



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO PARA RESIDENCIA  
ESTUDIANTIL DE LA UPS SEDE – GUAYAQUIL**

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

**AUTORES:** WLADIMIR JOEL FLORES PEÑA

**TUTOR:** ING. KEVIN RICARDO PROAÑO VISCARRA, MSC

Guayaquil - Ecuador

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

Yo, Wladimir Joel Flores Peña con documento de identificación N° 0923880702  
manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 15 de enero del año 2026

Atentamente



---

Wladimir Joel Flores Peña  
0923880702

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

Yo, Wladimir Joel Flores Peña con documento de identificación No. 0923880702, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Propuesta de estructura de hormigón armado para residencia estudiantil 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de enero del año 2025

Atentamente



---

Wladimir Joel Flores Peña  
0923880702

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra con documento de identificación N° 1205363326, docente de la Universidad , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “PROPUESTA DE ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO PARA RESIDENCIA ESTUDIANTIL DE LA UPS SEDE – GUAYAQUIL”. realizado por Wladimir Joel Flores Peña con documento de identificación N° 0923880702, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de enero del año 2026

Atentamente

---

Kevin Ricardo Proaño Viscarra  
1205363326

## **AGRADECIMIENTOS**

*La culminación de este proyecto no habría sido posible sin la guía y el apoyo de muchas personas, tal vez no alcance a mencionarlos a todos, pero siempre los tengo presentes.*

*Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por abrirme sus puertas y permitirme formarme como ingeniero, extendiendo mi gratitud a todos los docentes que formaron parte de mi crecimiento profesional, siempre les tendré un gran respeto y sobre todo a mi director de carrera el Ing. Fausto Cabrera y mis dos docentes el Ing. Eduardo Moya y el Ing. Kevin Proaño por compartir sus experiencias profesionales y ser una guía en este camino.*

*Les ofrezco un pequeño agradecimiento sincero al personal de SISMO INGENIERÍA S.A. por darme la oportunidad de seguir creciendo en este largo camino que me queda por delante y sobre todo al Ing. Jaime Hernández por su paciencia y enseñanzas.*

*A mis grandes amigos y futuros ingenieros Carlos, Gabriel y Kristel quienes estuvieron conmigo en todo momento y aunque nos queda mucho por delante siempre podrán contar conmigo.*

*Agradezco a mis hermanos que, aunque no compartimos sangre los considero como de mi familia Ericson, Michael, Anthony, Bryan & María José, gracias por comprender mi ausencia por su paciencia infinita y por ser ese plus que me impulsó a llegar hasta donde me encuentro ahora.*

*Finalmente agradezco a mis padres, mi hermano y a ti. Ustedes quienes nunca se rindieron y siempre estuvieron aconsejándome, los amo y aunque no me alcance el espacio para transmitirles todo mi afecto, siempre serán los primeros.*

**Wladimir Joel Flores Peña**

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto se lo dedico principalmente a mis padres, quienes a pesar de todo nunca se rindieron conmigo y siempre estuvieron ahí. Especialmente se lo dedico a mi mamá, que con su amor incondicional y apoyo me ha ayudado a superarme; agradezco por su sacrificio y darme las fuerzas para culminar esta meta.*

*A mi hermano, porque, aunque tengamos nuestras diferencias, siempre ha sido leal y sobre todo Berlín alias “Papi” cautivador de nenas, mi fiel compañero de cuatro patas que paso conmigo todas esas malas noches de estudio.*

*Y especialmente a ti, que llegaste para convertirte en mi equipo y mi refugio, por ser mi tranquilidad en el caos, por tu paciencia infinita y por motivarme a terminar este proyecto cuando yo dudaba.*

***Wladimir Joel Flores Peña***

## RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación trata sobre el diseño estructural de un edificio de hormigón armado de 4 niveles situado en la ciudad de Guayaquil, zona de alto riesgo sísmico de acuerdo con la norma NEC-15. Se procuró desarrollar una nueva estructura que incorpore desde su concepción Disipadores de Energía de Pandeo Restringido (BRB), comparando su eficiencia teórica con un diseño convencional a marcos rígidos. Se generaron tres modelos en el software ETABS para la estructura propuesta: un modelo base (M-00) y dos modelos alternativos de diseño con diferentes ubicaciones de disipadores (M-01 con 4 BRB por nivel y M-02 con 8 BRB por nivel).

La metodología consistió en el dimensionamiento de elementos, análisis espectral y verificación por análisis cronológico (Time-History) utilizando el registro real del terremoto de Pedernales (2016). Los resultados del diseño propuesto muestran que la inclusión de BRB aporta gran rigidez, reduciendo el periodo fundamental teórico en un 20.4% y las derivas de piso de diseño hasta en un 39% en comparación con la solución convencional. Además, se confirmó que la demanda sísmica del evento de Pedernales (132 tonf) apenas llegaría al 20.8% de la capacidad de diseño de la estructura propuesta (637 tonf). Se decide que la solución estructural M-01 (4 BRB) es la mejor para garantizar la seguridad y funcionalidad del proyecto.

*Palabras Clave: Diseño estructural, disipadores BRB, análisis tiempo-historia, deriva de piso, desempeño sísmico, rigidez lateral.*

## ABSTRACT

The following thesis addresses the structural design of a four-story reinforced concrete building located in the city of Guayaquil, a high-seismic-risk zone according to the NEC-15 standard. An effort was made to develop a new structure that incorporates Buckling-Restrained Braces (BRBs) from its inception, comparing its theoretical efficiency with that of a conventional rigid-frame design. Three models were generated in the ETABS software for the proposed structure: a baseline model (M-00) and two alternative design models with different damper placements (M-01 with 4 BRBs per level and M-02 with 8 BRBs per level).

The methodology consisted of element sizing, spectral analysis, and verification by time-history analysis using the actual record of the 2016 Pedernales earthquake. The results of the proposed design show that the inclusion of BRBs provides significant stiffness, reducing the theoretical fundamental period by 20.4% and the design story drifts by up to 39% compared to the conventional solution. Furthermore, it was confirmed that the seismic demand from the Pedernales event (132 tonf) would only reach 20.8% of the proposed structure's design capacity (637 tonf). It is decided that the M-01 structural solution (4 BRBs) is the best for ensuring the safety and functionality of the project.

***Keywords:** Structural design, BRB d mper, time-history analysis, story drift, seismic performance, lateral stiffness.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
<b>2. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO</b> .....	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	<b>5</b>
<b>5. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>7</b>
<b>6. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
6.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	7
6.1.1. <i>Suelo</i> .....	7
6.1.1.1. Clasificación de suelo .....	8
6.1.1.2. Clasificación por granulometría .....	8
6.1.1.3. El sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).....	10

6.1.1.4. Perfiles de suelos.....	11
<b>7. FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFÍA .....</b>	<b>12</b>
7.1 PLANIMETRÍA .....	12
7.2 TOPOGRAFÍA CON FOTOGAMETRÍA DE DRON .....	13
7.2.1. Clasificación de la fotogrametría .....	14
7.2.1.1. Fotogrametría Terrestre.....	14
7.2.1.2. Fotogrametría Área .....	14
7.2.1.3. Vehículos aéreos no tripulados.....	15
7.2.1.4. Limitaciones.....	16
<b>8. SISMO .....</b>	<b>18</b>
8.1. CAUSA DE SISMOS.....	19
8.2. ONDAS SÍSMICAS .....	22
8.3. TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS .....	22
8.4. ONDAS DE SUPERFICIE .....	24
8.5. MEDIDAS DE SISMOS .....	25
8.6. IMPACTO DE SISMO EN ECUADOR .....	28
8.7. COMPORTAMIENTOS SÍSMICOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....	31
8.8. IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN Y EN PLANTA .....	31
8.9. COEFICIENTE DE REGULARIDAD EN PLANTA .....	32
8.10. COEFICIENTE DE REGULARIDAD EN ELEVACIÓN $\phi_E$ .....	33
<b>9. ANÁLISIS LINEAL MODAL ESPECTRAL .....</b>	<b>34</b>

9.1. MODELADO DE LA ESTRUCTURA.....	35
9.1.1. Modo de vibración .....	36
9.1.2. Espectro de respuesta .....	37
<b>10. ZONAS SÍSMICAS Y CURVAS DE PELIGRO SÍSMICO .....</b>	<b>37</b>
10.1. CURVAS DE PELIGRO SÍSMICO.....	39
<b>11. ANÁLISIS NO LINEAL TIEMPO HISTORIA.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>43</b>
<b>12. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>43</b>
12.1. LEVANTAMIENTO EN SITIO .....	43
12.2. ESTUDIO DE SUELO MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA .....	46
12.2.1. Línea ejecutada en el proyecto LS – 01 .....	46
12.2.2. Ensayo sísmico de refracción LS – 01 .....	48
12.2.3. Ensayo sísmico ReMI + MAS W LS-01 .....	51
12.2.4. Línea ejecutada en el proyecto LS – 02 .....	54
12.2.5. Ensayo sísmico de refracción LS – 02 .....	56
12.2.6. Ensayo sísmico ReMI + MAS W LS-02 .....	58
12.2.7. Perfil del suelo en función de la onda de corte vs .....	63
12.2.8. Coeficiente de amplificación del suelo .....	64
12.3. PLANO ARQUITECTÓNICO .....	66
12.4. PREDIMENSIONAMIENTO.....	71
12.4.1. Predimensionamiento de losa.....	71

12.4.2. Predimensionamiento de vigas.....	77
12.4.3. Predimensionamiento de columnas.....	78
12.4.4. Revisión de inercia de columnas con respecto a las vigas .....	79
12.4.5. Cálculo de peso para análisis estático .....	80
12.5. MODELADO ESTRUCTURAL .....	84
12.5.1. Modelo M-00: estructural empotrado.....	84
12.5.2. Modelado M-01 - primera propuesta con 4 disipadores sísmicos .....	109
12.5.3. Modelo M-02 - segunda propuesta con 8 disipadores sísmico ...	117
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>120</b>
<b>13. RESULTADOS.....</b>	<b>120</b>
<b>14. CONCLUSIONES .....</b>	<b>129</b>
<b>15. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>129</b>
<b>16. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>136</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Suelos en función de la granulometría.....	9
Ilustración 2: Clasificación de suelos con sistema AASHTO .....	10
Ilustración 3: Clasificación de suelos .....	11
Ilustración 4: Topografía con dron por medio de fotogrametría.....	13
Ilustración 5: Tipos de Vehículos no Tripulados .....	16
Ilustración 6: Deformaciones que provocan las ondas internas.....	23
Ilustración 7: Deformaciones que provocan las Ondas Superficiales.....	25
Ilustración 8: Terremoto Mw – 7,8 Manabí - Ecuador .....	28
Ilustración 9: Mapa de Intensidad del terremoto. ....	29
Ilustración 10: Manta Zona Perjudicada Por Terremoto 2016.....	30
Ilustración 11: Coeficientes de irregularidad en planta .....	33
Ilustración 12: Coeficientes de irregularidad en elevación.....	34
Ilustración 13: Los tres primeros modos de vibración, modelo de 8 pisos.....	37
Ilustración 14: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño.....	38
Ilustración 15: Curvas de peligro sísmico, Nueva Loja. ....	40
Ilustración 16 Universidad Politécnica Salesiana .....	44
Ilustración 17: Ubicación - Edificio Residencial .....	45
Ilustración 18: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-01 .....	47
Ilustración 19: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-01 .....	47
Ilustración 20: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 01 .....	49
Ilustración 21: Tomografía sísmica de refracción LSR – 01 .....	49
Ilustración 22: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico	

sísmico de refracción LSR – 01, velocidades de onda Vp.....	50
Ilustración 23: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 01.....	50
Ilustración 24: Sismograma de la LS – 1 y longitud de exploración de línea sísmica generada .....	51
Ilustración 25: Espectro de velocidad – frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS .....	51
Ilustración 26: Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 01 .....	52
Ilustración 27: Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MAS W LS- 01 hasta los 30 m de profundidad .....	53
Ilustración 28: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-02 .....	55
Ilustración 29: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-02 .....	55
Ilustración 30: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 02 .....	57
Ilustración 31: Tomografía sísmica de refracción LSR – 02 .....	57
Ilustración 32: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 02, velocidades de onda Vp.....	58
Ilustración 33: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 02.....	58
Ilustración 34: Sismograma de la LS – 2 y longitud de exploración de línea sísmica generada .....	59
Ilustración 35: Espectro de velocidad – frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS – 2 en 3D .....	59
Ilustración 36:Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 02 .....	60
Ilustración 37: Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MAS W LS-	

02 hasta los 30 m de profundidad .....	61
Ilustración 38: Mapa de fallas cuaternarias actuantes en el Ecuador e influencia de la zona en estudio.....	62
Ilustración 39; Alzado Norte - Este .....	66
Ilustración 40: Alzado Oeste - Sur.....	66
Ilustración 41: Edificio Residencial – Planta Baja .....	67
Ilustración 42: Edificio Residencial – Piso 2 y 3.....	67
Ilustración 43: Edificio Residencial – Piso 4.....	68
Ilustración 44: Perspectiva Isométrica - Norte.....	68
Ilustración 45: Perspectiva Isométrica - Oeste.....	69
Ilustración 46: Render 1 – Ingreso.....	69
Ilustración 47: Render 2 - Biblioteca.....	69
Ilustración 48: Render 3 - Área de Estudio.....	70
Ilustración 49: Render 5 – Corte de Fachada.....	70
Ilustración 50: Revisión de paño mayor .....	72
Ilustración 51: Grafico de losa aligerada .....	73
Ilustración 52: Geometría de T .....	73
Ilustración 53: Dimensiones de bloques .....	76
Ilustración 54: Detalle de Sección Transversal y Modulación de Losa Alivianada .....	76
Ilustración 55: Vista en planta - PB .....	77
Ilustración 56: Valores para P(servicio) .....	78
Ilustración 57: Vista en planta - Área tributaria.....	79
Ilustración 58: Grillas y niveles del modelo .....	85
Ilustración 59: Unidades de trabajo .....	86
Ilustración 60: Resistencia al hormigón.....	86

Ilustración 61: Fluencia de acero .....	87
Ilustración 62: Creación de losa aligerada .....	88
Ilustración 63: Creación de Diafragma – Piso 1 .....	89
Ilustración 64: Creación de Diafragma - Piso 3 .....	89
Ilustración 65: Creación de Diafragma - Piso 4 .....	90
Ilustración 66: Creación de vigas, longitudinales, transversales y vigas de borde .....	91
Ilustración 67: Creación de columnas longitudinales, centrales y esquineras .....	92
Ilustración 68: Definición de cargas .....	93
Ilustración 69: Asignación de cargas gravitacionaria .....	94
Ilustración 70: Combinaciones de cargas .....	95
Ilustración 71: Espectro de diseño .....	96
Ilustración 72: Configuración del Caso de Carga Modal-Espectral Dinámico en X y Y .	98
Ilustración 73: SEX para modelo M-00 .....	99
Ilustración 74: SEY para modelo M-00 .....	100
Ilustración 75: SDX para modelo M-00 .....	100
Ilustración 76: SDY para modelo M-00 .....	101
Ilustración 77: Time History - Pedernales 2016 .....	106
Ilustración 78: Ingreso de datos al modelo M-00 .....	106
Ilustración 79: Parámetros de aceleración espectral de modelo M-00 .....	107
Ilustración 80: Configuración del caso de cargas del modelo M-00 .....	108
Ilustración 81: Revisión de grafico de respuesta del modelo M-00 .....	108
Ilustración 82: Creación de los disipadores .....	110
Ilustración 83: Configuración de propiedades .....	110
Ilustración 84: Disipadores en dirección Y .....	111
Ilustración 85: Disipadores en dirección X .....	111

Ilustración 86: Revisión de cálculo de aceleración.....	113
Ilustración 87: Ubicación de disipadores sísmico para modelo M-02.....	117
Ilustración 88: Porcentaje de Disminución en el Periodo Fundamental T1 y Aumento en la Rigidez Global.....	122
Ilustración 89: Perfil de Derivas Inelásticas Producto de la Altura del Entrepiso en Porcentaje.....	124
Ilustración 90: Relación Porcentual entre el Cortante Dinámico y el Cortante Basal Estático de Diseño existente. ....	125
Ilustración 91: Evaluación Proporcional del Control de Desplazamientos en comparación con el Modelo M-00.....	127
Ilustración 92: Relación Demanda/Capacidad (%) frente al Sismo de Pedernales (2016).....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de Intensidad Mercalli Modificada	27
Tabla 2: valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada.	39
Tabla 3 Coordenadas	45
Tabla 4: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto	46
Tabla 5: Parámetros geomecánicas, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 1. Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D.	54
Tabla 6: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto LS-02	54
Tabla 7: Parámetros geomecánicas, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 2. Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D.	62
Tabla 8: Valores de la aceleración máxima Z en función de la zona sísmica	63
Tabla 9: Perfil de terreno seleccionado para la zona de estudio	64
Tabla 10: Factor de amplificación (Fa) en función de zona (z) y el perfil del suelo	65
Tabla 11: Revisión de inercias	74
Tabla 12: Predimensionamiento de columnas	79
Tabla 13: Revisión de columna fuerte, viga debil	80
Tabla 14: Revisión Modal Participating Mass Ratios para modelo M-00	99
Tabla 15: Revisión de derivas para modelo M-00	101
Tabla 16: Revisión Base Reactions para modelo M-00	102
Tabla 17: Revisión de cortantes Basal para modelo M-00	102

Tabla 18: Revisión de cortante Basal Corregido para modelo M-00	102
Tabla 19: Revisión torsional para modelo M-00	103
Tabla 20: Revisión de periodo de vibración para modelo M-00	104
Tabla 21: Revisión de porcentaje de masas para modelo M-00	104
Tabla 22: revisión de máximo desplazamiento en x para modelo M-00	105
Tabla 23: Extracción de datos de Etabs para modelo M-01	112
Tabla 24: Revisión de Masas, Cortantes, rigidez, desplazamiento y derivas por piso para modelo M-01	113
Tabla 25: Revisión de cálculo de energía disipada por piso para modelo M-01	114
Tabla 26: Revisión de demandas para disipadores BRB – Modelo M-01	114
Tabla 27: Revisión de parámetros para BRB del modelo M-01	115
Tabla 28: Revisión de control de derivas por piso para modelo M-01	116
Tabla 29: Revisión de máximo desplazamiento con 4 disipadores sísmicos para modelo M-01	116
Tabla 30: Revisión de máxima energía disipada para modelo M-01	117
Tabla 31: Revisión de datos del modelado M-00	118
Tabla 32: Revisión de masas, cortantes, rigidez, desplazamiento y derivas para modelo M-02	118
Tabla 33: Revisión de cálculo de energía por piso para modelado M-02	118
Tabla 34: Revisión de cálculo de demanda para los BRB de modelo M-02	119
Tabla 35: Revisión de parámetros de BRB para el modelo M-02	119
Tabla 36: Revisión de control de derivas por piso para modelo M-02	119
Tabla 37: Revisión de máximo desplazamiento con 8 disipadores sísmicos para modelo M-02	120
Tabla 38: Revisión de máxima energía disipada para modelo M-02	120

Tabla 39: Comparación de Periodos Fundamentales y Participación Modal	122
Tabla 40: Resumen de Derivas Máximas Elásticas	123
Tabla 41: Comparación de Cortantes basales	125
Tabla 42: Desplazamientos Máximos	126
Tabla 43: Demanda sísmica – Pedernales	128

# CAPITULO I

## 1. Descripción del problema

La Universidad Politécnica Salesiana ubicada en el km 19 de la vía a la costa, ha experimentado un aumento constante y notable en su matrícula estudiantil en los últimos años. Esta tendencia ascendente refleja claramente el desarrollo y expansión continua de la institución. A medida que la demanda académica sigue creciendo, también ha puesto de manifiesto la necesidad urgente de infraestructura complementaria, especialmente instalaciones que puedan aportar a los estudiantes provenientes de otras provincias. Muchos de estos estudiantes enfrentan desafíos significativos al intentar conseguir alojamiento que no solo esté cerca de la universidad, sino que también sea seguro, asequible y adecuado para su estilo de vida académico.

A pesar de que dentro del campus existe área que permanece sin desarrollar, actualmente no existe infraestructura residencial específicamente diseñada para albergar a este segmento de la población estudiantil. Esta ausencia representa más que un problema logístico: plantea una preocupación social y, al mismo tiempo, abre una valiosa oportunidad técnica. Invita a la aplicación de conceptos avanzados de ingeniería civil, particularmente en el análisis del comportamiento estructural sismorresistente, de acuerdo con la normativa ecuatoriana de construcción (NEC) y referentes internacionales.

En este contexto se vuelve esencial realizar una evaluación técnico-normativa del desempeño sísmico de un edificio residencial de cinco plantas basada en sistema de pórticos especiales sismorresistente de concreto armado reforzado. El estudio se enfoca en el modelado tridimensional y en el análisis modal-espectral/estático equivalente para obtener demandas de fuerza y desplazamiento, tomando en cuenta las condiciones geotécnicas. A través de un análisis estructural exhaustivo y un modelado tridimensional detallado, será

posible evaluar cómo responde el edificio ante diversas sollicitaciones, se considerarán cargas gravitacionales y acciones sísmicas, con el propósito de verificar el grado de cumplimiento de los requisitos técnicos de derivas, resistencia y detallado sismorresistente establecidos por las **NORMAS ECUATORIANAS DE CONSTRUCCIÓN NEC-SE-DS Y NEC-SE-DC**, así como las directrices del **ACI 318-219**. El resultado del estudio se expresará en términos de “cumple/no cumple”; en caso de incumplimientos, se propondrán lineamientos de ajuste como trabajo futuro, evitando afirmar un “cumplimiento total” previo al análisis.

### **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad, el enfoque de la administración de infraestructuras en la Universidad Politécnica Salesiana se inclina hacia la priorización de las construcciones destinadas a actividades académicas, dejando de lado la imperante demanda de alojamiento estudiantil que contribuiría significativamente al bienestar de los estudiantes provenientes de otras regiones. A pesar de que la institución no ha considerado oficialmente esta carencia, el terreno ubicado en la parte trasera del campus María Auxiliadora, actualmente sin utilizar, muestra las condiciones perfectas para ser utilizado como una solución habitacional. Ante la complejidad de este escenario, la presente investigación toma la valiosa iniciativa de proponer detalladamente el diseño estructural completo de un moderno edificio residencial de cuatro plantas, identificando con precisión una oportunidad innovadora que hasta el momento no ha sido abordada por las autoridades universitarias pertinentes.

A pesar de contar con un planteamiento estructural base sólido para esta edificación, es importante destacar que la propuesta actual carece de un dictamen técnico exhaustivo que pueda garantizar su comportamiento óptimo ante posibles escenarios sísmicos críticos reales. En consecuencia, el dilema a abordar se centra en verificar minuciosamente si la propuesta de diseño cumple con los requisitos de resistencia elástica establecidos por la normativa (NEC-

SE-DS / ACI 318) al ser expuesto de manera detallada al análisis sísmico correspondiente al evento registrado en Pedernales en el año 2016. Este detallado estudio tiene como objetivo explorar más allá de los simples cálculos habituales, realizando una comparación exhaustiva de la respuesta estructural del edificio tanto con la presencia como sin la presencia de disipadores sísmicos. El propósito es proporcionar una solución técnica completa y debidamente fundamentada que evidencie la factibilidad y la robustez del proyecto en cuestión.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo puede evaluarse el desempeño sísmico y el grado de cumplimiento normativo de un edificio residencial de cuatro plantas, propuesto sobre un sistema de pórticos especiales sismorresistentes de hormigón armado, dentro del campus maría auxiliadora para alojar a estudiantes de fuera de la ciudad, mediante modelado tridimensional y análisis modal-espectral/estático equivalente, determinando si cumple o no cumple con las normativa NEC y los estándares **ACI 318-19**, y estableciendo lineamientos técnicos en caso de incumplimiento?

