi=(b*h <sup>3</sup> )/12	Ai*Di <sup>2</sup>
1	0.2	0.2	0.04	0.1	0.00400	-0.04167	0.000133333	0.000069444
2	1	0.05	0.05	0.025	0.00125	0.03333	0.000010417	0.000055556
Σ			0.09		0.00525		0.000143750	0.000125000
<b>Yeg =</b>	0.05833							

Tabla 15 Propiedades geométricas.

Fuente: Autores

<b>I (Inercia)</b>	<b>0.00026875</b>
<b>h_equivalente(m)</b>	0.150596475
<b>Altura equivalente (cm)</b>	20

Tabla 16 Control de altura equivalente.2

Fuente: Autores

$$h_{min} = \frac{Ln(800 + 0.0712F_y)}{36000 + 5000\beta(\alpha m - 0.2)}$$

<b>h_min =</b>	19.844	<b>hmin Aci (cm)</b>	20
<b>β</b>	1.300	<b>h min</b>	16.638
<b>Fy (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4200	<b>h equivalente (cm)</b>	20 cm
<b>Ln(cm)</b>	650		
<b>αm=</b>	0.2		

Tabla 17 Control de altura mínima de losa.

Fuente: Autores

<b>Peso de Loseta de Comprensión</b>	0.12
<b>Peso de Nervios</b>	0.192
<b>Alivianamientos</b>	0.096
<b>Peso propio de Losa</b>	0.408
<b>Enlucido y Maquillado</b>	0.088
<b>Recubrimiento de Piso</b>	0.044
<b>Mampostería</b>	0.20
<b>Carga Muerta</b>	0.332
<b>Peso total de losa</b>	0.74

*Tabla 18 Peso de losa aligerada*

*Fuente: Autores*

Para el dimensionamiento preliminar de las vigas, se considera la relación entre la altura de la sección y la luz libre, adoptándose valores comprendidos entre  $L/10$  y  $L/12$ , donde  $L$  representa la luz libre de la viga.

<b>L (cm)</b>	650	
<b>H (cm)</b>	65	V 35 cm x 65 cm
<b>B= (cm)</b>	32.5	

*Tabla 19 Sección de vigas transversales.*

*Fuente: Autores*

<b>L (cm)</b>	<b>500</b>	
<b>H (cm)</b>	50	V 25 cm x 50 cm
<b>B= (cm)</b>	25	

*Tabla 20 Sección de vigas longitudinales.*

*Fuente: Autores*

<b>Altura de entrepiso (m)</b>	4	<b>Detalle</b>
<b>Columnas Centrales</b>	0.5	Columnas 40 x 40 cm
<b>Columnas Laterales</b>	0.44	Columnas 35 x 35 cm
<b>Columnas Esquineras</b>	0.4	Columnas 30 x 30 cm

*Tabla 21 Prediseño de columnas.*

*Fuente: Autores*

Cálculo columna fuerte viga débil en dirección x-x.

Vigas			Ejes	Columnas			
b(cm)	h(cm)	I (cm <sup>4</sup> )		b(cm)	h(cm)	Inercia	Rev.
25	50	260416.67	A1-E1 A3-E3	45	50	468750	okey

Tabla 22 Columna fuerte - Viga débil en esquinas en x-x.

Fuente: Autores

Vigas			Ejes	Columnas			
b(cm)	h(cm)	I (cm <sup>4</sup> )		b(cm)	h(cm)	Inercia	Rev.
25	50	260416.67	B3-C3-D3-E2	55	60	990000	okey
25	50	260416.67	A2-B1-C1-D1				
<b>Total</b>		520833.33					

Tabla 23 Columna fuerte - Viga débil en laterales en x-x.

Fuente: Autores

Vigas			Ejes	Columnas			
b(cm)	h(cm)	I (cm <sup>4</sup> )		b(cm)	h(cm)	Inercia	Rev.
25	50	260416.67	B2-C2-D2	55	60	990000	okey
25	50	260416.67	PB				
<b>Total</b>		520833.33					

Tabla 24 Columna fuerte - Viga débil en centrales x-x.

Fuente: Autores

Cálculo columna fuerte viga débil en dirección y-y

Vigas			Ejes	Columnas			
b(cm)	h(cm)	I (cm <sup>4</sup> )		b(cm)	h(cm)	Inercia	Rev.
35	65	800989.58	A1-E1 A3-E3	55	60	990000	okey

Tabla 25 Columna fuerte - Viga débil en esquinas en y-y.

Fuente: Autores

Vigas			Ejes	Columnas			
b(cm)	h(cm)	I (cm <sup>4</sup> )		b(cm)	h(cm)	Inercia	Rev.
35	65	800989.58	B3-C3-D3-E2	65	70	1857916.667	okey
35	65	800989.58	A2-B1-C1-D1				
<b>Total</b>		1601979.17					

Tabla 26 Columna fuerte - Viga débil en laterales en y-y.

Fuente: Autores

Vigas			Ejes	Columnas			Rev.
b(cm)	h(cm)	I (cm4)		b(cm)	h(cm)	Inercia	
35	65	800989.58	B2-C2-D2	65	70	1857916.667	okey
35	65	800989.58	PB				
<b>Total</b>		1601979.17					

Tabla 27 Columna fuerte - Viga débil en centrales y-y.

Fuente: Autores

### 1.5.5 Modelado en Etabs

A continuación, se procede con el modelado en ETABS, en el cual se realizará el diseño tridimensional de columnas y vigas correspondientes a la propuesta de análisis del edificio mostrado en la Figura 44, considerando todos los factores y coeficientes ya calculados anteriormente.

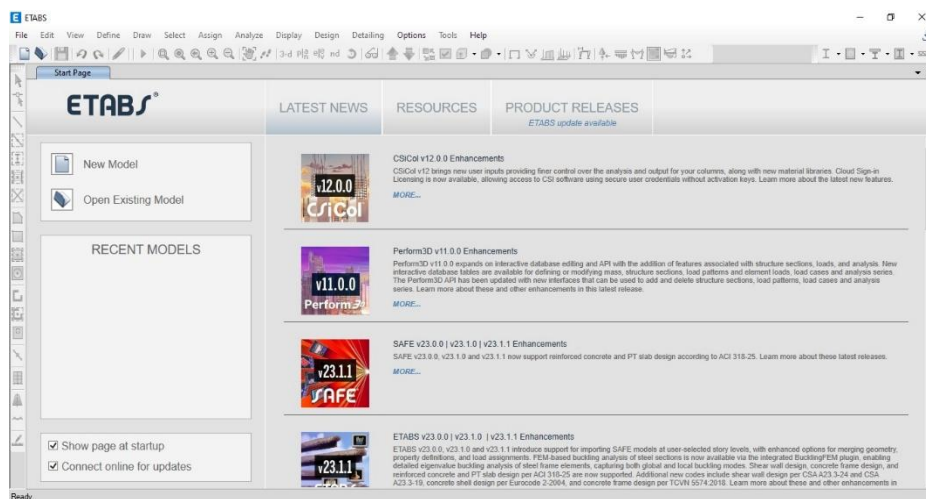
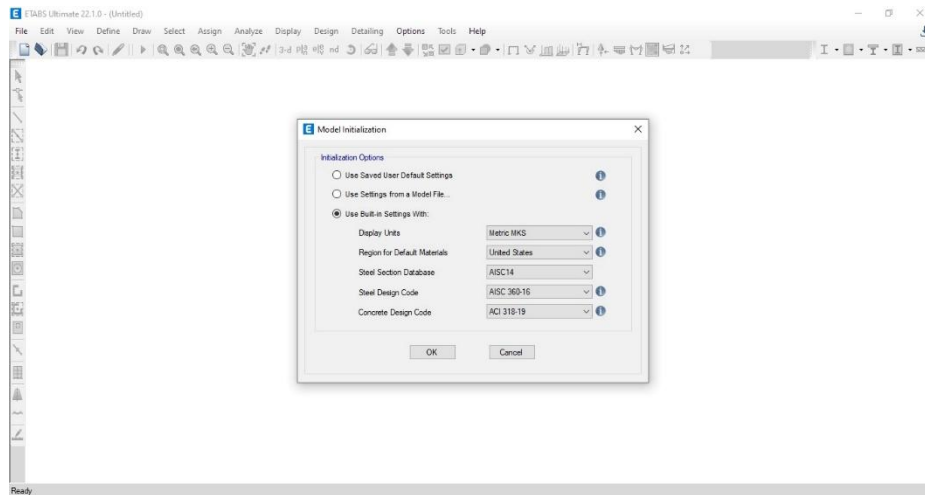


Figura 57 Interfaz del software ETABS V.22.

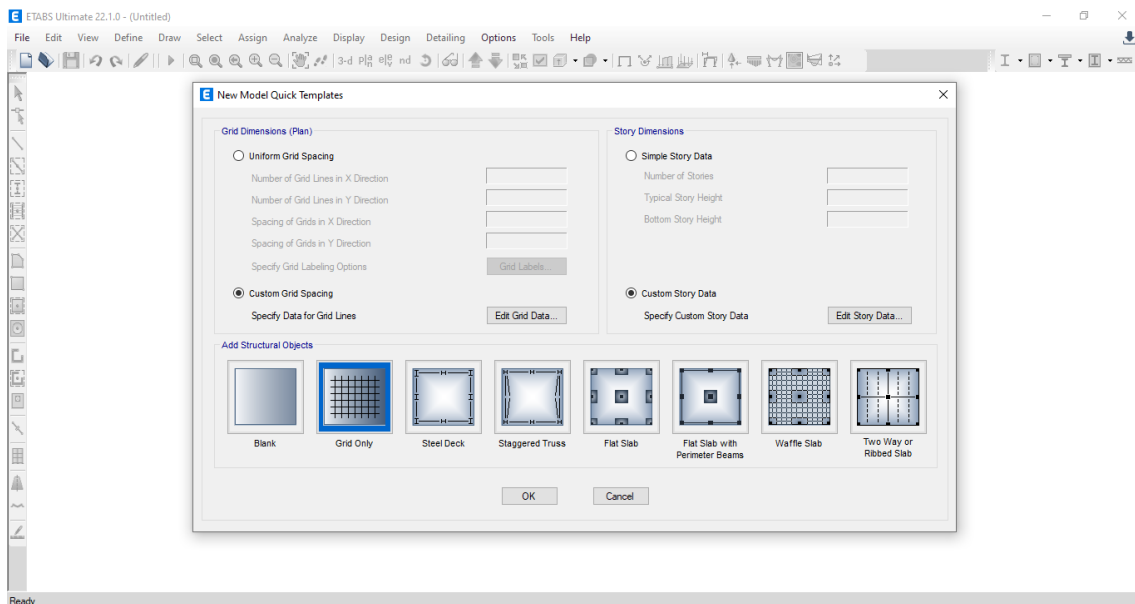
Fuente: Autores / ETABS

Para comenzar con nuestro proyecto de tesis damos clic en el apartado de new model y se no abrirá una ventana para definir las normas de construcción.



*Figura 58 Determinación de los parámetros normativos de diseño.*

*Fuente: Autores / ETABS*



*Figura 59 Configuración de formato de rejilla.*

*Fuente: Autores / ETABS*

Al dar clic en ok se abrirá una nueva ventana donde podremos poner y editar las grillas para nuestra estructura, como gusto personal me gusta trabajar con las opciones de “Custom grid spacing” y “Custom Story data” con estas dos opciones podremos editar a nuestro gusto las grillas para beneficio de nuestro proyecto.

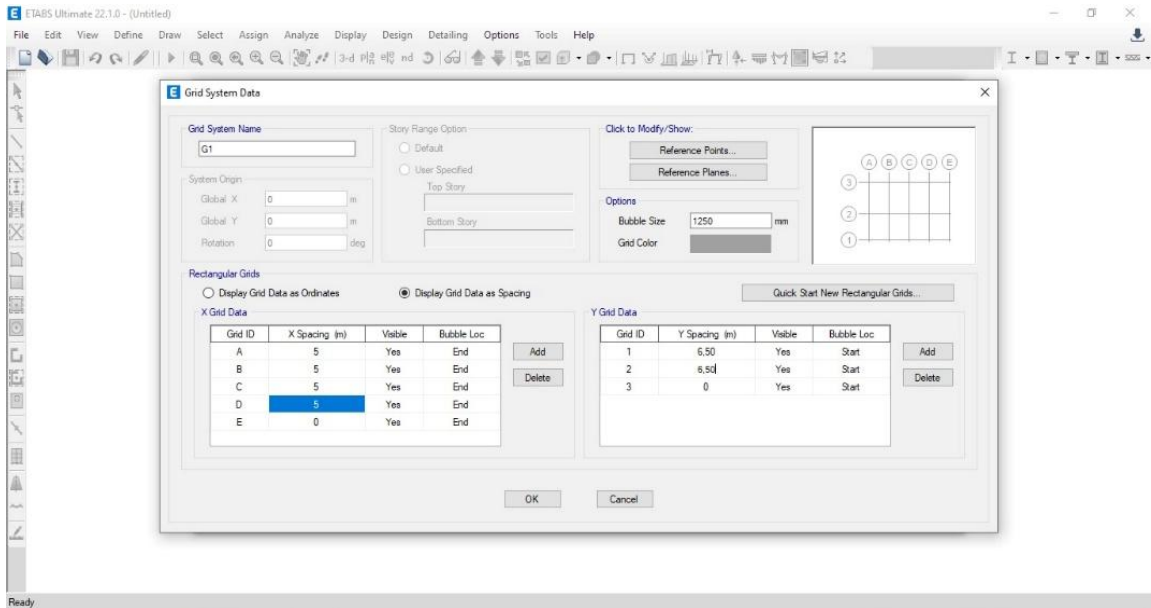


Figura 60 Definición de las distancias entre ejes según el modelado arquitectónico.

Fuente: Autores / ETABS

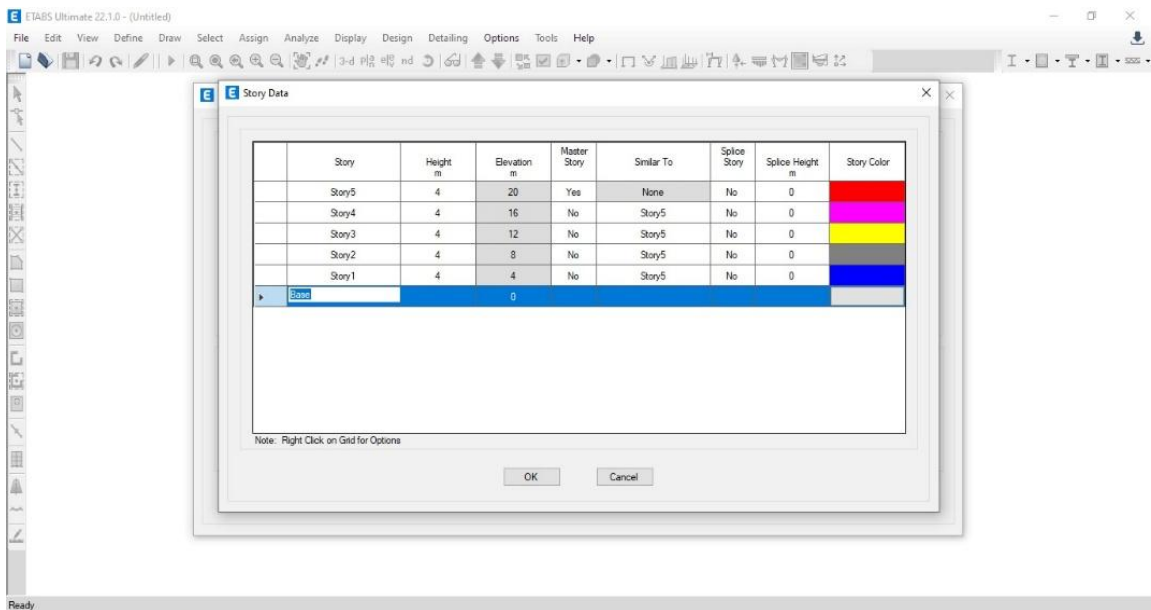


Figura 61 Determinación de las alturas de entrespiso.

Fuente: Autores / ETABS

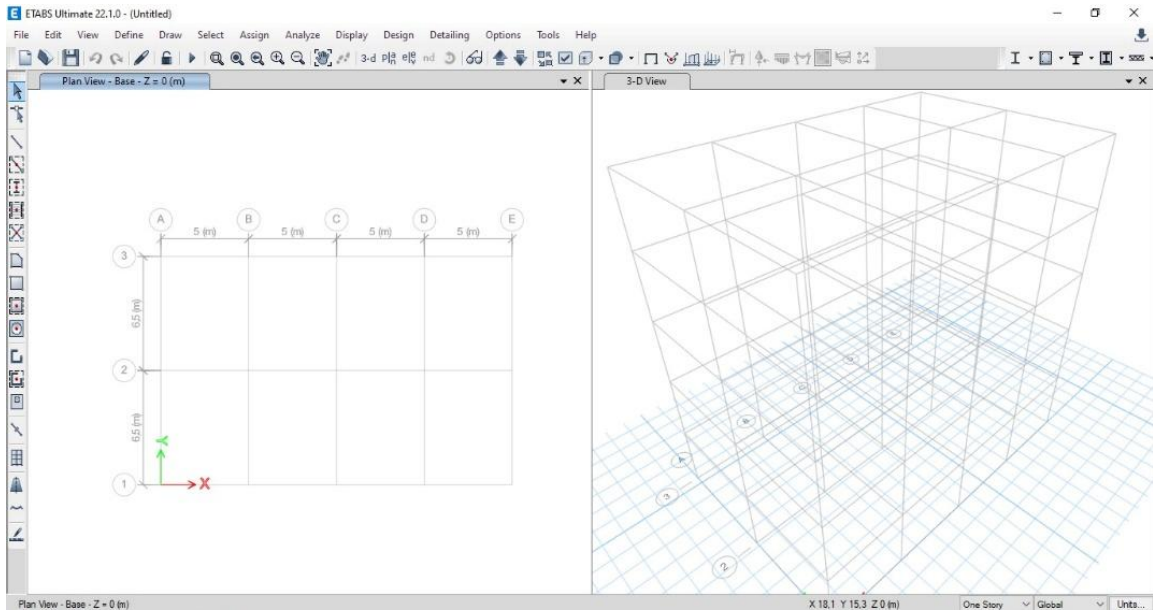


Figura 62 Vista en planta y vista tridimensional de la rejilla estructural.

Fuente: Autores / ETABS

Una vez que hemos editado las grillas ya podremos observar cómo sería el margen de nuestra estructura.

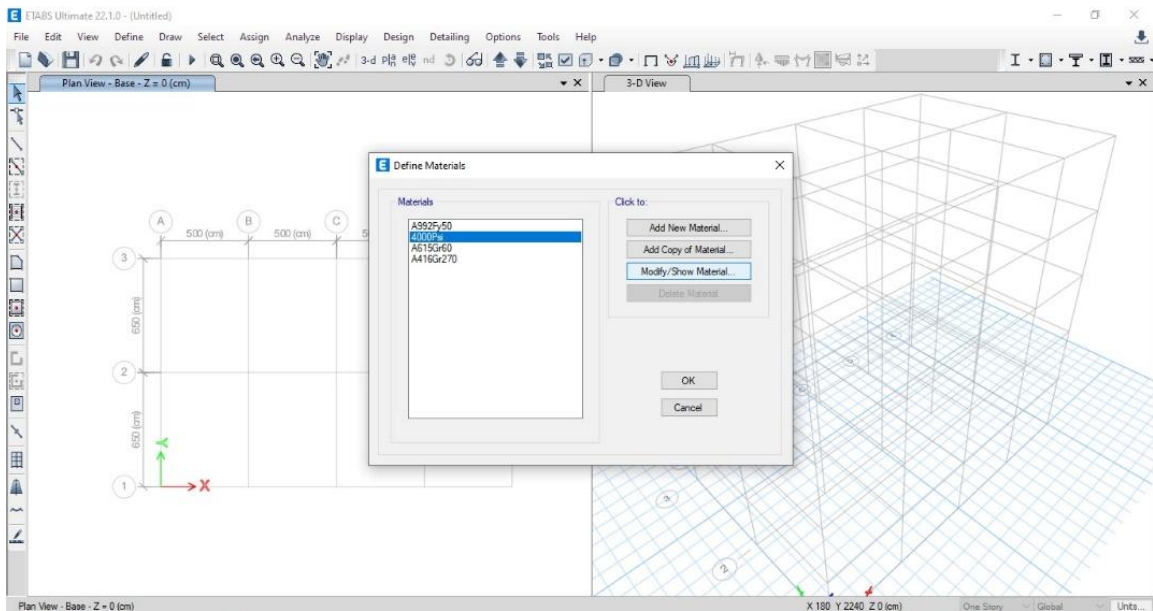


Figura 63 Definición de los materiales para el diseño.

Fuente: Autores / ETABS

Aquí podremos definir los materiales que usaremos a lo largo de nuestro proyecto. Para comenzar editaremos el material señalado que viene por default. Damos clic en “modify material”.

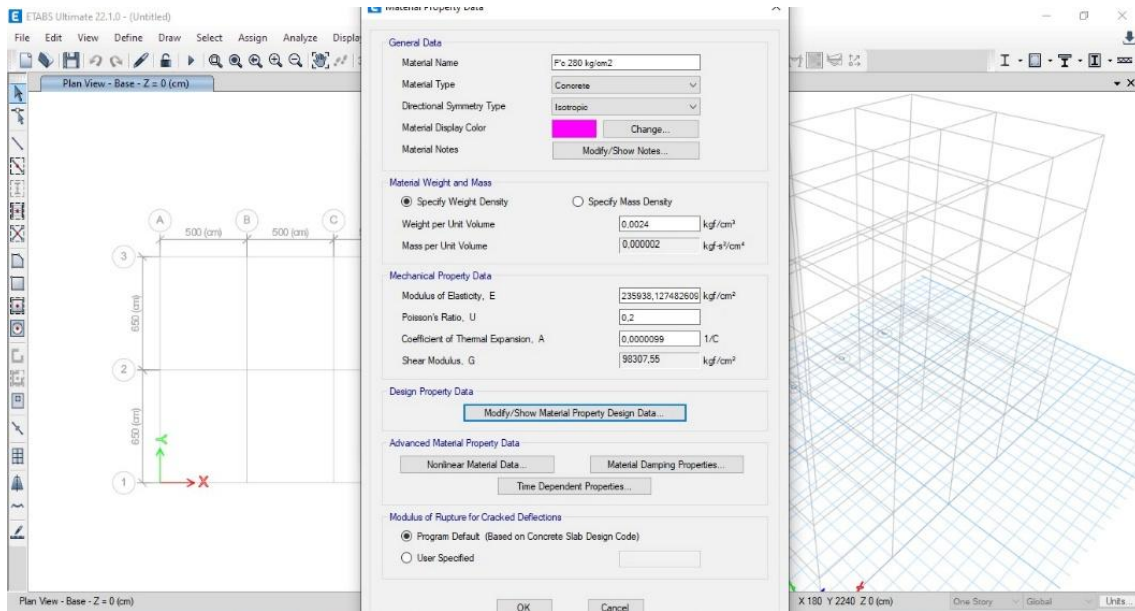


Figura 64 Modificación de las propiedades del material.

Fuente: Autores / ETABS

Se nos abrirá una ventana en la cual podremos modificar los valores para nuestro proyecto, como primer dato a cambiar sería el módulo elástico usando la ecuación y tomando en cuenta la resistencia que tenemos definida. No basta simplemente poner el nombre de la resistencia, tenemos que editarla en la parte de abajo que dice “Material Property Design Data”.

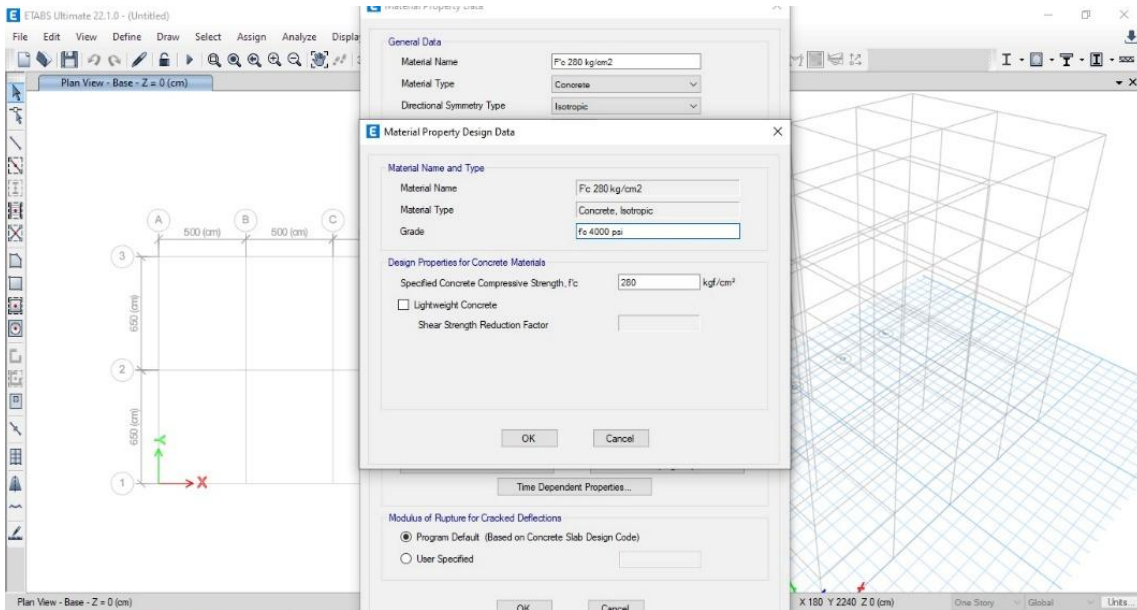


Figura 65 Modificación de la resistencia del concreto.

Fuente: Autores / ETABS

El lugar donde tendremos que modificar la resistencia es en el apartado de “Specified Concrete Compressive Strength” y digitamos el valor de la resistencia.

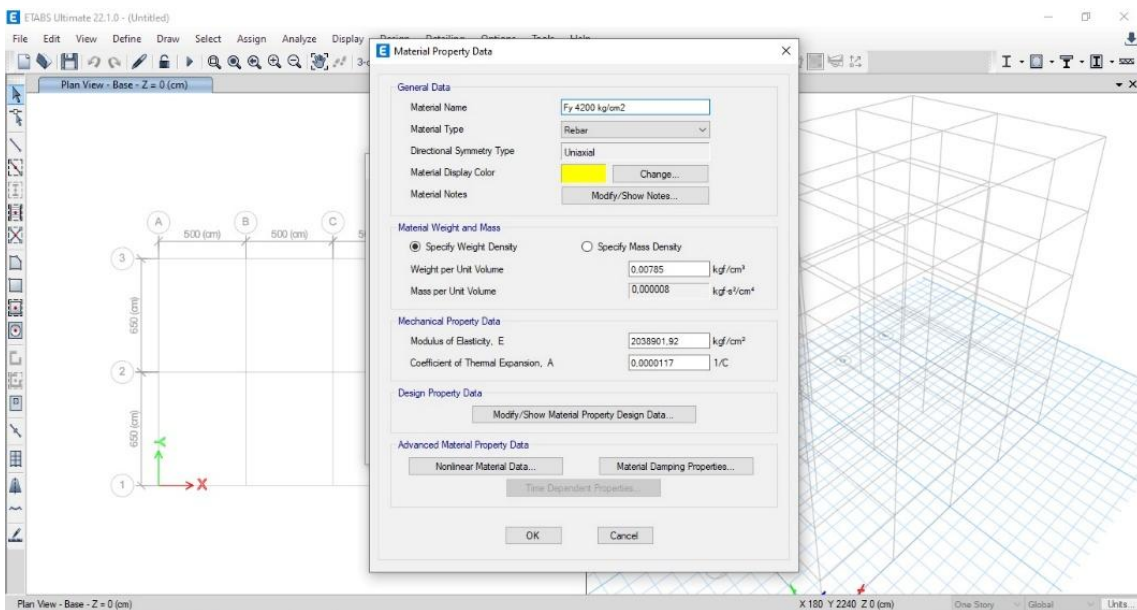


Figura 66 Modificación de la resistencia del acero.

Fuente: Autores / ETABS

Modificamos la resistencia del acero, en este apartado nos dirigimos otra vez a “Material Property Design Data” y se nos abrirá otro tipo de ventana.

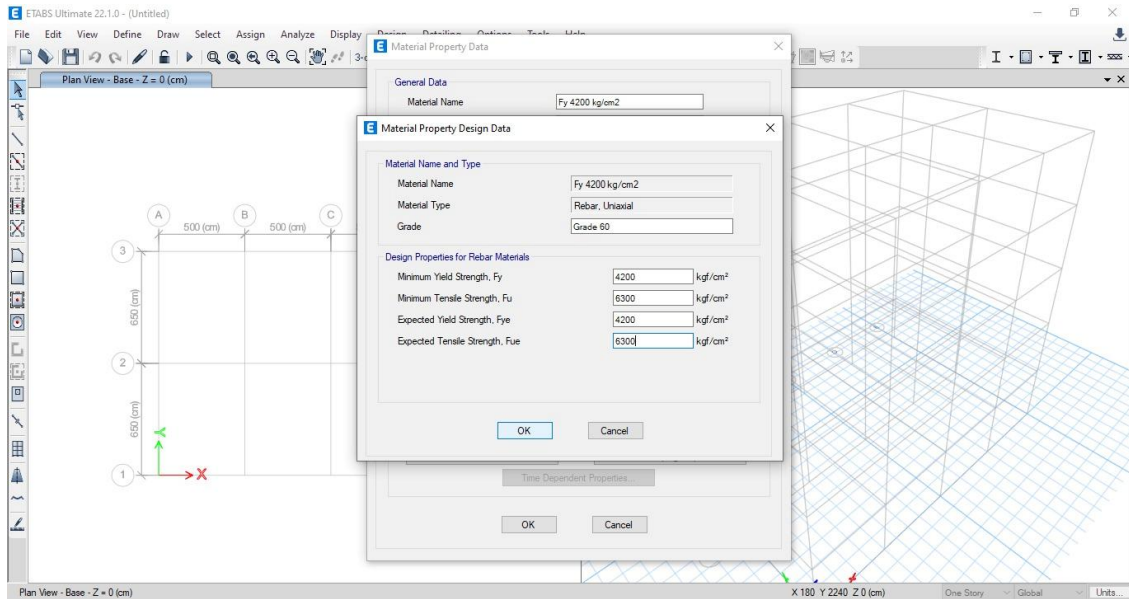


Figura 67 Revisión de las propiedades del acero.

Fuente: Autores / ETABS

En este paso modificamos los valores de “Fy”, “Fu”, “Fye” y “Fue” en este caso el programa por default viene con valores con muchos decimales, lo mejor es reescribir los números sin decimales.

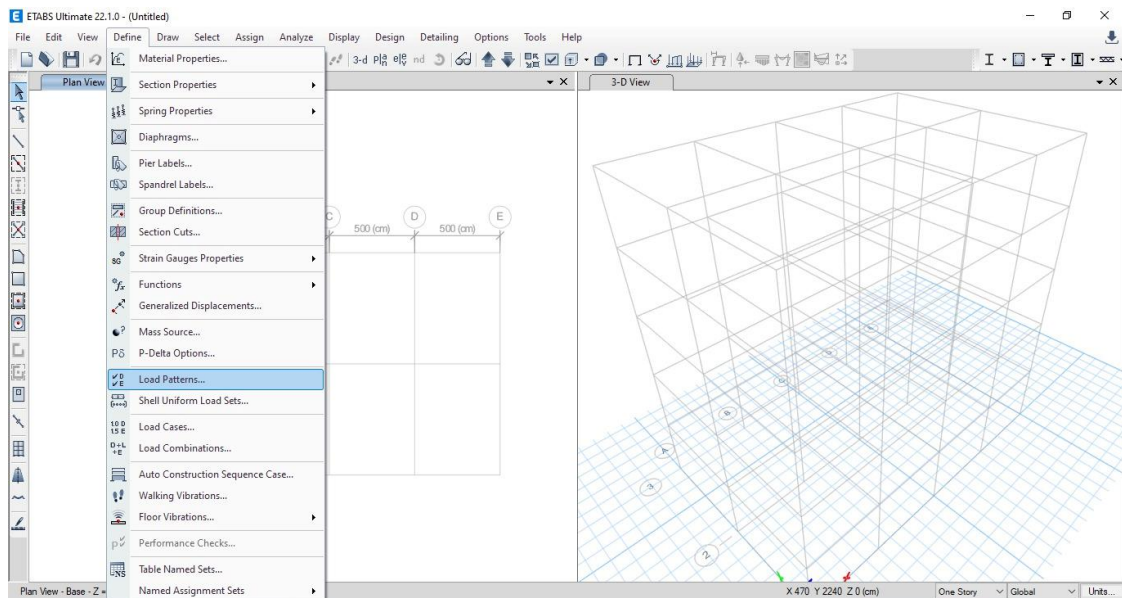


Figura 68 Localización del ícono para la modificación de casos de carga.