## **2. Delimitación del estudio**

En términos geográficos, el ámbito de esta investigación se limita a los terrenos de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), específicamente del campus María Auxiliadora, que se encuentra en el kilómetro 19 de la Vía a la Costa. La investigación se centra en un sector no desarrollado detrás del campus que ha sido elegido objeto de estudio por ser un lugar apropiado para la futura edificación de una residencia estudiantil. Temporalmente, el trabajo se sitúa en 2025, lo que permite considerarlo un estudio contemporáneo enfocado en la verificación y análisis del rendimiento sísmico de edificios universitarios situados en áreas

con un riesgo sísmico considerable.

Este proyecto, a nivel institucional, forma parte del programa de Ingeniería Civil de la UPS y está inscrito dentro de la línea de investigación en diseño resistente a sismos y análisis estructural, con un enfoque mayor en la evaluación del cumplimiento regulatorio.

Desde una perspectiva técnica, el alcance abarca la realización de un modelo estructural tridimensional, la ejecución de análisis modales-espectrales y estáticos equivalentes, así como la comprobación de criterios normativos que incluyen detalles sísmicos, deslizamientos, irregularidades y resistencia. Esta metodología está diseñada para emitir un veredicto de "Cumple/No cumple"; el trabajo no se ocupa del diseño completo de la construcción del edificio. Se elaborará un presupuesto de referencia, limitado únicamente al área estructural (acero y concreto reforzado). Esta estimación no incluye el diseño de la base, la elaboración de un presupuesto a nivel ejecutivo ni las actividades relacionadas con la ejecución de la construcción. La evaluación se ajustará rigurosamente a las normas ACI 318-219, NEC-SE-DS y NEC-SE-DC. La modelación se llevará a cabo con Revit, que sirve para la representación y coordinación BIM, y ETABS, que se utiliza para el análisis.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Evaluar el desempeño sísmico de un edificio residencial de cuatro plantas con sistema de pórtico especial de hormigón armado destinado a alojamiento estudiantil, mediante modelos en software de elementos finitos, para dar una estructura optima que cumpla normativas como la NEC-SE-DS y ACI 318-19.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

1. Establecer el tipo de suelo que existe en la zona de proyecto, mediante ensayos de refracción sísmica, para determinar parámetros geotécnicos.
2. Caracterizar las condiciones de sitio (peligro sísmico y parámetros

geotécnicos) del campus universitario conforme a la NEC.

3. Desarrollar modelos de elementos estructurales, mediante software como Etabs, para establecer parámetros dinámicos de la estructura donde garantice un diseño óptimo.

#### **4. Hipótesis**

Si se realiza un estudio topográfico con un dron, respaldado por una georreferenciación sólida (a través de GCP) y complementado con un estudio de refracción sísmica para determinar la estratigrafía subsuperficial y su rigidez relativa, el modelado estructural elástico del sistema de armazón de concreto reforzado, desarrollado según NEC y ACI 318-19, permitirá corroborar que todos los indicadores globales de rendimiento elástico (en particular las oscilaciones, la estabilidad general y la coherencia del esfuerzo en la base) se encuentran dentro de los límites establecidos por el código para su uso como residencia estudiantil.

#### **5. Justificación**

El diseño estructural se destaca como uno de los pilares fundamentales de la ingeniería civil, ya que garantiza la seguridad, funcionalidad y durabilidad de los edificios cuando son sometidos tanto a cargas estáticas como dinámicas a lo largo de su vida útil. En el contexto de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede – Guayaquil, existe una creciente necesidad de infraestructura que no solo satisfaga la creciente demanda estudiantil, sino que también sirva como caso de estudio para la aplicación y verificación de principios modernos de análisis y diseño sismorresistente.

La propuesta de un edificio residencial utilizando un sistema de pórticos especiales sismorresistente de hormigón armado esto responde tanto a una necesidad social como

académica. Desde la perspectiva social, tiene como objetivo proporcionar viviendas seguras, funcionales y de bajo costo, mejorando la calidad de vida de los estudiantes de otras provincias que enfrentan dificultades económicas para conseguir alojamiento cerca la universidad. Desde un punto de vista académico, el proyecto ofrece una valiosa oportunidad de aprendizaje para los estudiantes de ingeniería civil, permitiéndoles aplicar análisis sísmico, modelado 3D y verificación de cumplimiento normativo (No el dimensionamiento constructivo completo) utilizando herramientas como Etabs y Revit. Además, el proyecto posee un valor institucional significativo, ya que se desarrollará como estudio analítico dentro del campus universitario, específicamente en la parte posterior del terreno disponible, definida como escenario de análisis, sin comprometer obras ni presupuestación. El análisis estructural se guiará por la Norma Ecuatoriano de la Construcción (NEC-SE-DS/NEC-SE-DC) y por el American Concrete Institute (ACI-318-219), orientándose a verificar el grado de cumplimiento mediante juicios “cumple/no cumple”

Desde una perspectiva académica y científica, el estudio proporcionará un protocolo de modelado, análisis y verificación de desempeño para de edificaciones educativas o residenciales bajo condiciones sísmicas, promoviendo la integración de tecnologías avanzadas de análisis y modelado 3D en la educación en ingeniería civil. Además, la propuesta contribuirá al conocimiento técnico dentro del ámbito universitario, reforzando la formación en criterios de evaluación normativa, control de derivas, demandas de fuerzas e identificación de irregularidades, y consolidando el papel de la ingeniería estructural como una herramienta clave para el desarrollo sostenible y la seguridad de la infraestructura educativa.

Por lo tanto, esta investigación está plenamente justificada, al centrarse en la evaluación y verificación del desempeño sísmico, generando evidencia técnica reproducible y transparente para la toma de decisiones institucionales, a la vez que combina relevancia

social, aplicación práctica y rigor técnico dentro del entorno universitario.

## **CAPITULO II**

### **6. Marco teórico**

#### **6.1. Fundamentos teóricos**

##### **6.1.1. Suelo**

El suelo es, simplemente, el medio natural sobre el cual se fundan todas las estructuras. Se origina a partir de la meteorización y el transporte de rocas y materiales orgánicos, un proceso que explica su notable variabilidad de un lugar a otro. Para comprender sus propiedades sin recurrir a formulas complejas, examinamos características prácticas: la cantidad de agua que retiene, el volumen de espacio vacío entre sus granos, la densidad relativa de sus partículas y la profundidad hasta el nivel freático. La disposición de las partículas como su gradación de grueso a fin, y si es cohesivo o suelto y su composición mineral también son críticas, ya que estos factores determinan su firmeza, su capacidad de transmisión de agua y su potencial de deformación bajo carga.

Según su origen, los suelos pueden ser residuales (formados en el lugar) o transportados (depositados por ríos, viento o mares). Estos depósitos transportados a menudo presentan estratificación distinta y pueden mostrar propiedades altamente variables incluso a lo largo de distancias cortas. Esta variabilidad inherente es responsable de comportamientos que afectan directamente un proyecto de construcción: suelos que se hinchan al exponerse a la humedad, otros que se comprimen excesivamente cuando se cargan, arenas que pueden perder su resistencia (licuarse) si se saturan durante un terremoto, o depósitos extremadamente sensibles a los cambios de hidratación. En consecuencia, una caracterización

del sitio completa y clara es un requisito esencial para cualquier diseño estructural. Este proceso generalmente implica la observación en campo, la obtención de muestras, pruebas de laboratorio fundamentales (como análisis de granulometría y plasticidad) y, cuando es beneficioso, estudios geofísicos complementarios.

#### **6.1.1.1. Clasificación de suelo**

Como documentó Terzaghi (1973) en su texto fundamental, “Mecánica de suelos en la práctica de la ingeniería civil”, las pruebas son una tarea indispensable para los ingenieros especializados en geotecnia. El propósito de estas pruebas es clasificar los distintos tipos de suelo, lo que permite al profesional familiarizarse con las propiedades características del sitio. Esta afirmación subraya la razón principal de in situ de manera sistemática y con integridad al emprender cualquier proyecto de construcción. Una comprensión exhaustiva de las condiciones del terreno y la determinación de las correlaciones necesarias son pasos cruciales en este proceso.

Entre las diversas clasificaciones de suelos, tres de las cuales se consideran fundamentales hoy en día, se detallarán las siguientes:

#### **6.1.1.2. Clasificación por granulometría**

Según el tamaño de las partículas, los suelos se clasifican ampliamente en cuatro grupos principales

**Gravas:** Compuestas, por partículas que varían en tamaño desde 80 mm hasta 4,75 mm. Estos granos son fácilmente visibles a simple vista. La estructura generalmente presenta grandes vacías entre las partículas, lo que da como resultado un material que no retiene agua fácilmente.

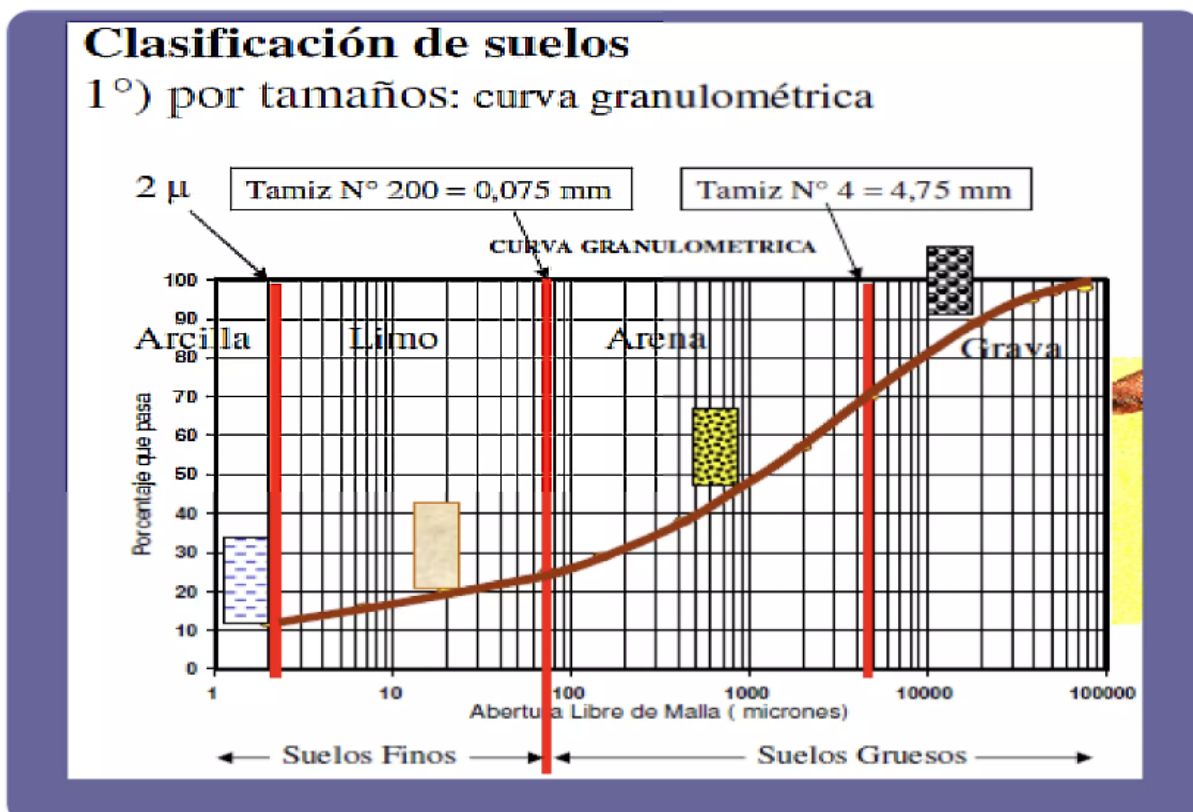
**Arena:** Tamaño de partículas que abarca desde 4,75 mm hasta 0.075 mm. Si bien las partículas individuales son observables sin instrumentos especializados, son notablemente más pequeñas que la grava. De manera crítica, las partículas de arena son generalmente

estables y no surgen alteraciones físicas, cuando se sumergen en agua.

**Limos:** Presentan partículas en el rango de 0.075 mm a 0.002 mm. Los limos son capaces de absorber agua. Una característica distintiva se observa cuando se forma una pasta de agua y limo: si esta pasta se coloca en la mano y se golpea suavemente, el agua se expulsa fácilmente a la superficie (un comportamiento conocido como dilatancia).

**Arcilla:** Definidas por partículas menores a 0.002 mm. Las arcillas poseen una estructura compleja, a menudo descrita como gelatina y compuesta por minerales de silicato. Exhiben una capacidad significativamente para retener agua, un fenómeno minúsculo, su vasta superficie colectiva facilita una fuerte absorción de agua. Por el contrario, esta misma estructura de poros microscópicos hace que la expulsión permeabilidad muy baja.

*Ilustración 1: Suelos en función de la granulometría*



Fuente: Joseph E. Bowles

### 6.1.1.3. El sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

La principal aplicación de este sistema es la evaluación de la idoneidad de un suelo para su uso como material de construcción en cimientos de carreteras. La clasificación completa de los suelos bajos esta metodología en particular se presenta en la ilustración 2 (ASTM internación, 2024)

*Ilustración 2: Clasificación de suelos con sistema AASHTO*

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos pasa tamiz #200)							Materiales Limoarcillosos (35% pasa tamiz el #200)			
	A1		A-3a	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Tamizado, % que pasa											
No.10 (2.00mm)	50 máx..	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No.40 (4.25µm)	30 máx..	50 máx..	51min...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15máx..	25máx..	10máx_	35máx.	35máx.	35máx.	35máx.	35máx.	36 min.	36mln.	36 min.
Consistencia											
Limite Líquido	-		-	8				40 máx..	41min.	40 máx..	41min.
Índice de Plasticidad	6 máx.		N. P	8				10máx.	10máx.	11 mín.	11mn. b
Tipo de materiales característicos	Cantos, gravas y arenas		Arena fina	Grava y arena Limoarcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación	Excelente a Bueno							Regular a Malo			

*Nota.* a. La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2. b. El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30

### 6.1.1.4. Perfiles de suelos

Para los perfiles de suelo designados de “tipo A” a “tipo E”, los parámetros de clasificación se determinan en función de las características observadas dentro de los primeros 30 metros del terreno. En situaciones donde un perfil contiene estratos claramente diferenciables, se requiere que el perfil se subdivide de manera metódica. A estas subdivisiones se les asigna un índice, *i*, que comienza en 1 para la capa superficial y se extiende hasta *n* para la capa que concluye a una profundidad de 30 metros. Por el contrario, el tipo de perfil F se evalúa utilizando criterios distintos. Para estos perfiles específicos, especialmente en casos que involucran un espesor total de suelos significativo, la evaluación de la respuesta del sitio no debe limitarse a los primeros 30 metros (NEC, 2015)

*Ilustración 3: Clasificación de suelos*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A</b>	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50.0$ $\bar{S}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$\bar{V}_s < 180 \text{ m/s}$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	<b>IP &gt; 20</b> <b>w</b> $\geq$ 40% $\bar{S}_u < 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). Se contemplan las siguientes subclases: <b>F1</b> —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. <b>F2</b> —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( <b>H</b> >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). <b>F3</b> —Arcillas de muy alta plasticidad ( <b>H</b> >7.5 m con índice de Plasticidad <b>IP</b> >75) <b>F4</b> —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( <b>H</b> >30m) <b>F5</b> —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. <b>F6</b> —Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuente: NEC-SE-DS-PELIGRO-SÍSMICO

## 7. Fundamentos de topografía

El diseño exitoso y la correcta implementación de cualquier proyecto de ingeniería civil están intrínsecamente vinculados a una comprensión exhaustiva de las condiciones del terreno.

La topografía es la disciplina que proporciona las herramientas y metodologías necesarias para adquirir este conocimiento crítico del sitio. El marco actual se basa en los principios fundamentales establecidos por Torres Nieto y Villate (1968)

La topografía se define formalmente como la ciencia encargada de medir extensiones de terreno, es, fundamentalmente, “el arte de medir distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos en la superficie terrestre, medir ángulos entre líneas terrestres y establecer puntos mediante distancias ángulos previamente determinados,”

Esta práctica sirve como la base indispensable para la mayoría de las obras de ingeniería, dado que la elaboración de cualquier proyecto depende de datos topográficos y planos que representan fielmente las características del terreno. (Torres y Villate, 1968)

### 7.1 Planimetría

Solo se interesa por la proyección del terreno sobre un plano horizontal. Esta imagen resultante se conoce como la “base productiva” del territorio. Es esta superficie bidimensional la que se usa para todos los cálculos legales y técnicos.

En la planimetría, el terreno se considera un polígono. Para delimitar dicho polígono se clavan en el terreno puntos (vértices) concretos. Estos puntos se categorizan según su intención de permanencia:

**Puntos instantáneos:** Estas solamente son necesarias para una operación específica y de corta duración generalmente señalizadas con piquetes o jalones.

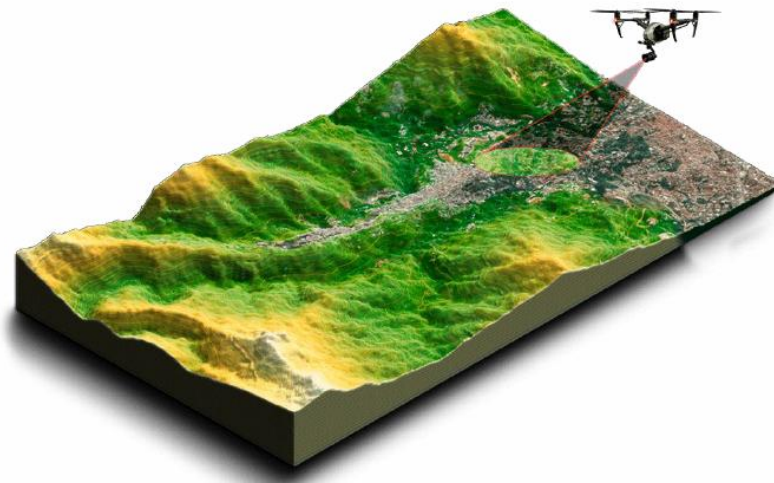
**Puntos transitorios:** Estas señales no deben ser movidas en toda la temporada de campo. Generalmente se materializan con estacas de madera.

**Puntos definitivos:** Estas son marcas permanentes a largo plazo. Pueden ser naturales como una roca o artificiales permanentes, siendo el más habitual mojón (un paralelepípedo de concreto)

## 7.2 Topografía con fotogrametría de dron

La fotogrametría con drones es una técnica de adquisición remota de datos, capturando imágenes aéreas superpuestas. A través de procesos fotogramétricos especializados, estas imágenes se reconstruyen en geometría y textura 3D del terreno y estructuras existentes. Los principales productos resultantes son orto mosaicos, modelos digitales de terreno o superficie (DTM/DSM), nubes de puntos densas y modelos 3D completos. Estos elementos representan la información base para diseñar, estimar cantidades, monitorear la construcción y coordinar entre disciplinas de ingeniería. Su principal fortaleza es que puede cubrir grandes áreas en poco tiempo, con gran detalle y a bajo costo (en dependencia de una buena planificación de vuelo y control de calidad). (López, 2019)

*Ilustración 4: Topografía con dron por medio de fotogrametría*



Fuente: Tomado de (Mapas a Partir de Fotogrametría Área Con Drones y Levantamientos Topográficos – Agroinpet)

### **7.2.1. Clasificación de la fotogrametría**

La fotogrametría se clasifica en dos ramas, las cuales se definen en función del tipo y del modo de fotografía empleados en el trabajo de campo. Herrera, (1987)

- Terrestre
- Aérea

#### **7.2.1.1. Fotogrametría Terrestre**

Se trata de una técnica que emplea cámaras instaladas en trípodes, vehículos o diversos soportes en el suelo con el propósito de registrar imágenes de un área determinada. Se capturan múltiples fotografías desde diversas perspectivas y posiciones, garantizando así una cobertura integral del objeto o del terreno de interés. Las imágenes son sometidas a un procesamiento mediante software especializado, el cual analiza la información de similitud entre ellas con el propósito de generar modelos tridimensionales y mapas precisos. (Herrera, 1987)

#### **7.2.1.2. Fotogrametría Área**

Esta técnica consiste en la utilización de cámaras instaladas en aeronaves, helicópteros o drones con el propósito de obtener imágenes aéreas de una superficie geográfica más amplia. La fotogrametría aérea presenta la ventaja de facilitar una cobertura rápida y eficiente de extensas áreas geográficas. Las imágenes aéreas son obtenidas desde diversas altitudes y ángulos, y posteriormente se someten a un proceso de análisis mediante software especializado, con el objetivo de generar modelos tridimensionales, ortofotos y mapas topográficos. (Herrera, 1987)

### **7.2.1.3. Vehículos aéreos no tripulados**

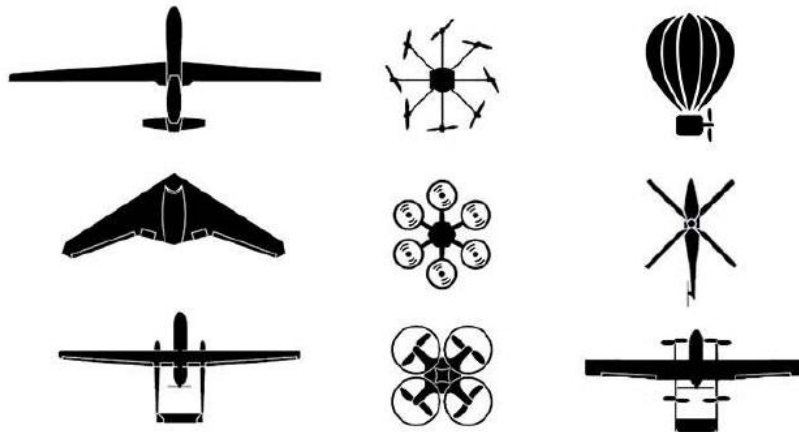
Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) son sistemas de aeronaves que operan mediante control remoto o de manera autónoma. Estos vehículos, comúnmente conocidos como drones, han ganado una creciente popularidad en diversos sectores, atribuible a su versatilidad y a su costo operativo relativamente bajo. (Mapas a partir de fotogrametría aérea con drones y levantamientos topográficos - Agronipet, s.f.)

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) están dotados de sensores especializados que les facultan para obtener imágenes de alta resolución de la superficie terrestre desde una perspectiva aérea. Las imágenes pueden ser empleadas para la elaboración de mapas detallados de alta calidad desde una perspectiva aérea.

Los drones presentan una diversidad de aplicaciones que abarcan desde la fotografía aérea y el cine hasta la agricultura, la vigilancia, la infraestructura y la cartografía. (Cáceres et al., s.f.)

La fotogrametría se define como la disciplina científica que se encarga de la medición y el mapeo de objetos mediante la utilización de imágenes capturadas desde el aire. Es posible llevar a cabo estudios aéreos con un alto grado de precisión y detalle mediante el uso de cámaras de alta resolución, ortofotos y mapas tridimensionales. Estos datos son relevantes para la planificación urbana, la gestión del territorio y la elaboración de cartografía precisa. Los drones han transformado diversos sectores al ofrecer una metodología rentable y eficiente para la realización de estudios aéreos en áreas de difícil acceso, así como para la recopilación de datos a un costo reducido. La versatilidad, la facilidad de uso y la adaptabilidad a diversas aplicaciones constituyen características que los transforman en una herramienta esencial en el contexto contemporáneo. (LiDAR frente a fotogrametría, 2019)

*Ilustración 5: Tipos de Vehículos no Tripulados*



Fuente: Tomado de (Guillen, 2017)

#### **7.2.1.4. Limitaciones**

Los vehículos aéreos no tripulados han evidenciado su utilidad como herramientas significativas en los campos de la ingeniería civil y la topografía. No obstante, es fundamental considerar ciertas limitaciones inherentes a su uso. Estas limitaciones pueden influir en su aplicación y en los resultados obtenidos en ciertos contextos. Entre las limitaciones más frecuentes de los vehículos aéreos no tripulados se encuentran las siguientes (Ansumant, 2021)

- **Autonomía restringida:** Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) presentan limitaciones inherentes a la capacidad de sus baterías, lo que se traduce en un tiempo de vuelo restringido. Esta circunstancia puede dar lugar a la necesidad de recargas frecuentes, lo que interfiere en la continuidad de las operaciones de levantamiento topográfico.

- **Condiciones meteorológicas:** Las condiciones meteorológicas adversas, tales como vientos intensos, precipitaciones o niebla, pueden restringir la operatividad de un dron. Las condiciones mencionadas pueden influir en la estabilidad y el rendimiento del dron, así como en la calidad de las imágenes obtenidas durante la inspección aérea.
- **Limitaciones en la capacidad de carga útil:** Los drones presentan una capacidad restringida para el transporte de equipos y sensores.
- **Altura de vuelo:** Ciertos drones de dimensiones reducidas pueden estar sujetos a limitaciones en cuanto a la altitud de vuelo, lo que podría restringir su capacidad para obtener imágenes de áreas extensas o de elevación considerable.
- **Duración del vuelo:** La duración del vuelo de un dron puede presentar limitaciones, lo que podría implicar la necesidad de realizar múltiples vuelos para abarcar extensas áreas.
- **Interferencias electromagnéticas:** Los drones pueden ser vulnerables a interferencias electromagnéticas, lo que puede impactar tanto su funcionamiento como la calidad de los datos recopilados.
- **Regulaciones y restricciones legales:** El empleo de drones se encuentra regulado por normativas y restricciones legales que pueden diferir según el país o la región. Las regulaciones establecidas pueden restringir la utilización de drones en determinadas áreas o contextos.
- **Accesibilidad y entorno:** La accesibilidad se refiere a la capacidad de las personas para acceder y utilizar espacios, servicios y recursos de manera efectiva. Este concepto abarca no solo la infraestructura física, sino también la disponibilidad de información y la eliminación de barreras que puedan limitar

la participación plena de individuos en diversas actividades. El entorno, por su parte, se entiende como el conjunto de condiciones y características que rodean a los individuos, influyendo en su interacción con el espacio y los recursos disponibles. Un entorno accesible promueve la inclusión y la equidad, facilitando la integración de todas las personas, independientemente de sus capacidades físicas o cognitivas. Es fundamental considerar la interrelación entre accesibilidad y entorno en el diseño de políticas y programas que busquen mejorar la calidad de vida de la población. La implementación de medidas adecuadas puede contribuir significativamente a la creación de comunidades más inclusivas y sostenibles. Existen áreas que pueden resultar inaccesibles, particularmente en contextos urbanos densamente poblados o en terrenos irregulares, lo que puede limitar la aplicación de drones en actividades de topografía.

- **Costo:** A pesar de que los drones pueden presentar una opción más económica en comparación con otros métodos tradicionales, es importante considerar que los costos asociados a su adquisición, mantenimiento y operación pueden resultar significativos.

## **8. Sismo**

Los sismos, también denominados terremotos, representan uno de los fenómenos naturales más significativos y destructivos, resultantes de la liberación abrupta de energía en la corteza terrestre. La acumulación y liberación de esta energía se produce como resultado de la actividad tectónica, la cual se manifiesta a través del movimiento y la interacción de las placas tectónicas que constituyen la superficie terrestre. Los sismos pueden originarse a partir del deslizamiento de placas tectónicas a lo largo de fallas geológicas, así como por actividad

volcánica. Además, pueden ser consecuencia de movimientos isostáticos y de actividades antropogénicas.

La energía liberada durante un sismo se propaga en forma de ondas sísmicas, las cuales pueden inducir vibraciones en el suelo que varían desde niveles apenas perceptibles hasta intensidades capaces de ocasionar la destrucción de ciudades enteras.

## **8.1. Causa de sismos**

Los sismos son fenómenos geológicos que resultan de la liberación repentina de energía en la corteza terrestre, lo que genera ondas sísmicas. Esta liberación de energía puede ser atribuida a diversas causas, entre las cuales se destacan el movimiento de las placas tectónicas, la actividad volcánica y la actividad humana.

El movimiento de las placas tectónicas es uno de los principales factores que contribuyen a la ocurrencia de sismos. La corteza terrestre está compuesta por varias placas que se desplazan lentamente sobre el manto terrestre. Cuando estas placas interactúan, pueden generar tensiones que, al acumularse, provocan fracturas en la roca.

Este proceso se conoce como el mecanismo de falla y es responsable de la mayoría de los sismos. La actividad volcánica también puede ser una fuente de sismos. En este contexto, los movimientos sísmicos son generados por la presión acumulada en el interior de un volcán, que puede resultar de la intrusión de magma o de la liberación de gases.

Estos sismos volcánicos suelen ser de menor magnitud en comparación con los sismos tectónicos, pero pueden ser indicativos de una posible erupción. Por último, la actividad humana, a través de prácticas como la minería, la inyección de fluidos en el subsuelo y la extracción de recursos puede inducir sismos. Estos eventos, conocidos como sismos inducidos, han sido objeto de estudio en diversas investigaciones, dado su creciente relevancia en el contexto de la explotación de recursos naturales.

Las causas de los sismos pueden ser clasificadas en diversas categorías principales, cada una de las cuales presenta procesos subyacentes específicos.

Los movimientos tectónicos se refieren a los desplazamientos y deformaciones de las placas que conforman la litosfera terrestre. Estos movimientos son el resultado de procesos geológicos complejos que ocurren en el interior de la Tierra, específicamente en el manto y la corteza. Existen diferentes tipos de movimientos tectónicos, que se clasifican principalmente en tres categorías: convergentes, divergentes y transformantes.

Los movimientos convergentes se producen cuando dos placas tectónicas colisionan, lo que puede dar lugar a la formación de montañas, fosas oceánicas o actividad volcánica. Por otro lado, los movimientos divergentes ocurren cuando las placas se separan, generando nueva corteza oceánica a través de la actividad volcánica en las dorsales oceánicas. Finalmente, los movimientos transformantes implican el deslizamiento lateral de las placas, lo que puede provocar terremotos a lo largo de las fallas geológicas.

La comprensión de los movimientos tectónicos es fundamental para el estudio de la geología y la sismología, ya que estos fenómenos tienen un impacto significativo en la configuración del paisaje terrestre y en la ocurrencia de desastres naturales. Además, el análisis de estos movimientos permite prever y mitigar los riesgos asociados a la actividad sísmica y volcánica en diversas regiones del mundo.

La mayoría de los sismos se originan a partir de los movimientos de las placas tectónicas de la Tierra.

Los movimientos pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

- **Choque de Placas (Convergencia):** Este fenómeno geológico se refiere a la interacción entre dos placas tectónicas que se desplazan una hacia la otra. Este proceso puede dar lugar a diversas manifestaciones geológicas, como la formación de montañas, actividad sísmica y la creación de fosas oceánicas. La

convergencia de placas es un aspecto fundamental en la tectónica de placas, ya que influye en la configuración del relieve terrestre y en la dinámica de los procesos geológicos. Cuando dos placas tectónicas se desplazan una hacia la otra, el borde que establece el contacto puede experimentar colisiones y hundimientos en un fenómeno denominado subducción, el cual puede dar lugar a la ocurrencia de sismos. (P, 2025)

- **Separación de Placas (Divergencia):** Los bordes divergentes de placas, denominados también bordes constructivos, se manifiestan en aquellas regiones donde dos placas o la separación de placas tectónicas, también conocida como divergencia, se refiere al proceso mediante el cual dos placas tectónicas se alejan una de la otra. Este fenómeno geológico se produce en los límites divergentes, donde el magma asciende desde el manto terrestre, creando nueva corteza oceánica. Este proceso es fundamental para la dinámica de la tectónica de placas y tiene implicaciones significativas en la formación de dorsales oceánicas y en la actividad sísmica asociada. La divergencia también contribuye a la distribución de los recursos geológicos y a la configuración de los océanos. En las dorsales oceánicas, donde se produce la separación de las placas tectónicas, el magma asciende para ocupar el espacio generado, lo que puede dar lugar a la ocurrencia de sismos. (P, 2025)
- **Deslizamiento de Placas (Transformante):** El deslizamiento de placas transformantes se caracteriza por el movimiento lateral de las placas tectónicas, donde estas se desplazan en direcciones opuestas a lo largo de una falla. Este tipo de interacción tectónica se produce sin la creación ni la destrucción de litosfera, lo que contrasta con otros tipos de límites de placas, como los límites divergentes y convergentes. En las zonas de falla

transformante, la fricción entre las placas puede acumular tensiones que, al liberarse, generan sismos. Un ejemplo notable de este fenómeno es la falla de San Andrés en California, que ilustra las implicaciones geológicas y sísmicas asociadas con este tipo de límites. La comprensión de los mecanismos de deslizamiento de placas transformantes es fundamental para el estudio de la tectónica de placas y la evaluación de riesgos sísmicos en regiones afectadas. Las placas tectónicas pueden deslizarse unas contra otras en direcciones opuestas a lo largo de fallas transformantes, como es el caso de la Falla de San Andrés en California, lo que puede dar lugar a la generación de sismos. (P, 2025)

## **8.2. Ondas sísmicas**

Las ondas sísmicas constituyen vibraciones que se diseminan a través de la Tierra, originadas por fenómenos tales como terremotos, explosiones o procesos geológicos análogos que generan energía.

Estas ondas son fundamentales para el análisis del estado de la estructura interna de la Tierra, dado que ofrecen información significativa sobre las propiedades de los materiales que atraviesan.

Dentro del marco de dicho concepto investigativa sobre este tema, es crucial examinar los diferentes tipos de ondas sísmicas, así como los mecanismos de su generación y propagación. Además, es relevante considerar las aplicaciones de estas ondas en el estudio de la estructura y dinámica de la Tierra.

## **8.3. Tipos de ondas sísmicas**

Las ondas de sismo se dividen en dos categorías principales: ondas de cuerpo y ondas de superficie.

## Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo se propagan a través del interior de la Tierra y se clasifican en dos categorías principales:

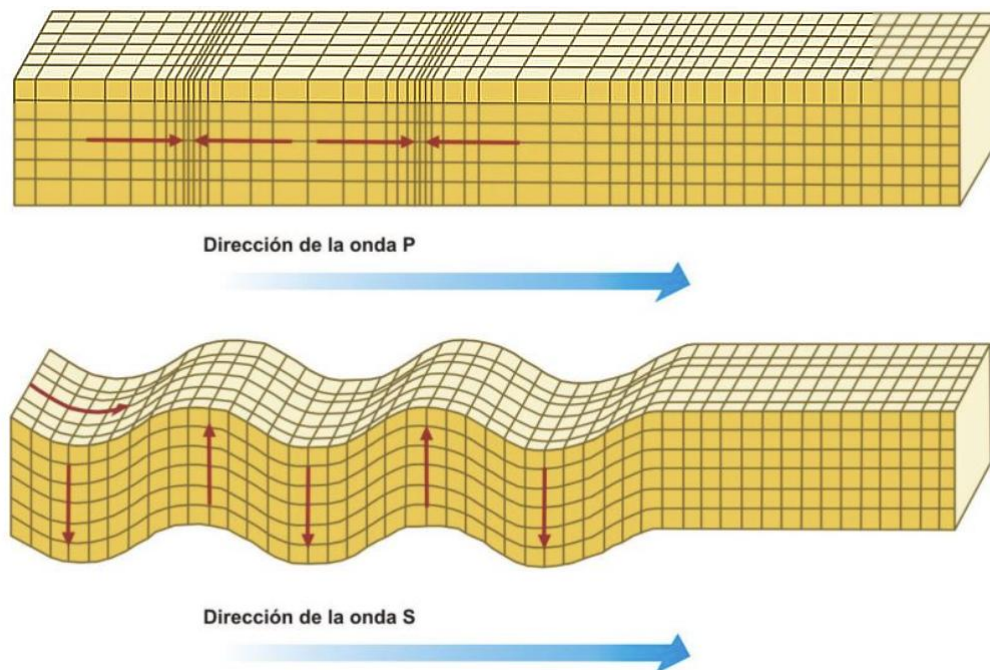
### Ondas Primarias

Las ondas longitudinales, también denominadas de esta manera, son las más veloces y las primeras en ser identificadas.

Se desplazan a través de sólidos, líquidos y gases. El movimiento se caracteriza por procesos de compresión y expansión en la dirección de propagación.

**Ondas Secundarias:** Se caracterizan por tener una velocidad de propagación inferior a la de las ondas P y su transmisión se limita exclusivamente a los sólidos. El movimiento se presenta como perpendicular a la dirección de propagación, lo que genera un efecto de corte. (Terremotos, 2022)

*Ilustración 6: Deformaciones que provocan las ondas internas*



Fuente: Instituto Nacional de prevención sísmica –Inpres-

## 8.4. Ondas de superficie

Las ondas de superficie son un fenómeno físico que se manifiesta en la interfaz entre dos medios, generalmente en la superficie de un líquido. Estas ondas se caracterizan por la propagación de perturbaciones que afectan tanto la superficie del líquido como el medio subyacente, aunque su influencia disminuye con la profundidad.

La comprensión de estas ondas es fundamental en diversas disciplinas, incluyendo la oceanografía, la ingeniería civil y la acústica, ya que su comportamiento puede influir en la dinámica de fluidos y en la interacción entre diferentes sistemas físicos.

El estudio de las ondas de superficie también tiene aplicaciones prácticas, como en la predicción de fenómenos naturales, la construcción de estructuras costeras y el diseño de dispositivos de medición. Las ondas de superficie se propagan a lo largo de la superficie terrestre y son generalmente responsables de la mayor parte de los daños ocasionados durante un sismo y se clasifican en:

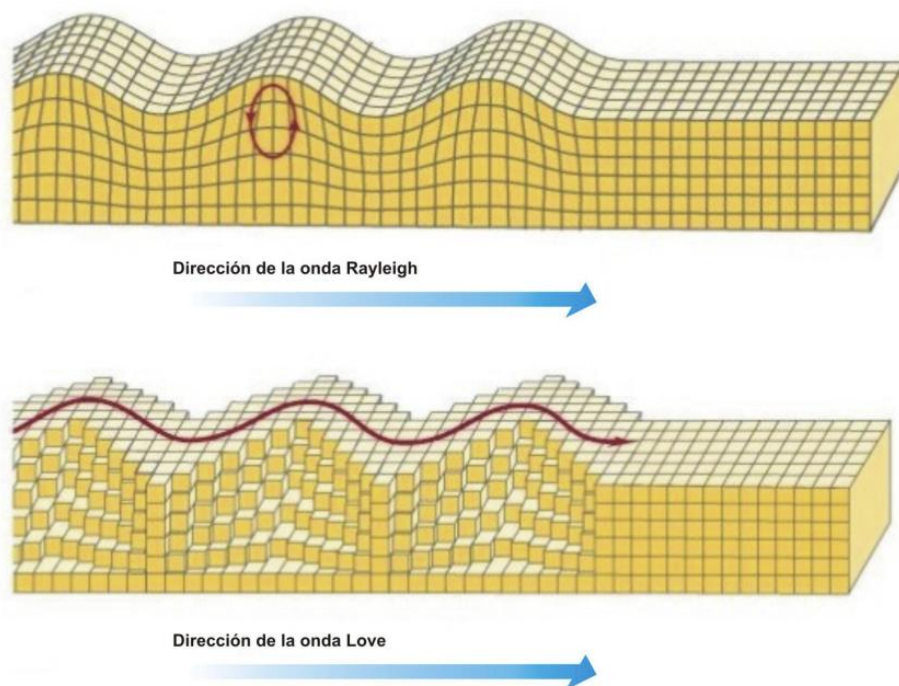
**Ondas Love:** Se desplazan en una dirección horizontal que es perpendicular a la dirección de propagación. No inciden en la verticalidad del terreno; sin embargo, pueden provocar un movimiento lateral significativo.

**Ondas Rayleigh:** son un tipo de ondas superficiales que se propagan a lo largo de la interfaz entre un medio sólido y otro medio, como el aire o el agua. Estas ondas se caracterizan por un movimiento elíptico de las partículas del medio, que se desplazan en dirección vertical y horizontal a medida que la onda avanza. Las ondas Rayleigh son de particular interés en el estudio de la sismología, ya que son responsables de gran parte de los daños estructurales durante un terremoto. Su análisis permite comprender mejor la propagación de las ondas sísmicas y su interacción con diferentes tipos de materiales.

Presentan un movimiento elíptico retrógrado en el plano vertical, análogo al comportamiento de las olas en el agua. Se caracterizan por ser las más lentas, aunque también presentan un potencial destructivo considerable, atribuible a su compleja forma de propagación.

(Terremotos, 2022)

*Ilustración 7: Deformaciones que provocan las Ondas Superficiales*



Fuente: Instituto Nacional de prevención sísmica –Inpres-

## 8.5. Medidas de sismos

Todo sismo presenta un foco, que se define como el punto en la profundidad de la Tierra donde se libera la energía, y un epicentro, que corresponde al punto en la superficie terrestre que se encuentra directamente sobre el foco. Los sismos se cuantifican comúnmente mediante dos escalas.

- Escala de Richter
- Escala de Mercalli

La escala de Richter, fundamentada en el registro sismográfico, es una escala que presenta un crecimiento exponencial, de tal manera que cada incremento en la escala indica una liberación de energía significativamente mayor. En contraste, la escala de Mercalli se evalúa en función de los efectos observados de los sismos en la superficie y su impacto en las estructuras y la población.

En la Tabla 1 se presenta la Aceleración Máxima del suelo como Medida de Intensidad y la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada, las cuales han sido objeto de correlación. Es fundamental destacar que la aceleración máxima del suelo se obtiene a partir de equipos de alta precisión instalados en estaciones sismológicas, las cuales se encuentran en observatorios dedicados al análisis de eventos sísmicos previos. Además, se llevan a cabo ensayos de laboratorio que facilitan la correlación entre los acelerómetros y las pruebas realizadas en diversos modelos de construcción sobre mesas vibrantes, considerando las aceleraciones aplicadas en dichos ensayos.

En consecuencia, es posible establecer una analogía entre los daños asociados a los modelos (Lino, 2012).

*Tabla 1: Escala de Intensidad Mercalli Modificada*

Medida de Intensidad Acel. Máx. Suelo (% g)	Grado Sísmico	Efectos sobre las personas, objetos y construcciones
0,001 g	I	El sismo lo sienten unas pocas personas en circunstancias excepcionalmente
0,002 g	II	Lo sienten las personas en reposo, en los pisos superiores o favorablemente situados.
0,005 g	III	Se siente en el interior de los edificios y especialmente en las plantas superiores; los objetos colgantes se mecen; se puede estimar la duración.
0,015 g	IV	Los carros estacionados se mecen; las ventanas, la vajilla y las puertas vibran; en el rango más alto de IV los muros y marcos de madera crujen.
0,030 g	V	Se siente en el exterior de los edificios; los objetos pequeños e inestables se desplazan o se vuelcan; los relojes de péndulo se detienen.
0,061 g	VI	Lo sienten todas las personas; muchos se asustan y corren al exterior; enyesados caen, las chimeneas sufren averías; los árboles y arbustos se agitan.
0,132 g	VII	Es difícil estar de pie; oleaje en los estanques; el agua se enturbia con fango; averías ligeras y hasta moderadas en las estructuras normales; averías importantes en los edificios mal contruidos.
0,306 g	VIII	Averías ligeras en las construcciones antisísmicas; averías considerables en las construcciones normales; caen las chimeneas y estatuas; fallan columnas; grietas en el terreno húmedo y en las pendientes muy empinadas.
0,637 g	IX	Pánico general; averías de importancia en estructuras antisísmicas; caen las estructuras mal ejecutadas; se rompen las tuberías subterráneas; aparecen grietas en la superficie terrestre.
1,121 g	X	La mayoría de las construcciones antisísmicas son deslizamientos de tierra; los rieles se doblan ligeramente, destruidas; grandes
1,121 g	XI	Las tuberías subterráneas se destruyen completamente; los rieles se doblan mucho; aparecen fallas en la superficie de la tierra.
>3,567 g	XII	Destrucción total; se desplazan grandes masas de rocas; objetos arrojados al aire; se observan las ondas sísmicas en la superficie de la tierra.

La intensidad de los sismos puede generar una variabilidad en su previsibilidad, lo que conlleva a la posibilidad de desastres de gran magnitud. Las investigaciones sugieren que los sismos no solo impactan la superficie terrestre, sino que también pueden desencadenar fenómenos como tsunamis, erupciones volcánicas o deslizamientos de tierra.

Terremotos de magnitud moderada, e incluso aquellos que no son considerados particularmente fuertes, pueden tener consecuencias catastróficas en áreas con alta densidad

poblacional y en infraestructuras que no están adecuadamente preparadas para mitigar su impacto.

*Ilustración 8: Terremoto Mw – 7,8 Manabí - Ecuador*



Fuente: Jonny Cárdenas

## **8.6. Impacto de sismo en Ecuador**

Ecuador se caracteriza por ser un territorio vulnerable a diversos fenómenos naturales, los cuales están vinculados a los procesos geológicos y geomorfológicos que son inherentes a su contexto geográfico (FAO, 2010). Desde principios del siglo XVII, se han documentado al menos 90 episodios telúricos clasificados como sismos significativos, así como al menos 60 eventos volcánicos que han influido en la ocupación y distribución del territorio (SGR/ECHO/UNISDR, 2012; Vasconez et al., 2022; Sánchez Cortez & Simbaña Tasiquango, 2021).

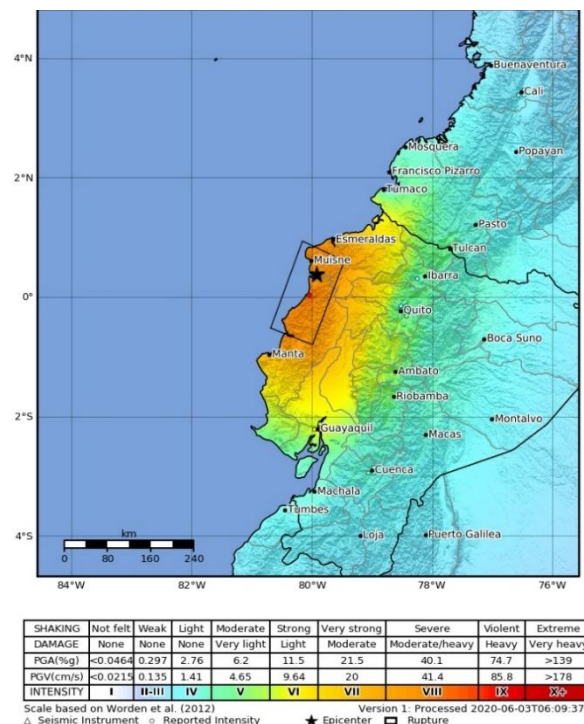
La exposición de Ecuador a las amenazas naturales es un fenómeno que merece un

análisis detallado. La tendencia observada en estos eventos indica un incremento progresivo tanto en la frecuencia como en la gravedad de estos. La FAO (2010) señala que, de los 29 eventos naturales significativos que han afectado a la población ecuatoriana en las últimas cuatro décadas, al menos el 59% se relaciona con fenómenos sísmicos.