Fuente: Autores / ETABS

Una vez que hemos modificado los materiales, nos toca definir los casos de carga que utilizaremos, para esto damos clic en “Define” y luego en “Load Patterns”.

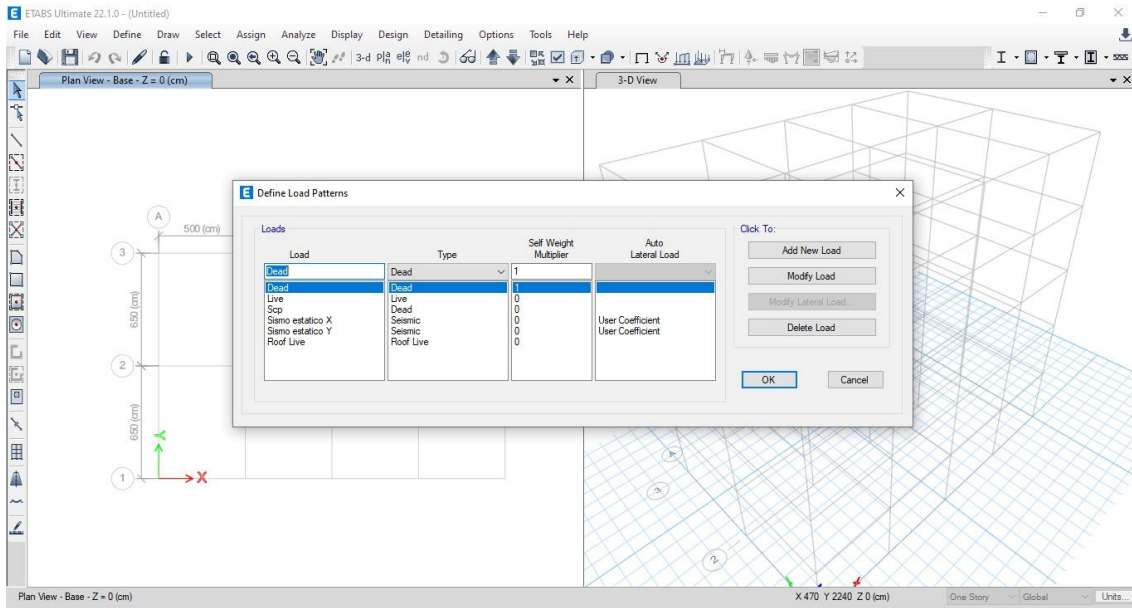


Figura 69 Casos de carga utilizados en el modelo estructural

Fuente: Autores / ETABS

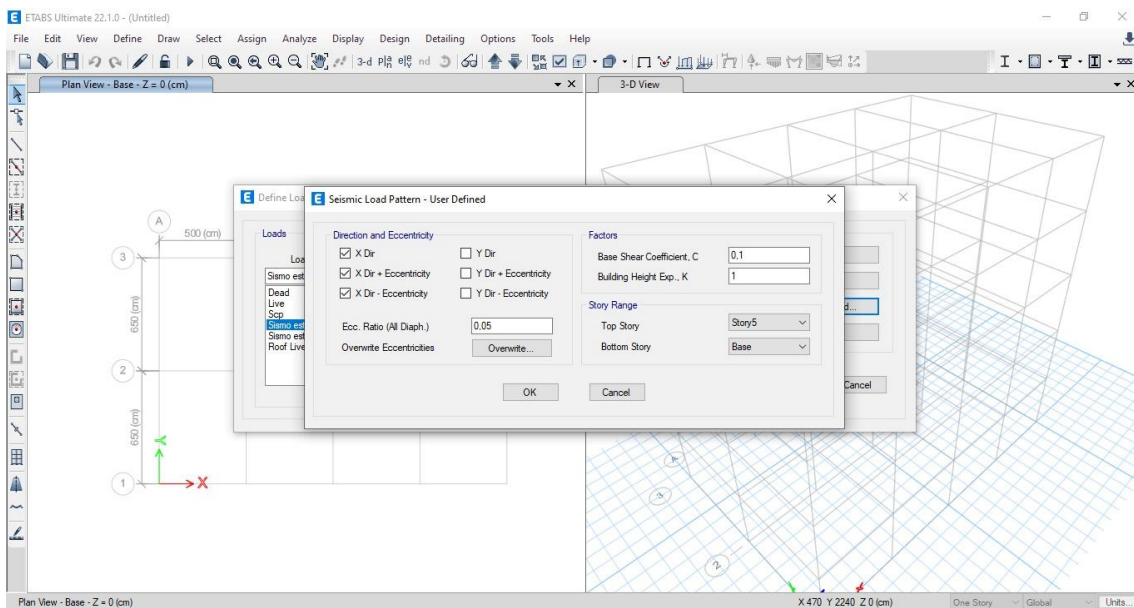


Figura 70 Modificación del caso de carga “Sismo estático X”.

Fuente: Autores / ETABS

Para los casos de carga de “Sismo Estático X” y “Sismo Estático Y” hay que hacer una modificación. La modificación se basa en que para el “Sismo Estático X” se debe marcar solos casillas que tienen dirección en X y lo mismo hay que hacer para “Sismo Estático Y”.

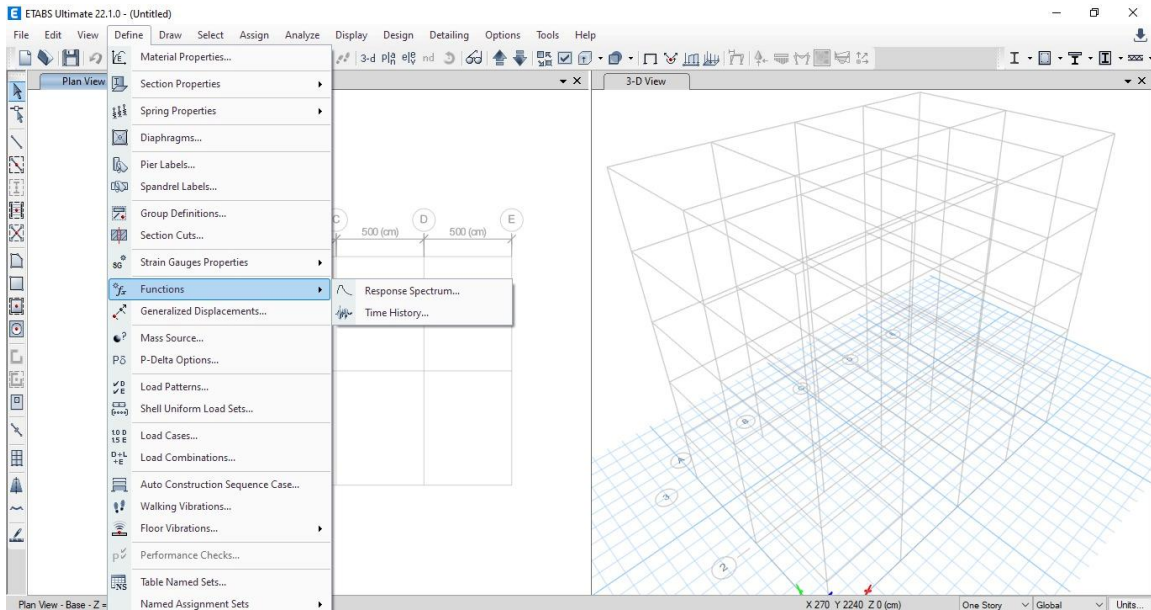


Figura 71 Acceso al ícono de configuración del espectro elástico.

Fuente: Autores / ETABS

Una vez finalizado los casos de cargas, nos dirigimos otra vez a la pestaña de “Define” luego a “Functions” y luego a “Response Spectrum”.

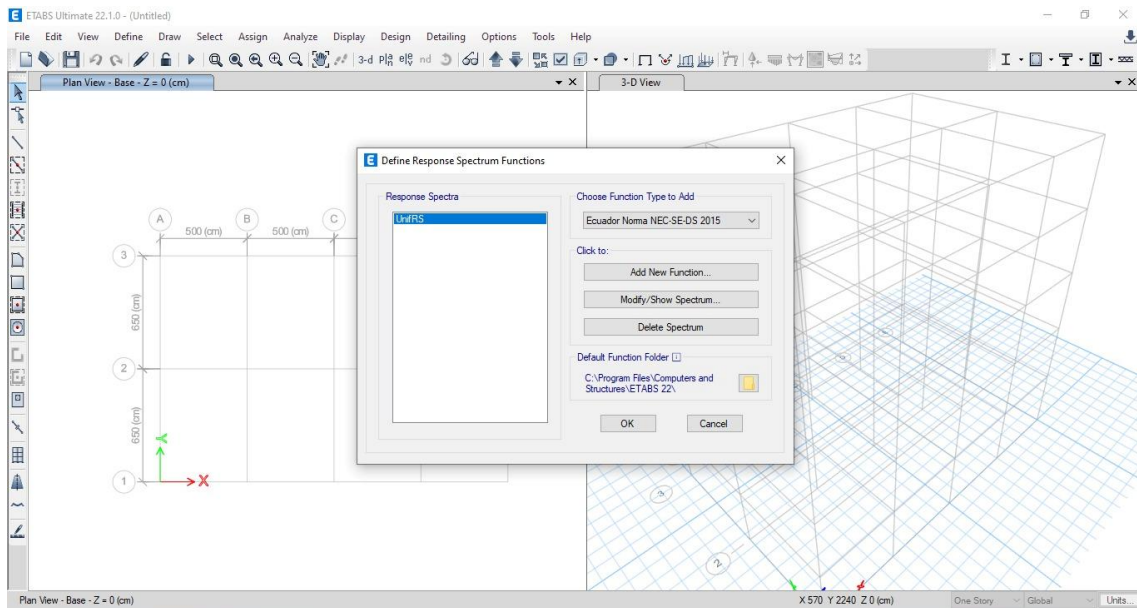


Figura 72 Determinación de la norma de diseño aplicable

Fuente: Autores / ETABS

Se nos abrirá una pestaña donde modificaremos la opción de “Choose Function Type to Add” deberemos escoger la opción de la norma de Ecuador y luego damos clic en “Add New Function”.

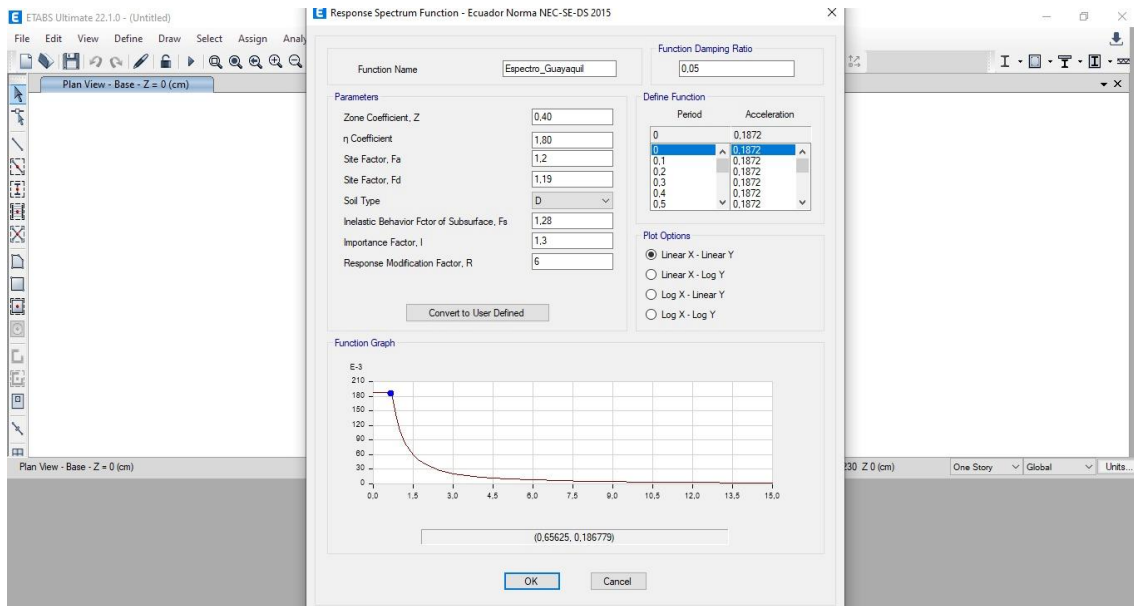


Figura 73 Modificación de los parámetros del espectro elástico.

Fuente: Autores / ETABS

Aquí tendremos una nueva ventana donde podremos obtener la función del espectro, para esto previamente tuvimos que encontrar los valores de “Coeficiente Z”, “Coeficiente n”, “Fa”, “Fd”, “Tipo de suelo”, “Fs”, “Factor I” y el “Factor R” estos parámetros fueron calculados en la sección 1.5.3 de este documento. Esto nos dará la gráfica de abajo donde tenemos el valor de la función del espectro que ese valor lo podremos en los casos de carga “Sismos Estático”.

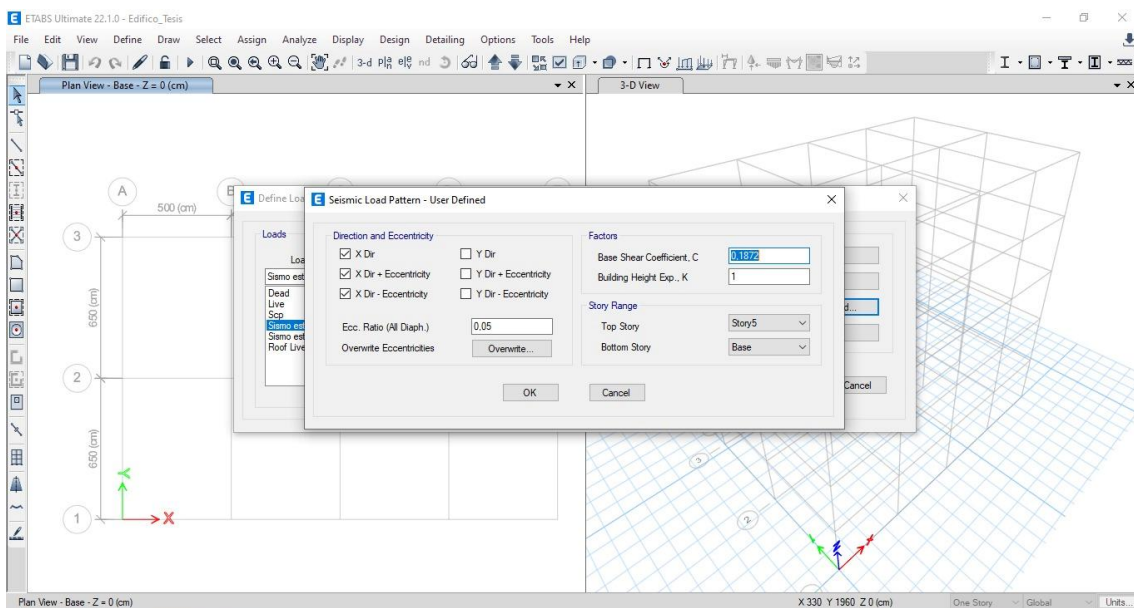


Figura 74 Modificación del coeficiente C en ambos casos de sismo estático.

Fuente: Autores / ETABS

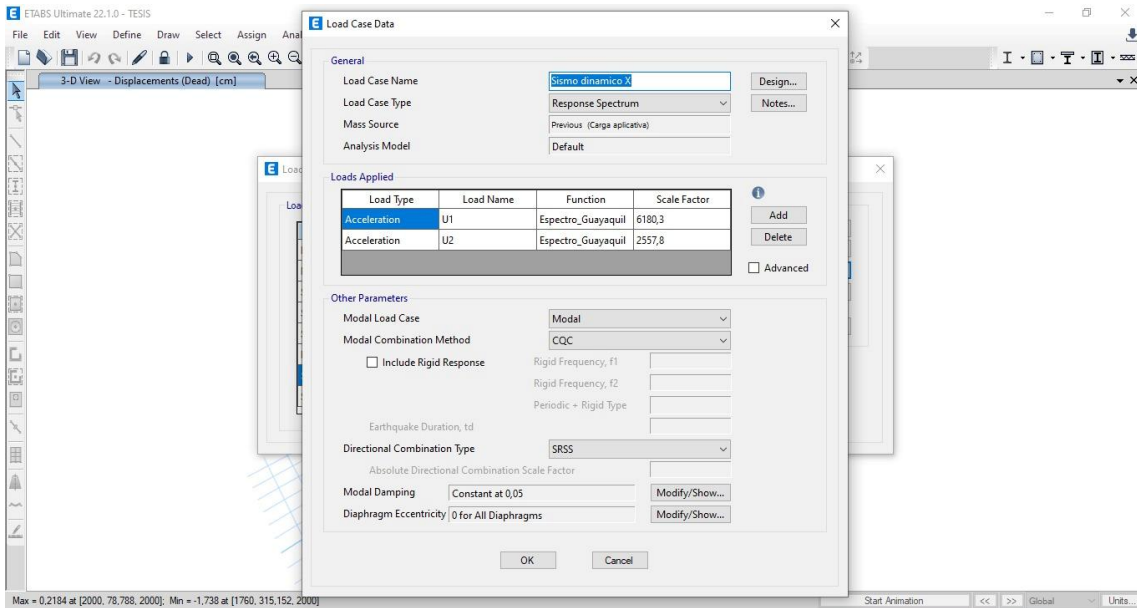


Figura 75 Especificación de la aceleración sísmica de la zona de estudio para el caso “Sismo Estático X”

Fuente: Autores / ETABS

En la pestaña de “Load Case Data” agregamos las dos unidades de aceleración con el espectro que ya habíamos creado, en este caso para el “Sismo Estático X” los valores de factor de escala se ponen en orden.

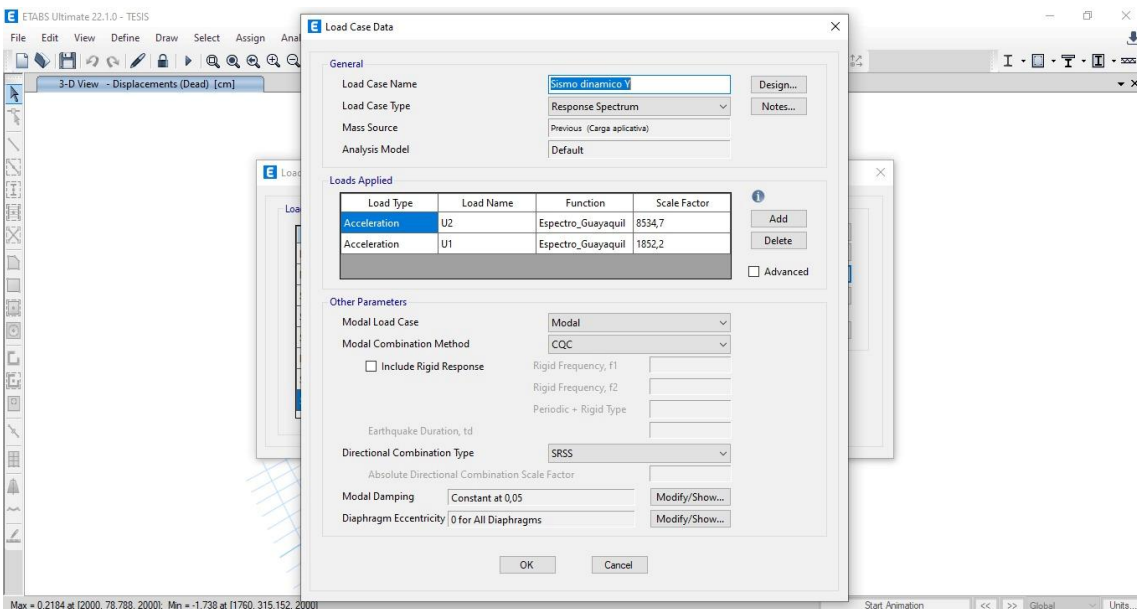


Figura 76 Especificación de la aceleración sísmica de la zona de estudio para el caso “Sismo Estático Y”.

Fuente: Autores / ETABS

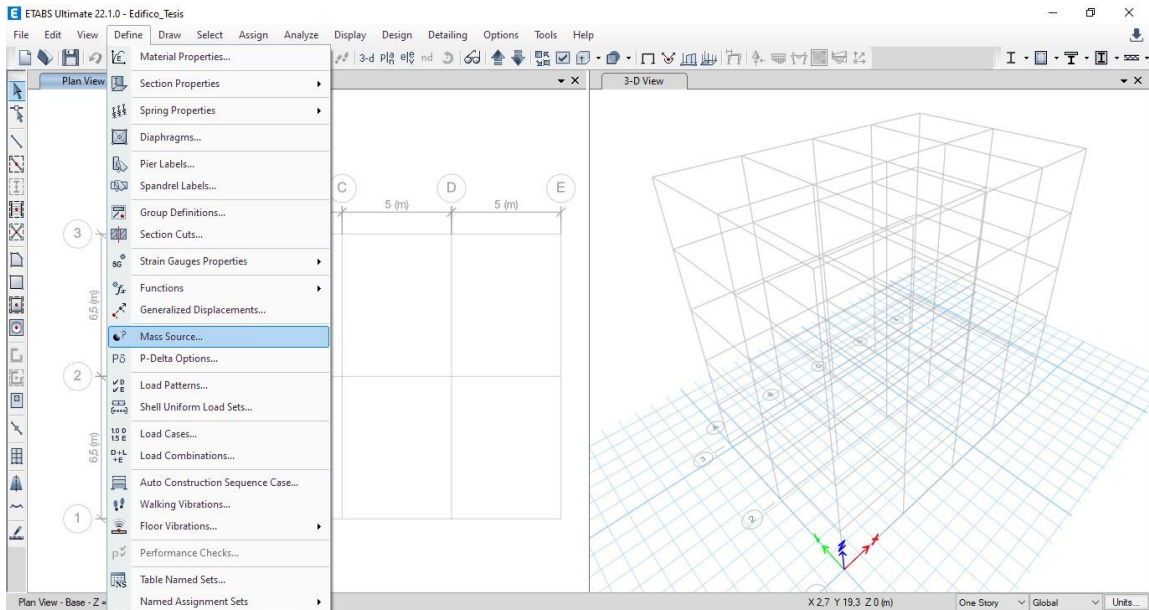


Figura 77 Acceso al ícono de asignación de cargas estructurales

Fuente: Autores / ETABS

Se nos abrirá una pestaña donde daremos clic en la opción de “Modify/Show Mass Source”.

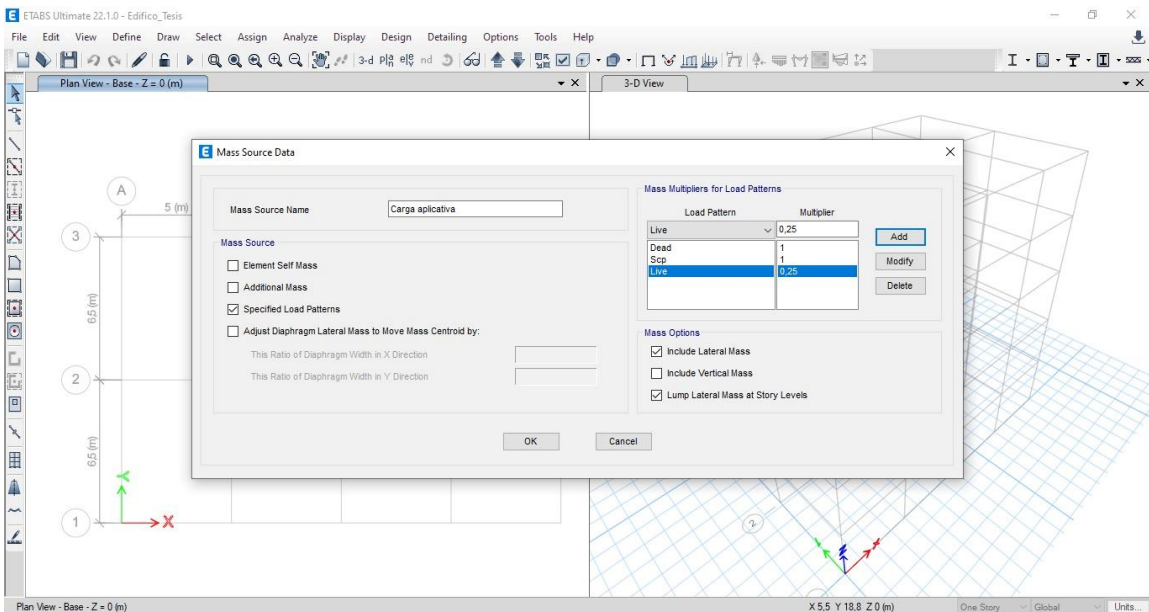


Figura 78 Selección de cargar estructurales analizar

Fuente: Autores / ETABS

Aquí pondremos como nombre “Carga Aplicativa”, luego en las casillas seleccionamos “Specified Load Patterns” esto dirá al programa que trabaje con los valores de carga que nosotros pongamos.

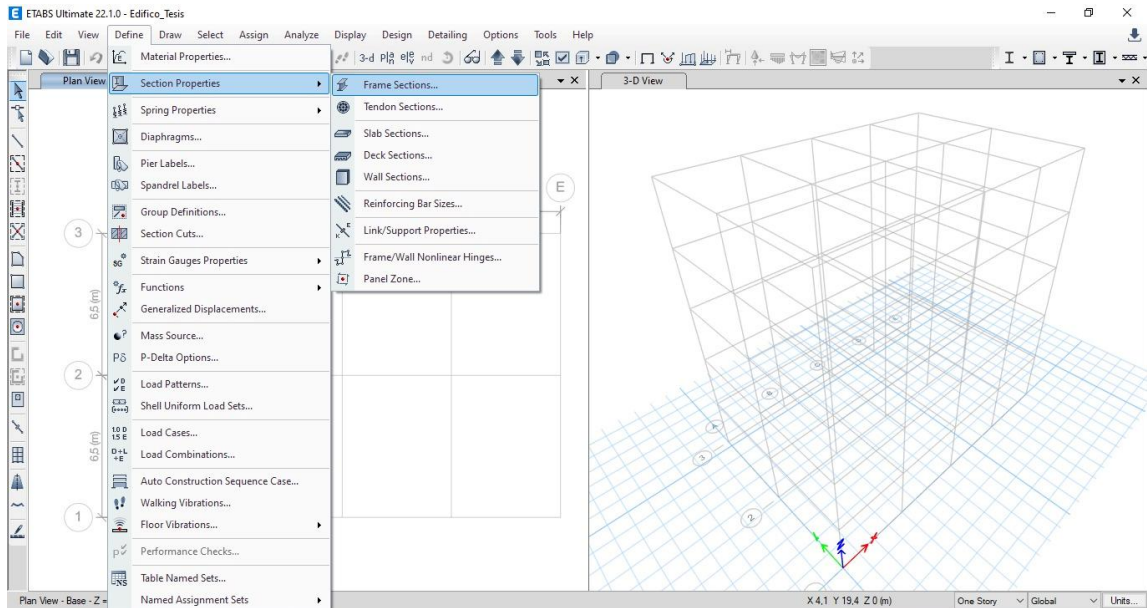


Figura 79 Acceso al ícono para la configuración de secciones.

Fuente: Autores / ETABS

Luego de terminar lo anterior, nos dirigimos a la pestaña de “Define” luego “Section Property” y de ahí a “Frame Sections”.

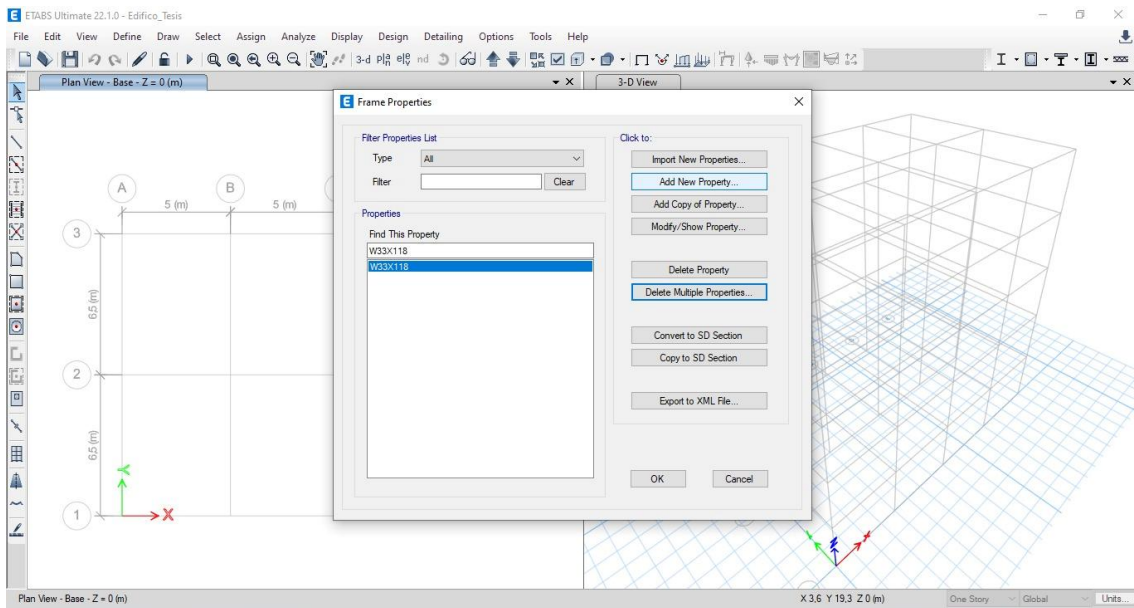


Figura 80 Creación de secciones según predimensionamiento.

Fuente: Autores / ETABS

Aquí por default nos vienen varias secciones que tiene el programa, por lo general se las elimina y se procede a poner las secciones que utilizaremos para nuestro proyecto.

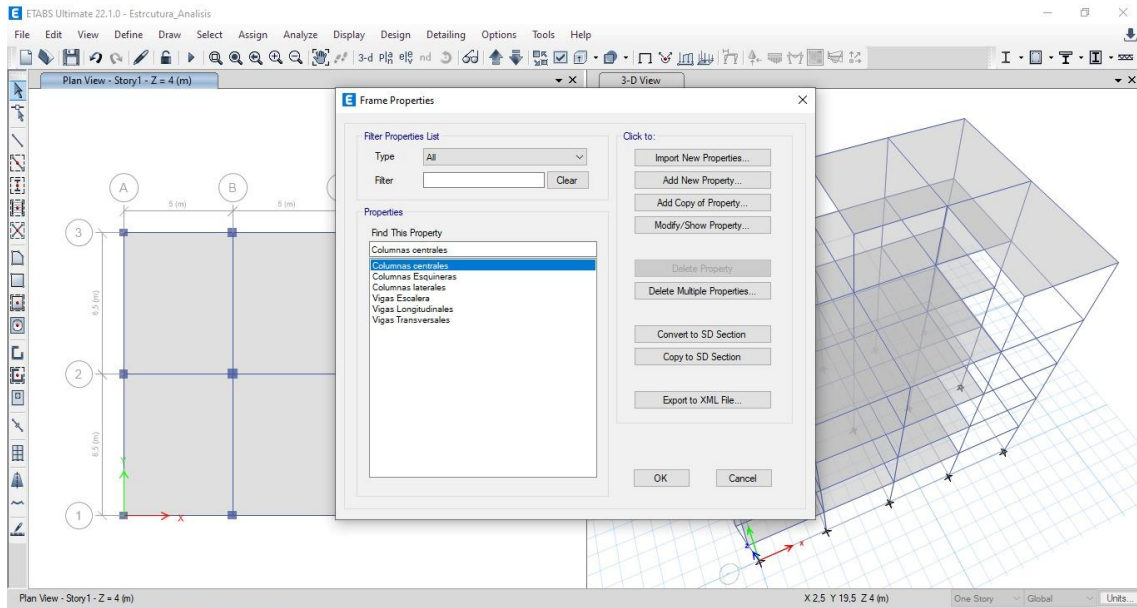


Figura 81 Listado de secciones para el modelo.

Fuente: Autores / ETABS

Luego de hacer el predimensionamiento se puede definir las secciones para la estructura, y en esa lista se puede observar las secciones que utilizaremos para este proyecto.

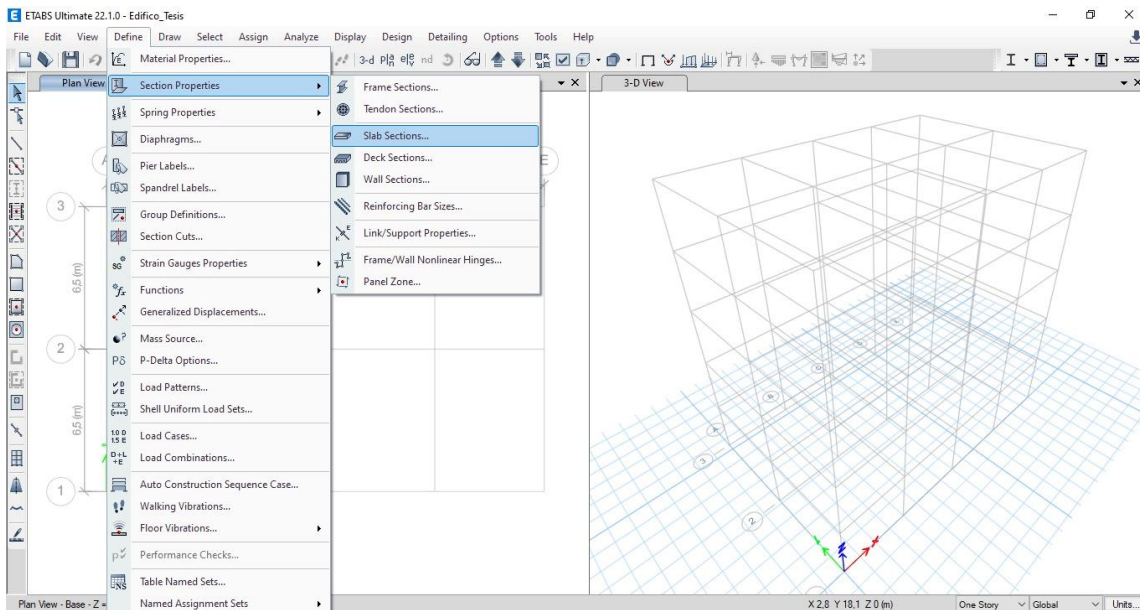


Figura 82 Acceso al ícono para configuración de losa aligerada.

Fuente: Autores / ETABS

Una vez que tenemos las secciones de las vigas y columnas continuamos con la sección de la losa aligerada. Nos dirigimos a la pestaña de “Define” luego a “Section Property” luego a “Slab Sections”

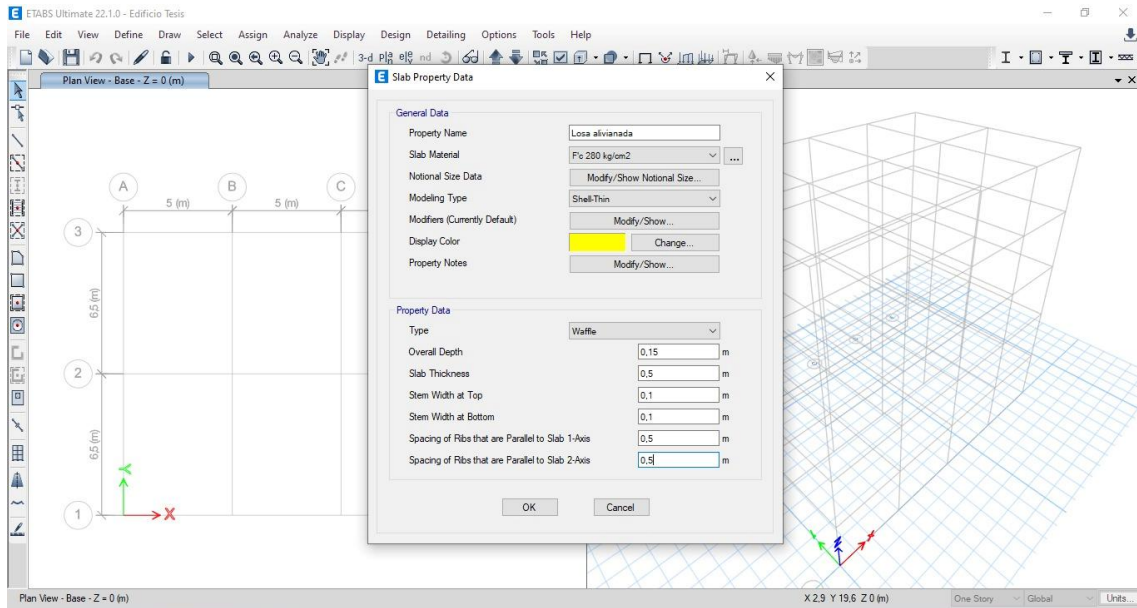


Figura 83 Modificación de las propiedades de losa aligerada.

Fuente: Autores / ETABS

Aquí editaremos nuestra losa aligerada en dos direcciones con las medidas que sacamos del predimensionamiento.

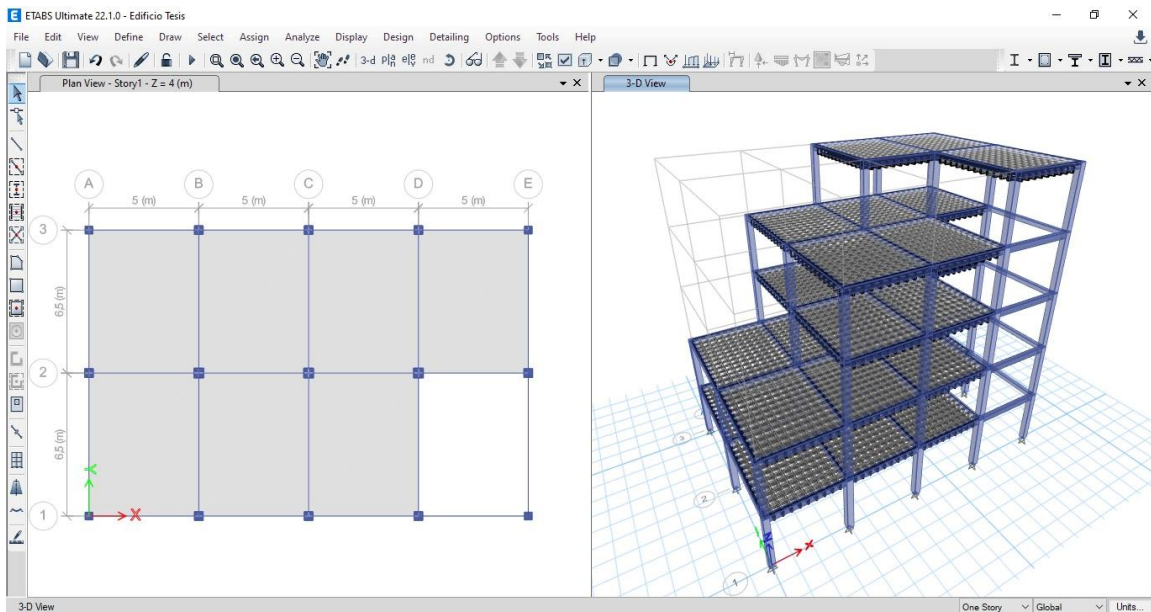


Figura 84 Modelado de cada nivel de la estructura.

Fuente: Autores / ETABS

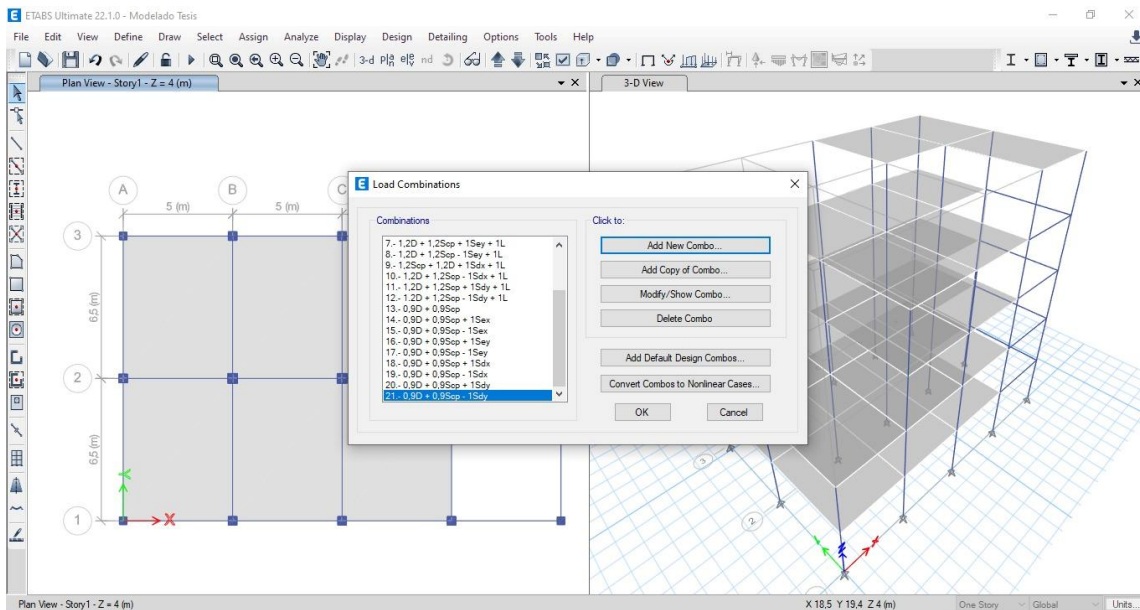


Figura 85 Creación de combinaciones de carga según normativa.

Fuente: Autores / ETABS

Antes de mandar a calcular el edificio se procede a crear las combinaciones de carga según la norma.

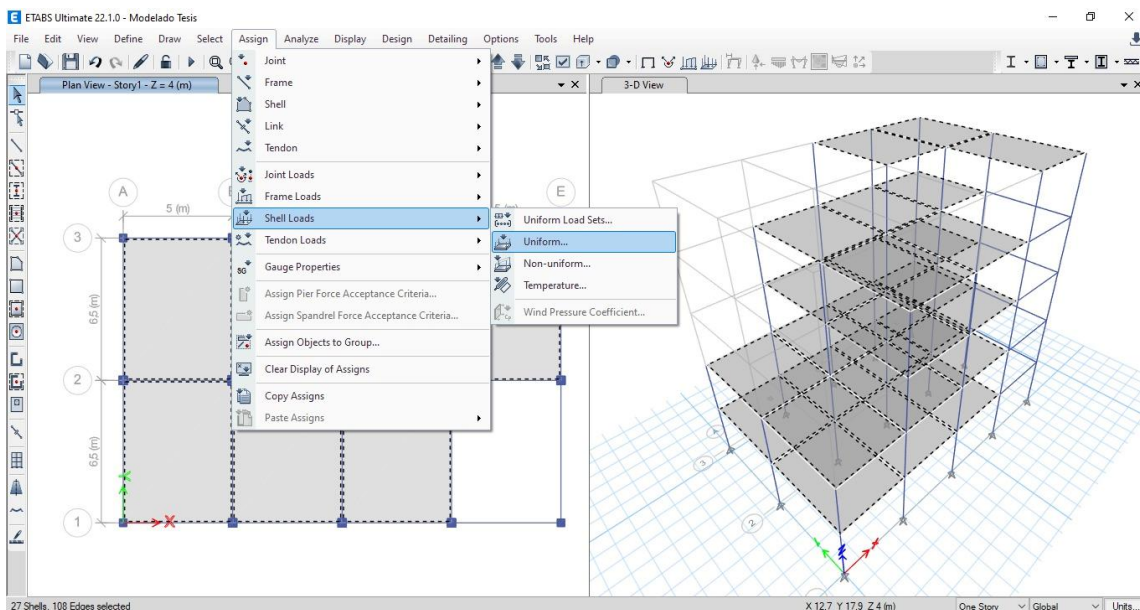


Figura 86 Aplicación de cargas sobre losas.

Fuente: Autores / ETABS

Acá se pone las cargas sobre las losas en cada piso y para eso tenemos que seleccionar cada una de ellas, luego nos dirigimos a la pestaña de “Assign” luego a “Shell Loads” luego “Uniform”.

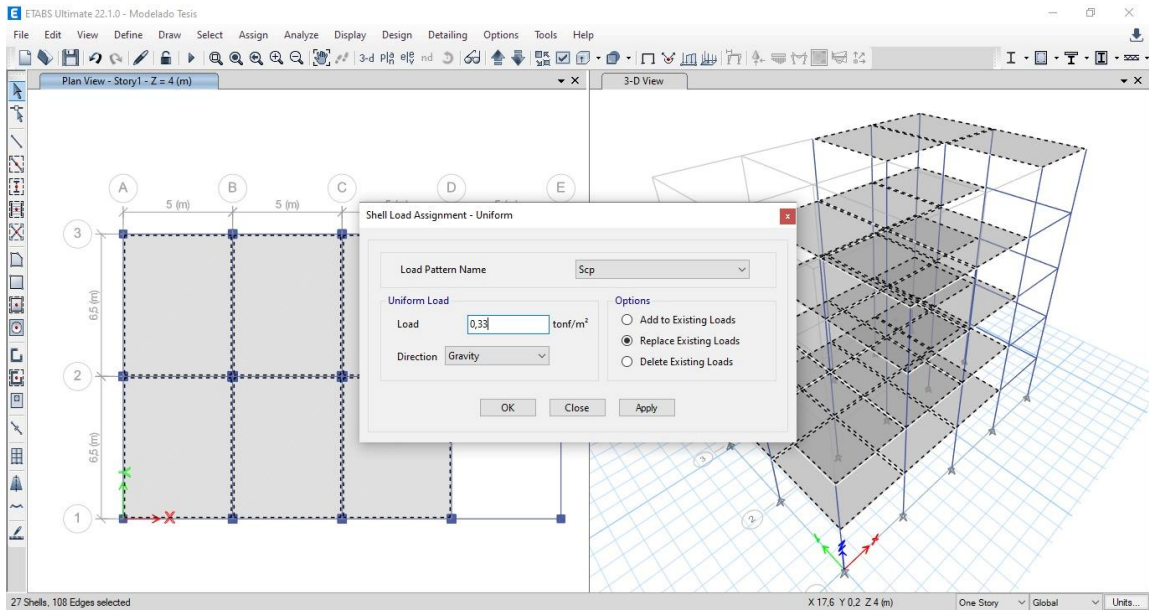


Figura 87 Asignación del valor de sobrecarga.

Fuente: Autores / ETABS

Se nos abrirá una ventana donde seleccionaremos el caso de carga de “SCP” y tenemos que poner el valor que se aplicará en las losas.

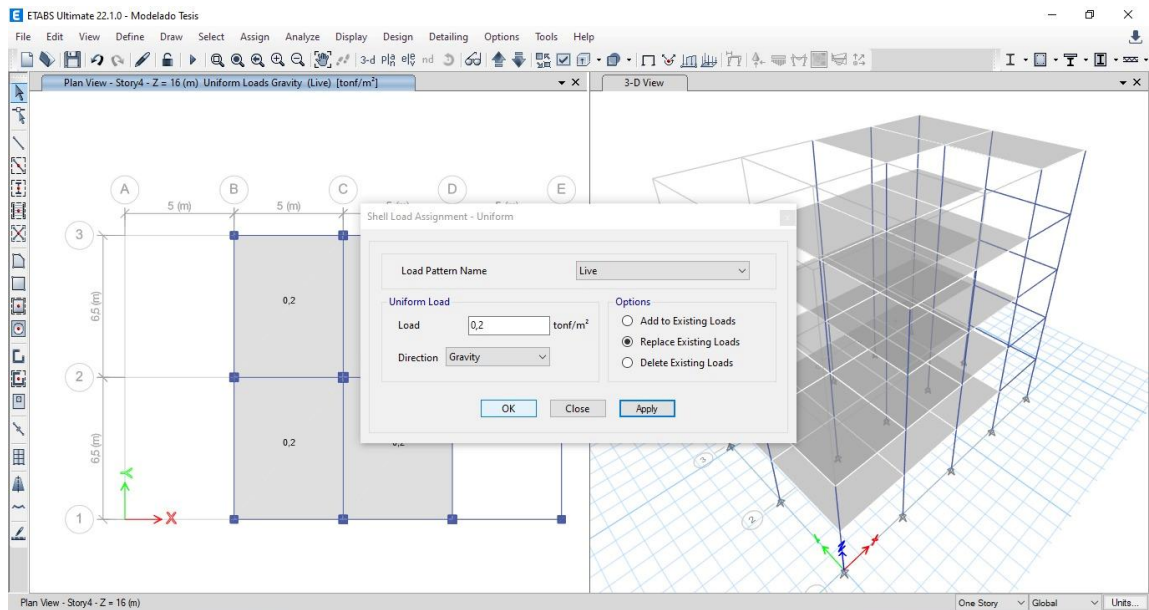


Figura 88 Asignación del valor de carga viva.

Fuente: Autores / ETABS

En la misma ventana se cambia el caso de carga de “SCP” a “Live” que también actuará sobre la losa.

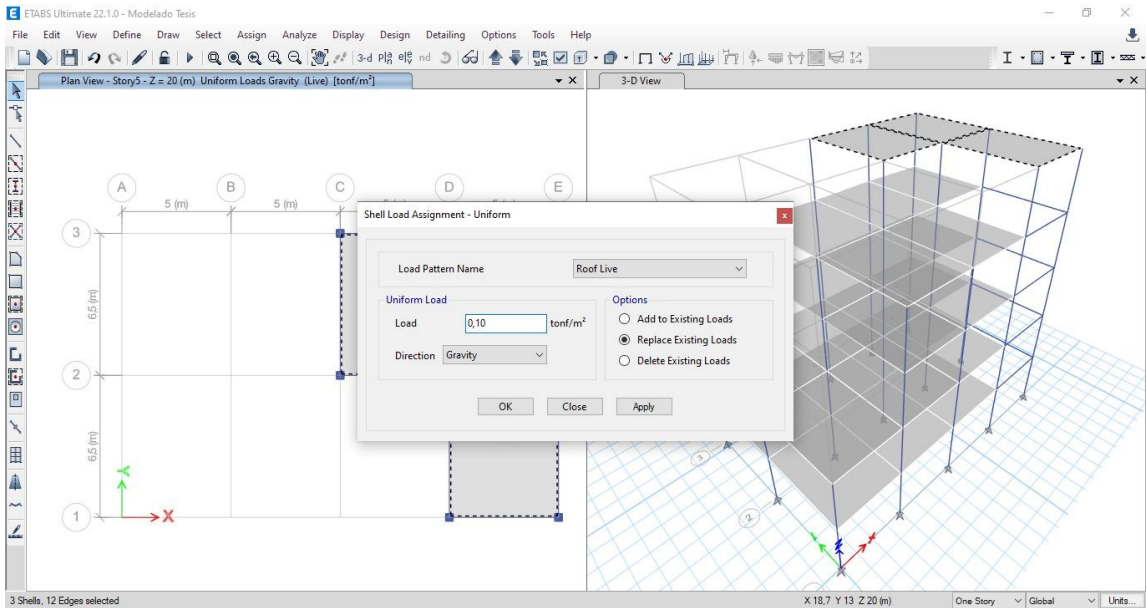


Figura 89 Asignación de valor de carga de techo.

Fuente: Autores / ETABS

Para este tipo de carga llamada “Roof Live” solo se aplicará para la losa del último piso con un valor menor ya que la losa no aguantará mucha carga.

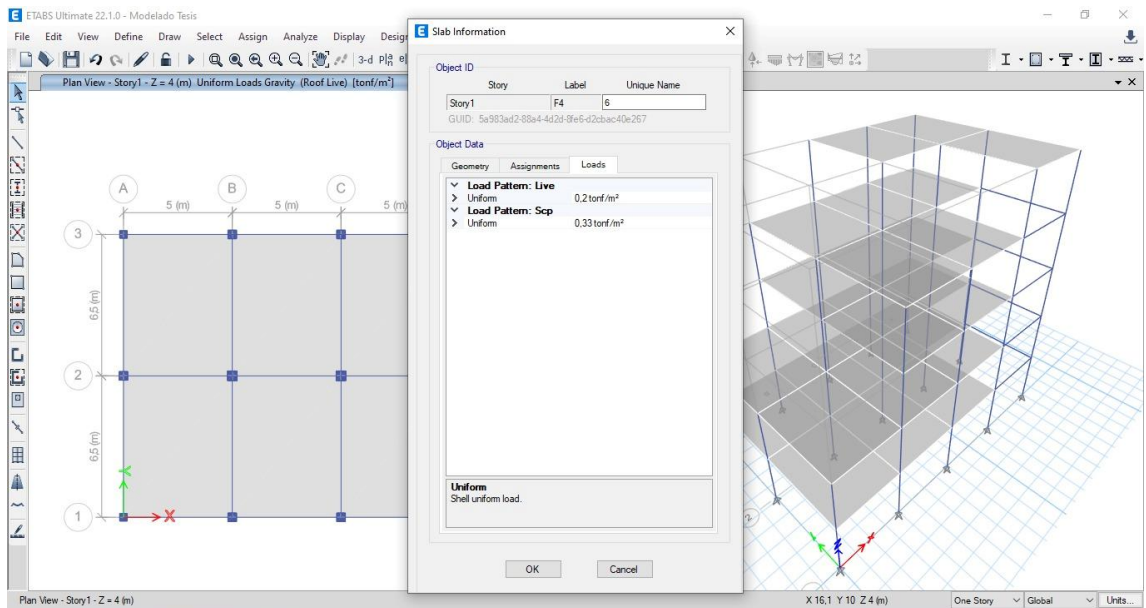


Figura 90 Verificación de datos cargados.

Fuente: Autores / ETABS

Para confirmar que las cargas se aplicaron de forma adecuada en cada losa se da clic derecho sobre cualquier losa y sale los valores de carga que se le aplicaron.

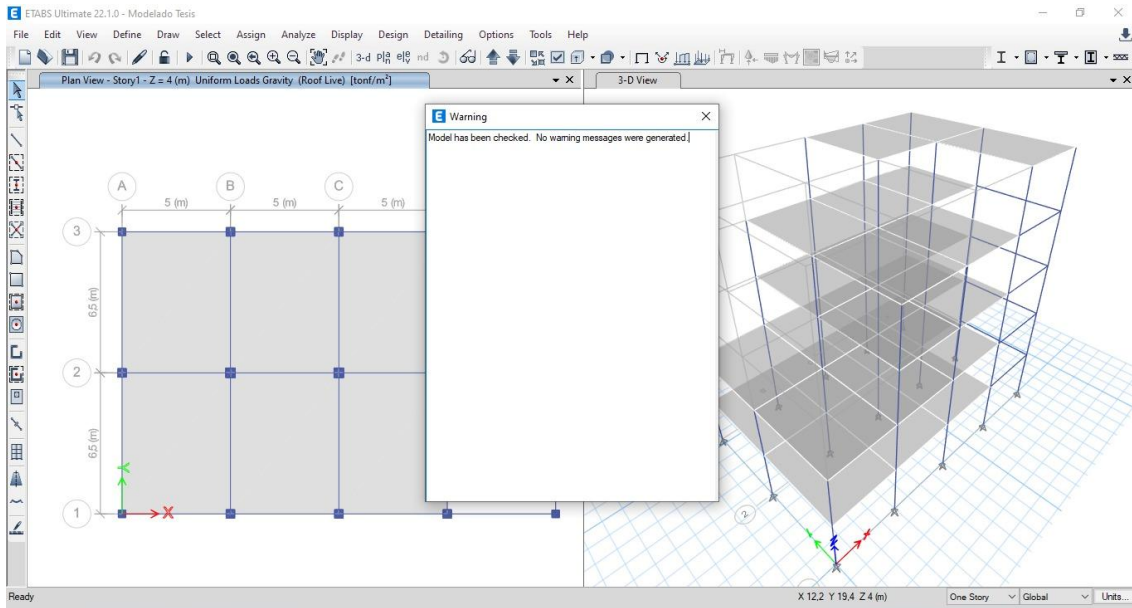


Figura 91 Verificación de la inexistencia de errores en el modelado.

Fuente: Autores / ETABS

Antes de mandar a correr el programa se verifica si la estructura no tiene ningún elemento disyunto, como se observa el modelado no tiene fallas de dibujo.

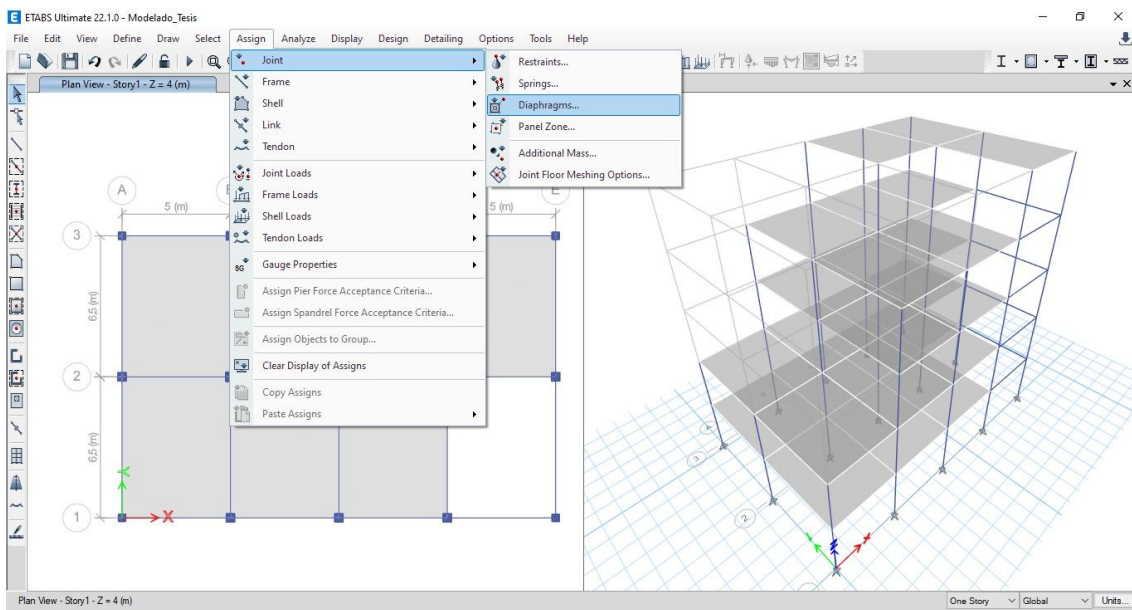


Figura 92 Acceso al ícono para implementación de diafragmas.

Fuente: Autores / ETABS

Luego, se debe poner los diafragmas en cada losa y para eso se debe ir a la pestaña de “Assign” luego “Diaphragms”.

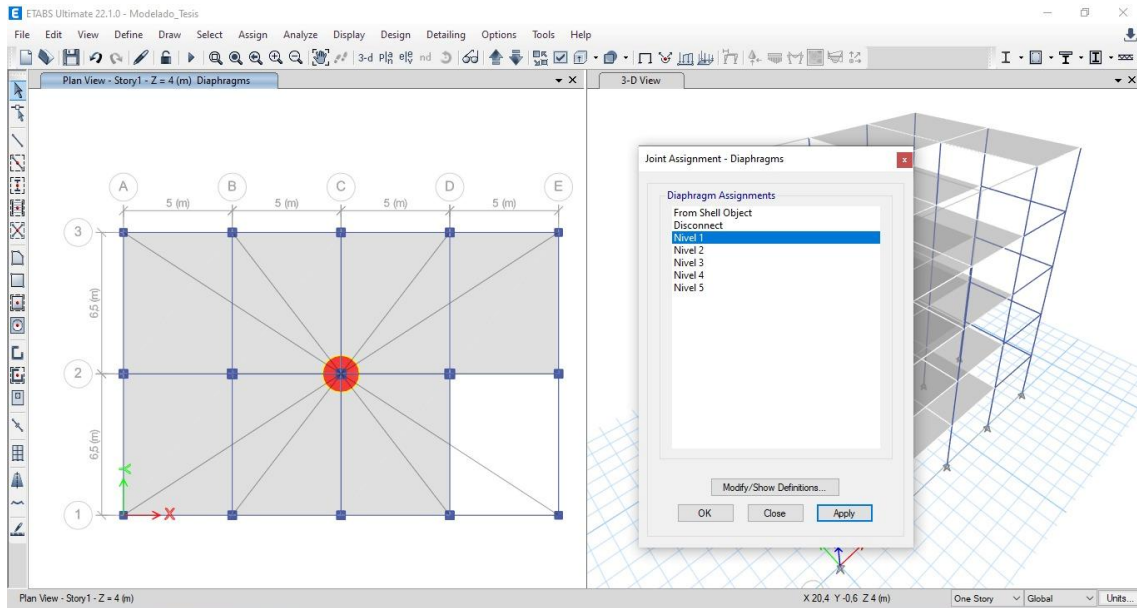


Figura 93 Aplicación de diafragma en cada nivel.

Fuente: Autores / ETABS

Se le procede a aplicar los diaframas en cada piso por cada diafragma creado y quedaría de esta forma.

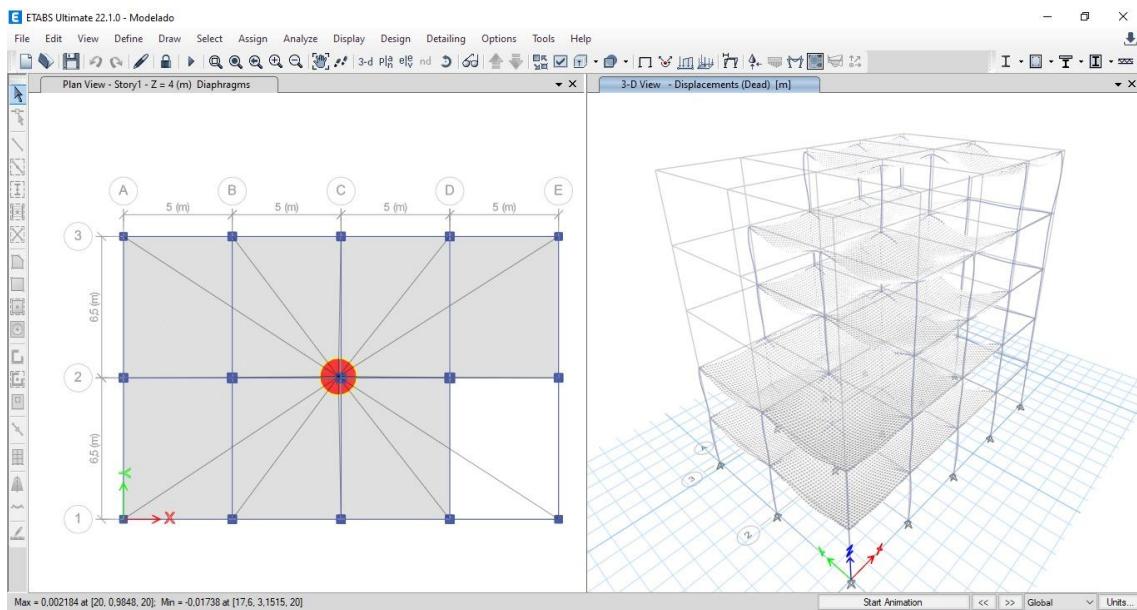


Figura 94 Simulación de estructura.

Fuente: Autores / ETABS

Se procede a calcular la estructura y como se puede observar por las deformaciones de la losa se concluye que el software ya calculó la estructura.