Uno de los episodios sísmicos más recientes en Ecuador tuvo lugar en la noche del sábado 16 de abril de 2016 (16A, 18H58 UTC-5). Este evento ha sido clasificado como el segundo de mayor magnitud en la historia del país. El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional reportó un evento sísmico con una magnitud de 7.8 Mw (momento sísmico), cuyo epicentro se localizó en el mar, en las proximidades de la costa ecuatoriana, específicamente entre las provincias de Esmeraldas y Manabí.

Este fenómeno se originó a partir de la interacción tectónica y dinámica entre las Placas de Nazca y Sudamericana, con un epicentro localizado en el mar y a una profundidad de 20 km, según el EPN (2016). El evento sísmico impactó una región costera que abarca aproximadamente 450 kilómetros en torno al área epicentral (Sánchez & Simbaña, 2021).

*Ilustración 9: Mapa de Intensidad del terremoto.*



Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos

La magnitud del sismo dio lugar a una serie de problemas estructurales y al colapso de servicios básicos en la zona afectada. Numerosos poblados experimentaron la interrupción y pérdida del suministro eléctrico, así como el aislamiento de sus vías de comunicación y el colapso de los sistemas de telecomunicaciones. Asimismo, tras el sismo, los servicios de salud experimentaron limitaciones y afectaciones significativas como resultado de los daños severos en las instalaciones (INEC, 2017).

Las afectaciones más significativas derivadas del evento se registraron en las provincias costeras de Manabí y Esmeraldas, donde se ubicó el epicentro del movimiento sísmico (Sánchez & Simbaña, 2024).

*Ilustración 10: Manta Zona Perjudicada Por Terremoto 2016*



Fuente: BBC – News Mundo

## **8.7. Comportamientos sísmicos en estructuras de hormigón**

El comportamiento sísmico de las estructuras de hormigón armado ha sido objeto de un análisis más exhaustivo en comparación con otros tipos de materiales. Es importante señalar que esta situación se atribuye, en primer lugar, al uso predominante de dicho material, y, en segundo lugar, a la dificultad inherente en la provisión de una ductilidad adecuada.

Las estructuras de hormigón armado son actualmente objeto de una creciente demanda por parte de proyectistas y constructores, debido a su adaptabilidad y a su eficiencia económica. La rigidez se emplea con el propósito de minimizar las deformaciones sísmicas, lo que a su vez contribuye a la reducción de los daños en los elementos estructurales y no estructurales. En la actualidad, se han desarrollado sistemas estructurales más rígidos y menos flexibles en comparación con aquellos utilizados en épocas anteriores, los cuales han demostrado su eficacia en regiones de alta sismicidad (Pulay y Priestley, 1992).

El hormigón armado constituye un material heterogéneo que presenta un comportamiento relativamente simple, lo que permite su análisis desde diversas perspectivas. Para lograr una comprensión adecuada de la temática en cuestión, es necesario considerar diversos factores y contextos que influyen en el análisis.

Es fundamental conocer con precisión cada una de las propiedades mecánicas de los elementos que componen este material. Las propiedades más relevantes incluyen: El hormigón y el acero de refuerzo son elementos fundamentales en la construcción de estructuras. Según Pulay y Priestley, (1992), su interacción y propiedades mecánicas son esenciales para garantizar la resistencia y durabilidad de las edificaciones.

## **8.8. Irregularidades en elevación y en planta**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015 presenta un enfoque distintivo en la penalización de estructuras. En particular, en el caso de estructuras que exhiben

irregularidades tanto en planta como en elevación, se establece la suma de los coeficientes de configuración estructural. Estos coeficientes tienen como objetivo penalizar el diseño con el fin de considerar dichas irregularidades, lo que permite una evaluación más precisa del comportamiento estructural ante la ocurrencia de un sismo (Peligro Sísmico, Diseño sismo resistente, 2015).

Los coeficientes de configuración estructural incrementan el valor del cortante de diseño con el propósito de proporcionar una mayor resistencia a la estructura. Sin embargo, esta medida no garantiza la mejora del comportamiento sísmico de la edificación. En consecuencia, el diseño estructural se ve influenciado por la existencia de las irregularidades señaladas (Peligro Sísmico, Diseño sismo resistente, 2015).

La penalización por irregularidades, conforme a la NEC-15, se establece mediante la siguiente ecuación:

## **8.9. Coeficiente de regularidad en planta**

$$\mathbf{\emptyset P = \emptyset PA \times \emptyset PB}$$

**Dónde:**

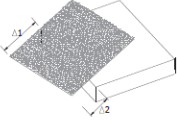
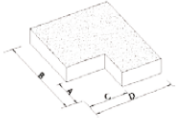
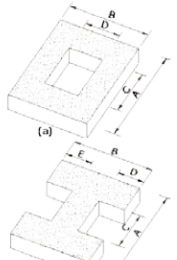
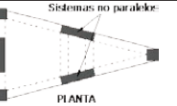
**$\emptyset P$ :** Coeficiente de regularidad en planta

**$\emptyset PA$ :** Mínimo valor  $\emptyset Pi$  de cada piso  $i$  de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1,2 y/o 3

**$\emptyset PB$ :** Mínimo valor  $\emptyset Pi$  de cada piso  $i$  de la estructura en el caso de irregularidades tipo 4.

**$\emptyset Pi$ :** Coeficiente de configuración en planta

*Ilustración 11: Coeficientes de irregularidad en planta*

<p><b>Tipo 1 - Irregularidad torsional</b>  <math>\phi_T=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 - Retrocesos excesivos en las esquinas</b> <math>\phi_T=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 - Discontinuidades en el sistema de piso</b>  <math>\phi_T=0.9</math>  a) <math>CxD &gt; 0.5AxB</math>  b) <math>[CxD + CxE] &gt; 0.5AxB</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 - Ejes estructurales no paralelos</b>  <math>\phi_T=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>	

Fuente: NEC-SE-DS-Peligro-sísmico

## 8.10. Coeficiente de regularidad en elevación $\phi_E$

$$\phi_E = \phi_{EA} \times \phi_{EB}$$

**Dónde:**

$\phi_E$ : Coeficiente de regularidad en elevación

$\phi_{EA}$ : Mínimo valor  $\phi_{Ei}$  de cada piso  $i$  de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1:

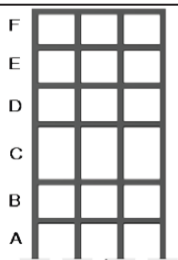
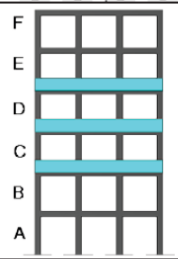
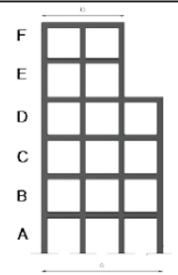
$\phi_{Ei}$ : en cada piso se calcula como mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 1.

$\phi_{EB}$ : Mínimo valor  $\phi_{Ei}$  de cada piso  $i$  de la estructura, en el caso de irregularidades tipo:

$\phi_{Ei}$  en cada piso se calcula como mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 2 y/o 3.

$\phi_{Ei}$ : Coeficiente de configuración en elevación.

Ilustración 12: Coeficientes de irregularidad en elevación

<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_{Ei}=0.9</math>  Rigidez <math>K_c &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math>  <math>Rigidez &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_{Ei}=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_{Ei}=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>	

Fuente: NEC-SE-DS-Peligro-sísmico

## 9. Análisis Lineal Modal Espectral

El Análisis Modal Espectral (AME) postula que la respuesta total de una estructura puede ser representada como la suma de las respuestas de sus modos de vibración individuales. Cada modo de vibración presenta una frecuencia natural y una forma modal

correspondiente.

La respuesta dinámica de la estructura se determina mediante la combinación de estas respuestas modales, las cuales son ponderadas por las fuerzas sísmicas correspondientes (Clough & Penzien, 2003).

El procedimiento general del análisis modal espectral comprende los siguientes pasos: Parece que no ha proporcionado un texto específico para formalizar. Por favor, comparta el contenido que desea que se eleve y formalice.

## **9.1. Modelado de la estructura**

La estructura se representa a través de un modelo matemático que incorpora su masa, rigidez y amortiguamiento.

Por favor, proporcione el texto que desea que formalice.

### **Análisis modal**

Se procede a determinar la frecuencia natural y las formas modales de la estructura.

Por favor, proporcione el texto que desea que formalice.

### **Espectro de respuesta**

Se define el espectro de respuesta sísmica como una representación gráfica que ilustra la respuesta máxima anticipada de una estructura de un solo grado de libertad ante diversas frecuencias.

### **Cálculo de la respuesta modal**

La respuesta de cada modo se determina mediante el espectro de respuesta.

### **Combinación modal**

Se integran las respuestas modales individuales con el fin de obtener la respuesta total de la estructura.

La combinación de las respuestas modales puede llevarse a cabo a través de diversos

métodos, tales como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) o la combinación cuadrática completa (CQC).

El método CQC tiene en cuenta la interacción estadística entre modos que se encuentran significativamente separados, como resultado de la amortiguación modal. A medida que se incrementa la amortiguación modal, también se intensifica la interacción entre dichos modos. Si la amortiguación es inexistente para todos los modos, este método se transforma en el método de suma cuadrática raíz, conforme se indica en el Manual de Referencia de Análisis de CSI para SAP2000®, ETABS®, SAFE® y CSiBridge®, 2017.

### **9.1.1. Modo de vibración**

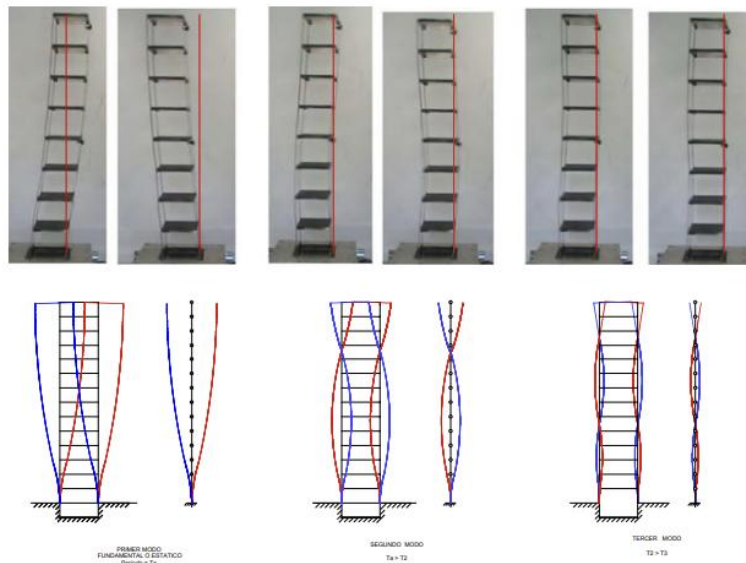
Los edificios, al igual que cualquier estructura, presentan diversas formas de vibrar cuando son sometidos a eventos sísmicos. Cada uno de estos modos de vibración puede verse afectado en diferentes grados de intensidad. A cada forma de movimiento se le denomina modo de vibración, tal como se indica en (Modos de vibración de un edificio, 2013).

Cada modo se asocia con una frecuencia natural específica a la cual la estructura tiene una tendencia a vibrar. A continuación, se presentan los aspectos fundamentales:

En el contexto del análisis dinámico, se procede al cálculo de las respuestas modales, que incluyen desplazamientos, velocidades y aceleraciones, correspondientes a cada modo de vibración.

Las respuestas modales se obtienen para las direcciones correspondientes al sismo, que son X, Y y Z.

*Ilustración 13: Los tres primeros modos de vibración, modelo de 8 pisos*



Fuente: Domínguez, 2014

### **9.1.2. Espectro de respuesta**

El espectro de reacción presenta la respuesta máxima de una serie de osciladores simples en una visualización gráfica, en función de una vibración sísmica puntual. Este principio resulta fundamental en el ámbito del diseño sísmico, dado que permite la evaluación de las demandas sísmicas a partir de las características dinámicas de la estructura. (Newmark y Hall, 1982)

## **10. Zonas sísmicas y curvas de peligro sísmico**

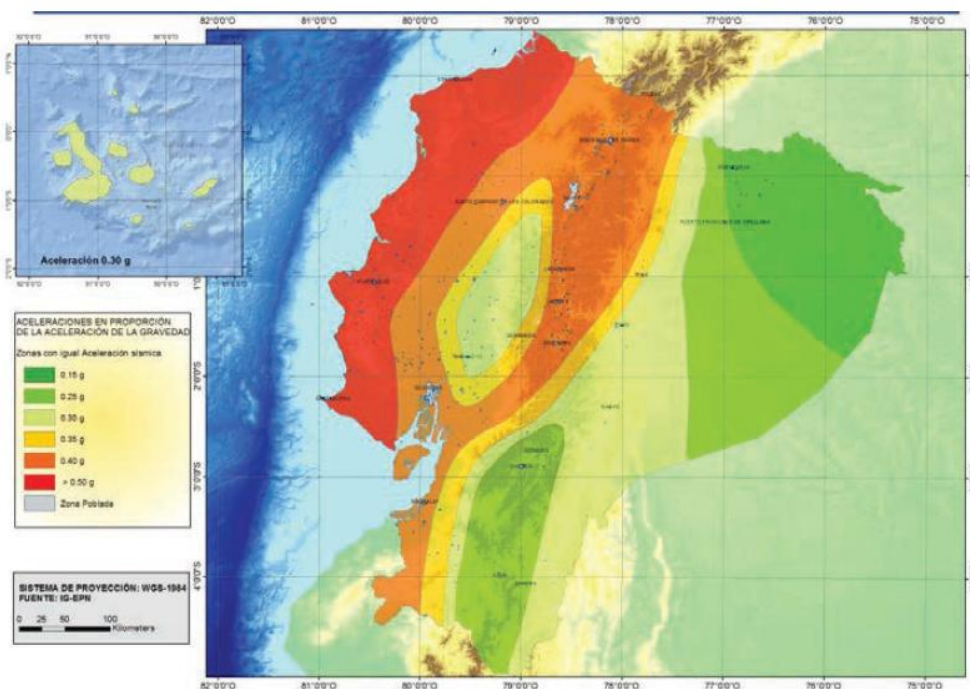
### **Zonificación sísmica y factor de zona z**

En el contexto de los edificios de uso normal, se emplea el valor de  $Z$ , el cual representa la aceleración máxima en roca. La aceleración esperada para el sismo de diseño se expresa como una fracción de la aceleración debida a la gravedad.

La ubicación seleccionada para la construcción de la estructura se ubicará en una de las seis zonas sísmicas del Ecuador.

Se caracteriza por el valor del factor de zona Z, conforme al mapa presentado en la ilustración 12. (NED–SE -DS,2015)

*Ilustración 14: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño*



Fuente: NEC–SE–DS,2015

El mapa de zonificación sísmica destinado al diseño se deriva de los resultados obtenidos del estudio de peligro sísmico.

Para un 10% de excedencia en un horizonte temporal de 50 años, con un período de retorno de 475 años, se considera la inclusión de una saturación a.

Se presentan 0.50 g como los valores de aceleración sísmica en roca correspondientes al litoral ecuatoriano, los cuales caracterizan la zona VI. (NED–SE-DS,2015)

Tabla 2: valores del factor  $z$  en función de la zona sísmica adoptada.

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

Fuente: NEC–SE–DS,2015

El territorio ecuatoriano se clasifica en su totalidad como de alta amenaza sísmica, con la excepción de:

- El Nororiente presenta un nivel de amenaza sísmica clasificado como intermedio.
- El litoral ecuatoriano se caracteriza por una elevada amenaza sísmica.

### 10.1. Curvas de peligro sísmico

En el ámbito del diseño de estructuras de ocupación especial, así como de estructuras esenciales y puentes, es fundamental considerar una serie de criterios técnicos y normativos que aseguren la funcionalidad, seguridad y durabilidad de estas. Este proceso implica la integración de principios de ingeniería estructural, análisis de cargas, y evaluación de materiales, con el objetivo de satisfacer las exigencias específicas de cada tipo de obra. Además, es necesario tener en cuenta las normativas vigentes que regulan la construcción y el mantenimiento de estas estructuras, garantizando así su adecuación a los estándares de calidad y seguridad requeridos.

Es imperativo emplear diversos niveles de análisis en el contexto de las infraestructuras portuarias y otras estructuras que no se limitan a la edificación.

El análisis del peligro sísmico tiene como objetivo verificar el cumplimiento de diversos niveles de desempeño, conforme a los estándares establecidos con el propósito de establecer los distintos niveles de aceleración sísmica anticipada en roca, se presentan en las

Se presentan las curvas de peligro sísmico probabilista correspondientes a cada capital de provincia, en las cuales se establece una relación entre el valor de la aceleración del suelo y la probabilidad de excedencia en un determinado periodo de retorno. Estas curvas son fundamentales para la evaluación del riesgo sísmico y permiten una mejor comprensión de la vulnerabilidad de las infraestructuras en las distintas regiones.

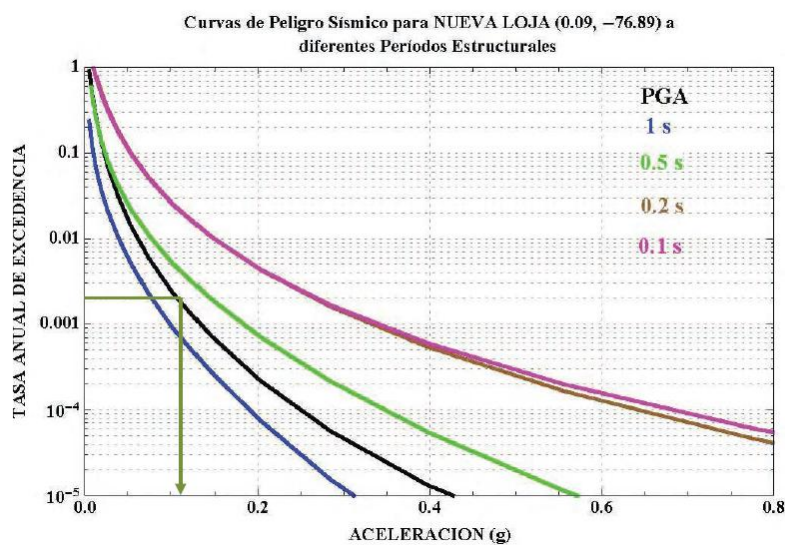
La aceleración sísmica en el terreno (PGA) se determina en función de un nivel específico de probabilidad anual de excedencia.

El periodo de retorno asociado se define como el inverso de la probabilidad anual de excedencia. Además, las curvas de aceleraciones máximas espectrales correspondientes a diversos períodos. Estructuras con periodos de 0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 segundos.

En los apéndices se presentan las curvas de peligro sísmico asociadas a las capitales de provincia, proporcionando las aceleraciones máximas esperadas en el terreno (PGA) así como las aceleraciones correspondientes.

Máximas espectrales para diversos niveles de probabilidad anual de excedencia, de acuerdo con lo establecido en la siguiente ilustración. (NED–SE-DS,2015)

*Ilustración 15: Curvas de peligro sísmico, Nueva Loja.*



Fuente: NEC-SE-DS,2015

## **11. Análisis No Lineal Tiempo Historia**

El Análisis Tiempo Historia (ATH) constituye una técnica avanzada empleada en la evaluación de la respuesta dinámica de estructuras expuestas a excitaciones sísmicas. A diferencia del análisis modal espectral, el Análisis de la Respuesta de la Estructura (ATH) tiene en cuenta la respuesta de la estructura ante una serie temporal específica de aceleraciones sísmicas.

El análisis de la respuesta sísmica de estructuras (ATH) implica la resolución directa de las ecuaciones de movimiento de la estructura en respuesta a un registro sísmico particular. Este método ofrece una descripción exhaustiva de la respuesta estructural en función del tiempo, lo que posibilita la evaluación de parámetros tales como desplazamientos, fuerzas internas y aceleraciones en cada momento.

El procedimiento general del ATH comprende los siguientes pasos:

- **Modelación de la estructura**

La estructura se describe a través de un modelo matemático exhaustivo que incorpora parámetros como la masa, la rigidez y el amortiguamiento.

Parece que no ha proporcionado un texto para editar. Si desea que revise un texto específico, por favor compártalo y estaré encantado de ayudarle.

- **Selección del registro sísmico**

La elección de un registro sísmico adecuado es un proceso fundamental en el análisis y diseño de estructuras frente a eventos sísmicos. Este proceso implica la consideración de diversos factores, tales como la magnitud del sismo, la distancia epicentral, las características del terreno y la respuesta dinámica de la edificación en cuestión. Es esencial que el registro seleccionado represente de manera precisa las condiciones sísmicas que pueden afectar la estructura, lo que incluye la evaluación de la aceleración, la duración y el espectro de

respuesta del movimiento del suelo. Asimismo, se debe tener en cuenta la disponibilidad de datos y la relevancia de los registros en relación con la ubicación geográfica del proyecto. La metodología para la selección de registros puede incluir el uso de bases de datos de sismos históricos, así como simulaciones numéricas que permitan obtener movimientos sísmicos representativos.

La integración de las ecuaciones de movimiento constituye un aspecto fundamental en el estudio de la dinámica de los sistemas físicos. Este proceso permite obtener las trayectorias y velocidades de los cuerpos en función del tiempo, a partir de las leyes que rigen su comportamiento. En general, las ecuaciones de movimiento se derivan de principios como el de Newton o de formulaciones más avanzadas, como las que se encuentran en la mecánica lagrangiana o hamiltoniana. Para llevar a cabo la integración, es necesario contar con las condiciones iniciales adecuadas, que incluyen la posición y la velocidad del sistema en un instante determinado.

- **Análisis de respuesta** Se lleva a cabo un análisis de la respuesta de la estructura considerando los desplazamientos, las fuerzas internas y las aceleraciones a lo largo del tiempo.

El Análisis de la Teoría de la Habilidad (ATH) se revela especialmente valioso en el estudio de estructuras complejas, así como en la evaluación de su respuesta no lineal. Este método ofrece un análisis detallado y preciso de la respuesta de una estructura ante una secuencia específica de movimientos sísmicos.

# CAPITULO III

## 12. Marco metodológico

### 12.1. Levantamiento en sitio

La determinación del área de investigación se efectuó en el sector posterior del campus Vía a la Costa de la Universidad Politécnica Salesiana (ubicada en Guayaquil), seleccionando el polígono debido a su aptitud física para el avance del proyecto. Con el objetivo de asegurar la consistencia espacial de la investigación, el sitio fue georreferenciado utilizando el sistema de coordenadas WGS-84 / UTM zona 17M, comenzando con cotas de referencia promedio de 26 metros sobre el nivel del mar.

Con el propósito de establecer una base geométrica de alta exactitud para la modelización estructural, se puso en práctica una metodología de levantamiento fotogramétrico aéreo utilizando Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT). La etapa de recolección de datos se llevó a cabo conforme a una meticulosa planificación de vuelo, utilizando cámaras calibradas y estableciendo solapes longitudinales y transversales para garantizar una cobertura sólida. En el marco de la supervisión de calidad en terreno, se materializó y cuantificó una red de Puntos de Control (GCP) para el ajuste geométrico y Puntos de Chequeo (CP) para la validación independiente. Se empleó instrumentación topográfica de alta precisión para asegurar la estabilidad de las coordenadas a lo largo de la campaña.