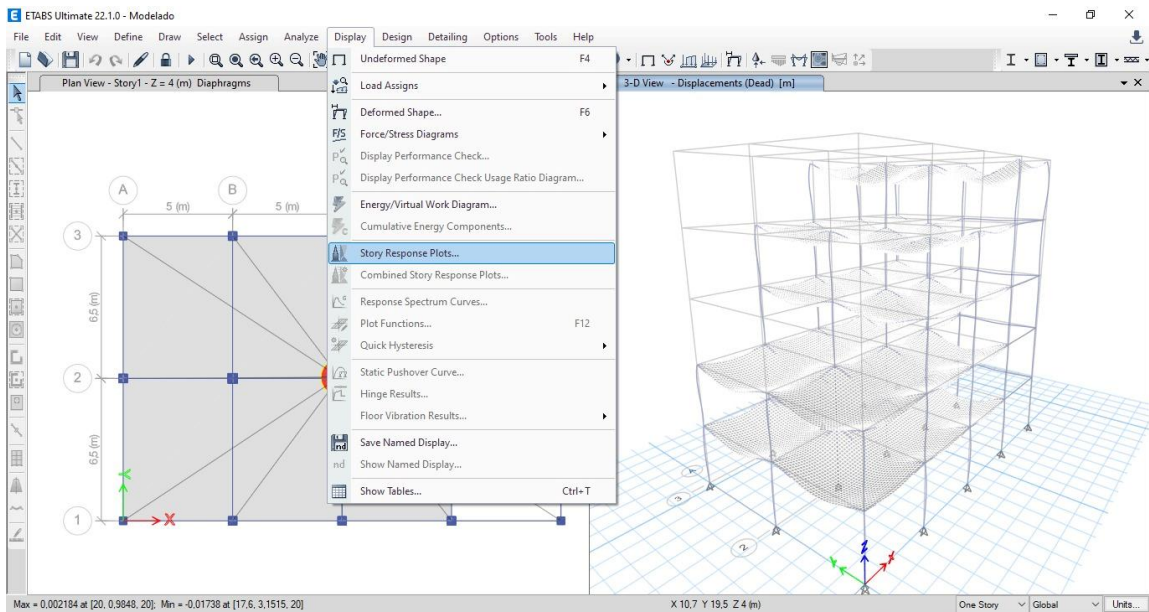


Figura 95 Ícono para ver los diagramas de desplazamiento y torsión.

Fuente: Autores / ETABS

Para ver las gráficas de los desplazamientos y de torsión tenemos que dirigirnos a la pestaña de “Display” luego a “Story Response Plots”

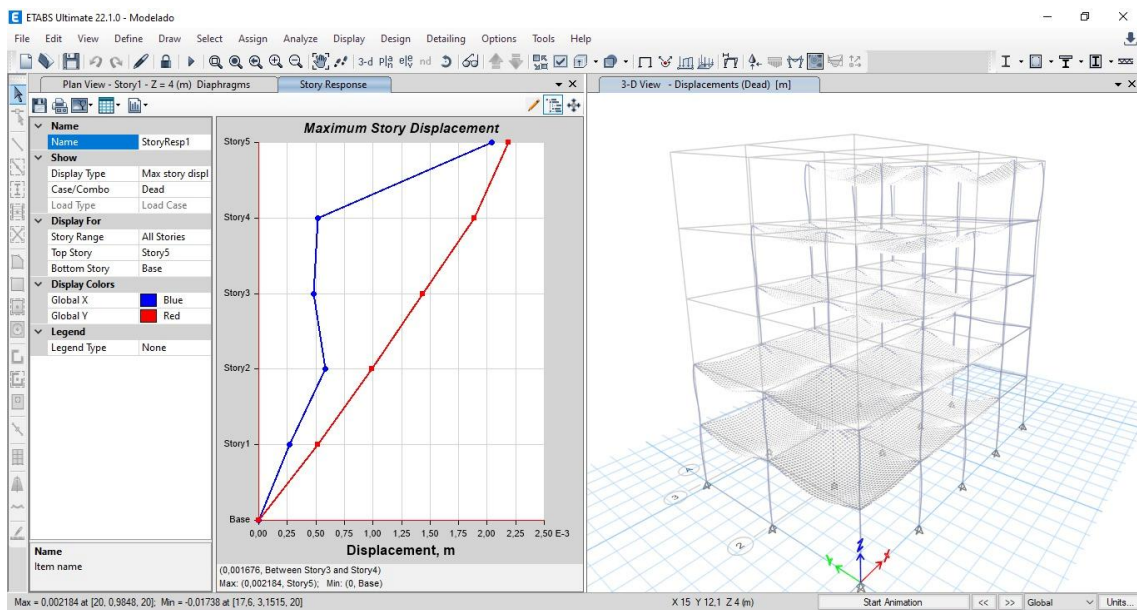


Figura 96 Diagrama de desplazamiento.

Fuente: Autores / ETABS

Automáticamente se abrirá la ventana donde se nos mostrarán las gráficas de desplazamiento, desde el control de la izquierda se puede ver la gráfica de cada piso, así mismo se puede cambiar los casos de cargas para ver los desplazamientos de cada una de ellas.

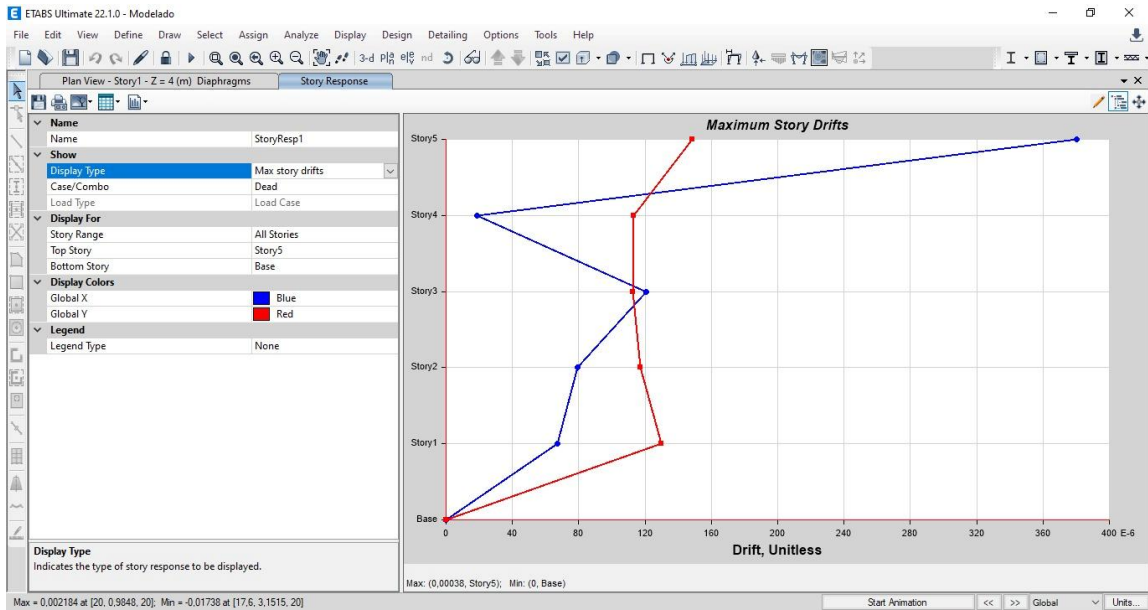


Figura 97 Diagrama de torsión.

Fuente: Autores / ETABS

Para diferenciar las gráficas de desplazamientos y de torsión se puede leer en la parte de arriba las palabras escritas en inglés “Drifts” significa torsión – “Displacemante” significa desplazamiento.

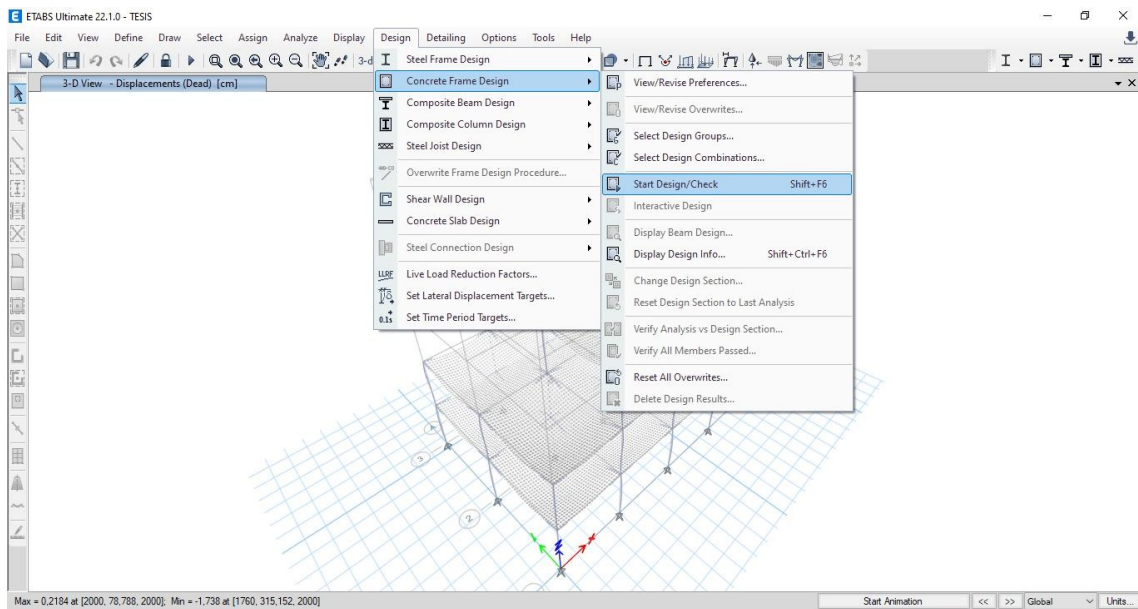


Figura 98 Ícono para verificación de columnas y vigas.

Fuente: Autores / ETABS

Para ver los resultados del acero en las columnas y vigas tenemos que ir a la pestaña de “Design” luego a “Concrete Frame Design” luego a “Start Design/Check”.

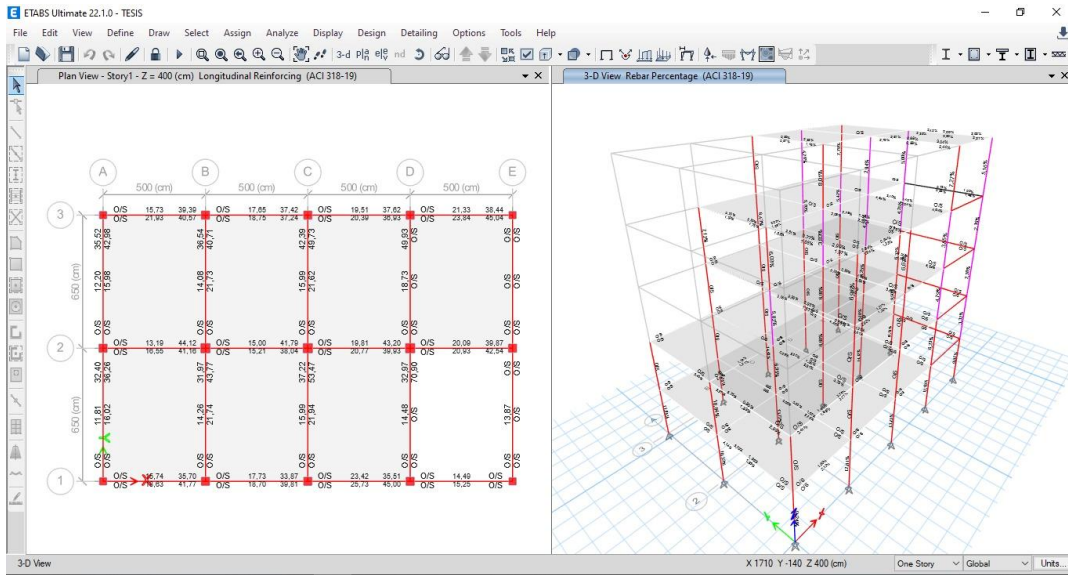


Figura 99 Análisis de estructura - Modelo 1

Fuente: Autores / ETABS

Una vez que el programa haya calculado la cantidad de acero en las columnas y vigas, la estructura cambia y se asignan valores y colores a lo largo de toda la estructura. La diferencia de color tiene un gran significado, esto nos quiere decir que columnas y vigas debemos aumentar la sección siempre teniendo en cuenta el concepto de columna fuerte – viga débil.

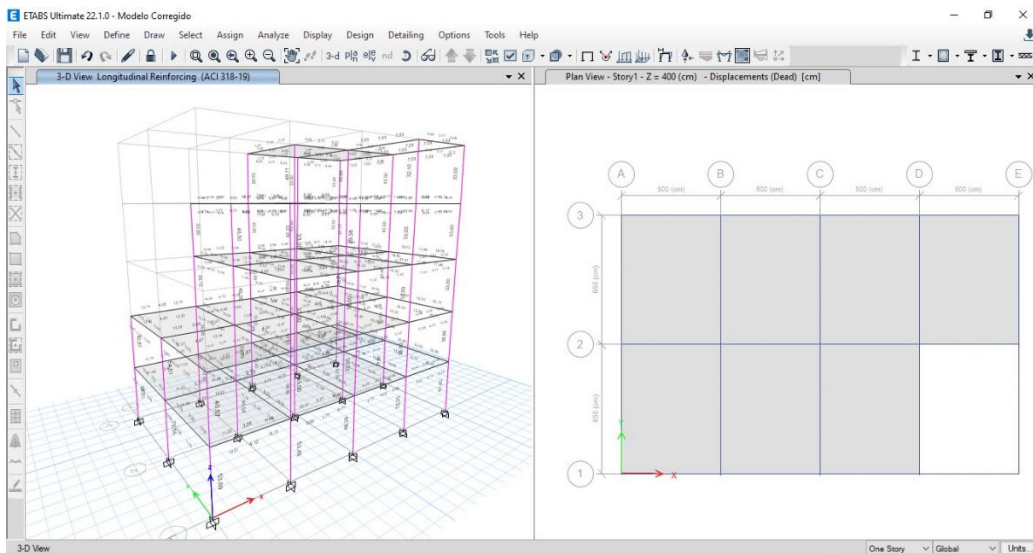


Figura 100 Análisis de estructura - Modelo 2

Fuente: Autores / ETABS

El color morado significa que la columna o viga cumple, el color rojo significa que dicha columna o viga no cumple con la norma establecida previamente puesta en estructura.

Esto nos dice que la estructura no cumple, y que debemos implementar una cimentación profunda para que la estructura cumpla.

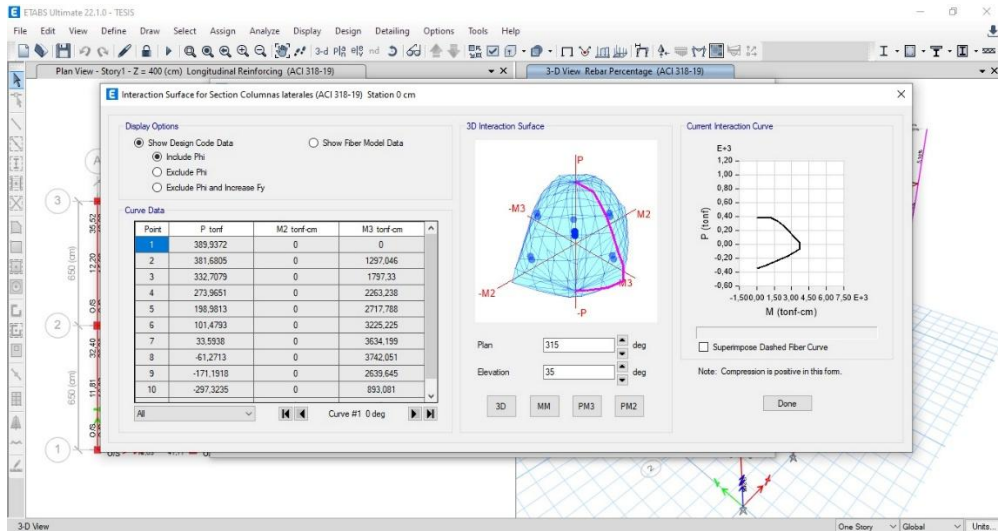


Figura 101 Diagrama de interacción de columna - Modelo 1

Fuente: Autores / ETABS

Acá se nos muestra un diagrama de interacción de columna la cual no cumple ya que se sale fuera del margen y esta columna central es la que mayor sección tiene, esto nos dice que las otra si o si no cumplirán.

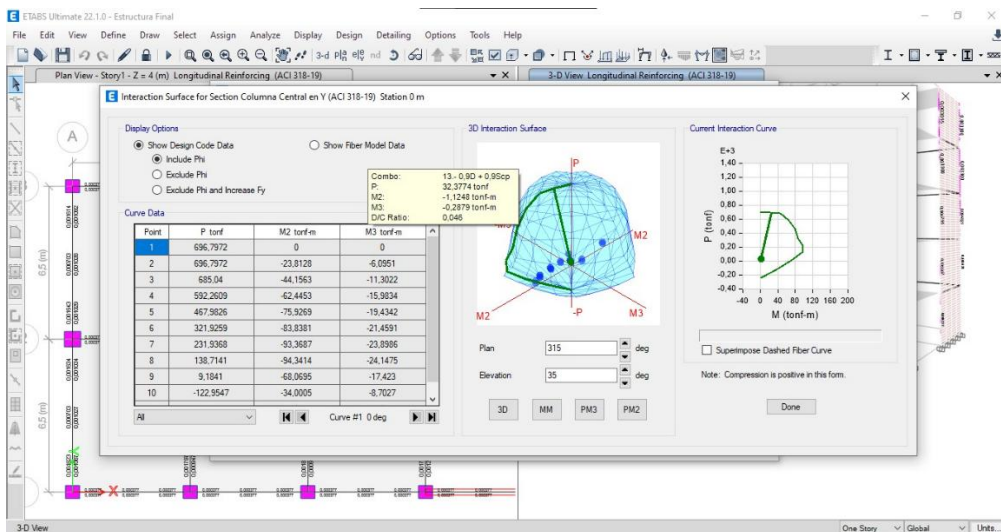


Figura 102 Diagrama de interacción de columnas -Modelo 2

Fuente: Autores / ETABS

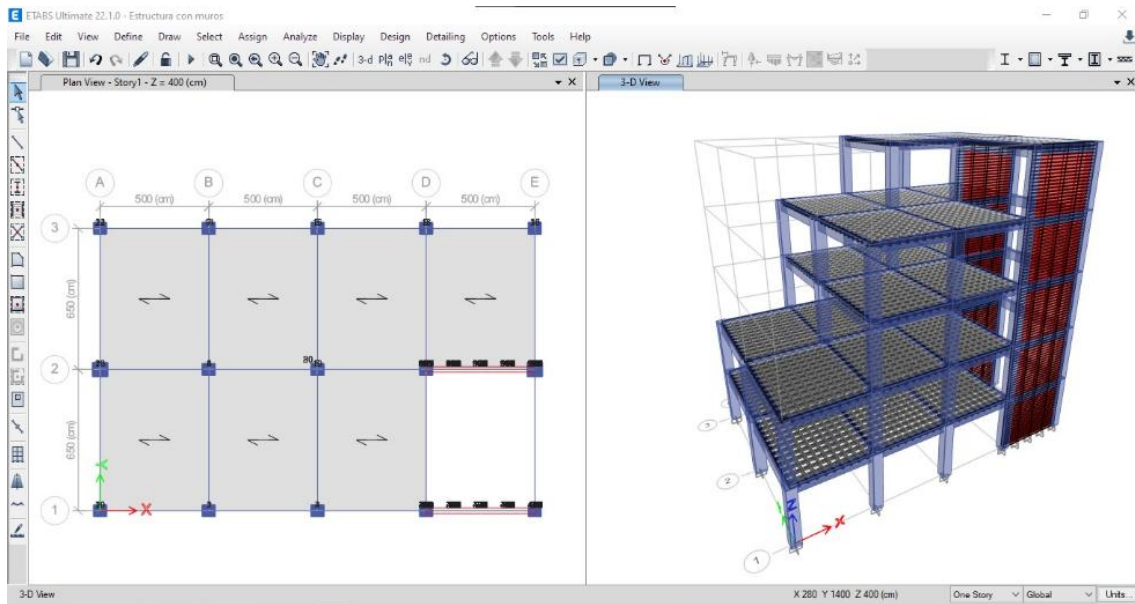


Figura 103 Vista en planta y tridimensional del Modelo 2

Fuente: Autores / ETABS

El primer Modelo corresponde a una configuración analizada sin muros y con secciones inferiores a las definidas en el prediseño, lo cual evidenció que dichas secciones no resultan adecuadas, reflejándose en un periodo fundamental de vibración muy elevado.

Para el segundo modelo se optaron las secciones propuestas del prediseño, observándose que la mayoría de columnas y vigas en su mayoría cumple con la normativa, así mismo se incorporaron muros estructurales lo que permitió reducir el periodo de vibración.

1.5.6 Base de resultados calculados por el software ETABS.

Una vez ejecutado el proceso de cálculo en el software, se obtuvieron los resultados correspondientes en los casos de carga sísmica dinámico como estático.

<b>Tabla de reacciones</b>									
<b>Output Case</b>	<b>Case Type</b>	<b>Step Type</b>	<b>Step Number</b>	<b>FX</b>	<b>FY</b>	<b>FZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
<b>Sismo Estático X</b>	LinStatic	Step By Step	1	-199.543	0	0	0	-2556.536	1424.561
<b>Sismo Estático X</b>	LinStatic	Step By Step	2	-199.543	0	0	0	-2556.536	1554.264
<b>Sismo Estático X</b>	LinStatic	Step By Step	3	-199.543	0	0	0	-2556.536	1294.858
<b>Sismo Estático Y</b>	LinStatic	Step By Step	1	0	-199.543	0	2556.536	0	-2356.546
<b>Sismo Estático Y</b>	LinStatic	Step By Step	2	0	-199.543	0	2556.536	0	-2513.694
<b>Sismo Estático Y</b>	LinStatic	Step By Step	3	0	-199.543	0	2556.536	0	-2199.398
<b>Sismo Dinámico X</b>	LinRespSpec	Max		75.53	28.946	0	363.052	935.602	705.982
<b>Sismo Dinámico Y</b>	LinRespSpec	Max		24.61	91.043	0	1150.310	298.947	1182.517

Tabla 28 Resultado de reacciones del Modelo 1 (Sin muros)

Fuente: Autores / ETABS

<b>Cortante Basal_V sin corregir</b>					
<b>Sismo Estático X</b>				199.54	
<b>Sismo Estático Y</b>				199.54	
<b>Sismo Dinámico X</b>	75.53	>	169.609	2.245	2.25
<b>Sismo Dinámico Y</b>	91.04	>	169.609	1.863	1.86

Tabla 29 Resumen de resultados sin corregir del modelo 1.

<b>Cortante Basal corregida_V</b>		
<b>169.9605</b>	>	169.609
<b>169.7617</b>	>	169.609

Tabla 30 Corrección de cortante basal caso sismo dinámico, modelo 1.

Fuente: Autores / ETABS

<b>Masa participante por nodo</b>												
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period (Sec)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>SumUX</b>	<b>SumUY</b>	<b>RX</b>	<b>RY</b>	<b>RZ</b>	<b>SumRX</b>	<b>SumRY</b>	<b>SumRZ</b>
<b>Modal</b>	1	1.005	0.725	0.002	0.725	0.002	0.0016	0.3113	0.0115	0.0016	0.3113	0.0115
<b>Modal</b>	2	0.843	0.006	0.658	0.731	0.660	0.2822	0.0012	0.1411	0.2838	0.3125	0.1526
<b>Modal</b>	3	0.641	0.008	0.119	0.738	0.779	0.0015	0.0001	0.5755	0.2852	0.3125	0.7281
<b>Modal</b>	4	0.329	0.150	0.002	0.888	0.781	0.0035	0.4363	0.0085	0.2888	0.7488	0.7366
<b>Modal</b>	5	0.278	0.002	0.133	0.890	0.914	0.4869	0.0069	0.0173	0.7756	0.7557	0.7539
<b>Modal</b>	6	0.251	0.004	0.002	0.894	0.915	0.0304	0.0121	0.1494	0.8061	0.7678	0.9033
<b>Modal</b>	7	0.171	0.039	0.005	0.933	0.920	0.0079	0.0679	0.0031	0.8139	0.8358	0.9064
<b>Modal</b>	8	0.159	0.010	0.022	0.944	0.943	0.0358	0.0176	0.0005	0.8497	0.8534	0.9069
<b>Modal</b>	9	0.136	0.001	0.011	0.944	0.954	0.019	0.0016	0.0307	0.8687	0.855	0.9376
<b>Modal</b>	10	0.109	0.000	0.031	0.945	0.985	0.0854	0.0011	0.0171	0.9541	0.8561	0.9547
<b>Modal</b>	11	0.104	0.041	0.000	0.986	0.985	0.0012	0.1075	0.00004278	0.9553	0.9636	0.9548
<b>Modal</b>	12	0.088	0.000	0.002	0.986	0.987	0.0056	0.0002	0.0326	0.9609	0.9638	0.9874

Tabla 31. Relación de masas participantes modales, modelo 1.

Fuente: Autores / ETABS

<b>Tabla de torsión</b>				
<b>RX</b>	<b>RY</b>	<b>RZ</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Relación</b>
0.0016	0.3113	0.0115	0.3244	4%
0.2822	0.0012	0.1411	0.4245	33.20%
0.0015	0.0001	0.5755	0.5771	99.7%

Tabla 32 Cálculo de torsión, modelo 1.

<b>Máximo Drifts</b>			
<b>Sismo Estático X</b>	<b>Sismo Dinámico X</b>	<b>Sismo Estático Y</b>	<b>Sismo Dinámico Y</b>
0.007247	0.002806	0.005492	0.002928
$\Delta$ X		$\Delta$ Y	
3.26115		2.4714	

Tabla 33 Derivas máximas, modelo 1.

Fuente: Autores / ETABS

<b>Tabla de reacciones</b>									
<b>Output Case</b>	<b>Case Type</b>	<b>Step Type</b>	<b>Step Number</b>	<b>FX</b>	<b>FY</b>	<b>FZ</b>	<b>MX</b>	<b>MY</b>	<b>MZ</b>
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
<b>Sismo Estatico X</b>	LinStatic	Step By Step	1	-225.6524	0	0	0	-2936.6692	1496.4909
<b>Sismo Estatico X</b>	LinStatic	Step By Step	2	-225.6524	0	0	0	-2936.6692	1630.5257
<b>Sismo Estatico X</b>	LinStatic	Step By Step	3	-225.6524	0	0	0	-2936.6692	1362.4561
<b>Sismo Estatico Y</b>	LinStatic	Step By Step	1	0	-225.6524	0	2936.6692	0	-2832.3617
<b>Sismo Estatico Y</b>	LinStatic	Step By Step	2	0	-225.6524	0	2936.6692	0	-2993.5714
<b>Sismo Estatico Y</b>	LinStatic	Step By Step	3	0	-225.6524	0	2936.6692	0	-2671.1521
<b>Sismo Dinamico X</b>	LinRespSpec	Max		221.0307	89.0856	0	959.8637	2825.8434	1731.579
<b>Sismo Dinamico Y</b>	LinRespSpec	Max		70.4634	196.1872	0	2518.6099	927.191	2700.8802

Tabla 34 Resultado de reacciones del Modelo 2 (Con muros)

Fuente: Autores / ETABS

<b>Cortante Basal_V sin corregir</b>					
<b>Sismo Estático X</b>					225.6524
<b>Sismo Estático Y</b>					225.6524
<b>Sismo Dinámico X</b>	221.0307	>	191.80454	0.8677733	0.88
<b>Sismo Dinámico Y</b>	196.1872	>	191.80454	0.97766083	0.99

Tabla 35 Resumen de resultados sin corregir, modelo 2.

<b>Cortante Basal corregida_V</b>		
<b>194.6447</b>	>	191.80454
<b>194.2254</b>	>	191.80454

Tabla 36 Corrección de cortante basal caso sismo dinámico modelo 2

Fuente: Autores / ETABS

<b>Masa participante por nodo</b>												
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period (sec)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>SumUX</b>	<b>SumUY</b>	<b>RX</b>	<b>RY</b>	<b>RZ</b>	<b>SumRX</b>	<b>SumRY</b>	<b>SumRZ</b>
<b>Modal</b>	1	0.872	0.002	0.7482	0.002	0.7482	0.2982	0.0011	0.0353	0.2982	0.0011	0.0353
<b>Modal</b>	2	0.51	0.1997	0.0286	0.2018	0.7768	0.005	0.1231	0.4539	0.3032	0.1242	0.4891
<b>Modal</b>	3	0.292	0.069	0.1253	0.2707	0.9021	0.4611	0.0417	0.0274	0.7643	0.1659	0.5165
<b>Modal</b>	4	0.248	0.3985	0.0085	0.6692	0.9106	0.0401	0.2299	0.1731	0.8044	0.3957	0.6896
<b>Modal</b>	5	0.168	0.014	0.0308	0.6833	0.9414	0.0449	0.024	0.0965	0.8493	0.4198	0.7861
<b>Modal</b>	6	0.143	0.0564	0.014	0.7397	0.9554	0.0262	0.0668	0.08	0.8755	0.4866	0.8661
<b>Modal</b>	7	0.105	0.0006	0.0342	0.7402	0.9896	0.0961	0.0005	0.0027	0.9716	0.9871	0.8688
<b>Modal</b>	8	0.08	0.0007	0.01	0.7409	0.9997	0.0277	0.0017	0.0029	0.9993	0.9888	0.8717
<b>Modal</b>	9	0.074	0.0018	0.0001	0.7427	0.9998	0.0003	0.0008	0.0676	0.9996	0.9896	0.9393
<b>Modal</b>	10	0.062	0.2045	0.00003024	0.9472	0.9999	0.0001	0.3727	0.0217	0.9997	0.8623	0.961
<b>Modal</b>	11	0.054	0.0005	0.0001	0.9478	1	0.0003	0.0003	0.027	1	0.8626	0.988
<b>Modal</b>	12	0.043	0.0005	0.00001218	0.9483	1	0.000006361	0.0012	0.0006	1	0.8638	0.9886

Tabla 37 Relación de masas participantes modales, modelo 2.

Fuente: Autores / ETABS

<b>Tabla de torsión</b>				
<b>RX</b>	<b>RY</b>	<b>RZ</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Relación</b>
<b>0.2982</b>	0.0011	0.0353	0.3346	10.55%
<b>0.005</b>	0.1231	0.4539	0.582	77.99%
<b>0.4611</b>	0.0417	0.0274	0.5302	5.17%

Tabla 38 Cálculo de torsión, modelo 2.

<b>Máximo Drifts</b>			
<b>Sismo Estático X</b>	<b>Sismo Dinámico X</b>	<b>Sismo Estático Y</b>	<b>Sismo Dinámico Y</b>
<b>0.001477</b>	0.002303	0.00534	0.004783
<b><math>\Delta X</math></b>		<b><math>\Delta Y</math></b>	
1.03635		2.15235	

Tabla 39 Derivas máximas, modelo 2.

Fuente: Autores / ETABS

### 1.5.7 Propuesta de cimentación superficial.

Para el cálculo de la doble excentricidad se emplearon los valores de cargas y momentos obtenidos del análisis estructural mediante el software. Asimismo, las dimensiones de cada zapata fueron determinadas en función de su área requerida, considerando la capacidad admisible del suelo ( $Q_a$ ) y la carga última aplicada ( $P_u$ ).

$$Q_a \text{ (T/m}^2\text{)} = 13$$

ITEM	EJE	FZ (Tonf)	MX (Tonf - m)	MY (Tonf - m)	Pu (Ton)	Mx (T-m)	My (T-m)	Área (m <sup>2</sup> )	L (m)	B (m)
<b>Z3</b>	B1	14.3447	16.137	4.6919	27.88	31.034	4.6919	3.10932423	2	2
	B1	27.8767	31.034	2.1204						
<b>Z5</b>	C1	11.4107	14.468	4.7908	28.89	32.7909	4.7908	3.22219	2.5	2.5
	C1	28.8886	32.7909	2.1564						
<b>Z6</b>	D1	294.9625	15.5371	10.2312	294.96	37.4214	10.2312	32.8996635	3	1.8
	D1	151.8363	37.4214	5.0749						
<b>Z1</b>	B2	2.2154	18.361	5.0659	2.22	35.497	5.0659	0.24710231	1.3	1.3
	B2	0.957	35.497	2.4503						
<b>Z1</b>	C2	4.8202	16.3084	5.1134	4.82	37.1395	5.1134	0.53763769	1.3	1.3
	C2	3.2269	37.1395	2.4819						
<b>Z6</b>	D2	339.0897	17.1928	11.6233	339.09	41.6438	11.6233	37.8215435	3	1.8
	D2	165.1929	41.6438	5.7806						
<b>Z3</b>	B3	12.7479	16.1372	11.7124	28.74	31.0341	11.7124	3.20581615	2	2
	B3	28.7418	31.0341	6.4188						
<b>Z4</b>	C3	12.8959	14.469	11.7384	32.04	32.7984	11.7384	3.57387077	2.3	2.3
	C3	32.0416	32.7984	6.4313						
<b>Z4</b>	D3	14.2095	14.3655	11.7502	35.81	34.8096	11.7502	3.99417	2.3	2.3
	D3	35.8098	34.8096	6.439						
<b>Z2</b>	A1	8.5728	18.6129	4.2216	14.54	29.033	4.2216	1.62171346	1.5	1.5
	A1	14.5395	29.033	1.9296						
<b>Z2</b>	A3	7.0832	18.6132	10.5484	15.41	29.0329	10.5484	1.71848423	1.5	1.5

	A3	15.4071	29.0329	5.8402						
<b>Z1</b>	A2	1.6839	35.7984	8.1584	1.68	55.8807	8.1584	0.18781962	1.3	1.3
	A2	0.824	55.8807	3.9951						
<b>Z6</b>	E2	376.5698	32.3266	17.6539	376.57	74.6309	17.6539	42.0020162	3	1.8
	E2	182.5031	74.6309	8.778						
<b>Z4</b>	E3	14.4633	15.8764	11.0506	35.84	36.8685	11.0506	3.99728192	2.3	2.3
	E3	35.8377	Lo	6.0231						
<b>Z6</b>	E1	292.0747	17.5272	10.1759	292.07	40.2561	10.1759	32.5775627	3	1.8

Tabla 40 Cargas, momentos y dimensiones de zapatas.

Fuente: Autores / ETABS

### 1.5.8 Cálculo de doble excentricidad en zapatas

Con base en la Figura 104 y considerando que el nivel freático para todos los plintos se ubica a una profundidad de 1,20 m, se identifica que la condición corresponde al Caso I. En consecuencia, para el cálculo de la capacidad portante del suelo se aplican las expresiones y factores de corrección correspondientes a este caso, según lo establecido por (Das B. M., 2011).

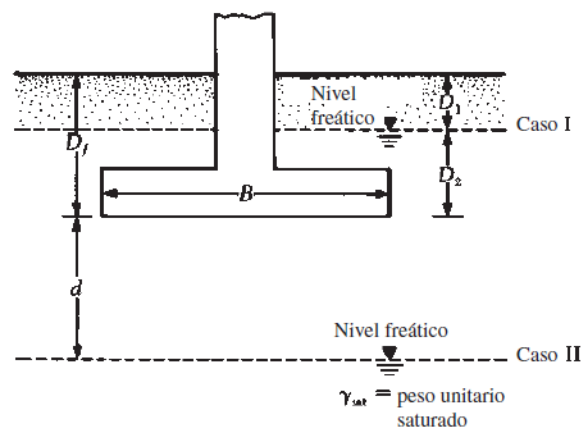


Figura 104 Casos de capacidad de carga para el nivel freático.

Fuente: (Das B. M., 2011)

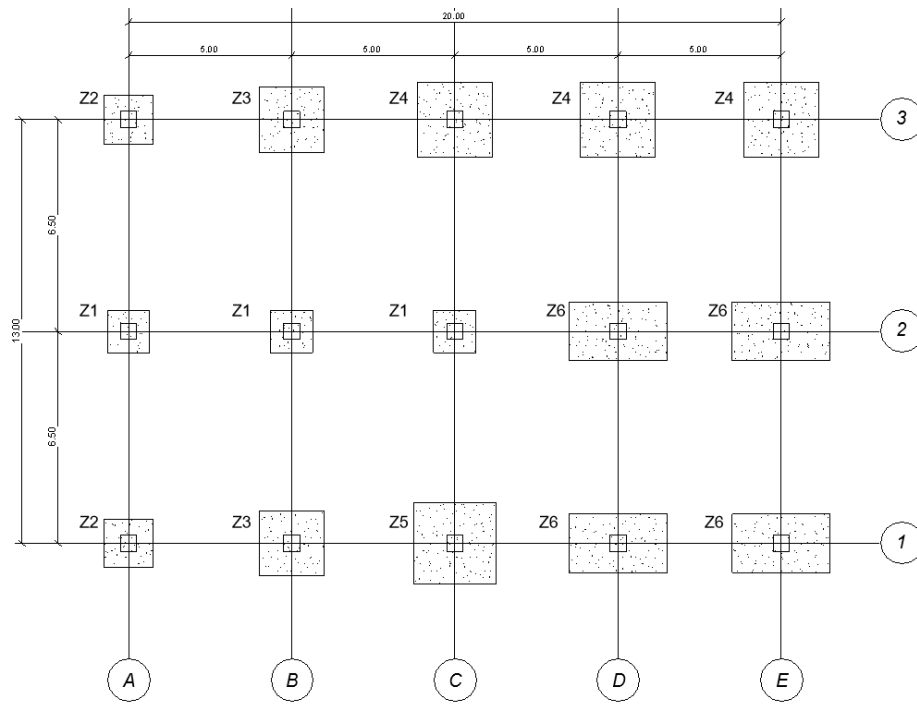


Figura 105 Vista en planta de zapatas.

Fuente: Autores / Revit

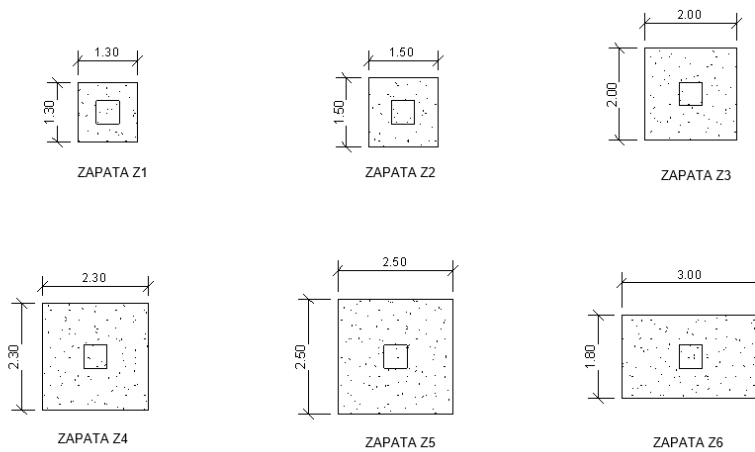


Figura 106 Detalle geométrico de cada tipo de zapata.

Fuente: Autores / Revit

Para realizar los cálculos de doble excentricidad de tomó valores de la segunda línea sísmica LS-02, el cual consta de los siguientes valores

$$Df := 3 \text{ m} \quad y := 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D1 := 1.2 \text{ m} \quad y_{sat} := 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D2 := 1.8 \text{ m} \quad \phi := 23.5^\circ$$

$$c' := 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

## PLINTO A1

$$\begin{aligned}
 Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 B &:= 1.5 \text{ m} & & \\
 L &:= 1.5 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 D1 &:= 1.2 \text{ m} & & \\
 D2 &:= 1.8 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\
 & & Mx &:= 29.03 \text{ ton} \cdot \text{m} \\
 c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & My &:= 4.22 \text{ ton} \cdot \text{m} \\
 & & Q &:= 14.53 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO: CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y q

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Ny := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 2 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.629$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.706$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO:

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 1.998 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.29 \text{ m}$$

Caso I:  $e_L/L \geq \frac{1}{6}$  y  $e_B/B \geq \frac{1}{6}$

$$\frac{e_L}{L} = 1.332 \quad \frac{e_B}{B} = 0.194$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot B_I \cdot L_I = -2.581 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L_I} = 0.689 \text{ m}$$

$$B_I := B \cdot \left(1.5 - \frac{3 \cdot e_B}{B}\right) = 1.379 \text{ m} \quad L_I := L \cdot \left(1.5 - \frac{3 \cdot e_L}{L}\right) = -3.744 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE CARGA:

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (9.926 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.845 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (6.959 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (1.219 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{total} := q_1 + q_2 + q_3 = 9.926 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{total} \cdot B' \cdot L_I = -2.562 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

$$F_s > 3$$

$$Q_{ult1} := 12.35 \text{ ton}$$

NO CUMPLE

$$F_s := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 0.85$$

## PLINTO B1

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1489 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 2 \text{ m} & & \\ L &:= 2 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 &:= 1.20 \text{ m} & & \\ D2 &:= 1.8 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ & & M_x &:= 31.03 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & M_y &:= 4.69 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & & Q &:= 27.87 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO: CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y q

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.29 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$Ny := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{yi} := 1$$

$$F_{ys} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\begin{aligned} \frac{Df}{B} &= 1.5 & \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) & & F_{cd} &:= F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.706 \\ F_{qd} &:= 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.472 & & & F_{\gamma d} &:= 1 \end{aligned}$$

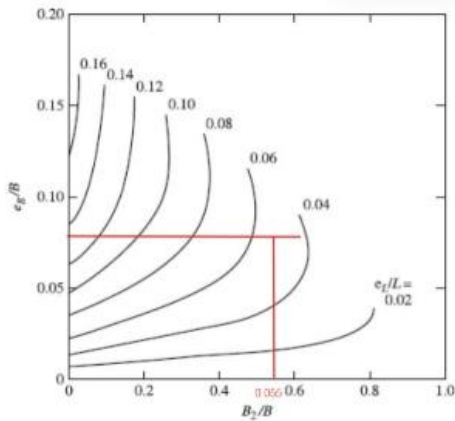
6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO:

$$e_L := \frac{M_x}{Q} = 1.113 \text{ m} \quad e_B := \frac{M_y}{Q} = 0.168 \text{ m}$$

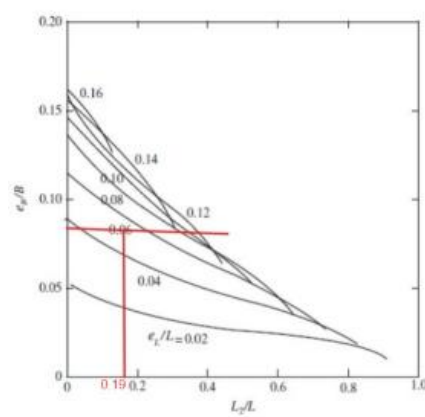
Caso IV:  $e_L/L < \frac{1}{6}$  y  $e_B/B < \frac{1}{6}$

$$\frac{e_L}{L} = 0.557 \quad \frac{e_B}{B} = 0.084$$

PARA ENCONTRAR B2



PARA ENCONTRAR L2



$$B2 := 0.055 \text{ m}$$

$$L2 := 0.19 \text{ m}$$

$$A' := L2 \cdot B + \frac{1}{2} \cdot (B + B2) \cdot (L - L2) = 2.24 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L} = 1.12 \text{ m}$$

$$L' := L = 2 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE CARGA:

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (9.377 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.845 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (6.334 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (1.981 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 9.377 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{total} \cdot B \cdot L = (2.1 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 76.08 \text{ ton}$$

$$F_s > 3$$

NO CUMPLE

$$F_s := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 2.73$$

PLINTO C1

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 2.5 \text{ m} & y_{sat} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ L &:= 2.5 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ D1 &:= 1.20 \text{ m} & M_x &:= 32.79 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ D2 &:= 1.80 \text{ m} & M_y &:= 4.79 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & Q &:= 28.88 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO: CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y q

$$y' := y_{sat} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$Ny := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 1.2 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.377$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.424$$

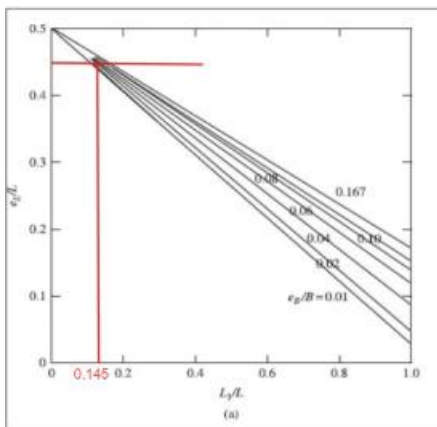
6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO:

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 1.135 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.166 \text{ m}$$

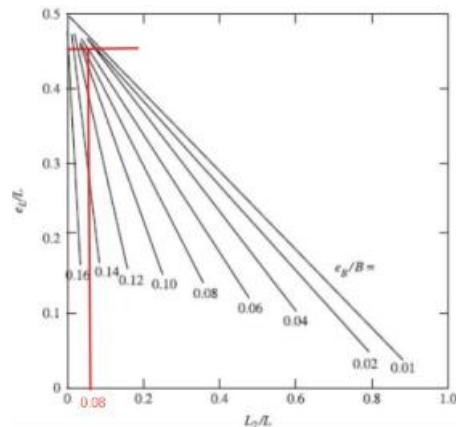
$$\frac{e_L}{L} = 0.454 \quad \frac{e_B}{B} = 0.066$$

Caso II:  $e_L/L < 0.5$  y  $0 < e_B/B < \frac{1}{6}$

Caso II  
PARA ENCONTRAR B2



PARA ENCONTRAR L2



$$L2 := 0.080 \text{ m}$$

$$L1 := 0.145 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot (L1 + L2) \cdot B = 0.281 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L1} = 1.94 \text{ m}$$

$$L' := L = 2.5 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE CARGA:

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.602 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.374 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (5.885 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{\text{total}} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.602 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (3.43 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{\text{ult}} := q_{\text{total}} \cdot B' \cdot L = (4.171 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Q_{\text{ult}} := 48.01 \text{ ton}$$

$$F_s > 3$$

NO CUMPLE

$$F_s := \frac{Q_{\text{ult}}}{Q} = 1.662$$

### PLINTO D1

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 1.8 \text{ m} & & \\ L &:= 3 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 &:= 1.20 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ D2 &:= 1.80 \text{ m} & M_x &:= 37.42 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & M_y &:= 10.23 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & & Q &:= 294.96 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO: CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y q

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$Ny := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.293 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.261 \quad F_{qi} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.76 \quad F_{\gamma i} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 1.667 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right)$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.524 \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.588$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO:

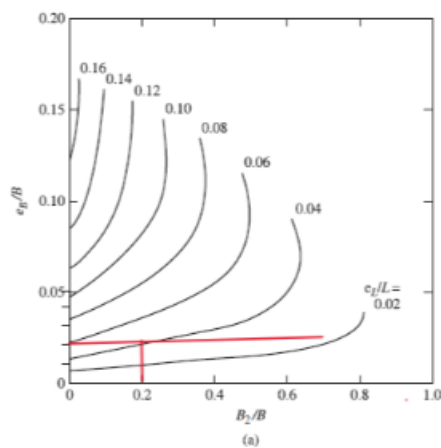
$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 0.127 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.035 \text{ m}$$

Caso IV:  $e_L/L < \frac{1}{6}$  y  $e_B/B < \frac{1}{6}$

$$\frac{e_L}{L} = 0.042 \quad \frac{e_B}{B} = 0.019$$

Caso IV

PARA ENCONTRAR B2



$$B2 := 0.20 \text{ m}$$

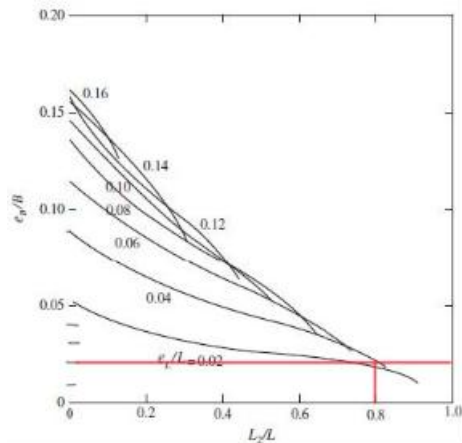
$$L2 := 0.80 \text{ m}$$

$$A' := L2 \cdot B + \frac{1}{2} \cdot (B + B2) (L - L2) = 3.64 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L} = 1.213 \text{ m}$$

$$L' := L = 3 \text{ m}$$

PARA ENCONTRAR L2



7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE CARGA:

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.295 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.301 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (5.722 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (2.718 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.295 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{utotal} \cdot B' \cdot L = (3.019 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Q_{ult} = 76.08 \text{ ton}$$

$$F_s > 3$$

NO CUMPLE

$$F_s := \frac{Q_{ult}}{Q} = 0.258$$

## PLINTO E1

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 1.80 \text{ m} & & \\ L &:= 3 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 &:= 1.20 \text{ m} & & \\ D2 &:= 1.80 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & M_x &:= 40.25 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & & M_y &:= 10.17 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & & Q &:= 292.07 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO: CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y q

$$\begin{aligned} y' &:= y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ q &:= D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$\begin{aligned} Nq &:= \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119 \\ Nc &:= \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672 \\ Ny &:= 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06 \end{aligned}$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$\begin{aligned} F_{cs} &:= 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.293 & F_{ci} &:= 1 \\ F_{qs} &:= 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.261 & F_{qi} &:= 1 \\ F_{\gamma s} &:= 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.76 & F_{qi} &:= 1 \end{aligned}$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\begin{aligned} \frac{Df}{B} &= 1.667 & \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) & & F_{cd} &:= F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.588 \\ F_{qd} &:= 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.524 & F_{\gamma d} &:= 1 \end{aligned}$$

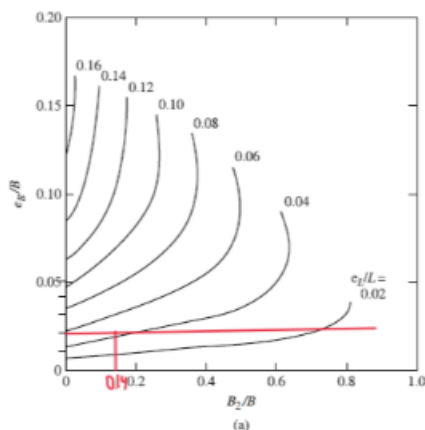
6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO:

$$e_L := \frac{M_x}{Q} = 0.138 \text{ m} \quad e_B := \frac{M_y}{Q} = 0.035 \text{ m}$$

Caso IV:  $e_L/L < \frac{1}{6}$  y  $e_B/B < \frac{1}{6}$

$$\frac{e_L}{L} = 0.046 \quad \frac{e_B}{B} = 0.019$$

PARA ENCONTRAR B2



$$B2 := 0.14 \text{ m}$$

$$L2 := 0.85 \text{ m}$$

$$A' := L2 \cdot B + \frac{1}{2} \cdot (B + B2) \cdot (L - L2) = 3.616 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L} = 1.205 \text{ m}$$

$$L' := L = 3 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE CARGA:

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.293 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.301 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (5.722 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (2.7 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.293 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS Qult. :

$$Qult := q_{utotal} \cdot B' \cdot L = (2.998 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

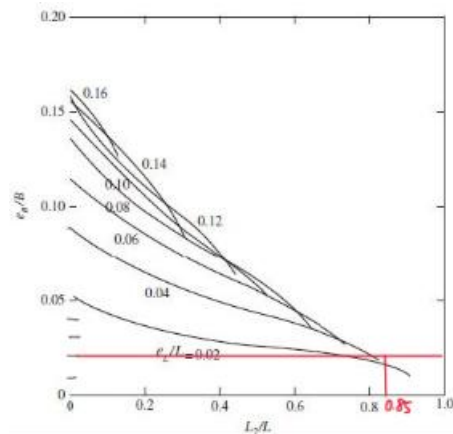
$$Qult1 := 76.08 \text{ ton}$$

$$F_s > 3$$

NO CUMPLE

$$F_s := \frac{Qult1}{Q} = 0.26$$

PARA ENCONTRAR L2



PLINTO A2

$$\begin{aligned}
 Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 B &:= 1.3 \text{ m} & & \\
 L &:= 1.3 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 D1 &:= 1.2 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\
 D2 &:= 1.8 \text{ m} & Mx &:= 55.88 \text{ ton} \cdot \text{m} \\
 c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & My &:= 8.15 \text{ ton} \cdot \text{m} \\
 & & Q &:= 1.68 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 2.308 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.725$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.815$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO :

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 33.262 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 4.851 \text{ m}$$

Caso I:  $e_L/L \geq \frac{1}{6}$  y  $e_B/B \geq \frac{1}{6}$

$$\frac{e_L}{L} = 25.586 \quad \frac{e_B}{B} = 3.732$$

$$B_1 := B \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_B}{B} \right) = -12.604 \text{ m}$$

$$L_1 := L \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_L}{L} \right) = -97.836 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot B_1 \cdot L_1 = 616.54 \text{ m}^2 \quad B' := \frac{A'}{L_1} = -6.302 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (9.284 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (3.026 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (7.373 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = -1.115 \cdot 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 9.284 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{utotal} \cdot B' \cdot L_1 = (5.724 \cdot 10^7) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 12.35 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

SI CUMPLE

$$Fs := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 7.351$$

## PLINTO B2

$$\begin{array}{ll} Df := 3 \text{ m} & y := 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B := 1.3 \text{ m} & \\ L := 1.3 \text{ m} & y_{\text{sat}} := 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 := 1.2 \text{ m} & \\ D2 := 1.8 \text{ m} & \phi := 23.5^\circ \\ c' := 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & Mx := 35.497 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & My := 5.065 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & Q := 2.21 \text{ ton} \end{array}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 2.308 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.725$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.815$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO :

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 16.062 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 2.292 \text{ m}$$

CASO I

$$\frac{e_L}{L} = 12.355 \quad \frac{e_B}{B} = 1.763$$

$$B_1 := B \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_B}{B} \right) = -4.926 \text{ m}$$

$$L_1 := L \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_L}{L} \right) = -46.236 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot B_1 \cdot L_1 = 113.869 \text{ m}^2 \quad B' := \frac{A'}{L_1} = -2.463 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (9.963 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (3.026 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (7.373 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = -4.356 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{total} := q_1 + q_2 + q_3 = 9.963 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{total} \cdot B' \cdot L_1 = (1.135 \cdot 10^7) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 12.35 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

SI CUMPLE

$$Fs := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 5.588$$

## PLINTO C2

$$\begin{array}{ll} Df := 3 \text{ m} & y := 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B := 1.3 \text{ m} & \\ L := 1.3 \text{ m} & y_{\text{sat}} := 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 := 1.2 \text{ m} & \phi := 23.5^\circ \\ D2 := 1.8 \text{ m} & Mx := 37.13 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' := 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & My := 5.11 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & Q := 4.82 \text{ ton} \end{array}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 2.308 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.725$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.815$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO :

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 7.703 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 1.06 \text{ m}$$

CASO I

$$\frac{e_L}{L} = 5.926 \quad \frac{e_B}{B} = 0.816$$

$$B_1 := B \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_B}{B} \right) = -1.23 \text{ m}$$

$$L_1 := L \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_L}{L} \right) = -21.16 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot B_1 \cdot L_1 = 13.019 \text{ m}^2 \quad B' := \frac{A'}{L_1} = -0.615 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (1.029 \cdot 10^5) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (3.026 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (7.373 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = -1.088 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{total} := q_1 + q_2 + q_3 = 10.29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{total} \cdot B' \cdot L_1 = (1.34 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 12.35 \text{ ton}$$

$F_s > 3$   
NO CUMPLE

$$F_s := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 2.562$$

## PLINTO D2

$$\begin{array}{ll} Df := 3 \text{ m} & y := 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B := 1.80 \text{ m} & \\ L := 3 \text{ m} & y_{sat} := 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 := 1.2 \text{ m} & \phi := 23.5^\circ \\ D2 := 1.8 \text{ m} & Mx := 41.64 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' := 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & My := 11.62 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & Q := 339.08 \text{ ton} \end{array}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{sat} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.293 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.261 \quad F_{qi} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.76 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 1.667 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.524$$

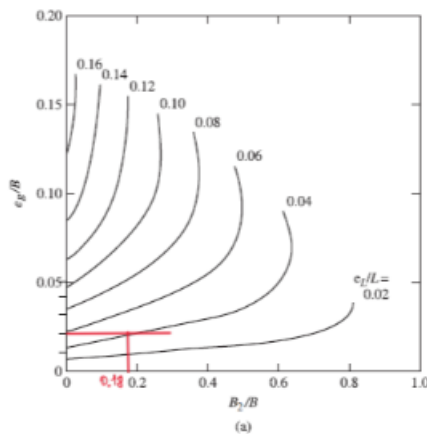
$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.588$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO :

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 0.123 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.034 \text{ m}$$

$$\frac{e_L}{L} = 0.041 \quad \frac{e_B}{B} = 0.019$$

Caso IV  
PARA ENCONTRAR B2



$$B2 := 0.18 \text{ m}$$

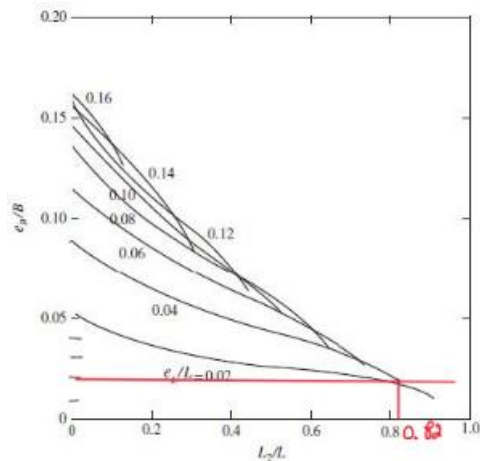
$$L2 := 0.82 \text{ m}$$

$$A' := L2 \cdot B + \frac{1}{2} \cdot (B + B2) \cdot (L - L2) = 3.634 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L} = 1.211 \text{ m}$$

$$L' := L = 3 \text{ m}$$

PARA ENCONTRAR L2



7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.295 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.301 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (5.722 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (2.714 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.295 \frac{kg}{cm^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Qult := q_{utotal} \cdot B \cdot L = (3.014 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Qult1 := 76.08 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

NO CUMPLE

$$Fs := \frac{Qult1}{Q} = 0.224$$

PLINTO E2

$$\begin{array}{ll} Df := 3 \text{ m} & y := 1469 \frac{kg}{m^3} \\ B := 1.8 \text{ m} & \\ L := 3 \text{ m} & y_{sat} := 1835 \frac{kg}{m^3} \\ D1 := 1.2 \text{ m} & \\ D2 := 1.8 \text{ m} & \phi := 23.5^\circ \\ c' := 600 \frac{kg}{m^2} & Mx := 74.63 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & My := 17.65 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & Q := 376.56 \text{ ton} \end{array}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{sat} - 1000 \frac{kg}{m^3} = 835 \frac{kg}{m^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{kg}{m^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.293 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.261 \quad F_{qi} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.76 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 1.667 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.524$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.588$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO :

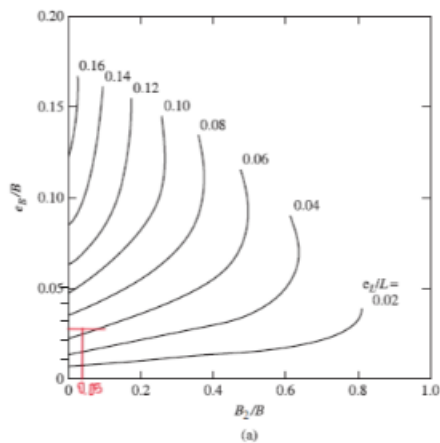
$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 0.198 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.047 \text{ m}$$

$$\frac{e_L}{L} = 0.066 \quad \frac{e_B}{B} = 0.026$$

*me*

Caso IV

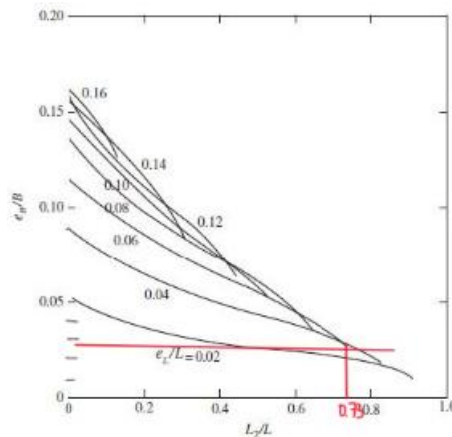
PARA ENCONTRAR B2



$$B2 := 0.05 \text{ m}$$

$$L2 := 0.73 \text{ m}$$

PARA ENCONTRAR L2



$$A' := L2 \cdot B + \frac{1}{2} \cdot (B + B2) (L - L2) = 3.414 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L} = 1.138 \text{ m}$$

$$L := L = 3 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.278 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.301 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (5.722 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (2.549 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.278 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{utotal} \cdot B' \cdot L = (2.826 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 76.08 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

NO CUMPLE

$$Fs := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 0.202$$

### PLINTO A3

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 1.5 \text{ m} & & \\ L &:= 1.5 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 &:= 1.2 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ D2 &:= 1.8 \text{ m} & Mx &:= 29.03 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & My &:= 10.54 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & & Q &:= 15.40 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{qi} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 2 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.629$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.706$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO :

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 1.885 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.684 \text{ m}$$

Caso I:  $e_L/L \geq \frac{1}{6}$  y  $e_B/B \geq \frac{1}{6}$

$$\frac{e_L}{L} = 1.257 \quad \frac{e_B}{B} = 0.456$$

$$B_1 := B \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_B}{B} \right) = 0.197 \text{ m}$$

$$L_1 := L \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_L}{L} \right) = -3.405 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot B_1 \cdot L_1 = -0.335 \text{ m}^2 \quad B' := \frac{A'}{L_1} = 0.098 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (9.822 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.845 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (6.959 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = 173.987 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 9.822 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{utotal} \cdot B' \cdot L_1 = -3.29 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 12.35 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

NO CUMPLE

$$Fs := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 0.802$$

### PLINTO B3

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 2 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ L &:= 2 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ D1 &:= 1.2 \text{ m} & Mx &:= 31.03 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ D2 &:= 1.8 \text{ m} & My &:= 11.71 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & Q &:= 28.74 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{qi} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 1.5 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{\gamma d} := 1$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.472$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.53$$

6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO :

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 1.08 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.407 \text{ m}$$

Caso I:  $e_L/L \geq \frac{1}{6}$  y  $e_B/B \geq \frac{1}{6}$

$$\frac{e_L}{L} = 0.54 \quad \frac{e_B}{B} = 0.204$$

$$B_1 := B \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_B}{B} \right) = 1.778 \text{ m}$$

$$L_1 := L \cdot \left( 1.5 - \frac{3 \cdot e_L}{L} \right) = -0.239 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot B_1 \cdot L_1 = -0.212 \text{ m}^2 \quad B' := \frac{A'}{L_1} = 0.889 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.995 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.551 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (6.288 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (1.572 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.995 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{utotal} \cdot B' \cdot L_1 = -1.911 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 12.35 \text{ ton}$$

$$F_s > 3$$

NO CUMPLE

$$F_s := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 0.43$$

### PLINTO C3

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 2.3 \text{ m} & & \\ L &:= 2.3 \text{ m} & y_{\text{sat}} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 &:= 1.20 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ D2 &:= 1.80 \text{ m} & Mx &:= 32.79 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & My &:= 11.73 \text{ ton}\cdot\text{m} \\ & & Q &:= 32.04 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{\text{sat}} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\begin{aligned} \frac{Df}{B} &= 1.304 & \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) & & F_{cd} &:= F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.53 \\ F_{qd} &:= 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.41 & & & F_{\gamma d} &:= 1 \end{aligned}$$

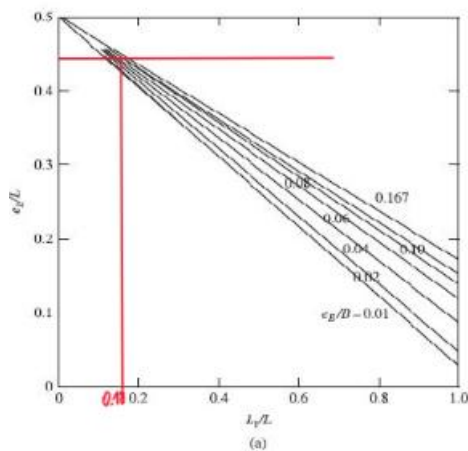
6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO:

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 1.023 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.366 \text{ m}$$

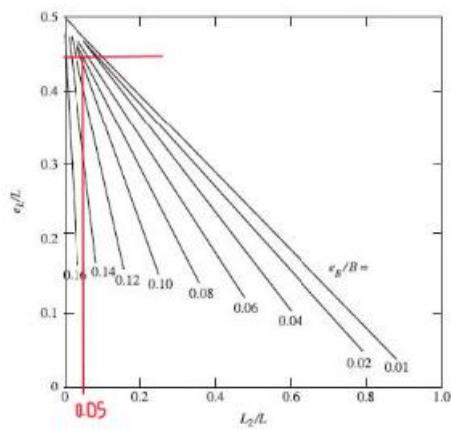
$$\frac{e_L}{L} = 0.445 \quad \frac{e_B}{B} = 0.159$$

Caso II:  $e_L/L < 0.5$  y  $0 < e_B/B < \frac{1}{6}$ .