La gestión de los datos recolectados se efectuó siguiendo una secuencia técnica estandarizada que comprendió la alineación de imágenes, la generación de nubes de puntos densos y la elaboración de Modelos Digitales del Terreno (MDT). La verificación de los hallazgos evidenció un Error Medio Cuadrático (RMSE) de 2–3 cm en planimetría y 3–5 cm en

altimetría. Estos márgenes de error, al estar dentro del rango de tolerancia para la ingeniería de edificación, facilitaron la creación de ortomosaicos y planos base (DXF/DWG) confiables para la delineación de ejes y niveles en el software de análisis estructural correspondiente.

*Ilustración 16 Universidad Politécnica Salesiana*



Nota: el ortomosaico refleja todo el predio de la universidad politécnica salesiana

Fuente: Ing. Carlos Valero.

*Ilustración 17: Ubicación - Edificio Residencial*



Fuente: Ing. Carlos Valero

*Tabla 3 Coordenadas*

<b>Puntos</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Punto 1	2°11'50.70" S	80°2'34.85" O
Punto 2	2°11'51.81" S	80°2'34.20" O
Punto 3	2°11'51.39" S	80°2'33.63" O
Punto 4	2°11'50.26" S	80°2'34.27" O

Fuente: Wladimir Flores

## 12.2. Estudio de suelo mediante refracción sísmica

se llevó a cabo la caracterización dinámica del sitio mediante la aplicación de refracción sísmica y el análisis de ondas superficiales (ReMi/MASW) a lo largo de dos líneas elevadas dentro del terreno (longitudes aproximadas 120 m y 48 m). La obtención y el procesamiento posibilitaron la estimación de perfiles de velocidad de onda en función de la profundidad, la derivación del parámetro Vs30, así como la determinación del período predominante del depósito.

### 12.2.1. Línea ejecutada en el proyecto LS – 01

Las figuras que se presentan, al igual que las fotografías, ilustran el sismograma generado en el primer ensayo de campo se refiere a la longitud de exploración de la línea en la superficie el gráfico de dispersión derivado del ensayo, correspondiente a la zona de pruebas y las coordenadas.

A continuación, se presentan las coordenadas.

*Tabla 4: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto*

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

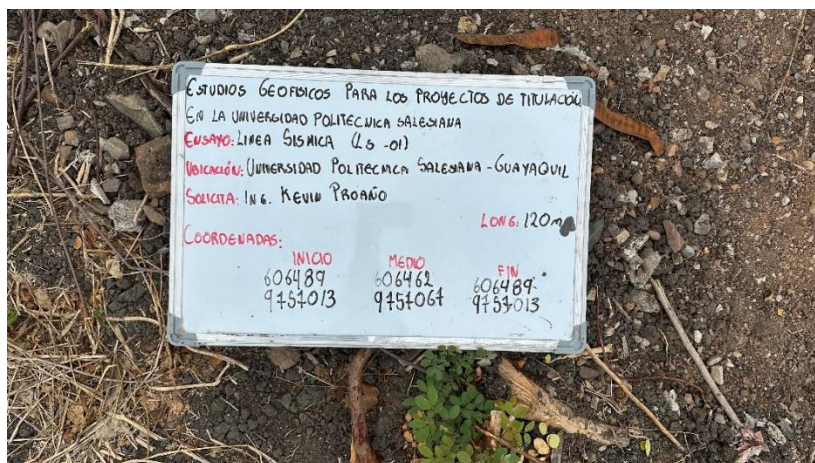
Fuente: INGEO

*Ilustración 18: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-01*



Fuente: Wladimir Flores

*Ilustración 19: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-01*



Fuente: Wladimir Flores

### 12.2.2. Ensayo sísmico de refracción LS – 01

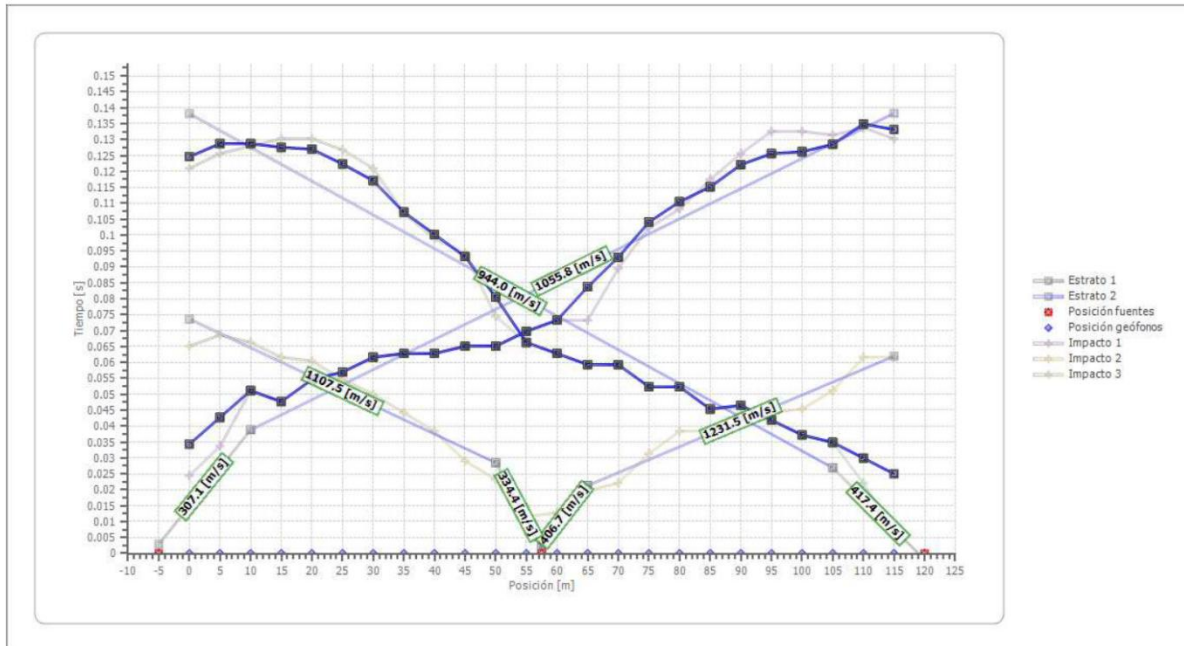
Las figuras subsiguientes ilustran los hallazgos derivados del procesamiento del primer ensayo sísmico llevado a cabo. Las dromocronas producidas, el mapa de las velocidades de onda derivadas del subsuelo, junto con el perfil geofísico estratigráfico inferido. Los gráficos exhibidos se derivaron de la manipulación de la información de campo utilizando el software especializado Geostru EasyReftact. Además, se identifican los parámetros elásticos establecidos por el software durante el procesamiento de la información.

En este primer ensayo, mediante la implementación del método sísmico, se evidencia que:

- Desde el punto de exploración, se manifiesta una capa inicial de material. Consistente con suelos arcillosos altamente húmedos y materiales marinos con una alta a mediana proporción de vacíos. La velocidad de onda cortante calculada por el programa es  $V_s = 195.83$  m/s. La potencia oscila entre 0 m y 7 m aproximadamente, presentando un estrato irregular a lo largo del área de investigación.
- El segundo estrato se manifiesta como un material compacto, probablemente arcillas arenosas de alta resistencia a rocas blandas con una velocidad de ruptura de 1034.55 m/s y una velocidad de suelta de 633.53 m/s.

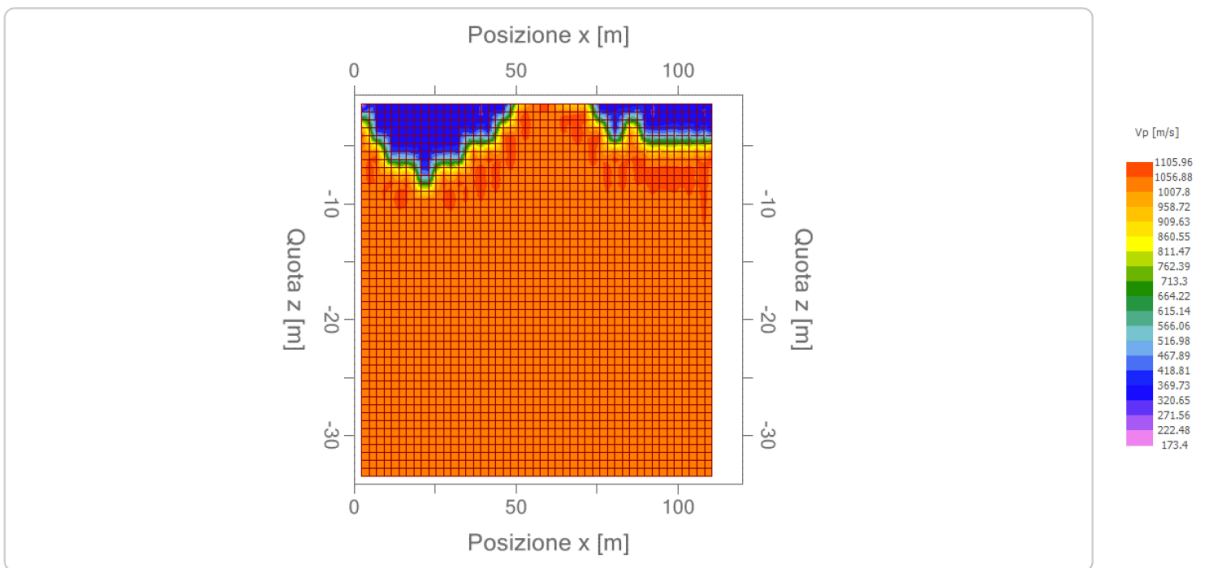
La zona expone una alta presencia de saturación, probablemente entre 1.00 m y 2.00 m de profundidad.

Ilustración 20: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 01



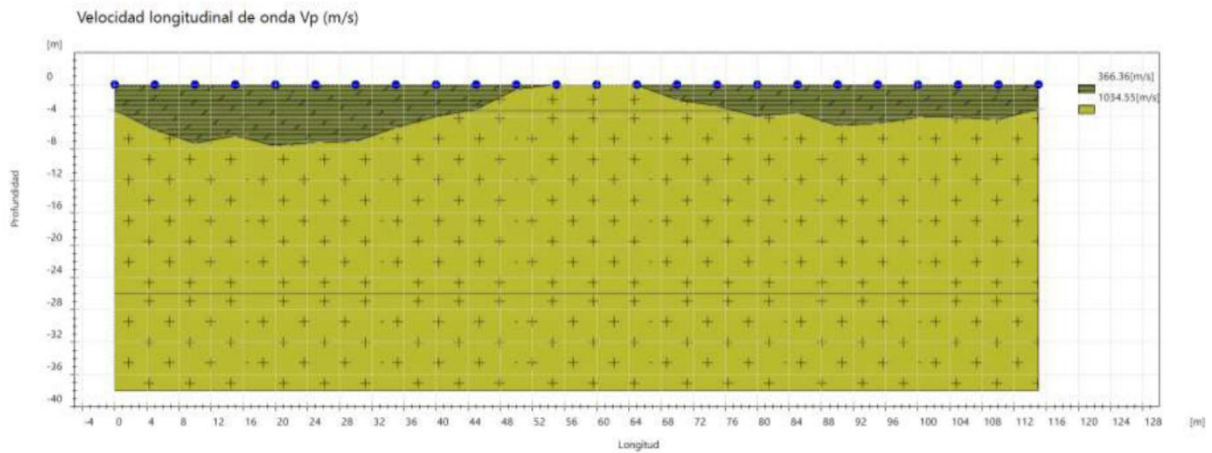
Fuente: INGEO

Ilustración 21: Tomografía sísmica de refracción LSR – 01



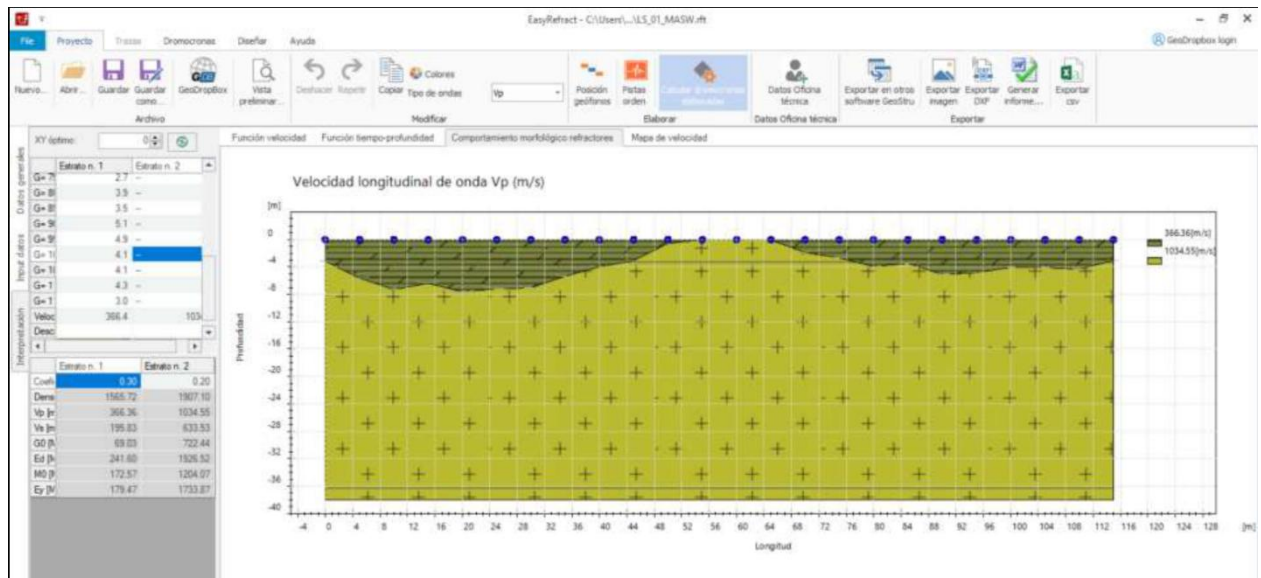
Fuente: INGEO

Ilustración 22: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 01, velocidades de onda Vp



Fuente: INGEO

Ilustración 23: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 01

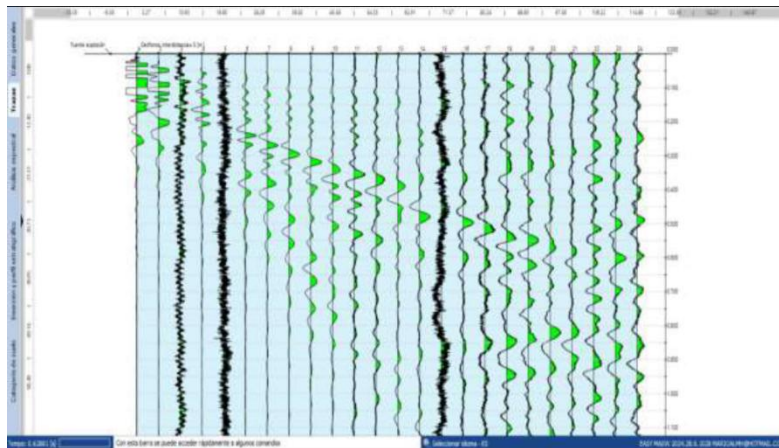


Fuente: INGEO

### 12.2.3. Ensayo sísmico ReMI + MAS W LS-01

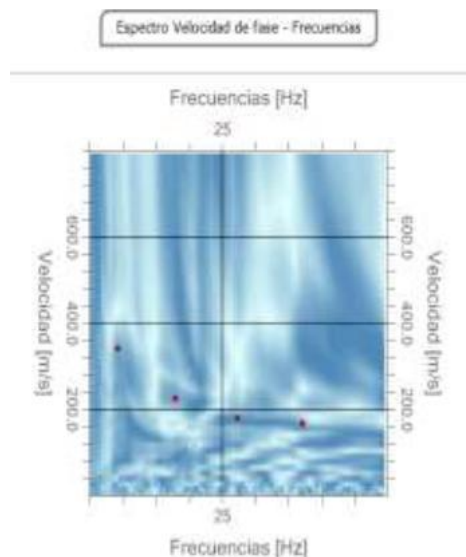
Las figuras subsiguientes ilustran el sismograma producido durante estos ensayos, la curva de dispersión, el perfil de velocidad, así como la interpretación en un solo plano resultante del ensayo geofísico ReMI + MAS W.

*Ilustración 24: Sismograma de la LS – 1 y longitud de exploración de línea sísmica generada*



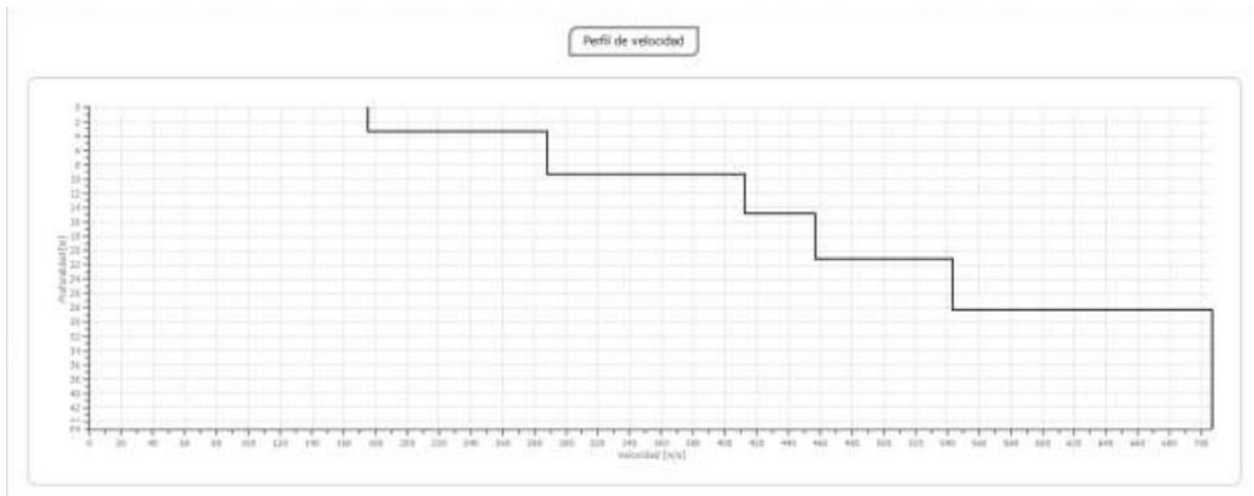
Fuente: INGEO

*Ilustración 25: Espectro de velocidad – frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS*



Fuente: INGEO

*Ilustración 26: Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 01*



Fuente: INGEO

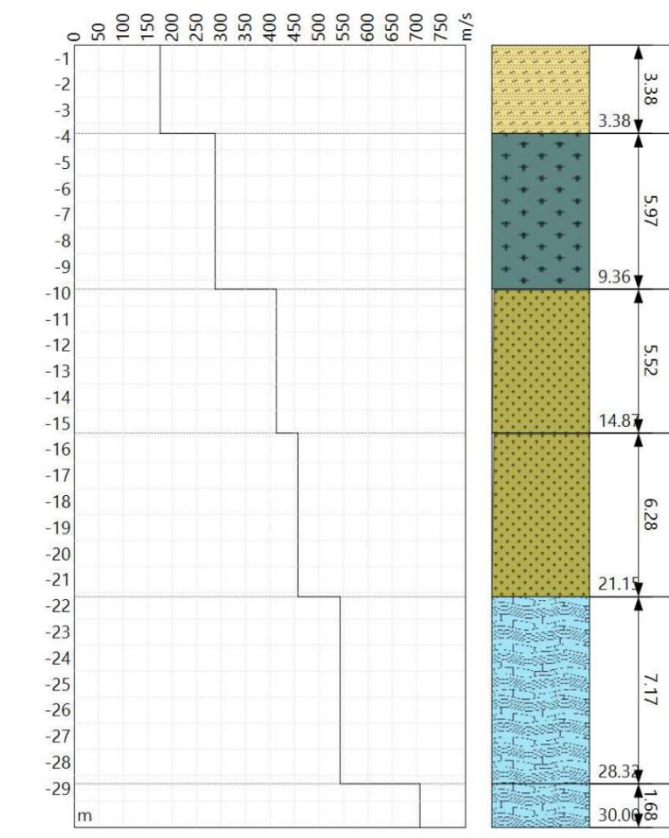
Conforme al procesamiento de información, la primera línea producida por el método MAS W exhibe una profundidad de hasta 30 metros, y presenta cuatro estratos geofísicos en función de sus respectivas velocidades de onda. Las velocidades de onda y los estratos subsiguientes se presentan a continuación:

- Desde la cota de exploración, aproximadamente 3.38 metros, se presenta una  $V_s$  de 175,36 metros por segundo y una  $V_p$  de 328,06 metros por segundo. Se manifiesta como un material con elevada proporción de vacíos, probablemente materiales arcillosos con alta humedad, que actúan como rellenos.
- Desde 3.38 m hasta 9.36 m se interpreta un material más consolidado, suelos arcillosos arenosos de baja relación de vacíos.  $V_s = 287.87$  m/s y la  $V_p = 520.78$  m/s.
- Desde una profundidad de 3.38 metros hasta 9.36 metros, se identifica un material más consolidado, compuesto por suelos arcillosos arenosos que presentan una baja relación de vacíos. La velocidad del sonido es de 287.87 m/s y la velocidad de la presión es de 520.78 m/s.

- Finalmente, entre los 21.15 m y los 30.00 m se identifica la presencia de una roca que varía de blanda a dura, posiblemente areniscas, con una velocidad de cizallamiento ( $V_s$ ) de 928.71 m/s y una velocidad de compresión ( $V_p$ ) de 543.20 m/s.

En la tabla siguiente se detallan las características geomecánicas del terreno bajo la línea ejecutada en la región. El subsuelo se define como un material de tipo D. La ilustración muestra el perfil estratigráfico deducido del ensayo de campo MAS W en 1D. El tiempo de danza del suelo es de 0.33. Se destaca que la clasificación del terreno como tipo D se debe a su proximidad al umbral inferior de 360 metros por segundo.

*Ilustración 27: Velocidades de onda cortantes  $V_s$  obtenida para ReMI - MAS W LS-01 hasta los 30 m de profundidad*



Fuente: INGEO

Tabla 5: Parámetros geomecánicos, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 1. Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D.

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			Modulo de corte	Coefficiente Poisson	Modulo Young	Modulo Edométrico	Modulo Bulk	Modulo Balasto	Cohesión	Ángulo de fricción	Periodo Dominante		Perfil Estrato	Perfil Vía	
		capas presentes	Variación estrato [m]	Potencia estrato [H]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	v <sub>s</sub> /v <sub>p</sub>	γ	q <sub>a</sub> [kn/m <sup>2</sup> ]	q <sub>a</sub> [kn/m <sup>2</sup> ]	q <sub>a</sub> (prev) [kn/m <sup>2</sup> ]	N referencial	G [kN/m <sup>2</sup> ]	ν	E [kN/m <sup>2</sup> ]	E <sub>c</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k <sub>b</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	k [kN/m <sup>2</sup> ]	c	φ	T <sub>s</sub> [s]	T <sub>s</sub> prom	Según NEC (2015)	
MAS W - 01	1	0	3,38	3,38	328,06	175,36	0,01927	14,99	115,00	118,70	116,85	9	46988,73	0,30	12217,07	3289,32	30180,89	13425,35	1,34	24,3	0,08		E	D
	2	3,38	9,36	5,98	520,78	287,87	0,02077	16,68	196,43	190,09	193,26	15	140902,87	0,28	36071,14	10144,94	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	306,70	286,56	296,63	22	390983,57	0,25	97745,89	29955,07	85161,93	104262,28	83,78	28,8	0,10	0,33	C	
	4	21,15	30	8,85	928,71	543,2	0,01629	18,56	388,36	341,20	354,78	26	395027,49	0,22	96386,71	29538,54	57373,04	101289,10	111,26	30,3	0,07		C	
		Idi =	30		Idi / Vs =	0,08214											Vs, media (Vsi)			365,22				

Fuente: INGEO

### 12.2.4. Línea ejecutada en el proyecto LS – 02

Las ilustraciones, al igual que las fotografías, detallan el sismograma obtenido en el segundo ensayo de campo, la extensión de la línea en superficie, el gráfico de dispersión deducido del ensayo, la región de ensayos y las coordenadas geográficas. Para finalizar este ensayo. La tabla siguiente detalla los puntos de referencia.