PARA ENCONTRAR L1



PARA ENCONTRAR L2



$$L2 := 0.050 \text{ m}$$

$$L1 := 0.170 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot (L1 + L2) \cdot B = 0.253 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L1} = 1.488 \text{ m}$$

$$L' := L = 2.3 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.839 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.551 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (6.025 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (2.632 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.839 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{utotal} \cdot B \cdot L = (3.025 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 48.01 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

NO CUMPLE

$$Fs := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 1.498$$

### PLINTO D3

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 2.3 \text{ m} & & \\ L &:= 2.3 \text{ m} & y_{sat} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ D1 &:= 1.20 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ D2 &:= 1.80 \text{ m} & Mx &:= 34.80 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & My &:= 11.75 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ & & Q &:= 35.80 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{sat} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

## 5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 1.304 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right)$$

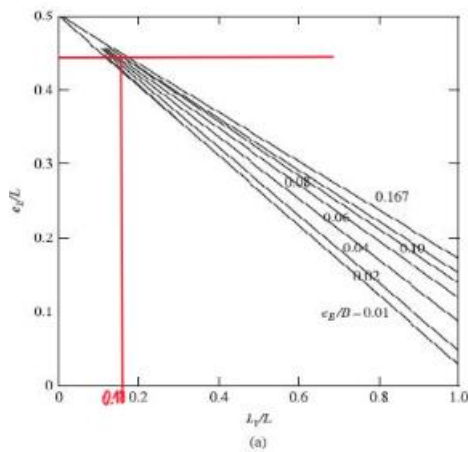
$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.41$$

$$F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.461$$

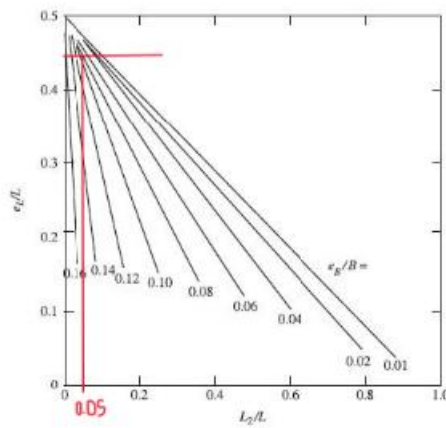
$$F_{\gamma d} := 1$$

Caso II:  $e_1/L < 0.5$  y  $0 < e_2/B < \frac{1}{6}$ .

PARA ENCONTRAR L1



PARA ENCONTRAR L2



$$L2 := 0.050 \text{ m}$$

$$L1 := 0.180 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot (L1 + L2) \cdot B = 0.265 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L1} = 1.469 \text{ m}$$

$$L' := L = 2.3 \text{ m}$$

## 7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.72 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.435 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (6.025 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (2.599 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.72 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{total} \cdot B \cdot L = (2.947 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 48.01 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

NO CUMPLE

$$Fs := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 1.341$$

### PLINTO E3

$$\begin{aligned} Df &:= 3 \text{ m} & y &:= 1469 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ B &:= 2.3 \text{ m} & y_{sat} &:= 1835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ L &:= 2.3 \text{ m} & \phi &:= 23.5^\circ \\ D1 &:= 1.20 \text{ m} & Mx &:= 36.86 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ D2 &:= 1.80 \text{ m} & My &:= 11.05 \text{ ton} \cdot \text{m} \\ c' &:= 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} & Q &:= 35.83 \text{ ton} \end{aligned}$$

1. IDENTIFICAMOS EL CASO:

CASO 1

2. DETERMINAMOS LOS VALORES PARA Y' y

$$y' := y_{sat} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q := D1 \cdot y + D2 \cdot y' = (3.266 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3. DETERMINAMOS NC, NQ, NY

$$Nq := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \cdot e^{\pi \cdot \tan(\phi)} = 9.119$$

$$Nc := \frac{\cos(\phi)}{\sin(\phi)} \cdot (Nq - 1) = 18.672$$

$$N\gamma := 2 (Nq - 1) \tan(\phi) = 7.06$$

4. DETERMINAMOS LOS FACTORES DE FORMA E INCLINACION

$$F_{cs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{Nq}{Nc} = 1.488 \quad F_{ci} := 1$$

$$F_{qs} := 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\phi) = 1.435 \quad F_{\gamma i} := 1$$

$$F_{\gamma s} := 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.6 \quad F_{qi} := 1$$

5. DETERMINAMOS FACTOR DE PROFUNDIDAD

$$\frac{Df}{B} = 1.304 \quad \left( \frac{Df}{B} \leq 1 \right) \quad F_{cd} := F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{Nc \tan(\phi)} = 1.461$$

$$F_{qd} := 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \left( \frac{Df}{B} \right) = 1.41 \quad F_{\gamma d} := 1$$

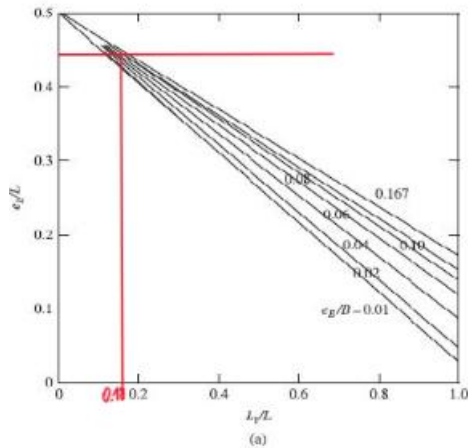
6. CALCULO DE EXCENTRICIDADES E IDENTIFICACION DEL CASO:

$$e_L := \frac{Mx}{Q} = 1.029 \text{ m} \quad e_B := \frac{My}{Q} = 0.308 \text{ m}$$

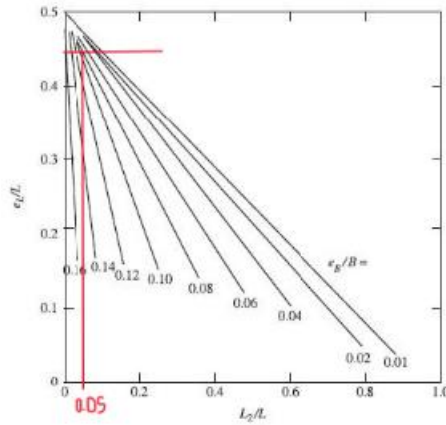
$$\frac{e_L}{L} = 0.447 \quad \frac{e_B}{B} = 0.134$$

Caso II:  $e_L/L < 0.5$  y  $0 < e_B/B < \frac{1}{6}$ .

PARA ENCONTRAR L1



PARA ENCONTRAR L2



$$L2 := 0.050 \text{ m}$$

$$L1 := 0.170 \text{ m}$$

$$A' := \frac{1}{2} \cdot (L1 + L2) \cdot B = 0.253 \text{ m}^2$$

$$B' := \frac{A'}{L1} = 1.488 \text{ m}$$

$$L' := L = 2.3 \text{ m}$$

7. DETERMINAMOS CAPACIDAD DE

$$q_u := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (8.723 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := c' \cdot Nc \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} = (2.435 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := q \cdot Nq \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} = (6.025 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_3 := \frac{1}{2} y' \cdot B' \cdot N\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} = (2.632 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{utotal} := q_1 + q_2 + q_3 = 8.723 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

8. DETERMINAMOS QU :

$$Q_{ult} := q_{utotal} \cdot B' \cdot L = (2.986 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$Q_{ult1} := 48.01 \text{ ton}$$

$$Fs > 3$$

NO CUMPLE

$$Fs := \frac{Q_{ult1}}{Q} = 1.34$$

### 1.5.9 Propuesta de cimentación profunda.

El perfil geotécnico del sitio está conformado predominantemente por suelos cohesivos de tipo arcilloso, por lo que el análisis de capacidad portante de los pilotes se realizó bajo condiciones no drenadas, empleando la cohesión no drenada  $C_u$  y el factor de adhesión  $\alpha$ , conforme al método NAVFAC.

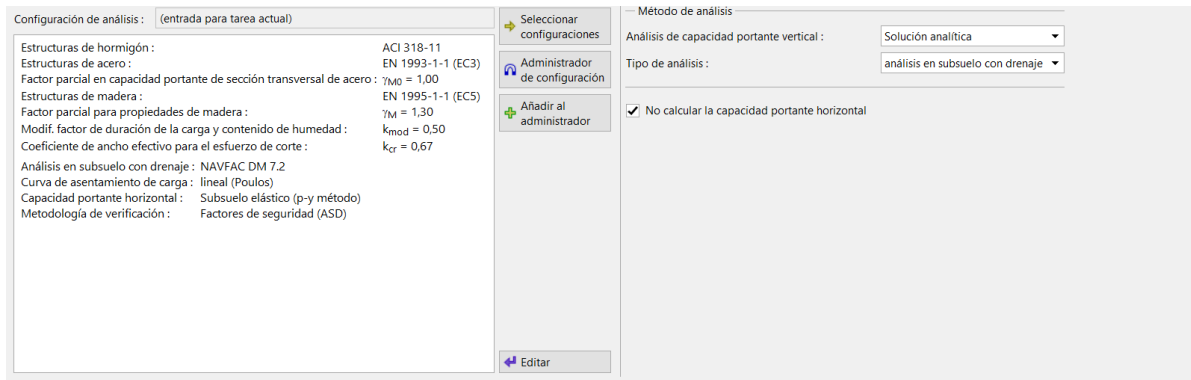


Figura 107 Configuración de normativa dentro del Software.

Fuente: Autores / Geo5

Para la configuración del pilote se procede a colocar las normativas correctas y el tipo de análisis que se desea obtener, se selecciona la casilla para que el programa no calcule la capacidad portante horizontal, ya que lo que nos interesa es la saber el asentamiento que se produce al colocar una carga portante al pilote.

Para esta parte de procede a colocar los diferentes estratos de suelo con sus respectivas profundidades.

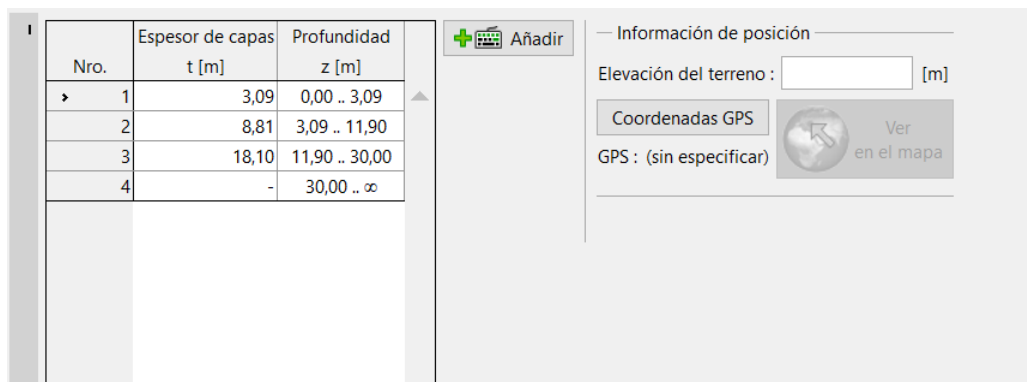


Figura 108 Implementación de espesores de suelo de la línea LS-02.

Fuente: Autores / Geo5

Tomando en la cuenta la calidad del suelo como se puede apreciar en la parte izquierda, se procede a colocar los respectivos pesos unitarios, en este caso se coloca la arcilla blanda saturada tomando en cuenta siempre la norma NAVFAC.

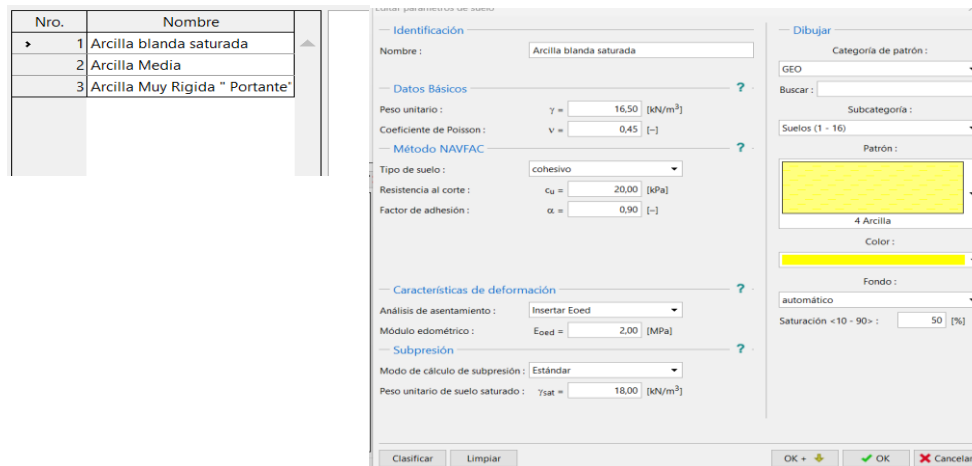


Figura 109 Digitalización de los parámetros del suelo – arcilla blanda.

Fuente: Autores / Geo5

Se procede a colocar el segundo estrato para poder hacer el análisis respectivo, que en este caso es la arcilla media, para este estrato el peso unitario es mayor al anterior esto nos dice que tiene mayor capacidad portante.

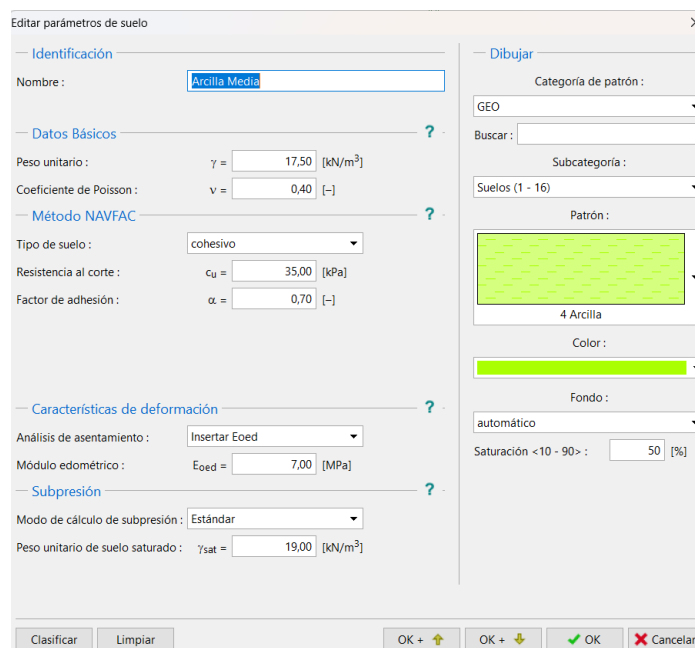


Figura 110 Digitalización de los parámetros del suelo – arcilla media.

Fuente: Autores / Geo5

Este es el tercer estrato, se procede a hacer el mismo procedimiento, la única diferencia es la profundidad y la capacidad portante del este estrato que es arcilla muy rígida, entre más profundo se analice el suelo mayor será su resistencia al corte.

Figura 111 Digitalización de los parámetros del suelo – arcilla muy rígida.

Fuente: Autores / Geo5

Acá nos queda la tabla de como quedaría los diferentes estratos con sus respectivas profundidades, se diferencia cada estrato con una regla de color.

Asignación por click-izquierdo :  
Arcilla blanda saturada

Capa	Espesor [m]	Suelo asignado
1	3,09	Arcilla blanda saturada
2	8,81	Arcilla blanda saturada
3	18,10	Arcilla Muy Rígida " Portar
4		Arcilla Muy Rígida " Portar

Figura 112 Característica de cada estrato.

Fuente: Autores / Geo5

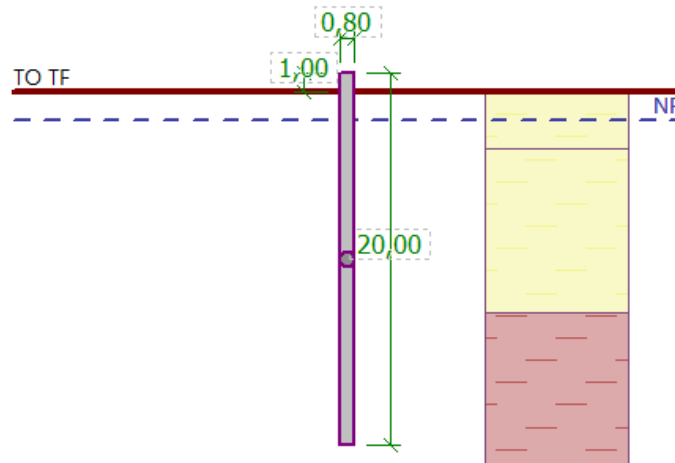


Figura 113 Detalle de cimentación profunda.

Fuente: Autores / Geo5

Resultado del pilote un situ, con su profundidad, su diámetro y su sobresaliente, de lado derecho tenemos los diferentes estratos que colocamos anteriormente.

Dimensiones básicas del pilote	
Tipo:	circular
Diámetro:	d = 0,80 [m]
Longitud:	l = 20,00 [m]
Material de pilote:	Hormigón
Tecnología:	Pilotes hincados
Ubicación del pilote	
Altura sobre terreno final (TF):	h = 1,00 [m]
Prof. del terreno final (TO-TF):	hz = 0,00 [m]

Figura 114 Geometría de pilote.

Fuente: Autores / Geo5

Verificación geométrica del pilote mediante el software, vemos que el pilote es de sección circular con su respectivo diámetro que se adoptó mediante la norma NAVFAC, también hemos que tenemos la tecnología de cómo será implementado el pilote un situ.

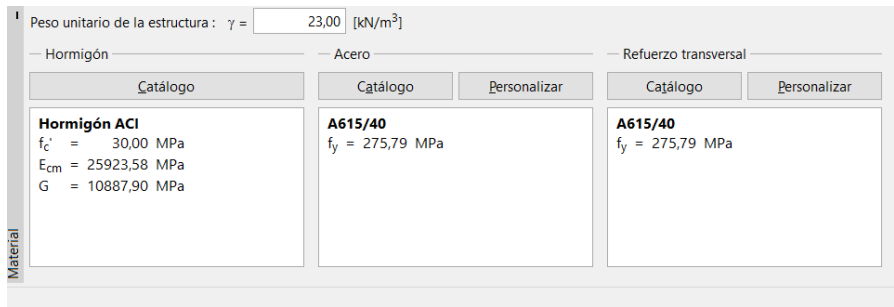


Figura 115 Especificación de material del pilote.

Fuente: Autores / Geo5

Materiales que estará constituido en nuestro pilote, vemos que tenemos aplicadas normas según ACI para el hormigón, de la misma manera para el acero y para el refuerzo transversal. Todos los valores indicados son sacados de la norma para realizar un análisis correcto.

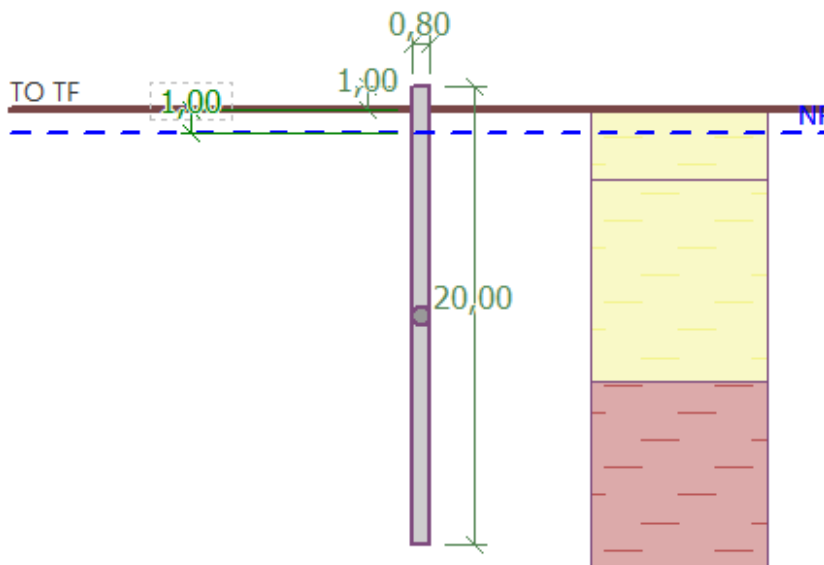


Figura 116 Especificación del nivel freático.

Fuente: Autores / Geo5

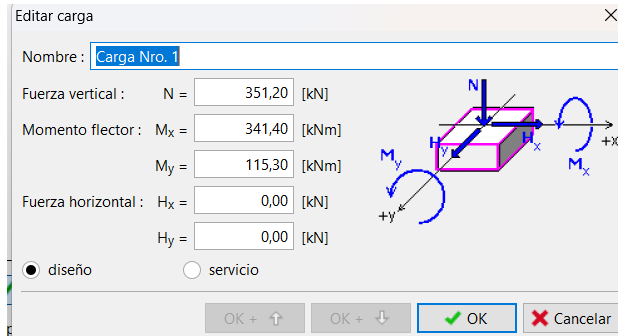


Figura 117 Características de cargas para un primer caso.

Fuente: Autores / Geo5

Para el primer escenario de estudio se adoptó la condición de carga más desfavorable, cuyo valor fue determinado a partir de los resultados presentados en la Figura 117.

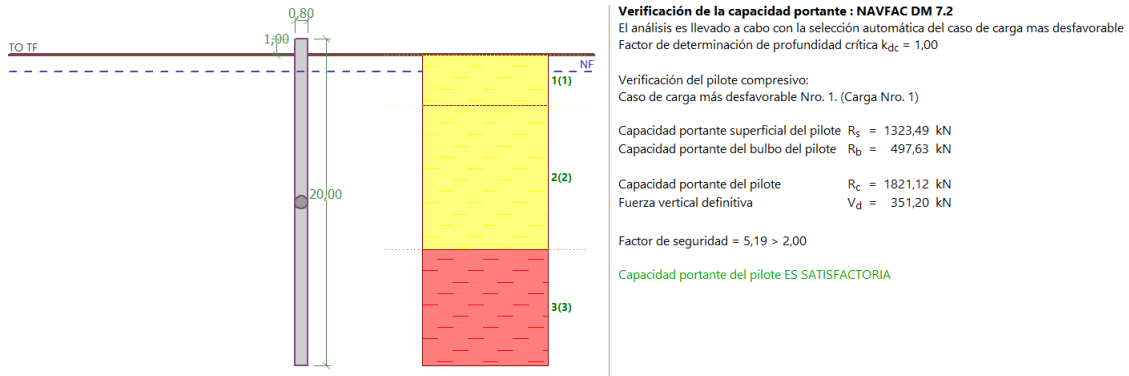


Figura 118 Resultado con carga de mayor demanda.

Fuente: Autores / Geo5

Los resultados obtenidos en este ensayo se presentan en la Figura 118, evidenciando el cumplimiento del factor de seguridad establecido.

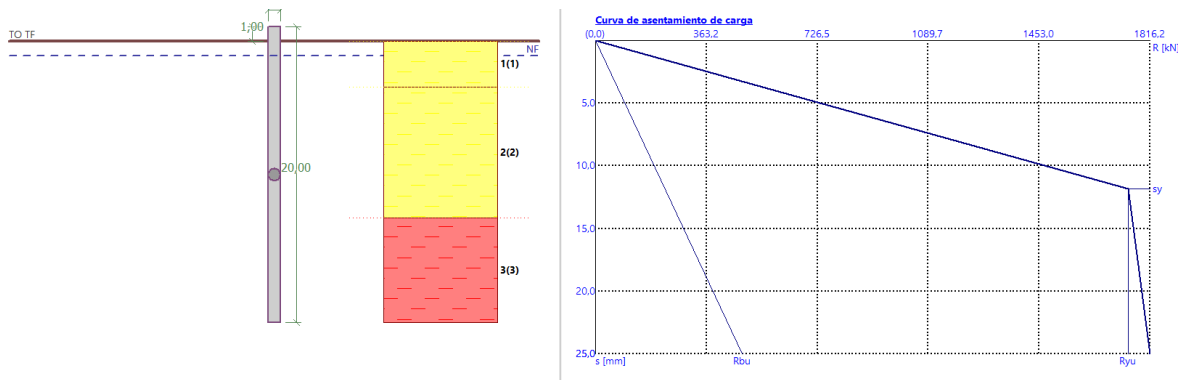


Figura 119 Curva de desplazamiento de la mayor carga.

Fuente: Autores / Geo5

Para la condición de carga de servicio evaluada, el asentamiento estimado se encuentra en un rango aproximado de 10 a 12 mm, valor que resulta considerablemente menor al asentamiento admisible adoptado de 25 mm, por lo que se cumple de manera satisfactoria el criterio de deformaciones establecido.

En este segundo escenario de análisis, se seleccionó la combinación de carga más representativa o de mayor recurrencia, identificada en la Tabla 40, la cual fue posteriormente incorporada como dato de entrada en el programa de cálculo.

Nro.	Carga nueva cambia	Nombre de carga	N [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	H <sub>x</sub> [kN]	H <sub>y</sub> [kN]	Est. Ult.
1	Si	Carga Nro. 1	273,50	304,40	115,30	0,00	0,00	✓

Figura 120 Características de cargas para un segundo caso.

Fuente: Autores / Geo5

La carga portante aplicada permitió obtener los resultados que se presentan en la Figura 121, en los cuales se evidencia que la sección transversal y la longitud adoptadas proporcionan un factor de seguridad adecuado, cumpliendo con los criterios de estabilidad establecidos.

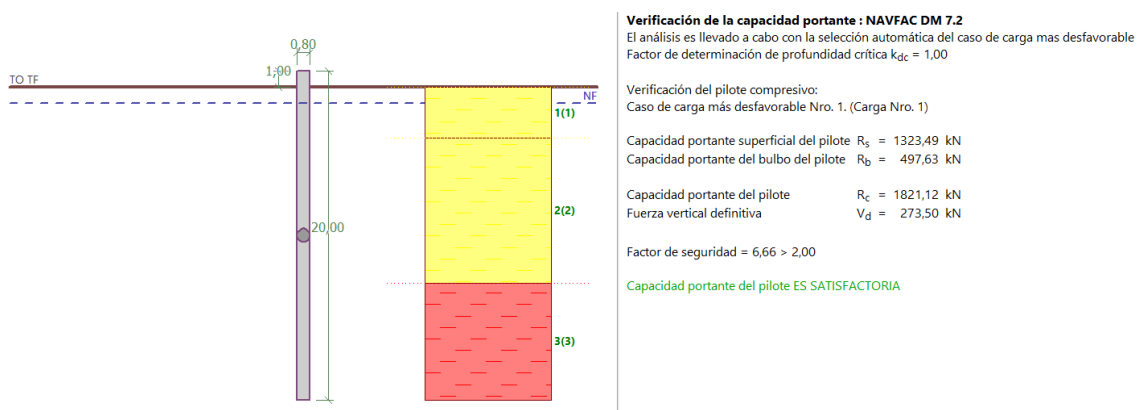


Figura 121 Resultado con la carga más frecuente.

Fuente: Autores / Geo5

Asimismo, la gráfica de desplazamientos en función de los estratos del subsuelo permite determinar que, para este segundo caso de análisis, el asentamiento estimado se encuentra en el orden de 12 a 13 mm, valor que se mantiene dentro de los límites admisibles.

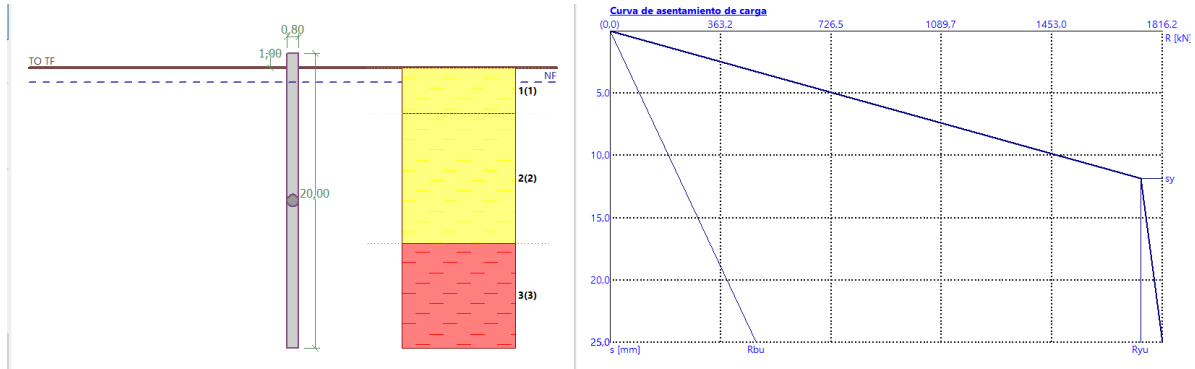


Figura 122 Curva de desplazamiento de carga frecuente.

Fuente: Autores / Geo5

La curva carga – asentamiento indica que el pilote desarrolla de manera eficiente la resistencia por fuste, sin movilizar prematuramente la resistencia de punta, lo cual es característico de pilotes correctamente dimensionados en suelos cohesivos.

Asimismo, la ausencia de cambios abruptos en la pendiente de la curva confirma que el estrato portante es adecuado y que el pilote se encuentra correctamente empotrado dentro de la capa de arcilla muy rígida, garantizando una adecuada transferencia de cargas hacia el terreno.

## 1.6 RESULTADOS

Se realizaron dos análisis, denominados Modelo 1 sin muros y Modelo 2 con muros, esta diferenciación se adoptó por su periodo de vibración el cual con el modelo 1 superaba el límite calculado en la Tabla 13, lo que evidenció la necesidad de colocar muros estructurales para reducir dicho periodo.

Mode	Estructura sin muros			Estructura con muros		
	Periodo	$\Sigma$ de torsión	% de torsión	Periodo	$\Sigma$ de torsión	% de torsión
1	1.005	0.3244	4%	0.872	0.3346	11%
2	0.843	0.4245	33%	0.5	0.582	78%
3	0.641	0.5771	100%	0.292	0.5302	5%

Tabla 41 Resumen de periodos y porcentajes de torsión.

Fuente: Autores

Según la normativa, se establece un límite del 2% para las derivas inelásticas, superar este límite implica que la estructura alza o excede su límite admisible de deformación lo que puede provocar fisuración, pérdida de rigidez y este propenso a sismos fuertes.

	Estructura sin muros	Estructura con muros
<b>Estático <math>\Delta x</math></b>	0.007247	0.001477
<b>Estático <math>\Delta y</math></b>	0.005492	0.00534
<b>Dinámico <math>\Delta x</math></b>	0.002806	0.002303
<b>Dinámico <math>\Delta y</math></b>	0.002928	0.004783
<b>Max <math>\Delta x</math></b>	3.26115	1.0363
<b>Max <math>\Delta y</math></b>	2.4714	2.1523

Tabla 42 Resumen de resultados de derivas.

Fuente: Autores

	Estructura sin muros	Estructura con muros
<b>Sismo Estático X</b>	199.54	225.6524
<b>Sismo Estático Y</b>	199.54	225.6524
<b>Sismo Dinámico X</b>	169.9605	194.6447
<b>Sismo Dinámico Y</b>	169.7617	194.2254

Tabla 43 Resumen de cortante Basal V.

Fuente: Autores

La Nec nos indica que  $< 80\%$  del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras regulares) y  $< 85\%$  del cortante basal V obtenido por el método estático (estructuras irregulares). (NEC-SE-GC, 2015),

<b>Mode</b>	<b>Estructura sin muros</b>			<b>Mode</b>	<b>Estructura con muros</b>		
<b>6</b>	81%	84%	91%	<b>7</b>	97%	99%	97%
<b>7</b>	85%	85%	91%	<b>8</b>	100%	99%	97%
<b>8</b>	87%	86%	94%	<b>9</b>	100%	99%	99%
<b>9</b>	95%	86%	95%	<b>10</b>	100%	96%	96%
<b>10</b>	96%	96%	95%	<b>11</b>	100%	96%	99%
<b>11</b>	96%	96%	99%	<b>12</b>	100%	96%	99%

Tabla 44 Resumen de masa participativa de en ambos casos.

Fuente: Autores

La mayoría de las secciones no cumplen con el factor de seguridad requerido; por lo tanto, la solución técnica consiste en incrementar las dimensiones de las secciones.

<b>Revisión de cimentación superficial</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Eje</b>	<b>Pu (Ton)</b>	<b>Mx (Ton)</b>	<b>My (Ton)</b>	<b>Fs &gt; 3</b>	<b>Estado</b>
<b>Z3</b>	B1	27.88	31.03	4.69	2.73	No cumple
<b>Z5</b>	C1	28.89	32.79	4.79	1.66	No cumple
<b>Z6</b>	D1	294.96	37.42	10.23	0.25	No cumple
<b>Z1</b>	B2	2.22	35.50	5.07	5.58	Cumple
<b>Z1</b>	C2	4.82	37.14	5.11	2.56	No cumple
<b>Z6</b>	D2	339.09	41.64	11.62	0.22	No cumple
<b>Z3</b>	B3	28.74	31.03	11.71	0.43	No cumple
<b>Z4</b>	C3	32.04	32.80	11.74	1.49	No cumple
<b>Z4</b>	D3	35.81	34.81	11.75	1.34	No cumple
<b>Z2</b>	A1	14.54	29.03	4.22	0.85	No cumple
<b>Z2</b>	A3	15.41	29.03	10.55	0.8	No cumple
<b>Z1</b>	A2	1.68	55.88	8.16	7.35	Cumple
<b>Z6</b>	E2	376.57	74.63	17.65	0.2	No cumple
<b>Z4</b>	E3	35.84	36.87	11.05	1.34	No cumple
<b>Z6</b>	E1	292.07	40.26	10.18	0.26	No cumple

Tabla 45 Resumen de geometría y factor de seguridad de cada zapata.

Fuente: Autores

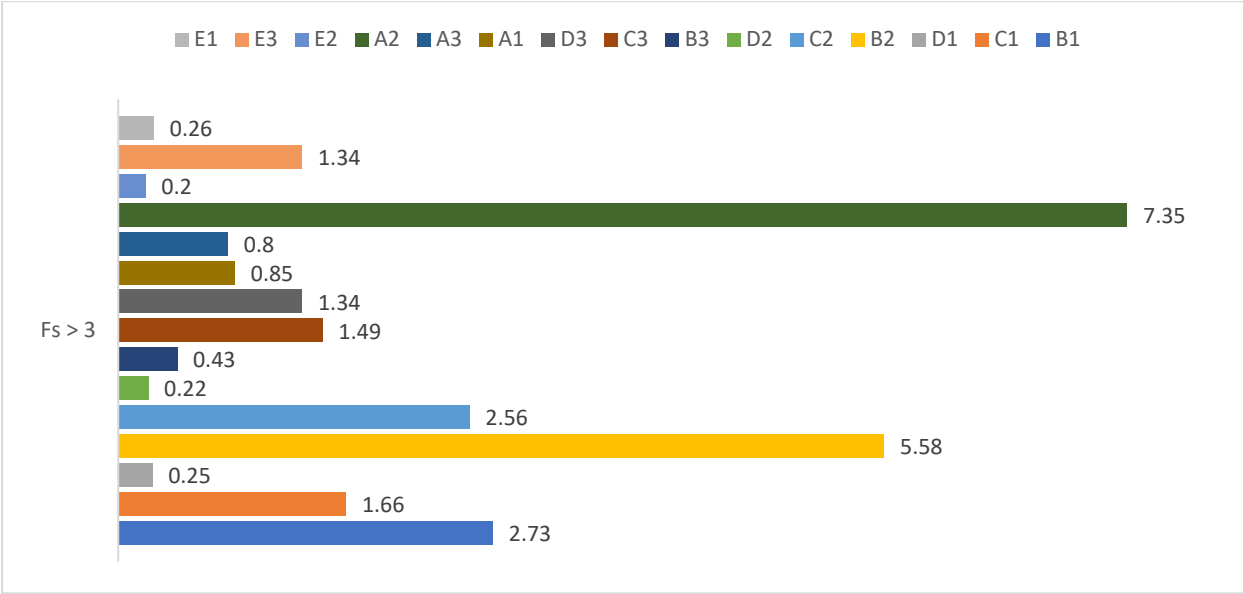


Figura 123 Factores de seguridad en cada zapata.

Fuente: Autores

## 1.7 CRONOGRAMA

N°	ACTIVIDAD	RESULTADO	TIEMPO (SEMANAS)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Estructuración y redacción preliminar del documento	Permite establecer una visión clara del proyecto y asegurar la coherencia inicial del contenido con el tema propuesto.	■														
2	Definición de Alcance y Propósito	Redacción y validación del Objetivo General, Objetivos Específicos y Justificación de la investigación.	■														
3	Visita en campo, previo a realizar estudio de suelos.	Reconocimiento del terreno es el primer paso, para localizar puntos de control y tomar fotos como registro.	■														
4	Redacción de marco hipotético, marco teórico referencial y metodología.	Revisión de literatura y fundamentación conceptual del proyecto conforme a la guía del tutor responsable.		■													
5	Ejecución de ensayo de suelo dentro del campus e informes.	Realización de trabajo en campo para obtener información del área estudiada.		■													
6	Elaboración de cronograma detallado y presupuesto.	Generación de un plan de actividades con tiempos definidos y revisión técnica de recursos requeridos.			■												
7	Exposición de anteproyecto	Explicar la estructura e idea del proyecto y toma de sugerencia del jurado.			■												
8	Entrega para revisión del Capítulo 1 y Capítulo 2 del documento para la tesis	Correcciones y ajustes de literatura y formato según las observaciones del tutor de tesis.			■	■											
9	Prediseño de estructura y cálculos de la estructura.	Obtención del predimensionamiento de la edificación planteada.				■	■										
10	Elaboración y entrega de planos estructurales	Representación gráfica de los elementos estructurales y aplicación de correcciones indicadas por el tutor.					■	■									
11	Modelación en 3D usando ETABS.	Evaluar de comportamiento estructural bajo las condiciones de carga que se le aplicarán.						■	■								
12	Entrega para revisión del Capítulo 3 y Capítulo 4.	Ajustes de contenido metodológico y análisis, incorporando correcciones de redacción y formato.							■	■							
13	Revisión de todo el documento previo a la entrega oficial.	Verificación de la coherencia, cumplimiento de normas de presentación y corrección de errores generales.									■						
14	Entrega de documentos finales	Presentación formal del documento completo para evaluación institucional.										■					
15	Preparación para la sustentación	Organización del material de apoyo y entrenamiento para la exposición oral del proyecto.											■	■			
16	Sustentación del proyecto de titulación	Presentación técnica y defensa del proyecto ante el tribunal evaluador.													■		

## 1.8 PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN					
ITEM	ENSAYOS EN SITIO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Ensayos geofísicos sísmicos de refracción.Línea sísmica de 96 ml de longitud	U	1	\$250	\$250
2	Ensayo Análisis Multicanal de Ondas Superficiales MASW, línea de 96 ml de longitud.	U	1	\$250	\$250
3	Viáticos generales para el equipo de apoyo.	GLB	1	\$250	\$250
ITEM	EQUIPOS	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Geófonos verticales 4.5 HZ -PASI	U	24	\$2.5	\$60
2	Cable de refracción sísmica para 24 canales - PASI	U	2	\$15	\$30
3	GEA24 -Sismografo de 24 canales -PASI	U	1	\$250	\$250
4	Cinta métrica de 50m tipo cruceta - TRUPER	U	1	\$20	\$20
5	EPP	GLB	1	\$15	\$15
ITEM	DOCUMENTACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Movilización semanal, para desarrollo de tesis.	SEM	10	\$20	\$200
2	Impresiones del proyecto de titulación	U	400	\$0,25	\$100
3	Anillado de documento de titulación	U	2	\$5,00	\$10
ITEM	ALIMENTACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Alimentación mensual	GLB	2	\$15,00	\$30
				<b>TOTAL</b>	<b>\$1465</b>

## CAPITULO 4

### 1.9 CONCLUSIONES

Se determinó que el perfil estratigráfico del terreno ubicado en la UPS, a lo largo de la línea sísmica LS-01, presenta un predominio de suelos arcillosos, identificándose a una profundidad aproximada de 21,19 m un estrato de mayor rigidez correspondiente a un material tipo lutita. De manera similar, en la línea LS-02 se evidenció la presencia mayoritaria de arcillas, encontrándose un estrato más competente a una profundidad cercana a 24,30 m. Los parámetros geotécnicos empleados en el análisis, detallados en el ítem 1.5.8, permitieron establecer que las zapatas superficiales no satisfacen los factores de seguridad exigidos, por lo que su uso no garantiza la estabilidad del edificio proyectado, justificándose técnicamente la adopción de un sistema de cimentación profunda mediante pilotes.

El análisis de cargas realizado conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y al ACI 318-25 permitió determinar una demanda estructural que exige un factor de seguridad mayor a 3 para las cimentaciones. En este contexto, se concluye que el diseño propuesto basado en pilotes hincados constituye una solución adecuada y eficiente para edificaciones de varios niveles, dadas las condiciones geotécnicas del sitio.

Finalmente, se estableció que el asentamiento diferencial máximo obtenido es del orden de 12 mm, con un factor de seguridad aproximado de 6, considerando la aplicación directa de cargas sobre los pilotes. Dicho valor se encuentra dentro de los límites admisibles, garantizando que la estructura no presentará afectaciones de tipo arquitectónico ni estructural asociadas a asentamientos excesivos.

## **1.10 RECOMENDACIONES**

Desde el enfoque geotécnico, los suelos asociados a estos depósitos presentan, en general, condiciones desfavorables, tales como baja capacidad de soporte y comportamiento plástico elevado, lo que limita su idoneidad como material de relleno estructural o como estrato portante directo para cimentaciones. En caso de que su aprovechamiento resulte inevitable, será necesario implementar medidas de mejoramiento del terreno, entre las que se incluyen el reemplazo del material, la compactación controlada o la estabilización del suelo.

No obstante, previo al inicio de cualquier obra, se considera altamente recomendable la ejecución de un ensayo de penetración estática (CPT), con el fin de caracterizar con mayor precisión la estratigrafía y las propiedades mecánicas del subsuelo. La concordancia de estos resultados con los ensayos realizados permitiría confirmar la susceptibilidad del suelo a presentar asentamientos, particularmente de tipo diferencial.

Adicionalmente, desde el punto de vista estructural, se sugiere optimizar las dimensiones de columnas, vigas y losas, dado que el peso propio de la edificación se transmite

directamente a la cimentación. Un incremento innecesario de la masa estructural puede comprometer el desempeño del suelo de apoyo, favoreciendo la aparición de asentamientos excesivos y diferenciales, con posibles efectos adversos sobre el comportamiento de la estructura.

### **1.11 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

ACI, A. (2019). American Concrete Institute.

Bowles, J. (1996). *Foundation Alaysis and Deding* (5th ed.). McGraw-Hill.

Careaga Arriagada, J. (2016). Aplicación de métodos geofísicos no invasivos para la caracterización del subsuelo.

Coduto, D., Kitch, W., & Yeung, M. (2019). *Foundation Design: Principles and Practices (Diseño de Cimentaciones: Principios y Prácticas)*. Pearson.

D5777, A. (2018). Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation. *ASTM International*.

DAS, B. (2016). Principio de Ingeniería de Cimentaciones (8va ed.). Cengage Learning.

Das, B. M. (2011). Principios de ingeniería de cimentaciones (7.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning.

Escalona Medina, J. (2016). Aplicación de métodos sísmicos de ondas superficiales (MASW y ReMi) para la caracterización del subsuelo.

Gazetas, G. (1991). Formulas and charts for impedances of surface and embedded foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*.

Hightet, J., & Anders, R. (1985). *Analysis of eccentrically loaded footings*. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*.

HOLCIM. (s.f.). *HOLCIM*. Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/concreto-ultra-series-pilotes>

- KELLER. (s.f.). *Pilotes perforados y muros de pilotes (pilotes "in situ")*. Obtenido de <https://www.keller.com>
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.
- LLC, E. S. (21 de Junio de 2025). *ESC Steel LLC*. Obtenido de <https://es.escsteel.com/post/diferentes-tipos-de-cimientos-de-pilotes-utilizados-en-la-construcci%C3%B3n>
- López Ávalos, J., Mejía Carrillos, A., & Vega, F. (2008). Aplicación del método MASW en estudios de reflexión y refracción sísmica.
- Meyerhof, G. (1963). *Some recent research on the bearing capacity of foundations*. Canadian Geotechnical Journal.
- MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-GC, NEC-SE-DS, NEC-SE-CG)*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. .
- Naranjo Aguay, M., & Dranichnikov, A. (2012). Estimación de parámetros geotécnicos del suelo a partir de velocidades de onda de corte obtenidas mediante métodos sísmicos.
- NEC-SE-DS. (2015). PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE. En N. N. CONSTRUCCIÓN. MIDUVI.
- NEC-SE-GC. (2015). *Geotécnica y cimentaciones*. MIDUVI.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-GC, NEC-SE-DS, NEC-SE-CG). (2015). En MIDUVI, *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Park, C., Miller, R., & Xia, J. (s.f.). Multichannel analysis of surface waves (MASW). Geophysics.
- Rivas Lucero, M. (2016). Caracterización geotécnica del subsuelo mediante el método MASW.
- Robertson, P., & Cabal, K. (2010). *Guide to Cone Penetration Testing*. Gregg Drilling.
- Seed, H., & Idriss, I. (1983). *Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses*. Earthquake Engineering Research Center.

Silva, V. M. (2012). *CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE FRICCIÓN*. México: UNAM.

Terzaghi, K., Peck, R., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice (3rd ed.)*. John Wiley & Sons.

Tezcan, S., Keceli, A., & Özdemir, Z. (2009). *Seismic technique for determining the allowable bearing pressure in soils*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering.

Tomlinson, M., & Woodward, J. (2015). *Pile Design and Construction Practice (6th ed.)*. CRC Press.

## CAPITULO 5

### 1.12 ANEXOS



*Figura 124 Condiciones actuales del sitio del proyecto.*

*Fuente: Autores*



*Figura 125. Vista en planta actual del terreno analizado.*

*Fuente: Autores*



*Figura 126 Trazado de primera línea sísmica LS-01.*

*Fuente: Autores*



*Figura 127 Colocación de geófonos.*

*Fuente: Autores*



*Figura 128 Impacto sísmico en línea LS-01*

*Fuente: Autores*



*Figura 129 Segunda línea sísmica LS-02.*

*Fuente: Autores*



*Figura 130 Impacto sísmico en línea LS-02.*

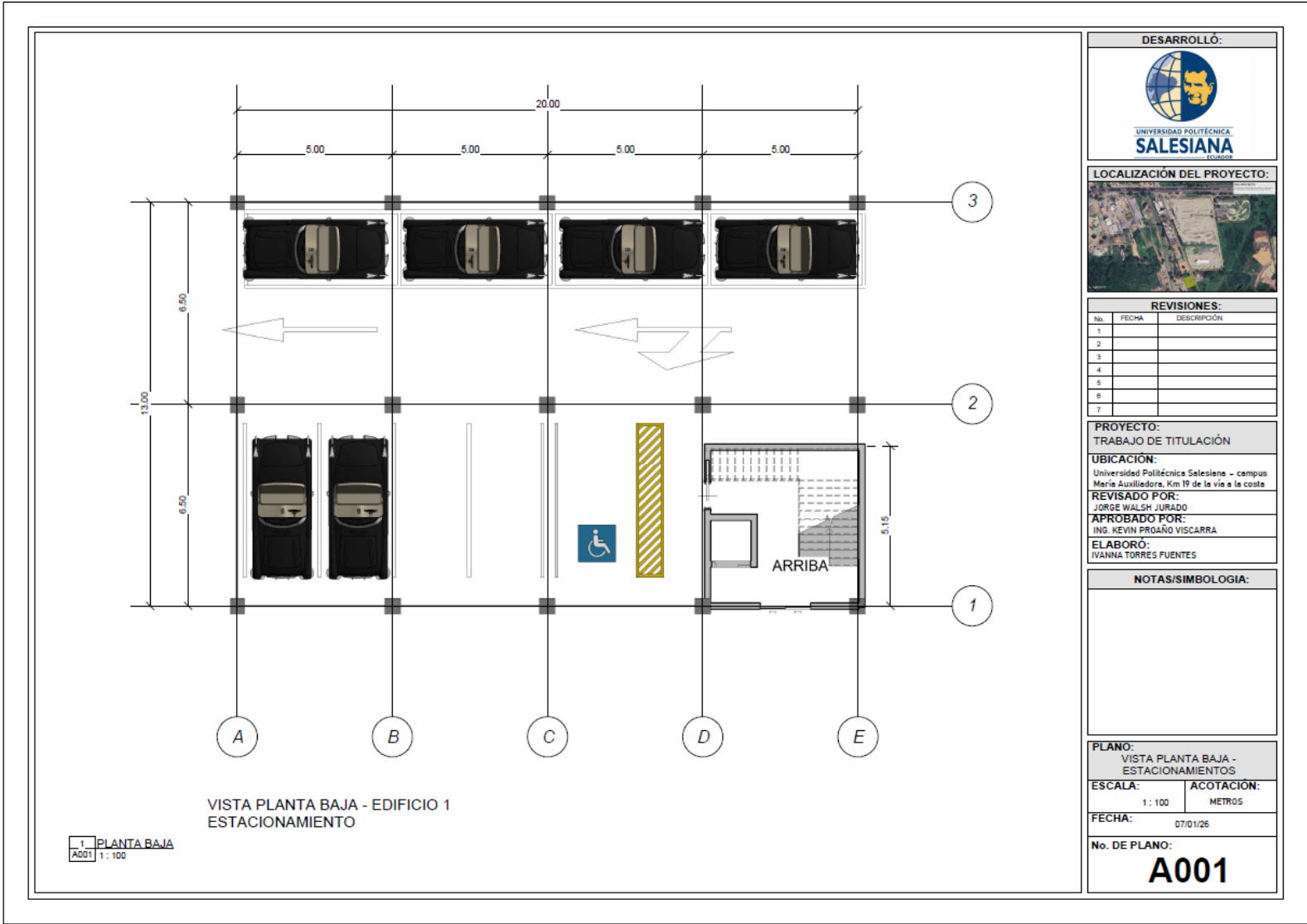
*Fuente: Autores*

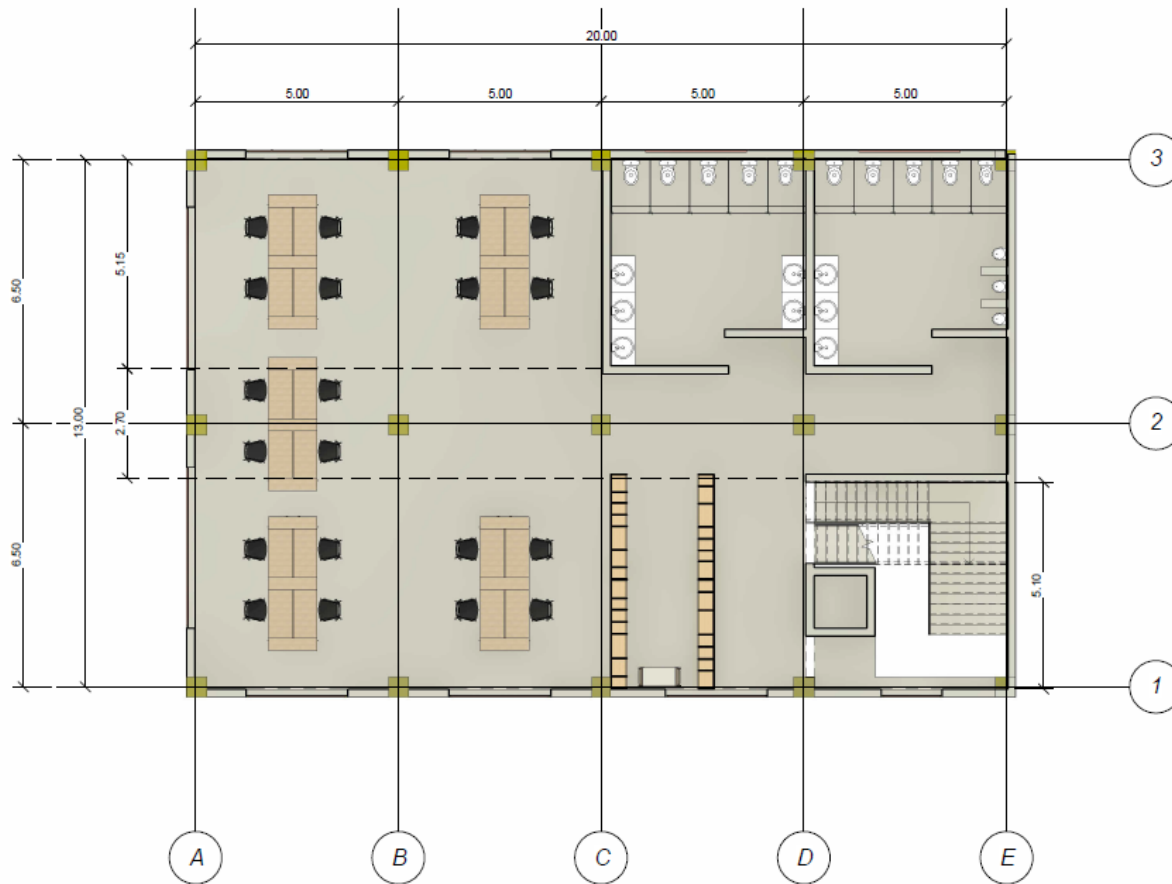


*Figura 131 Estrato de suelo superficial.*

*Fuente: Autores*

1.12.1 Planos de vista en planta, edificio 1.





VISTA PLANTA PRIMER NIVEL - EDIFICIO 1  
BIBLIOTECA

1 NIVEL 1  
A002 1 : 100

DESARROLLÓ:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
**SALESIANA**  
Ecuador

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:



REVISIONES:

No.	FECHA	DESCRIPCIÓN
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

PROYECTO:  
TRABAJO DE TITULACIÓN

UBICACIÓN:  
Universidad Politécnica Salesiana - campus  
Merla Auxiliadora, Km 19 de la vía a la costa

REVISADO POR:  
JORGE WALSH JURADO

APROBADO POR:  
ING. KEVIN PROAÑO VISCARRA

ELABORÓ:  
IVANNA TORRES FUENTES

NOTAS/SIMBOLOGIA:

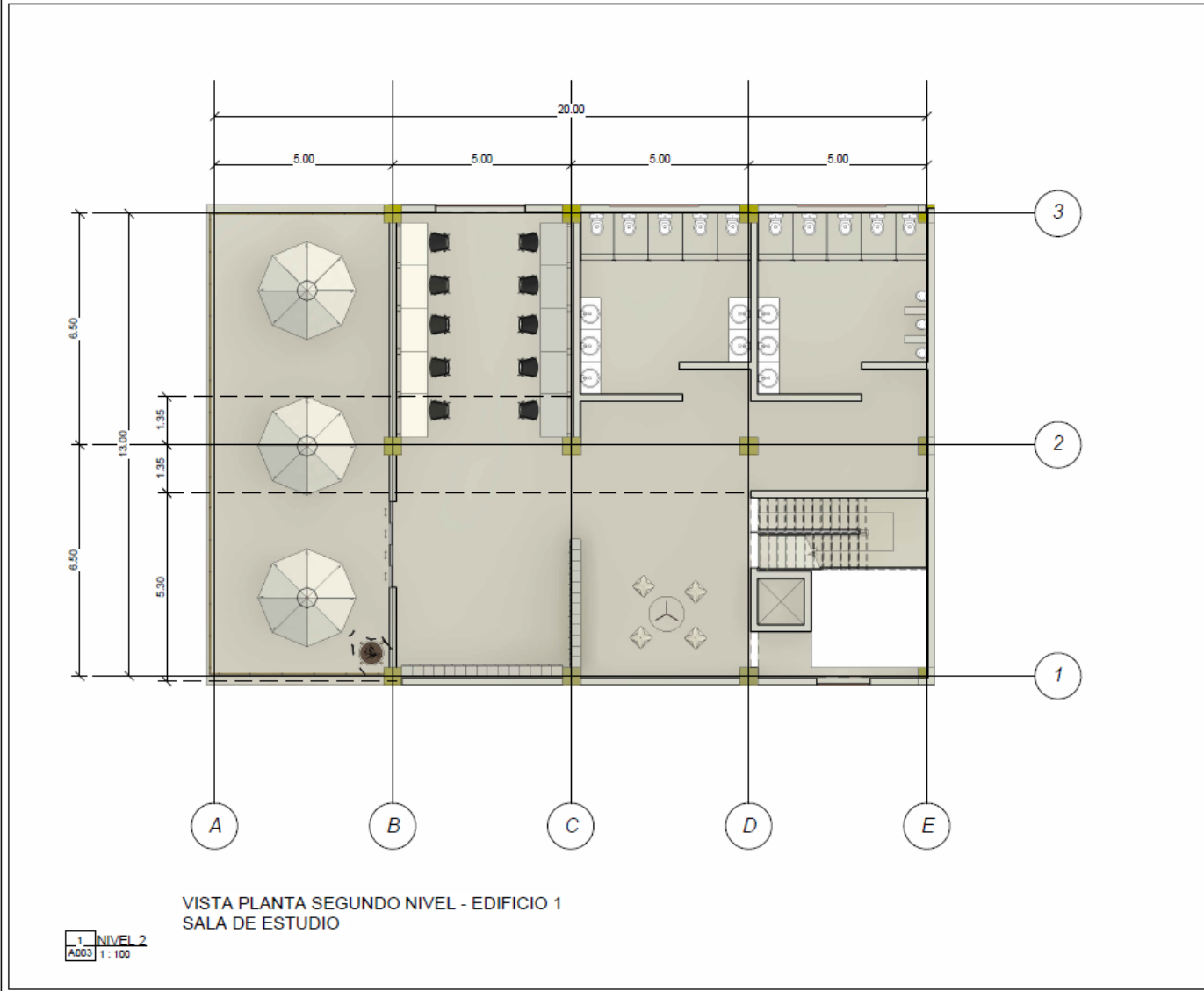
PLANO:  
VISTA PLANTA NIVEL 1 -  
BIBLIOTECA

ESCALA: 1 : 100 ACOTACIÓN:  
METROS

FECHA: 01/07/26

No. DE PLANO:

**A002**



DESARROLLÓ:



LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:



REVISIONES:

No.	FECHA	DESCRIPCION
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

PROYECTO:  
TRABAJO DE TITULACIÓN

UBICACIÓN:  
Universidad Politécnica Salesiana - campus  
Merla Auxiliadora, Km 19 de la vía a la costa

REVISADO POR:  
JORGE WALSH JURADO

APROBADO POR:  
ING. KEVIN PROAÑO VISCARRA

ELABORÓ:  
IVANNA TORRES FUENTES

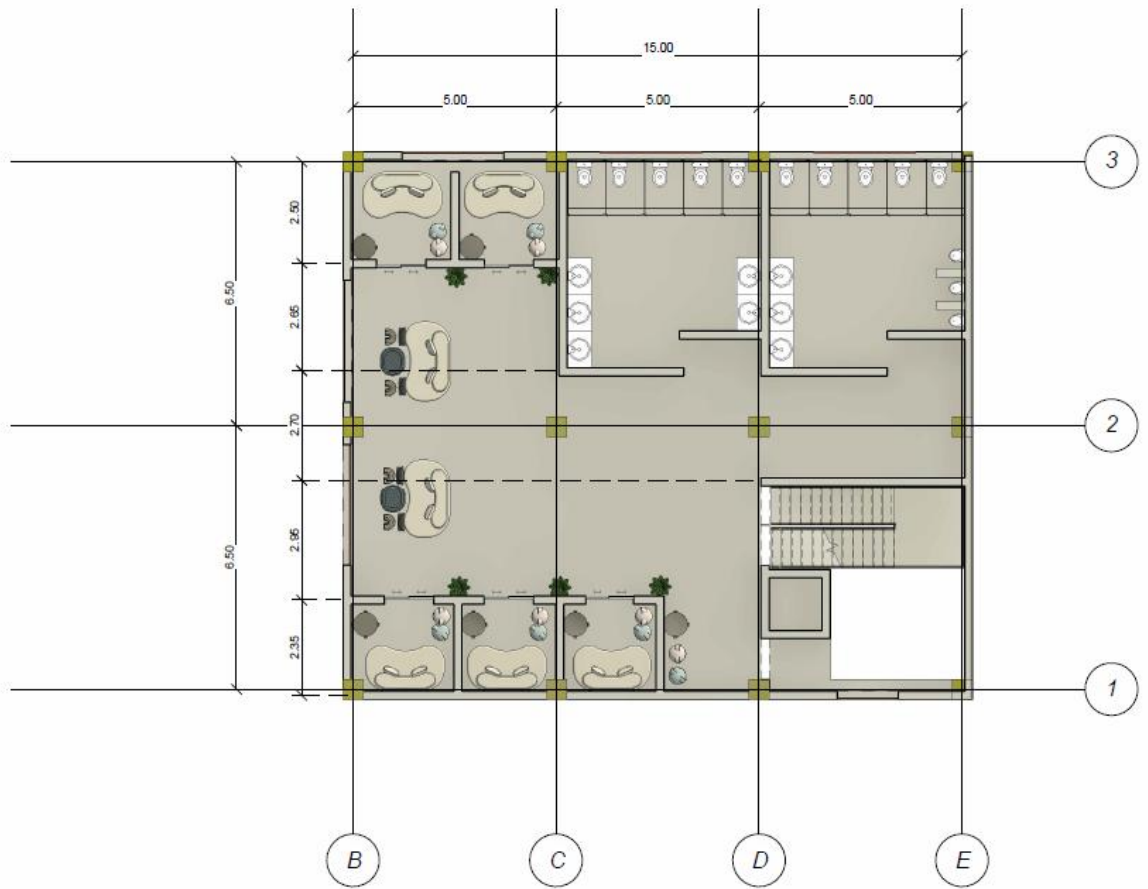
NOTAS/SIMBOLOGIA:

PLANO:  
VISTA PLANTA NIVEL 2 -  
SALA DE ESTUDIO

ESCALA: 1:100      ACOTACIÓN:  
METROS

FECHA: 01/07/26

No. DE PLANO:  
**A003**



VISTA PLANTA TERCER NIVEL - EDIFICIO 1  
SALA DE DESCANSO

1 NIVEL 3  
A004 1:100

DESARROLLÓ:



LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:



REVISIONES:

Nº.	FECHA	DESCRIPCIÓN
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

PROYECTO:  
TRABAJO DE TITULACIÓN

UBICACIÓN:  
Universidad Politécnica Salesiana - campus  
María Auxiliadora, Km 19 de la vía a la costa