Tabla 6: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto LS-02

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	606956	9757086	606435	9757074	606456	9757086	48	26

Fuente: INGEO

Ilustración 28: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-02



Fuente Wladimir Flores

Ilustración 29: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-02



Fuente Wladimir Flores

### 12.2.5. Ensayo sísmico de refracción LS – 02

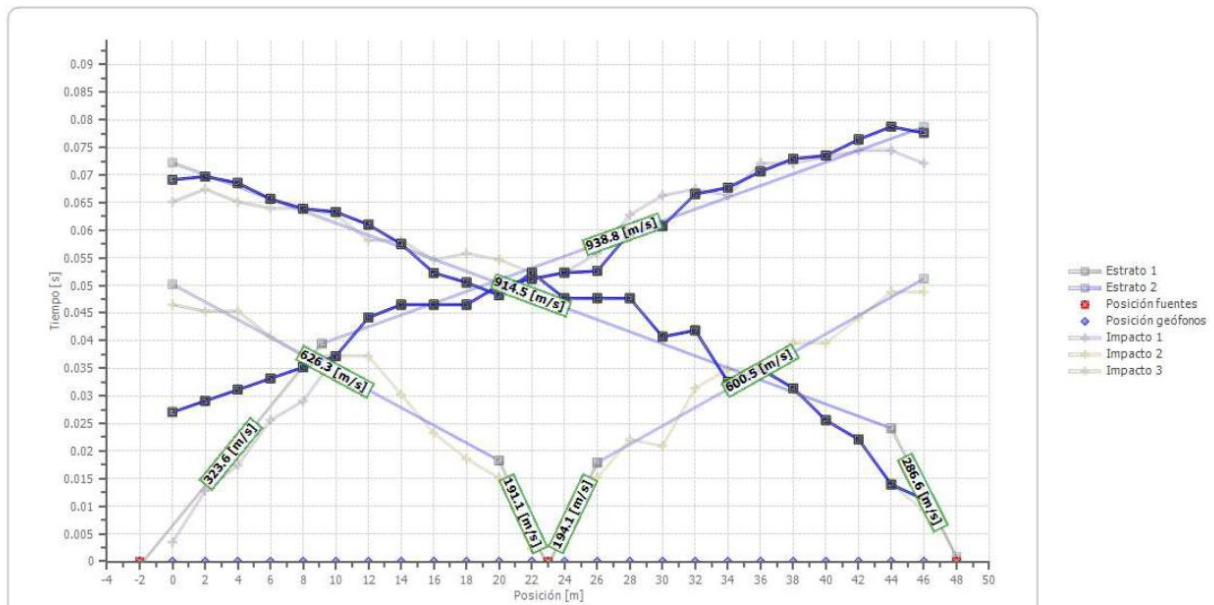
Las figuras subsiguientes ilustran los hallazgos derivados del procesamiento del segundo ensayo sísmico llevado a cabo. Las dromocronas producidas, el mapa de las velocidades de onda derivadas del subsuelo, junto con el perfil geofísico estratigráfico inferido. Los gráficos exhibidos se derivaron de la manipulación de la información de campo utilizando el software especializado Geostru EasyRefact. Además, se identifican los parámetros elásticos establecidos por el software durante el procesamiento de la información.

En este segundo ensayo, mediante la implementación del método sísmico, se evidencia que:

- Desde el punto de exploración, se manifiesta una capa inicial de material. Consistente con suelos arcillosos altamente húmedos y materiales marinos con una elevada proporción de vacíos. La velocidad de onda cortante calculada por el software es  $V_s = 141.72$  m/s. La potencia de estos suelos fluctúa entre 0 m y 4 m, siendo suelos de tipo relleno susceptibles a variaciones volumétricas.
- El segundo estrato se manifiesta como un material sólido, probablemente arcillas arenosas de alta rigidez con una  $V_p$  de 848.16 m/s y una  $V_s$  de 248.85 m/s.

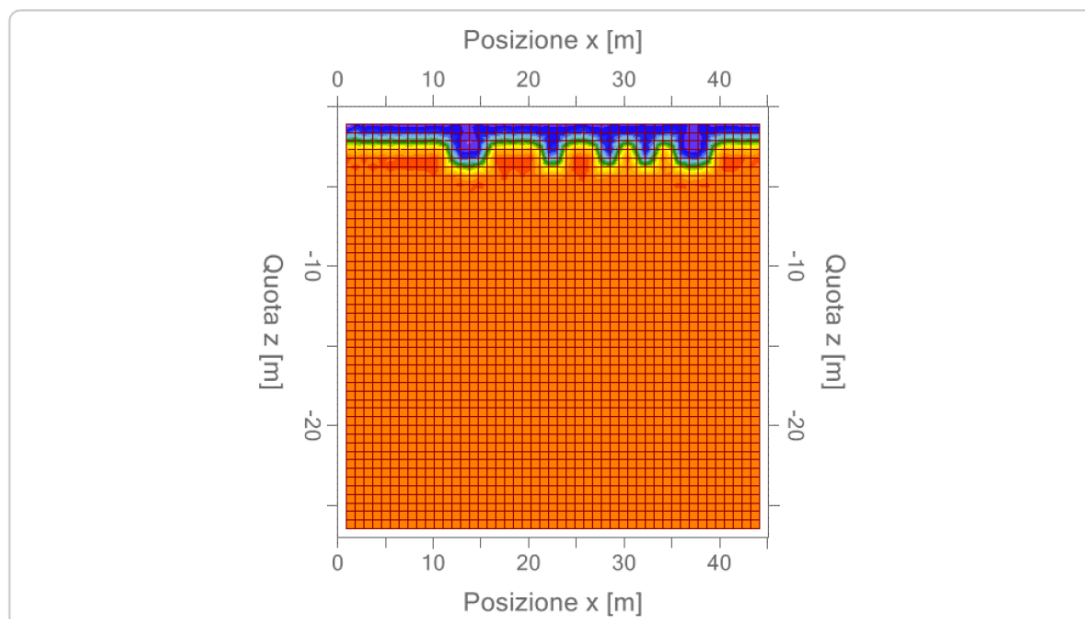
La región manifiesta una elevada presencia de saturación, probablemente con una profundidad que oscila entre 1.00 m y 2.00 m.

Ilustración 30: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 02



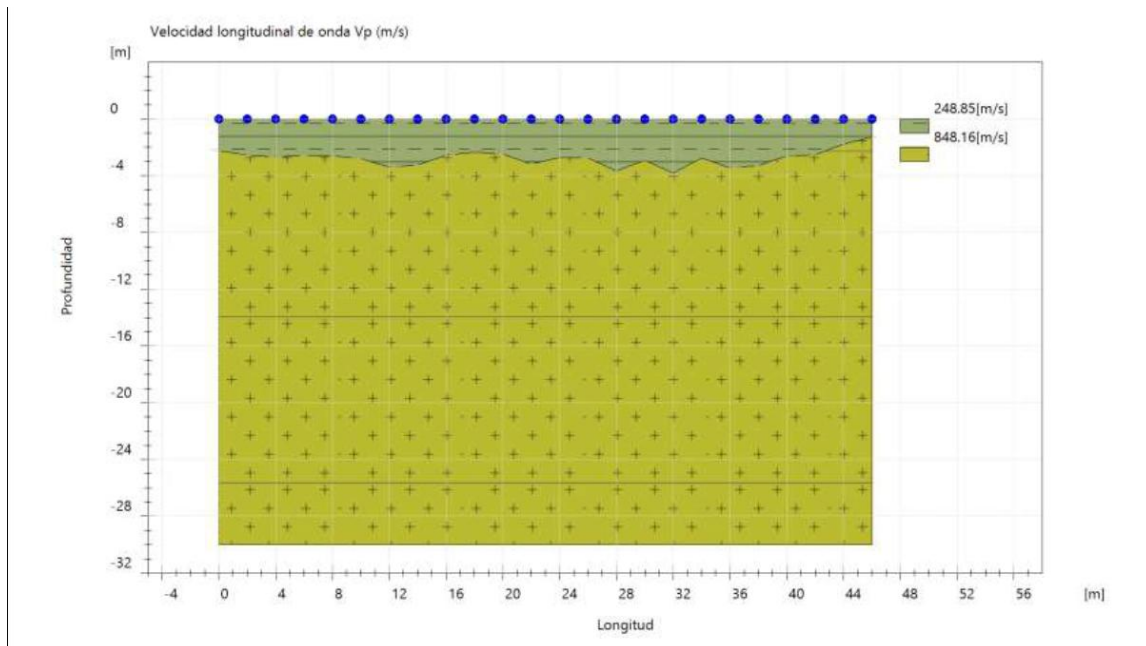
Fuente: INGEO

Ilustración 31: Tomografía sísmica de refracción LSR – 02



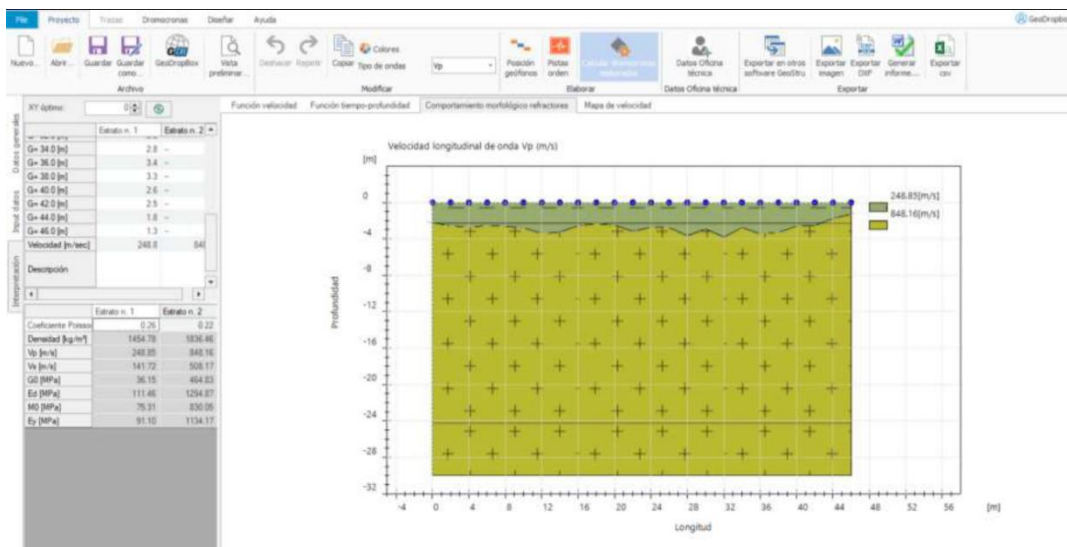
Fuente: INGEO

Ilustración 32: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 02, velocidades de onda Vp



Fuente: INGEO

Ilustración 33: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 02

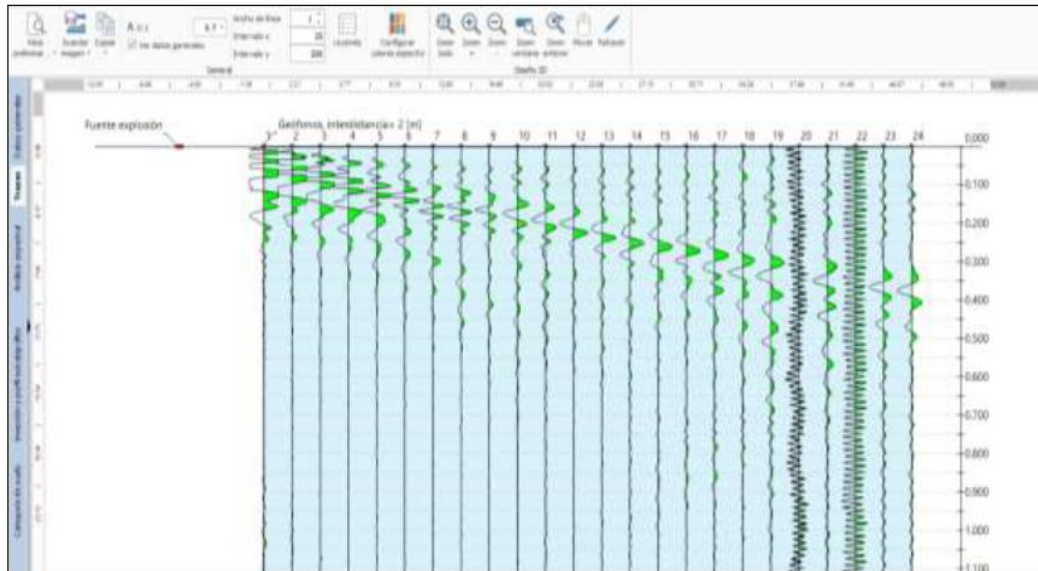


Fuente: INGEO

### 12.2.6. Ensayo sísmico ReMI + MAS W LS-02

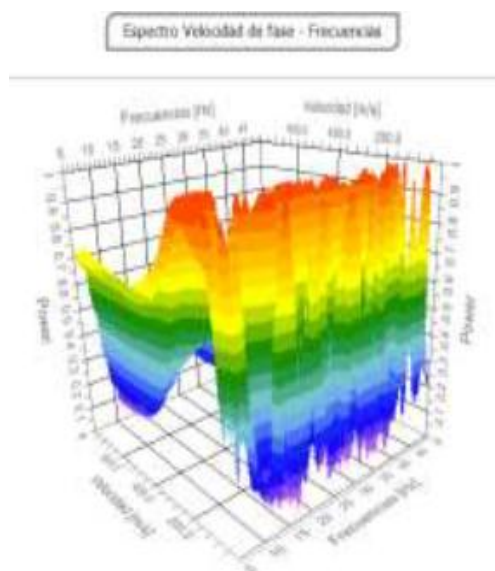
En las siguientes imágenes se muestra el sismograma producido en estos ensayos, la curva de Dispersión, el perfil de velocidad y la interpretación 1D del ensayo geofísico ReMI + MAS W.

Ilustración 34: Sismograma de la LS – 2 y longitud de exploración de línea sísmica generada



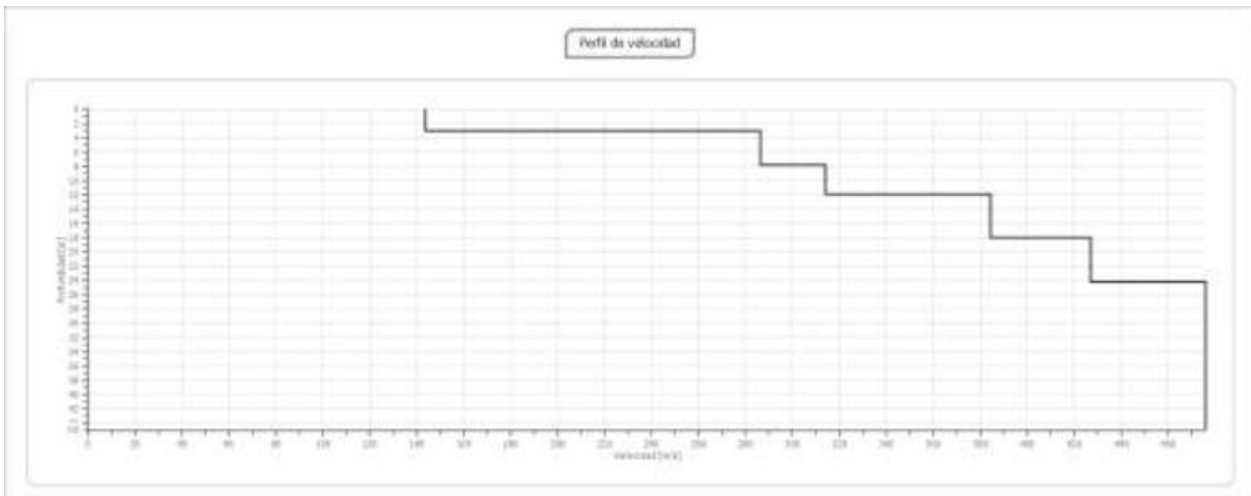
Fuente: INGEO

Ilustración 35: Espectro de velocidad – frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS – 2 en 3D



Fuente: INGEO

Ilustración 36: Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 02



Fuente: INGEO

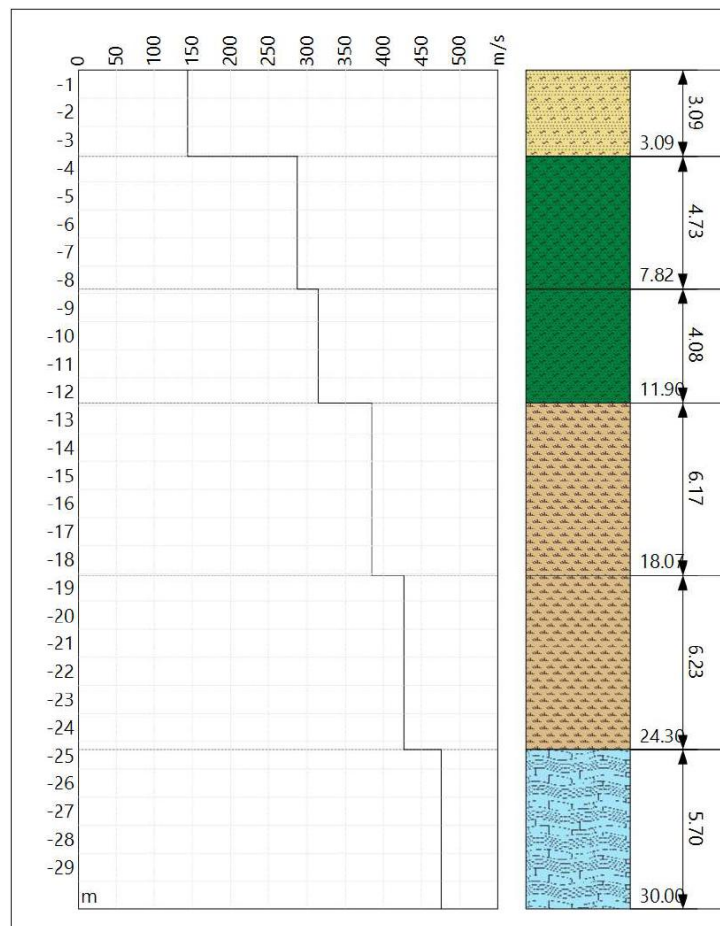
Conforme al procesamiento de información, la segunda línea producida por el método MAS W exhibe una profundidad de hasta 30 metros, y presenta cuatro estratos geofísicos en función de sus respectivas velocidades de onda. Las velocidades de onda y los estratos subsiguientes se presentan a continuación:

- Desde la cota de exploración, aproximadamente 3.09 metros, se presenta una  $V_s = 143.49$  metros por segundo y una  $V_p = 251.96$  metros por segundo. Se manifiesta como un material con elevada proporción de vacíos, probablemente materiales arcillosos de alta humedad, que actúan como rellenos, suelos inestables e inestables.
- Desde 3.09 m hasta 11.90 m se interpreta un material más consolidado, suelos arcillosos arenosos de baja relación de vacíos.  $V_s = 286.40$  m/s y la  $V_p = 496.06$  m/s.
- Desde los 11.90 hasta los 24.30 metros aproximadamente, se manifiesta como un material con una baja relación de vacíos y materiales rígidos, con un  $V_s$  de 712.64 m/s y una  $V_p$  de 426,97 m/s.
- Finalmente, entre 24.30 m y 30.00 m se interpreta un nivel rígido a roca suave.  $V_s = 476.21$  m/s y la  $V_p = 794.81$  m/s.

La tabla subsiguiente ilustra los parámetros geomecánicos establecidos para el subsuelo de la línea implementada en la región. La figura subsiguiente ilustra el perfil estratigráfico inferido del ensayo de campo MAS W en 1D. La duración de la vibración del terreno es de 0.36.

El ensayo MAS W 01 subraya la susceptibilidad de la primera a cambios volumétricos e inestabilidad, permitiendo así la planificación para la cimentación de este estrato inicial.

*Ilustración 37: Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MAS W LS-02 hasta los 30 m de profundidad*



Fuente: INGEO

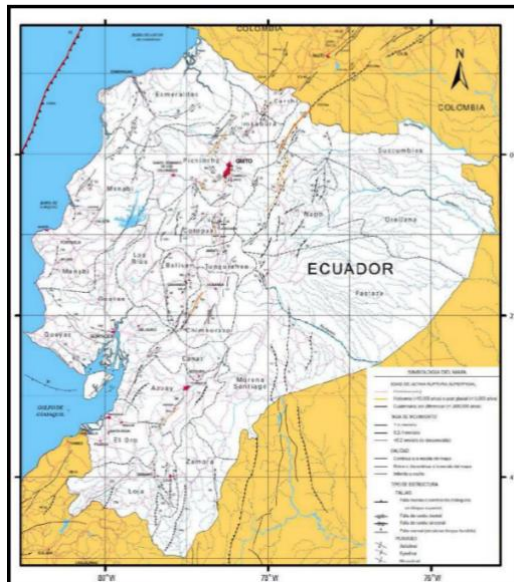
Tabla 7: Parámetros geomecánicas, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 2. Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D.

Línea Sísmica Ejecutada		ESTUDIO GEOFÍSICO PARA LOS PROYECTOS DE TITULACIÓN EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, GUAYAQUIL																				Perfil Estrato	Perfil Vase			
		Estratos geofísicos definidos				Velocidades de ondas			Peso específico	Capacidad admisible	Resistencia a la penetración y capacidad de carga en función de N				Modulo de corte	Coefficiente Poisson	Modulo Young	Modulo Edométrico	Modulo Bulk	Modulo Balasto	Cohesión			Ángulo de fricción	Periodo Dominante	
		Variación estrato		Potencia estrato (l)	Vp	Vs	ci/Vsi	γ	qa	qs	qs (prom)	N	G	ν	E	Es	kb	k	C	φ	Ts			Ts prom		
capas presentes	[m]	[J]	[m/s]	[m/s]		[kN/m³]	[kn/m²]	[kn/m²]	[kn/m²]	referencial	[kN/m²]	[-/-]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	°	[s]	[s]						
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	E				
	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				
Idi =		30		Idi / Vs =		0,09059		Vs media (Vs30)													331,17		D			

Fuente: INGEN

Para calcular el valor de la aceleración sísmica de diseño, se ha empleado el mapa de riesgos sísmicos desarrollado en 2011 y que ha sido incorporado al Código Ecuatoriano de la Construcción NEC 2015. La Tabla 9 señala el valor correspondiente del factor Z en relación con las regiones sísmicas del país.

Ilustración 38: Mapa de fallas cuaternarias actuantes en el Ecuador e influencia de la zona en estudio



Fuente: Egüez et al., 2003

Tabla 8: Valores de la aceleración máxima Z en función de la zona sísmica

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

Fuente: NEC 2015

Para el diseño estructural, debido a un evento sísmico potencial, los factores empleados se rigen por la Norma Internacional de Construcción (NEC), específicamente por el código NEC - SE - DS, "PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE". En esta sección de la Norma, el Capítulo 3 titulado "PELIGRO SÍSMICO DEL ECUADOR Y EFECTOS SÍSMICOS LOCALES" detalla las diversas zonas de riesgo sísmico en el territorio ecuatoriano.

Conforme a lo expuesto en la tabla 9, para la zona sísmica de Guayaquil, se registra un valor de Z de 0.40g, correspondiente a la zona V debido a su localización geográfica.

El valor de 0.40 es el mínimo sugerido por la normativa para la región bajo estudio. Para el análisis de estabilidad de taludes, este valor debe ser reducido conforme a lo estipulado por la normativa, siendo un 60% de la aceleración.

### 12.2.7. Perfil del suelo en función de la onda de corte vs

La determinación del tipo de perfil en función del tipo de suelo requiere la determinación de la velocidad de onda cortante  $V_s$ , la cual se obtiene directamente de los ensayos de prospección geofísica de sísmica de refracción, especialmente del ensayo MAS W. En el presente estudio, tal como se indicó en el capítulo anterior, la velocidad de onda cortante hasta los 30 metros de profundidad caracterizó la zona como un perfil de tipo D.

donde las velocidades de onda cortante no superan los 360 m/s y superan los 180 m/s.

Tabla 9: Perfil de terreno seleccionado para la zona de estudio

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500\text{m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500\text{m/s} > V_s \geq 760\text{m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50,0$ $S_u \geq 100\text{ Kpa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante	$360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50,0 > N \geq 15,0$ $100\text{Kpa} > S_u \geq 50\text{Kpa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad cortante, o	$V_s < 180\text{m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas	$IP > 20$
		$w \geq 40\%$
		$S_u < 50\text{Kpa}$
F	Perfiles de suelo tipo F que requieran una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista.	

Fuente: NEC. 2015

### 12.2.8. Coeficiente de amplificación del suelo

Posterior a la determinación del tipo de suelo, la regulación establece los valores del coeficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto  $F_a$ , en función del tipo de perfil de subsuelo y el factor  $z$ . Conforme a la Tabla 11, para un perfil de suelo de tipo D con un factor  $z$  de 0.40, se obtiene un valor de  $F_a$  de 1.2.

Tabla 10: Factor de amplificación ( $F_a$ ) en función de zona ( $z$ ) y el perfil del suelo

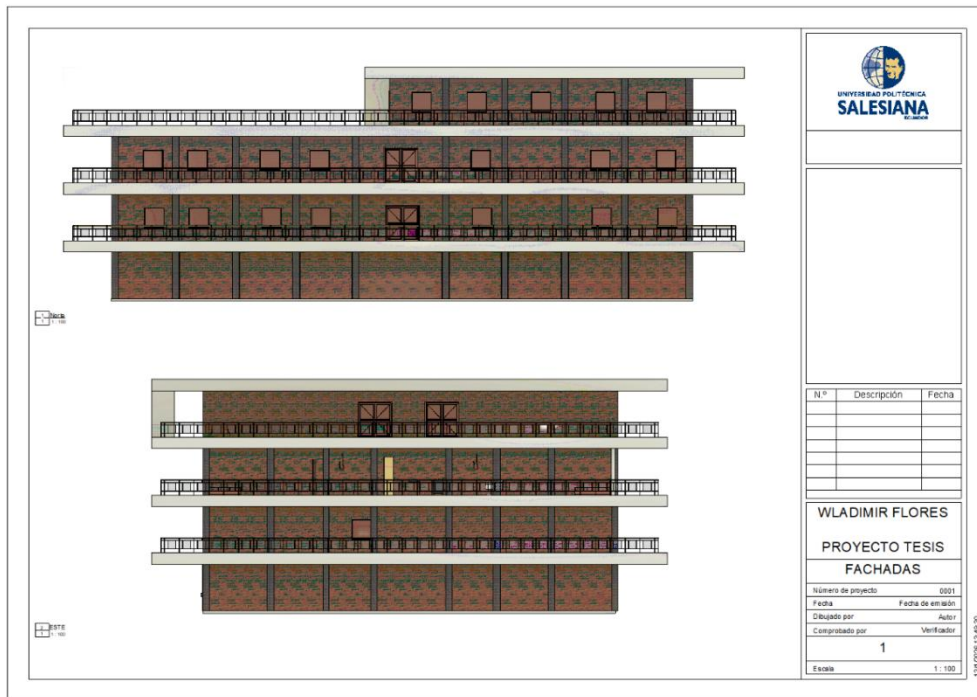
Tipo de Perfil del Subsuelo	Factor Z					
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.20	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97

Fuente: NEC-SE-DS, 2015.

Para un periodo de retorno de 475 años se toma una aceleración  $PG_{Aroca} = Z = 0.40$  g; llegando a obtener una  $PG_{Asuelo} = 0.48$  g. Según la NEC-15, para análisis pseudoestático de estabilidad global, se puede tomar el 60% de  $PG_{Asuelo}$ , obteniendo un coeficiente sísmico horizontal  $kh = 0.288$  g. Valor a utilizar en el análisis de estabilidad de talud o diseño de estructuras.

## 12.3. Plano arquitectónico

*Ilustración 39; Alzado Norte - Este*



*Ilustración 40: Alzado Oeste - Sur*



Ilustración 41: Edificio Residencial – Planta Baja

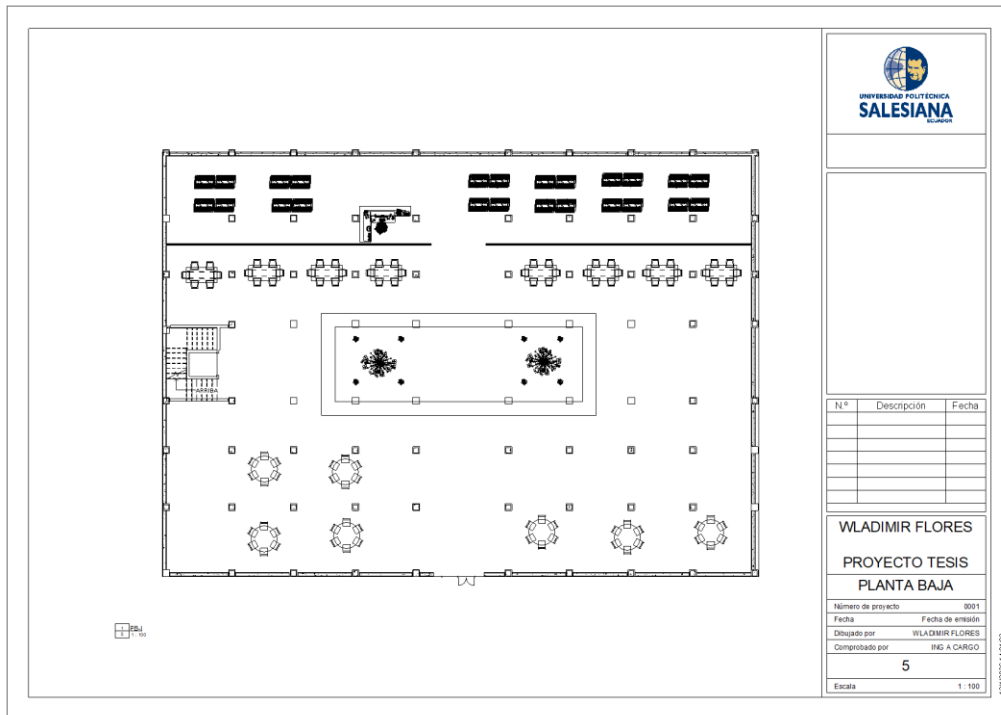


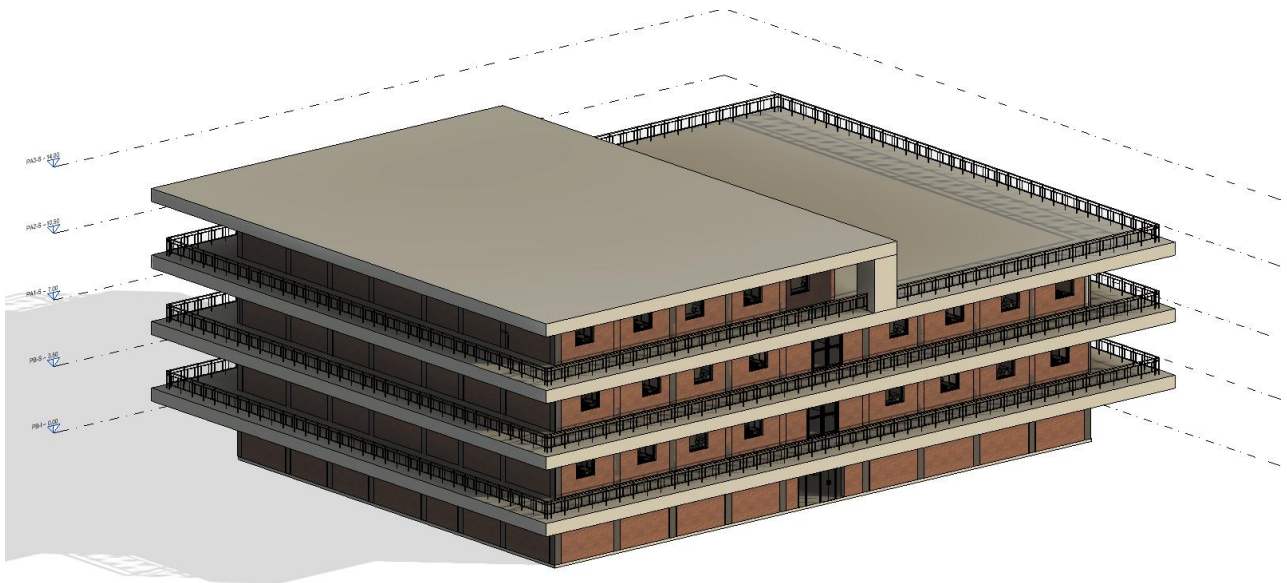
Ilustración 42: Edificio Residencial – Piso 2 y 3



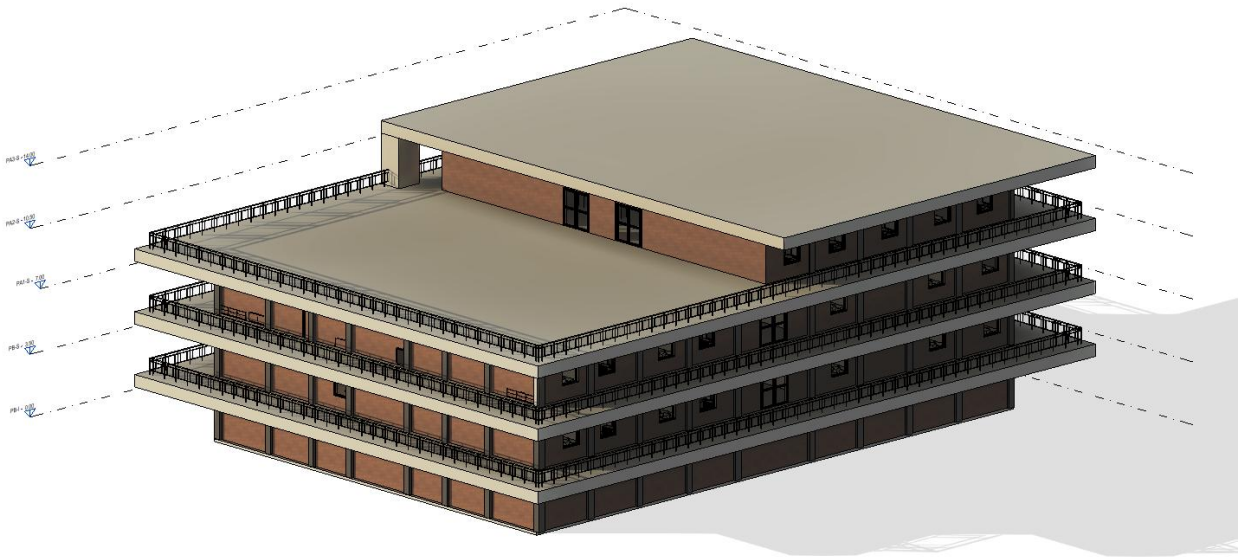
*Ilustración 43: Edificio Residencial – Piso 4*



*Ilustración 44: Perspectiva Isométrica - Norte*



*Ilustración 45: Perspectiva Isométrica - Oeste*



*Ilustración 46: Render 1 – Ingreso*



*Ilustración 47: Render 2 - Biblioteca*



*Ilustración 48: Render 3 - Área de Estudio*



*Ilustración 49: Render 5 – Corte de Fachada*

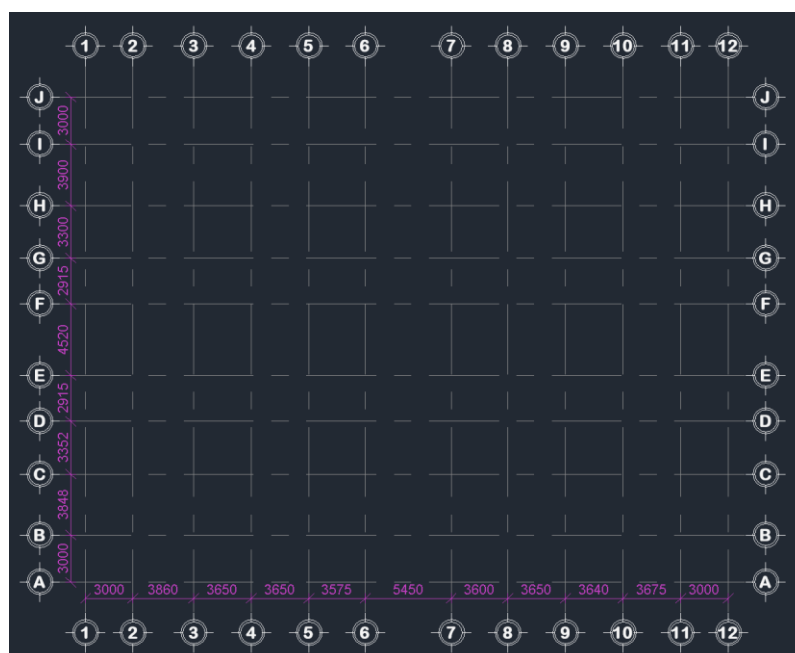


## **12.4. Predimensionamiento**

### **12.4.1. Predimensionamiento de losa**

Como etapa esencial para la evaluación estructural estas representaciones gráficas se centran exclusivamente en los elementos fundamentales —columnas, vigas y voladizos—, facilitando una representación precisa de las luces libres y la continuidad de los pórticos, obviando tabiquería o componentes no estructurales que no proporcionan rigidez. El propósito de esta esquematización fue identificar el "paño crítico", definido como el tablero de losa con las condiciones de luz libre más adversas o condiciones de borde críticas (como esquinas o bordes libres). Con base en la regulación ACI 318-19 (Tabla 8.3.1.1) y la Norma NEC-SE-HM para el control de deflexiones en losas que no soportan elementos dañinos.

Ilustración 50: Revisión de paño mayor



Fuente: Creado por el autor

Con el objetivo de determinar la conducta estructural del diafragma y la adecuada distribución de cargas hacia las vigas, se llevó a cabo la clasificación de la losa como un sistema unidireccional o bidireccional. Esta categorización se basó en la evaluación estructural de los paños más críticos o representativos del sistema, contrastando la longitud de la luz mayor (L) con la luz menor (l).

Datos:

$$L = 5.45$$

$$L < 2l$$

$$l = 4.52$$

$$5.45 < 2(4.52) \rightarrow 9.04 < 5.45$$

Por lo tanto:  $L < 2l$  significa que tenemos una losa armada en 2 sentidos

### Definición de la sección de losa nervada aligerada

Se asumió un espesor total de losa de  $h = 25$  cm para los entrepisos. Se optó por una tipología de losa nervada (aligerada), la más común en el medio local por ser eficiente en términos de

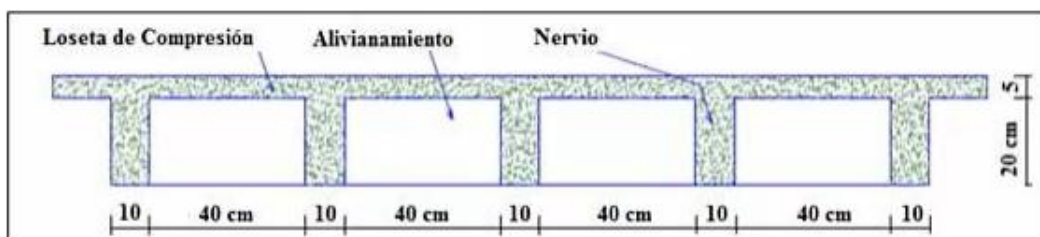
peso/rigidez y disponibilidad de materiales. La forma en sección transversal se definió por:

Carpeta de Compresión (Loseta): Se determinó un espesor de 5 cm, reforzado con malla electrosoldada para control de fisuración y temperatura.

Nervios o viguetas: Se dimensionaron de 10 cm de ancho por 20 cm de alto, asegurando el recubrimiento adecuado para el acero de refuerzo positivo

Sistema de alivianamiento: Para llenar los espacios entre nervios se utilizaron bloques alivianantes de 40x40 cm en planta y 20 cm de alto. Constructivamente, este módulo se consigue colocando dos bloques estándar de 40x20x20cm por celda.

*Ilustración 51: Grafico de losa aligerada*

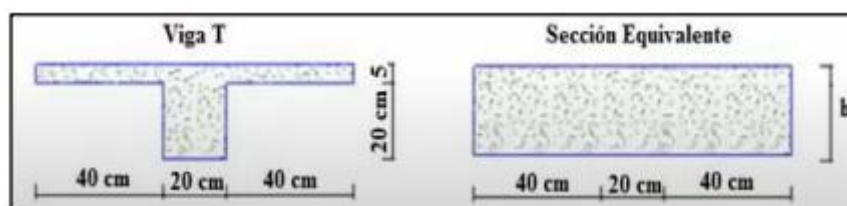


Fuente: Ing. Kevin Proaños

Para corroborar el control de deflexiones y la adecuada asignación de propiedades de rigidez en el modelo de análisis, se llevó a cabo el cálculo del peralte equivalente hequi de la losa resultante.

Este artefacto técnico se enfoca en establecer el espesor teórico de una losa maciza que exhibe el mismo Momento de Inercia (I) que la sección nervada propuesta (geometría de T).

*Ilustración 52: Geometría de T*



Fuente: Ing. Kevin Proaño

Tabla 11: Revisión de inercias

Figura	bi(m)	hi(m)	Ai= bi*hi	yi	yi*Ai	di=yeg-yi	Ioi=(b*hi <sup>3</sup> )/12	Ai*Di <sup>2</sup>
1	0,2	0,2	0,04	0,1	0,00400	-0,04166667	0,000133333	6,94444E-05
2	1	0,05	0,05	0,025	0,00125	0,03333333	1,04167E-05	5,55556E-05
Σ			<b>0,09</b>		<b>0,00525</b>		<b>0,00014375</b>	<b>0,000125</b>

Fuente: Creado por el autor

### Cálculo del centroide de la sección

Para establecer las características inerciales de la sección nerviosa (forma de T), el procedimiento inicial implicó la identificación de su eje neutro o centro de gravedad geométrico Yeg, medido desde la fibra inferior extrema del nervio. Este valor se determina mediante la aplicación del principio de momentos estáticos de área, a través de la relación ponderada entre las áreas componentes (loseta y nervio) y sus correspondientes distancias centroides.

$$y_{eg} = \frac{\sum y_i * A_i}{\sum A_i} = \frac{0,00525}{0,09} = 0,058333m$$

Luego calculamos el valor de la inercia que sería:

$$I = \sum (I_{oi} + A_i * d_i^2) = 0.00014375 + 0.000125 = 0.00026875m^4$$

Esta inercia la igualamos con la de una losa maciza que también sea de 1 metro de ancho para así obtener la altura equivalente  $h_{equiv}$ :

$$0.00026875 = \frac{1h_{equiv}^3}{12}$$

$$hequiv^3 = 0.00026875 * 12$$

$$hequiv = \sqrt[3]{0.00026875 * 12}$$

$$hequiv = 0.150596m = 20cm$$

El cálculo del espesor mínimo reglamentario  $h_{min}$  se realizó utilizando los criterios de la tabla del código ACI 318, considerando la luz libre crítica del paño  $L_n$ .

A continuación, se llevó a cabo la validación de rigidez contrastando este valor límite con el peralte equivalente  $hequi$  adquirido de la sección nervadura sugerida.

La condición de diseño estipula de manera estricta que  $hequi$  exceda  $h_{min}$ .

La observancia de esta desigualdad asegura que la losa posee la inercia adecuada para regular las deflexiones inmediatas, validando el diseño sin la necesidad de cálculos adicionales de servicio.

$$hmin = \frac{Ln(800 + 0.0712(Fy))}{36000 + 5000\beta(\alpha m - 0.2)}$$

Inicialmente procedemos a calcular el valor de  $\beta$  para posteriormente sustituirlo en la ecuación correspondiente.

$$\beta = \frac{L}{l}$$

$$\beta = \frac{5.45}{4.52} = 1.206$$

Tras el cálculo de  $\beta$ , procedamos a finalizar el cálculo del  $hmin$

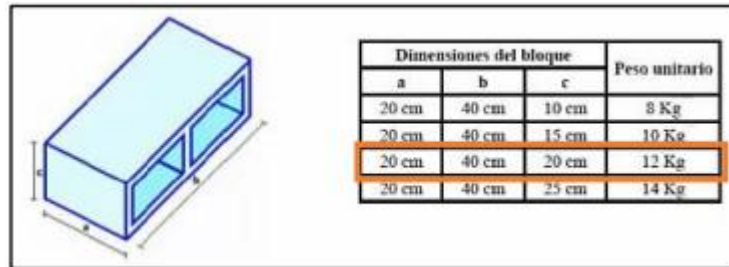
$$hmin = \frac{545(800 + 0.0712(4200))}{36000 + 5000 * 1.206(0.2 - 0.2)} = 16.64cm$$

Una vez obtenidos los valores, se puede establecer que la altura equivalente debe ser superior a la altura mínima:  $20cm > 16.64cm$  á Si cumple con los criterios establecidos.

### Cálculo de carga muerta

Dado que nos enfrentamos a una losa de peso reducido, es imperativo tener la medida y el peso de los bloques que serán colocados en cada paño.

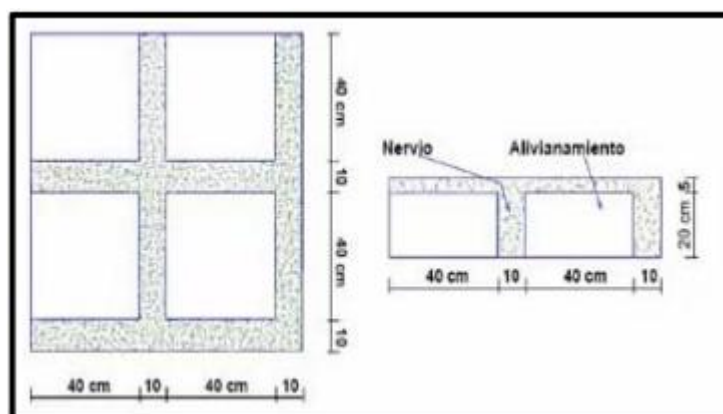
*Ilustración 53: Dimensiones de bloques*



Nota: Es importante tener en cuenta el espesor de loseta, en este caso como mi losa es de 25cm se escogió un bloque de 20x40x20 con un peso de 12 Kg por bloque.

Los gráficos ilustran una superficie de 1 m<sup>2</sup> cuyo peso debe ser calculado, y sobre cuya superficie se deben calcular las sobrecargas. El peso específico del hormigón armado se calcula en 2.4 toneladas por metro cúbico.