REVISADO POR:  
JORGE WALSH JURADO

APROBADO POR:  
ING. KEVIN PROAÑO VISCARRA

ELABORÓ:  
IVANNA TORRES FUENTES

NOTAS/SIMBOLOGÍA:

PLANO:  
VISTA PLANTA NIVEL 3 -  
SALA DE DESCANSO

ESCALA: 1:100 ACOTACIÓN:  
METROS

FECHA: 01/07/26

No. DE PLANO:

**A004**

1.12.2 Modelo tridimensional y detalles internos del edificio 1.

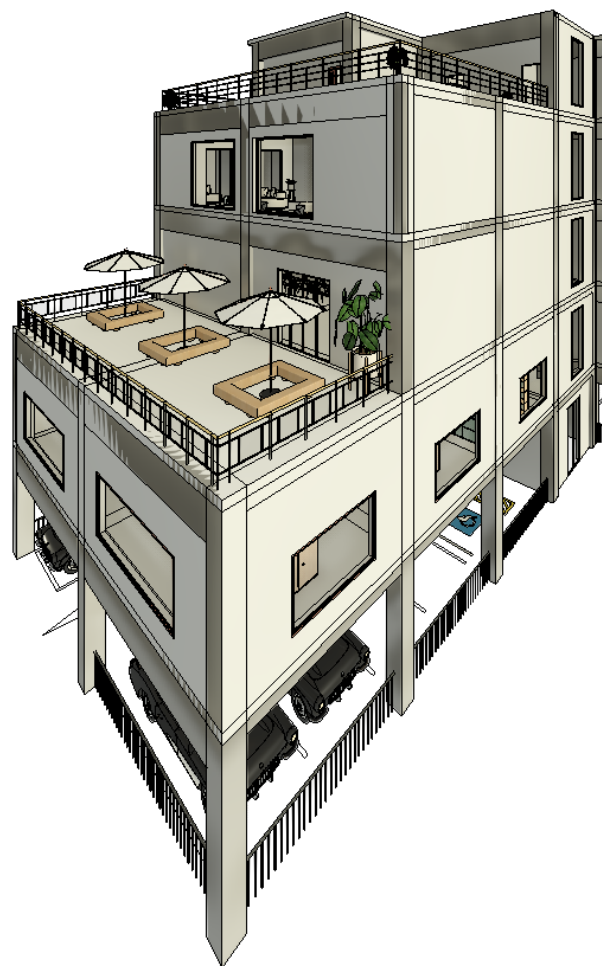
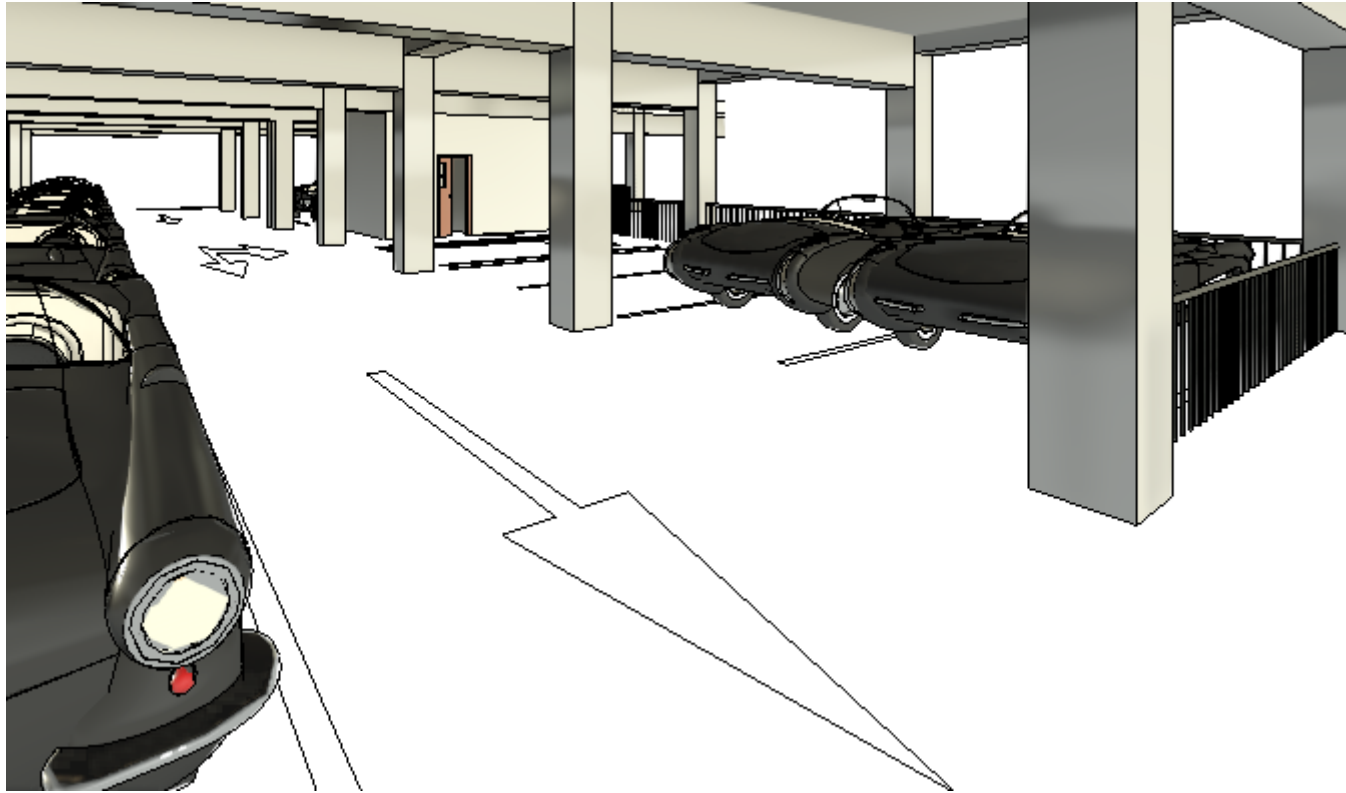


Figura 132 Vista del modelo 3D del Edificio 1

Fuente: Autores / Revit 2024



*Figura 133 Visualización de planta baja, Edificio 1*

*Fuente: Autores / Revit 2024*



*Figura 134 Visualización interna de nivel 1 – Biblioteca*

*Fuente: Autores / Revit 2024*



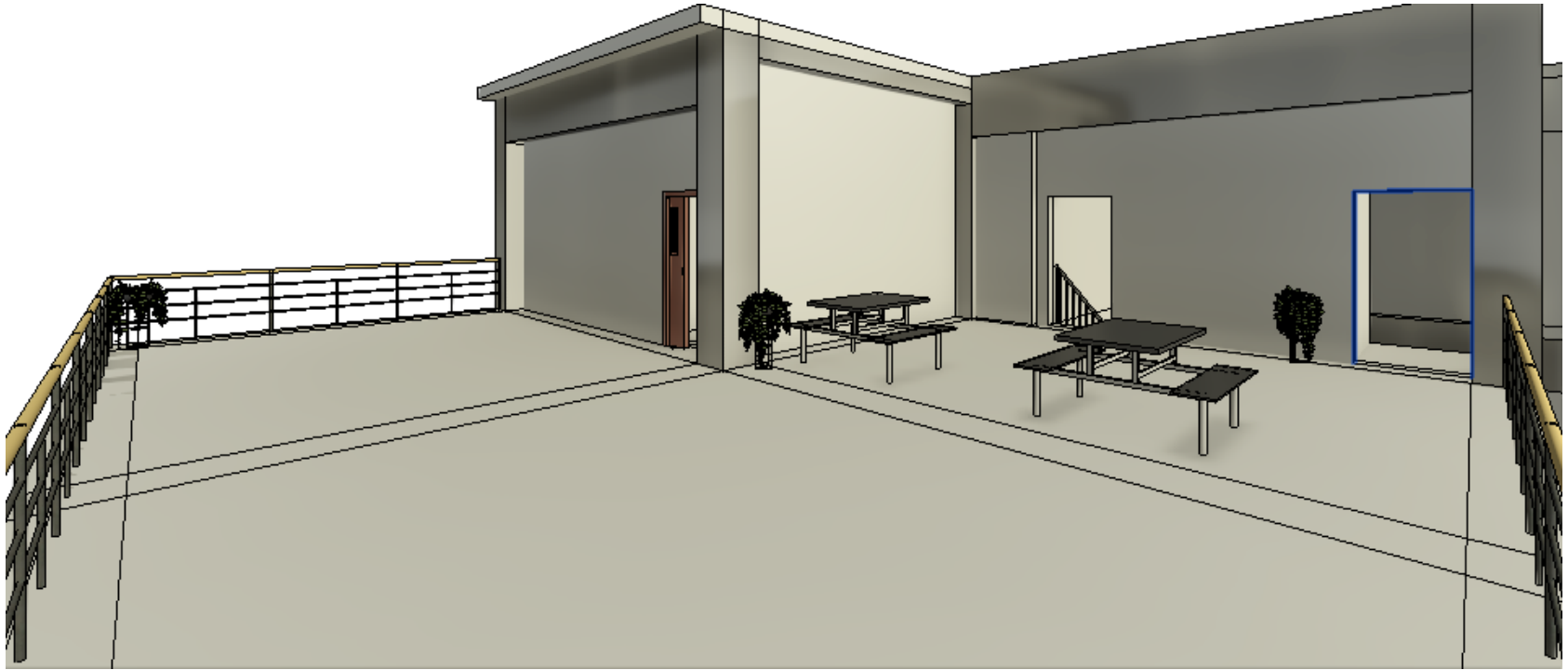
*Figura 135 Visualización interna y externa nivel 2 - sala de estudio.*

*Fuente: Autores / Revit 2024*



*Figura 136 Visualización interna nivel 3 -sala de descanso.*

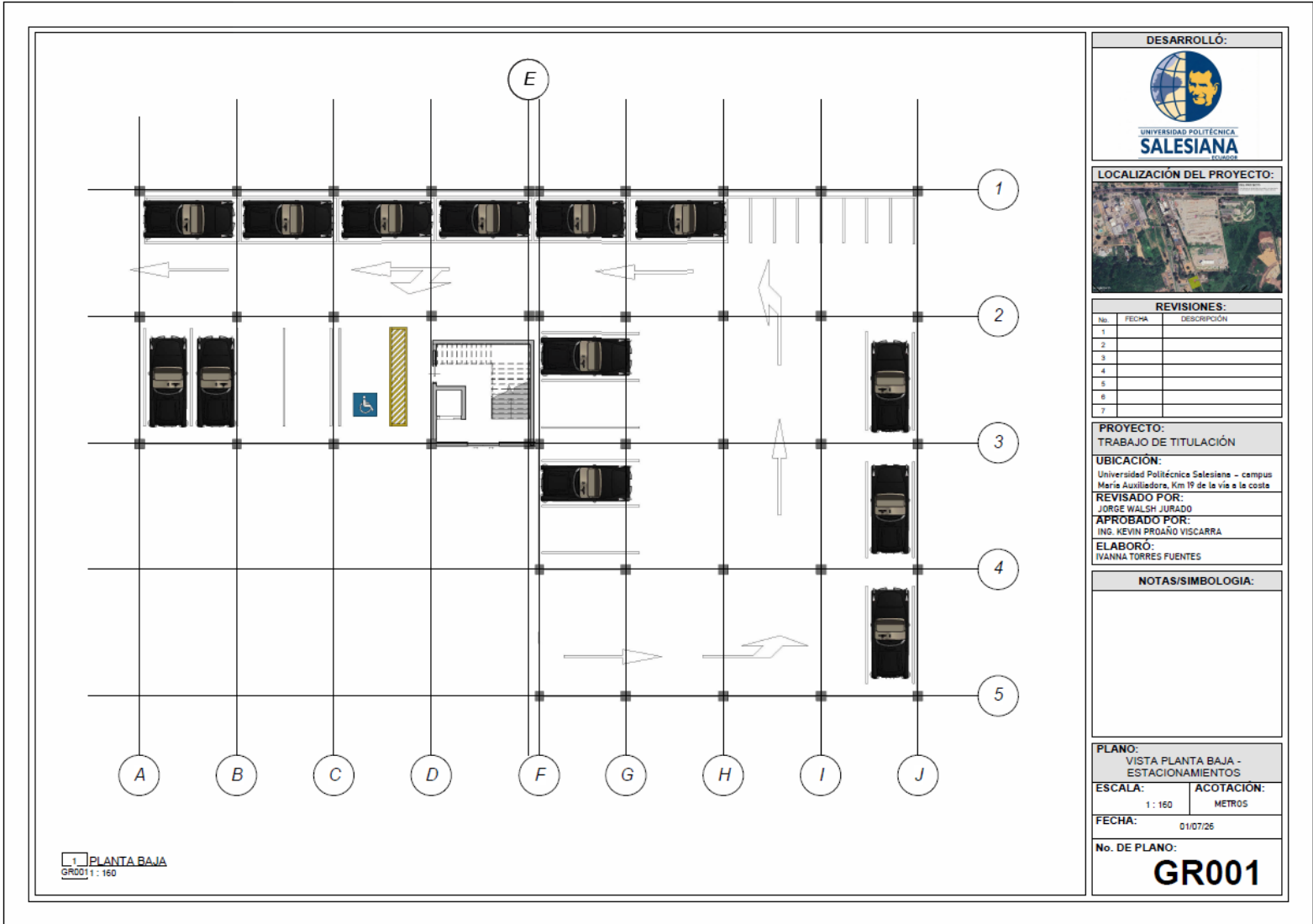
*Fuente: Autores / Revit 2024*

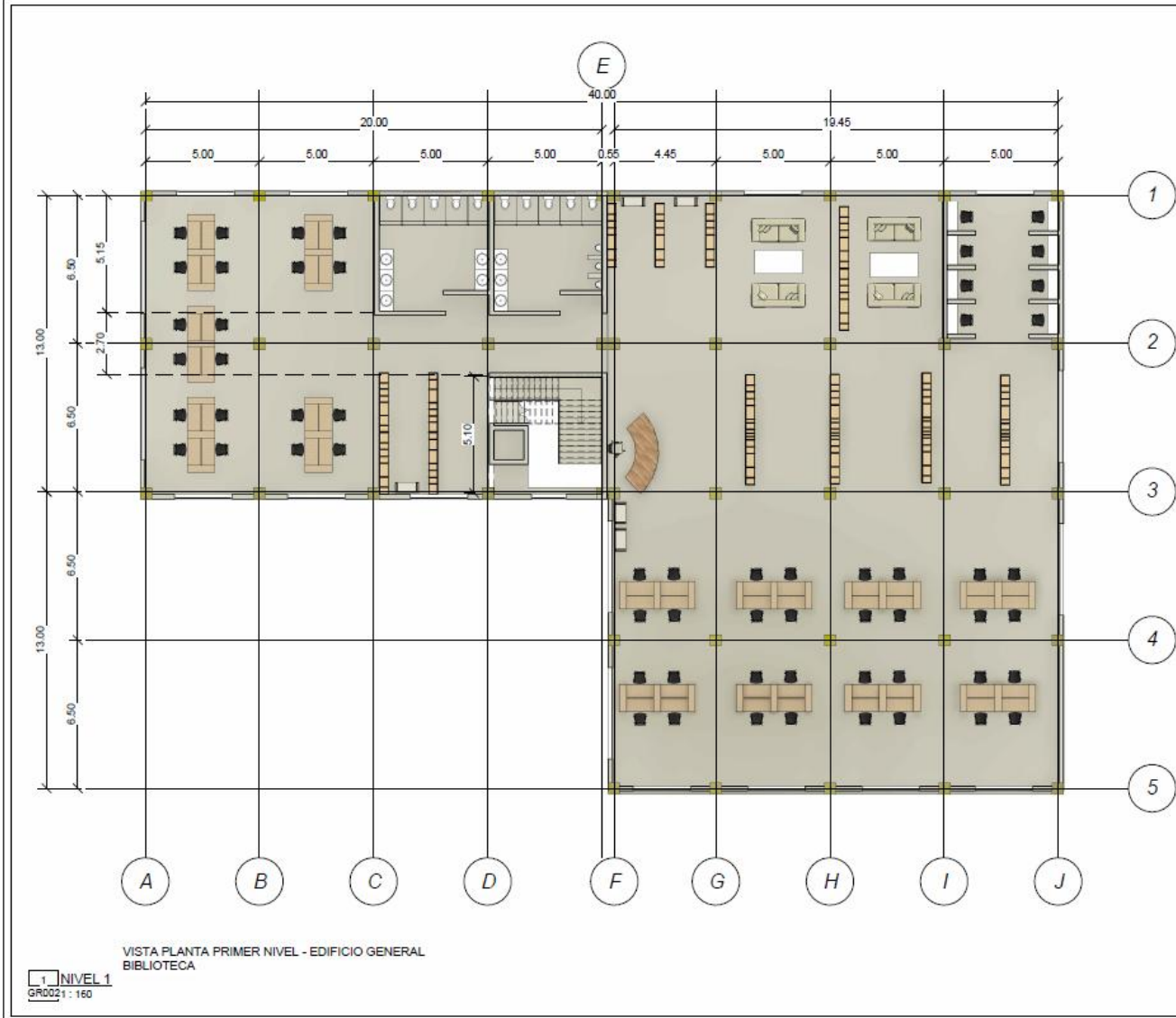


*Figura 137 Visualización externa nivel 4 - terraza.*

*Fuente: Autores / Revit 2024*

1.12.3 Vista en planta de edificación general, primera propuesta






VISTA PLANTA PRIMER NIVEL - EDIFICIO GENERAL  
BIBLIOTECA


**1 NIVEL 1**  
GR0021: 160

**DESARROLLÓ:**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
**SALESIANA**  
Ecuador

**LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:**



**REVISIONES:**

Nº.	FECHA	DESCRIPCIÓN
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

**PROYECTO:**  
TRABAJO DE TITULACIÓN

**UBICACIÓN:**  
Universidad Politécnica Salesiana - campus  
María Auxiliadora, Km 19 de la vía a la costa

**REVISADO POR:**  
JORGE WALSH JURADO

**APROBADO POR:**  
ING. KEVIN PROAÑO VISCARRA

**ELABORÓ:**  
IVANNA TORRES FUENTES

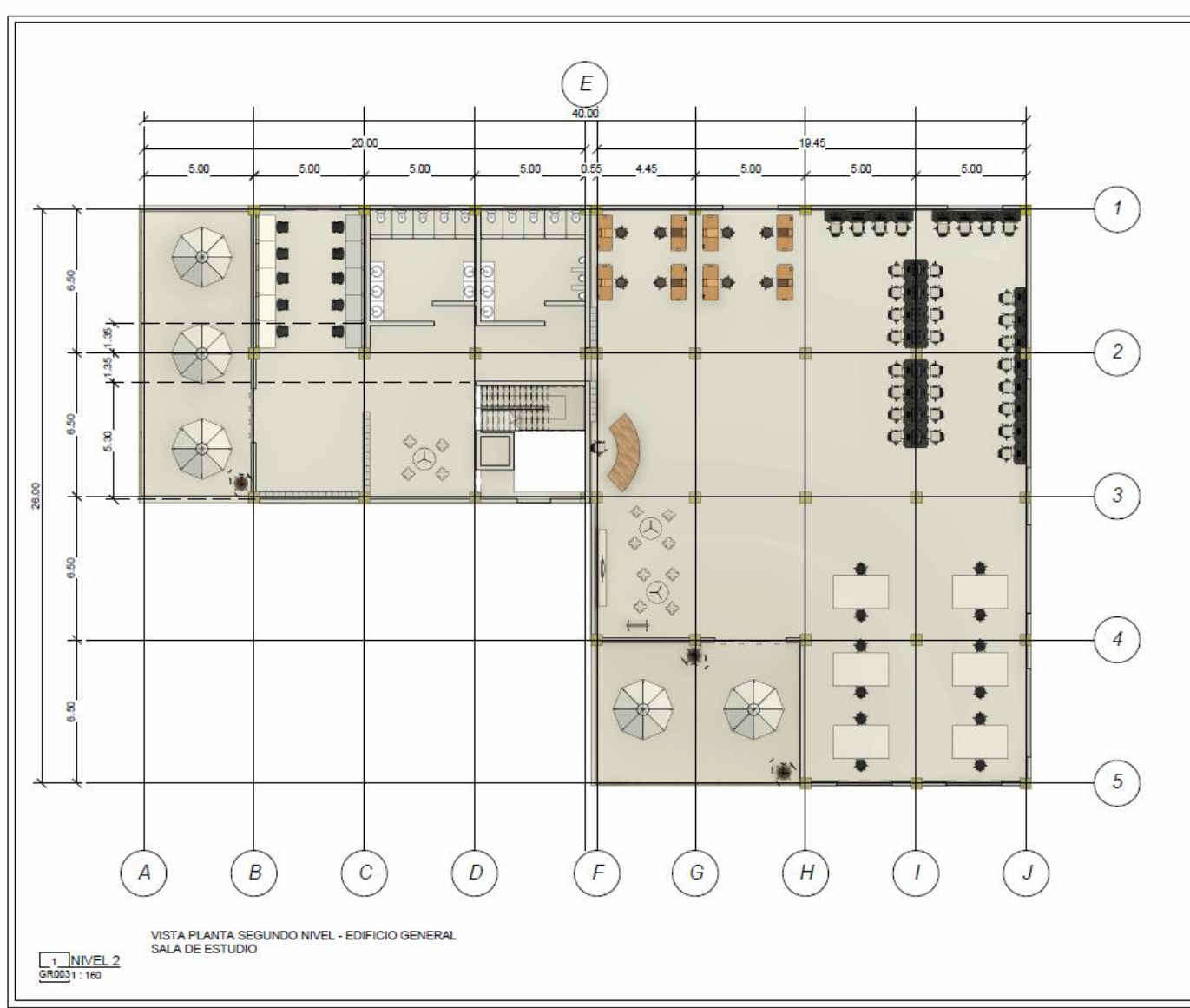
**NOTAS/SIMBOLOGIA:**

**PLANO:**  
VISTA PLANTA NIVEL 1 -  
BIBLIOTECA

<b>ESCALA:</b> 1 : 160	<b>ACOTACIÓN:</b> METROS
---------------------------	-----------------------------

**FECHA:** 01/07/26

**No. DE PLANO:**  
**GR002**



DESARROLLÓ:



LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:



REVISIONES:

No.	FECHA	DESCRIPCION
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

PROYECTO:  
TRABAJO DE TITULACIÓN

UBICACIÓN:  
Universidad Politécnica Salesiana - campus María Auxiliadora, Km 19 de la vía a la costa

REVISADO POR:  
JORGE WALSH JURADO

APROBADO POR:  
ING. KEVIN PROAÑO VISCARRA

ELABORÓ:  
IVANNA TORRES FUENTES

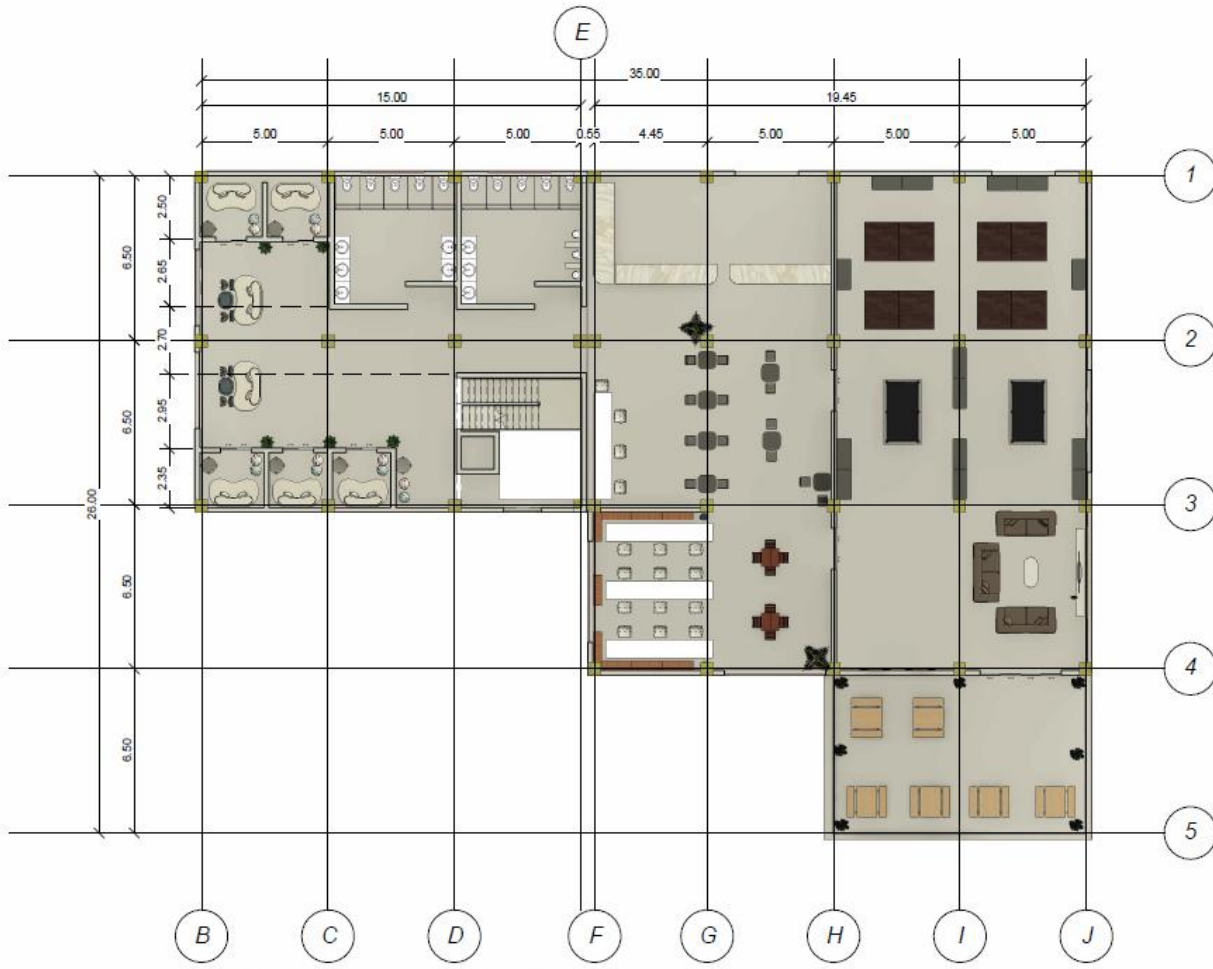
NOTAS/SIMBOLOGIA:

PLANO:  
VISTA PLANTA NIVEL 2 - SALA DE ESTUDIO

ESCALA: 1:160 METROS

FECHA: 01/07/26

No. DE PLANO:  
**GR003**



VISTA PLANTA TERCER NIVEL - EDIFICIO GENERAL  
SALA DE DESCANSO

1 NIVEL 3  
GR0041 : 160

DESARROLLÓ:



LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:



REVISIONES:

No.	FECHA	DESCRIPCIÓN
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

PROYECTO:  
TRABAJO DE TITULACIÓN

UBICACIÓN:  
Universidad Politécnica Salesiana - campus  
María Auxiliadora, Km 19 de la vía a la costa

REVISADO POR:  
JORGE WALSH JURADO

APROBADO POR:  
ING. KEVIN PROAÑO VISCARRA

ELABORÓ:  
IVANNA TORRES FUENTES

NOTAS/SIMBOLOGIA:

PLANO:  
VISTA PLANTA NIVEL 3 -  
SALA DE DESCANSO

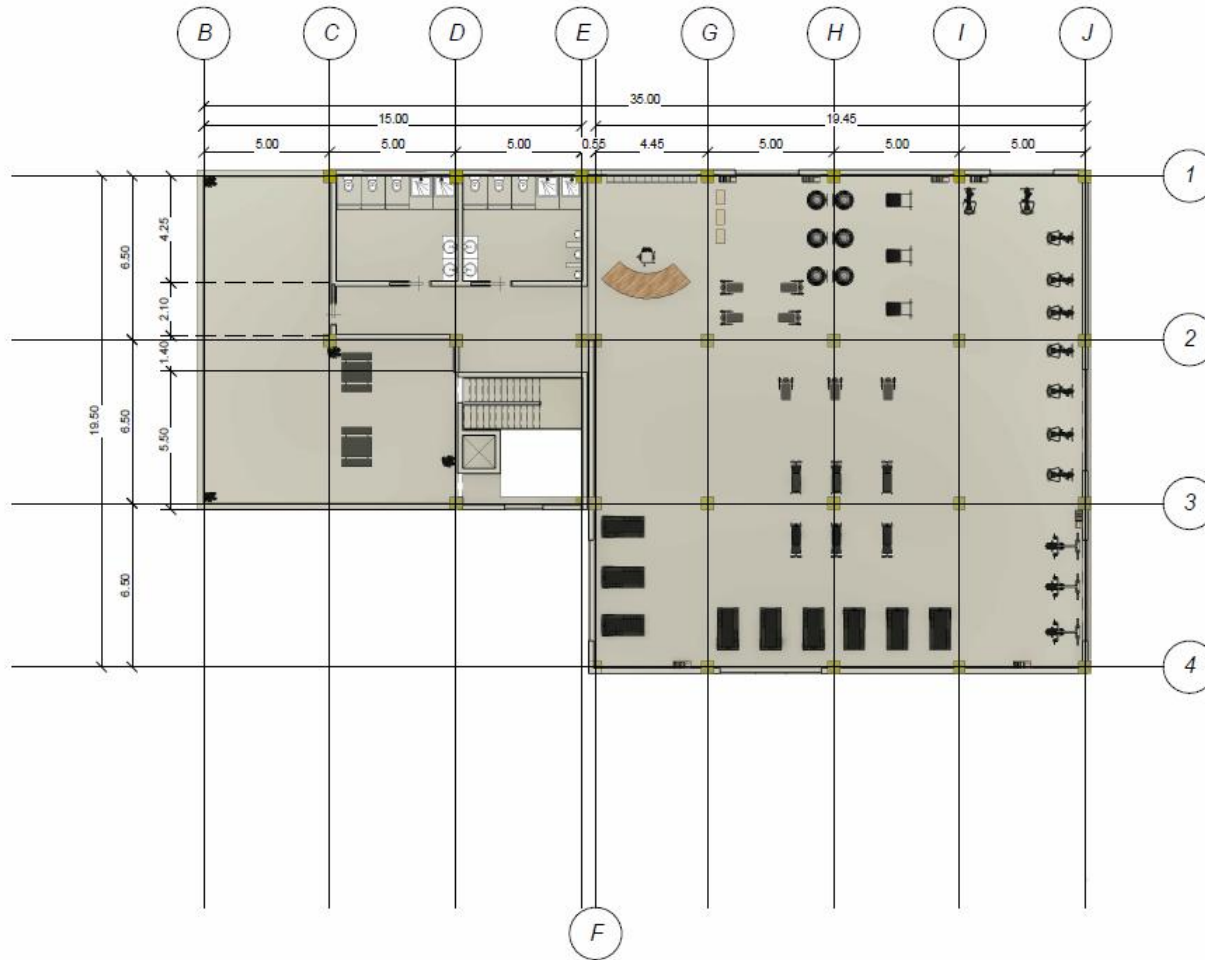
ESCALA: 1 : 160      ACOTACIÓN:  
METROS

FECHA: 01/07/26

No. DE PLANO:

**GR004**

VISTA PLANTA CUARTO NIVEL - EDIFICIO GENERAL  
TERRAZA - SALA GYM



1 NIVEL 4  
GR005 1: 160

DESARROLLÓ:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
**SALESIANA**  
Ecuador

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:



REVISIONES:

No.	FECHA	DESCRIPCIÓN
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

PROYECTO:  
TRABAJO DE TITULACIÓN

UBICACIÓN:  
Universidad Politécnica Salesiana - campus  
María Auxiliadora, Km 19 de la vía a la costa

REVISADO POR:  
JORGE WALSH JURADO

APROBADO POR:  
ING. KEVIN PROAÑO VISCARRA

ELABORÓ:  
IVANNA TORRES FUENTES

NOTAS/SIMBOLOGIA:

PLANO:  
VISTA PLANTA NIVEL 4 -  
GYM

ESCALA: 1: 160 ACOTACIÓN:  
METROS METROS

FECHA: 07/01/26

No. DE PLANO:

**GR005**