*Ilustración 54: Detalle de Sección Transversal y Modulación de Losa Aliviada*



- Peso de Loseta de compresión = 1m x 1m x 0.05m x 2.4 T/m<sup>3</sup> = 0.12 T
- Peso de Nervios = 4 x 0.1m x 0.2m x 1m x 2.4 T/m<sup>3</sup> = 0.192 T

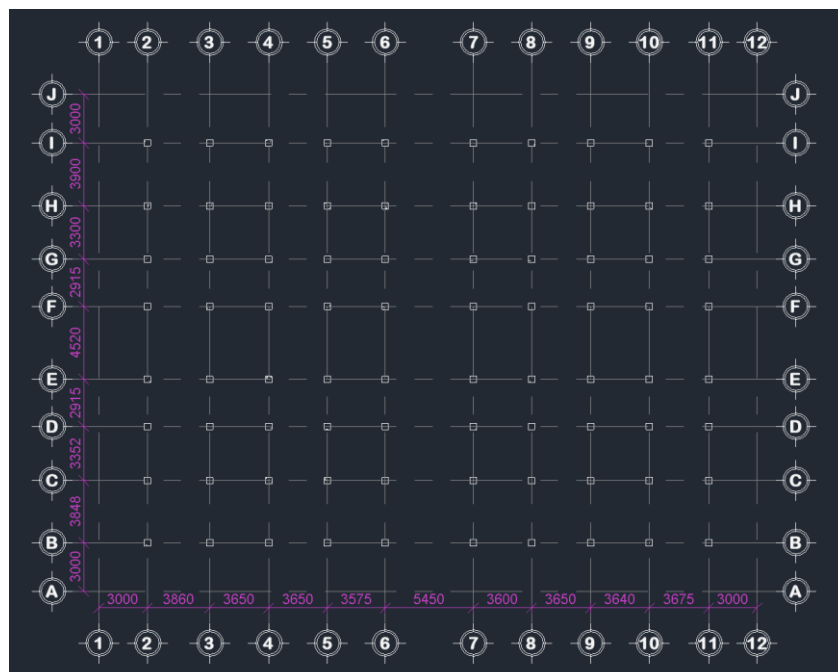
- Alivianamientos =  $8 \times 0.012T = 0.096T$
- Peso propio de Losa =  $(0.12 + 0.192 + 0.096) T = 0.408T$
- Enlucido y Maquillado =  $1m \times 1m \times 0.04m \times 2.2 T/m^3 = 0.088 T$
- Recubrimiento de Piso =  $1m \times 1m \times 0.02m \times 2.2 T/m^3 = 0.044 T$
- Mampostería =  $200 kg/m^2 = 0.2 T/m^2$
- Carga muerta =  $(0.408 + 0.088 + 0.044 + 0.2) T/m^2 = 0.74 T/m^2$

### 12.4.2. Predimensionamiento de vigas

Las dimensiones de las vigas suelen tomar en cuenta un peralte que oscila entre 1/10 a 1/12 de la luz libre. Es importante precisar que esta altura engloba el espesor de la losa.

Es imperativo considerar un ancho mínimo de 25 cm (NEC-SE-HM 4.2.1), con el objetivo de prevenir que el acero pueda ser colocado de una manera óptima y prevenir presencia de cangrejeras.

*Ilustración 55: Vista en planta - PB*



Fuente: Creado por el autor

- Vigas transversales: Eje vertical al plano

$$H = \frac{L}{10} = \frac{452}{10} = 45.2cm = 50cm$$

$$B = \frac{H}{2} = \frac{50}{2} = 25cm = 25cm$$

Vigas transversales de: 25x50cm

- Vigas Longitudinales: Eje horizontal al plano

$$H = \frac{L}{10} = \frac{545}{10} = 54.5cm = 55cm$$

$$B = \frac{H}{2} = \frac{55}{2} = 27.5cm = 30cm$$

Vigas longitudinales de: 30x55 cm

### 12.4.3. Predimensionamiento de columnas

Las columnas, al estar expuestas a cargas axiales y momento flector, deben ser dimensionadas teniendo en cuenta simultáneamente estos dos efectos:

- 1).- Columnas Centradas:

$$\text{Área de Columna} = P(\text{servicio}) / 0.45 F'c$$

- 2).- Columnas Excéntricas y Esquinadas

$$\text{Área de Columna} = P(\text{servicio}) / 0.35 F'c$$

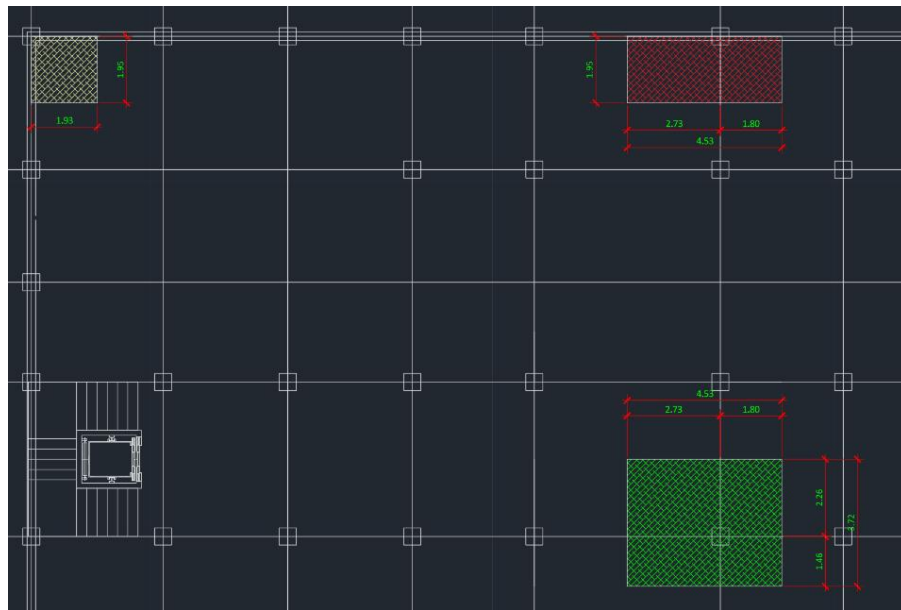
*Ilustración 56: Valores para P(servicio)*

$P_{\text{servicio}} = P \cdot A \cdot N$ Edificios categoría A (ver E030) $P = 1500 \text{ kg/m}^2$ Edificios categoría B (ver E030) $P = 1250 \text{ kg/m}^2$ Edificios categoría C (ver E030) $P = 1000 \text{ kg/m}^2$ A: área tributaria N: número de pisos
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Norma Técnica E.020 "Cargas" y la Norma E.030 "Diseño Sismorresistente"

## Cálculo de área tributaria de columnas

Ilustración 57: Vista en planta - Área tributaria



Fuente: Creado por el autor

Tabla 12: Predimensionamiento de columnas

Tipo	Area tributaria (m <sup>2</sup> )	Peso (Kg/m <sup>2</sup> )	# Pisos	P_Servicio (Kg)	f' <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coef.x tipo de columna	Area de Columna (cm <sup>2</sup> )	Area min de Columna (cm <sup>2</sup> )	a(cm)	Sección (cm)
C3	3,76	1500	4	22560	210	0,35	306,939	900	30	30x30
C2	8,83	1500	4	52980	210	0,35	720,816	900	30	30x30
C1	16,85	1500	4	101100	210	0,45	1069,841	900	30	30x40

Fuente: Creado por el autor

### 12.4.4. Revisión de inercia de columnas con respecto a las vigas

Donde:

- H= Altura de entrepiso típica
- a= ancho de columnas

$$\text{Columnas centrales: } a = \frac{h}{8} = \frac{300}{8} = 37.5\text{cm} = 40 \times 40\text{cm}$$

$$\text{Columnas Laterales: } a = \frac{h}{9} = \frac{300}{9} = 33.33\text{cm} = 35 \times 35\text{cm}$$

$$\text{Columnas esquineras: } a = \frac{h}{10} = \frac{300}{10} = 30\text{cm} = 30 \times 30\text{cm}$$

Tabla 13: Revisión de columna fuerte, viga débil

Dirección X-X							
VIGAS				Columnas		Verificación	
B(CM)	H(CM)	I (CM4)	Zona	a(cm)	b(cm)	I_Columna (CM4)	I_Columna > I_Viga
30	55	415937,500	C3	45	50	468750	ok
30	55	415937,500	C2	55	60	990000,00	ok
30	55	415937,500					
Laterales		831875,000					
30	55	415937,500	C1	55	60	990000,00	ok
30	55	415937,500					
Centrales		831875,000					

Dirección Y-Y							
VIGAS				Columnas		Verificación	
B(CM)	H(CM)	I (CM4)	Zona	a(cm)	b(cm)	I_Columna (CM4)	I_Columna > I_Viga
25	50	260416,667	C3	40	45	303750	ok
25	50	260416,667	C2	45	55	623906,25	ok
25	50	260416,667					
Laterales		520833,333					
25	50	260416,667	C1	45	55	623906,25	ok
25	50	260416,667					
Centrales		520833,333					

Fuente: Creado por el autor

### 12.4.5. Cálculo de peso para análisis estático

$$\text{Área de Losa} = (20.19m \times 24.75) = 499.70m^2$$

#### PISO 4

##### Carga Muerta:

$$\text{Losa aligerada: } 499.70m^2 \times 0.74T/m^2 = 369.78T$$

$$\text{Columnas (55x60)} = 48 \times 0.55m \times 0.60m \times 3m \times 2.4T/m^3 = 114,04T$$

$$\text{Vigas transversales} = 25 \times 50$$

$$25 \times 50 (3.90m) = 6 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.90m \times 2.4T/m^3 = 7.02T$$

$$25 \times 50 (3.30m) = 6 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.30m \times 2.4T/m^3 = 5.94T$$

$$25 \times 50 (2.92m) = 6 \times 0.25m \times 0.50m \times 2.92m \times 2.4T/m^3 = 5.26T$$

$$25 \times 50 (4.52m) = 6 \times 0.25m \times 0.50m \times 4.52m \times 2.4T/m^3 = 8.14T$$

$$25 \times 50 (2.92m) = 6 \times 0.25m \times 0.50m \times 2.92m \times 2.4T/m^3 = 5.26T$$

$$25 \times 50 (3.35m) = 6 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.35m \times 2.4T/m^3 = 6.03T$$

$$25 \times 50 (3.85m) = 6 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.85m \times 2.4T/m^3 = 6.93T$$

Vigas longitudinales = 30 x 55

$$30 \times 55 (3.86m) = 8 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.86m \times 2.4T/m^3 = 12.23T$$

$$30 \times 55 (3.65m) = 8 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.65m \times 2.4T/m^3 = 11.56T$$

$$30 \times 55 (3.65m) = 8 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.65m \times 2.4T/m^3 = 11.56T$$

$$30 \times 55 (3.58m) = 8 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.58m \times 2.4T/m^3 = 11.34T$$

$$30 \times 55 (5.45m) = 8 \times 0.30m \times 0.55m \times 5.45m \times 2.4T/m^3 = 17.26T$$

**Carga Muerta Total:**

$$CM = 592.35T$$

**Carga Viva:**

$$CV = 499.70 \times 0.01 = 49.97T$$

**PISO 3**

$$\text{Área de Losa} = (41 \times 31) = 1.271m^2$$

**Carga Muerta:**

$$\text{Losa aligerada: } 1.271m^2 \times 0.74T/m^2 = 940.54T$$

$$\text{Columnas (55x60)} = 80 \times 0.55m \times 0.60m \times 3m \times 2.4T/m^3 = 190.08T$$

Vigas transversales = 25 x 50

$$25 \times 50 (3.90m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.90m \times 2.4T/m^3 = 14.04T$$

$$25 \times 50 (3.30m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.30m \times 2.4T/m^3 = 11.88T$$

$$25 \times 50 (2.92m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 2.92m \times 2.4T/m^3 = 10.51T$$

$$25 \times 50 (4.52m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 4.52m \times 2.4T/m^3 = 16.27T$$

$$25 \times 50 (2.92m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 2.92m \times 2.4T/m^3 = 10.51T$$

$$25 \times 50 (3.35m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.35m \times 2.4T/m^3 = 12.06T$$

$$25 \times 50 (3.85m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.85m \times 2.4T/m^3 = 13.86T$$

$$25 \times 50 (3.00m) = 24 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.00m \times 2.4T/m^3 = 21.60T$$

Vigas longitudinales = 30 x 55

$$30 \times 55 (3.86m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.86m \times 2.4T/m^3 = 15.28T$$

$$30 \times 55 (3.65m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.65m \times 2.4T/m^3 = 14.45T$$

$$30 \times 55 (3.65m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.65m \times 2.4T/m^3 = 14.45T$$

$$30 \times 55 (3.58m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.58m \times 2.4T/m^3 = 14.18T$$

$$30 \times 55 (5.45m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 5.45m \times 2.4T/m^3 = 21.58T$$

$$30 \times 55 (3.60m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.60m \times 2.4T/m^3 = 14.25T$$

$$30 \times 55 (3.65m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.65m \times 2.4T/m^3 = 14.45T$$

$$30 \times 55 (3.64m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.64m \times 2.4T/m^3 = 14.41T$$

$$30 \times 55 (3.68m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.68m \times 2.4T/m^3 = 14.57T$$

$$30 \times 55 (3,00m) = 10 \times 0.30m \times 0.55m \times 3.00m \times 2.4T/m^3 = 23.76T$$

**Carga Muerta Total:**

$$CM = 1402.73T$$

**Carga Viva:**

$$CV = 940.54 \times 0.02 = 188.10T$$

**PISO 2-1**

$$\text{Área de Losa} = (41 \times 31) = 1.271m^2$$

**Carga Muerta:**

$$\text{Losa aligerada: } 1.271m^2 \times 0.74T/m^2 = 940.54T$$

$$\text{Columnas (55x60)} = 80 \times 0.55m \times 0.60m \times 3m \times 2.4T/m^3 = 190.08T$$

Vigas transversales = 25 x 50

$$25 \times 50 (3.90m) = 12 \times 0.25m \times 0.50m \times 3.90m \times 2.4T/m^3 = 14.04T$$

$$25 \times 50 (3.30\text{m}) = 12 \times 0.25\text{m} \times 0.50\text{m} \times 3.30\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 11.88\text{T}$$

$$25 \times 50 (2.92\text{m}) = 12 \times 0.25\text{m} \times 0.50\text{m} \times 2.92\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 10.51\text{T}$$

$$25 \times 50 (4.52\text{m}) = 8 \times 0.25\text{m} \times 0.50\text{m} \times 4.52\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 10.85\text{T}$$

$$25 \times 50 (2.92\text{m}) = 12 \times 0.25\text{m} \times 0.50\text{m} \times 2.92\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 10.51\text{T}$$

$$25 \times 50 (3.35\text{m}) = 12 \times 0.25\text{m} \times 0.50\text{m} \times 3.35\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 12.06\text{T}$$

$$25 \times 50 (3.85\text{m}) = 12 \times 0.25\text{m} \times 0.50\text{m} \times 3.85\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 13.86\text{T}$$

$$25 \times 50 (3.00\text{m}) = 24 \times 0.25\text{m} \times 0.50\text{m} \times 3.00\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 21.60\text{T}$$

Vigas longitudinales = 30 x 55

$$30 \times 55 (3.86\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.86\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 15.28\text{T}$$

$$30 \times 55 (3.65\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.65\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 14.45\text{T}$$

$$30 \times 55 (3.65\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.65\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 14.45\text{T}$$

$$30 \times 55 (3.58\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.58\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 14.18\text{T}$$

$$30 \times 55 (5.45\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 5.45\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 21.58\text{T}$$

$$30 \times 55 (3.60\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.60\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 14.25\text{T}$$

$$30 \times 55 (3.65\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.65\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 14.45\text{T}$$

$$30 \times 55 (3.64\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.64\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 14.41\text{T}$$

$$30 \times 55 (3.68\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.68\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 14.57\text{T}$$

$$30 \times 55 (3,00\text{m}) = 10 \times 0.30\text{m} \times 0.55\text{m} \times 3.00\text{m} * 2.4\text{T}/\text{m}^3 = 23.76\text{T}$$

**Carga Muerta Total:**

$$\text{CM} = 1397.31\text{T}$$

**Carga Viva:**

$$\text{CV} = 940.54 \times 0.02 = 188.10\text{T}$$

<b>Pisos</b>	<b>D (TON)</b>	<b>L (TON)</b>	<b>W= D+0,25L(T)</b>
4	592.35	49.97	604.84
3	1402.73	188.10	1449.75
2	1397.31	188.10	1444.33
1	1397.31	188.10	1444.33
		$\Sigma$	4943.25

Fuente: Creado por el autor

## **12.5. Modelado estructural**

### **12.5.1. Modelo M-00: estructural empotrado**

Este procedimiento registra el desarrollo del modelo base en ETABS, que se inicia con la definición de materiales y secciones de elementos (losa, vigas y columnas), junto con la configuración de diafragmas, fuente de masas y una corrida modal inicial de control. El propósito es proporcionar una representación tridimensional estable, rastreada y coherente con el sistema de pórticos especiales de hormigón armado, sobre la cual se llevarán a cabo verificaciones sísmicas en fases subsiguientes y se realizará una comparación.

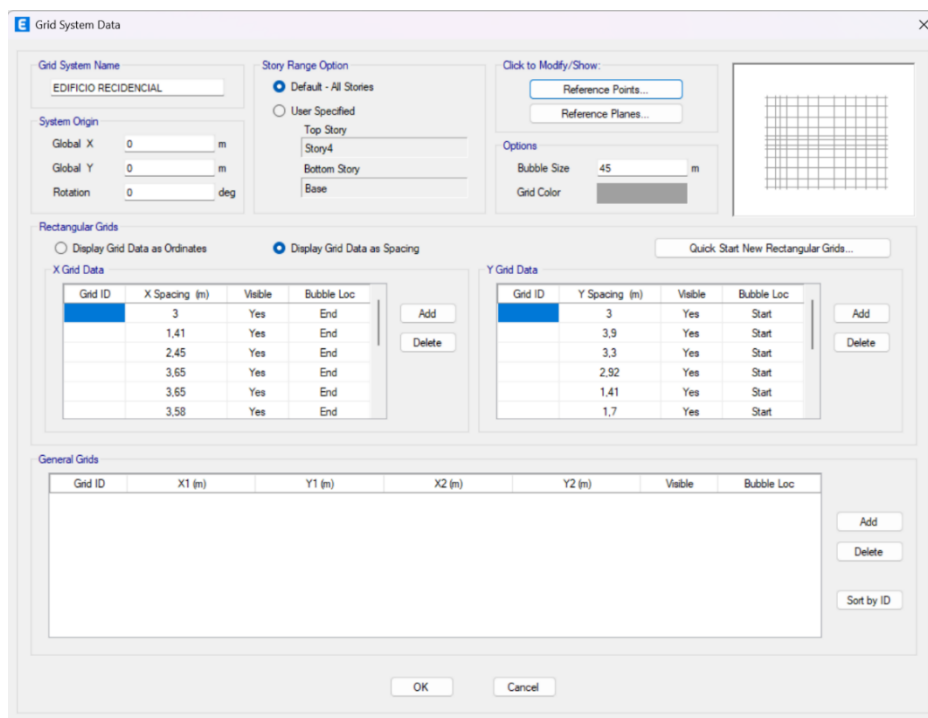
### **Configuración de entorno y definición geométrica**

En la etapa inicial del software ETABS, se implementó el sistema de unidades de trabajo acorde con la normativa vigente (fuerza en kN, longitud en metros y temperatura en °F). Se estableció la grilla estructural a partir de la base planimétrica generada durante la fase de levantamiento, delineando un área total de implantación de 31.00 m × 41.00 m. El diseño en planta también contempla la proyección de volados perimetrales de 3.00 metros, integrándolos en la geometría global

del sistema.

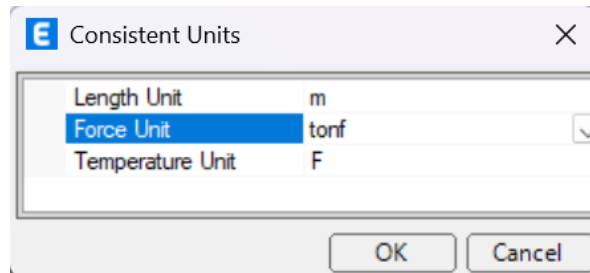
En lo que respecta a la definición altimétrica, el modelo fue estructurado en cuatro niveles operativos, estableciendo una altura de entrepiso constante de 3.00 metros. Con el objetivo de asegurar la exactitud espacial del modelo, se recurrió a la importación de plantillas vectorizadas (formato DXF/DWG) derivadas del procesamiento fotogramétrico. Este proceso permitió la calcalización directa de las líneas de eje y los contornos de estas sobre la geometría georreferenciada, garantizando así la consistencia entre el diseño estructural y las condiciones reales del sitio.

*Ilustración 58: Grillas y niveles del modelo*



Fuente: Creado por el autor

Ilustración 59: Unidades de trabajo

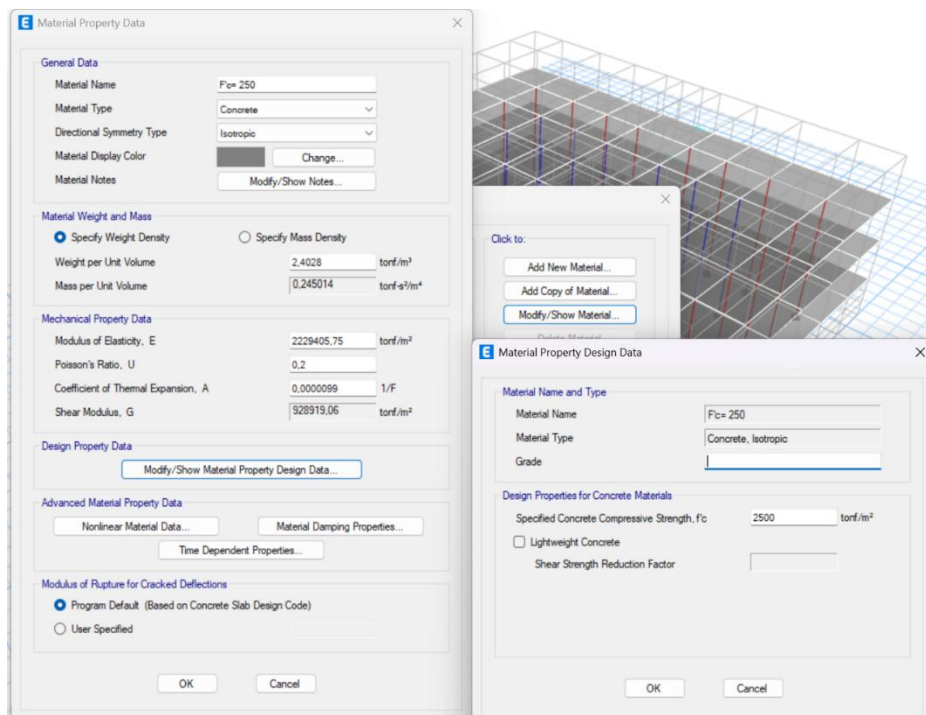


Fuente: Creado por el autor

## Definición de propiedades de los materiales

A través de Define → Materials, se definieron las propiedades mecánicas de los materiales que componen la estructura. Para el concreto se definió una resistencia especificada a la compresión de  $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , tomando un peso específico de 2.4 TON/M, que es el peso volumétrico estándar del concreto armado. El módulo de elasticidad ( $E_c$ ) fue calculado automáticamente por el programa según la fórmula normativa  $E_c = 14100 \cdot \sqrt{f'c}$  (en  $\text{kg/cm}^2$ ), asegurando una representación precisa de la rigidez del material.

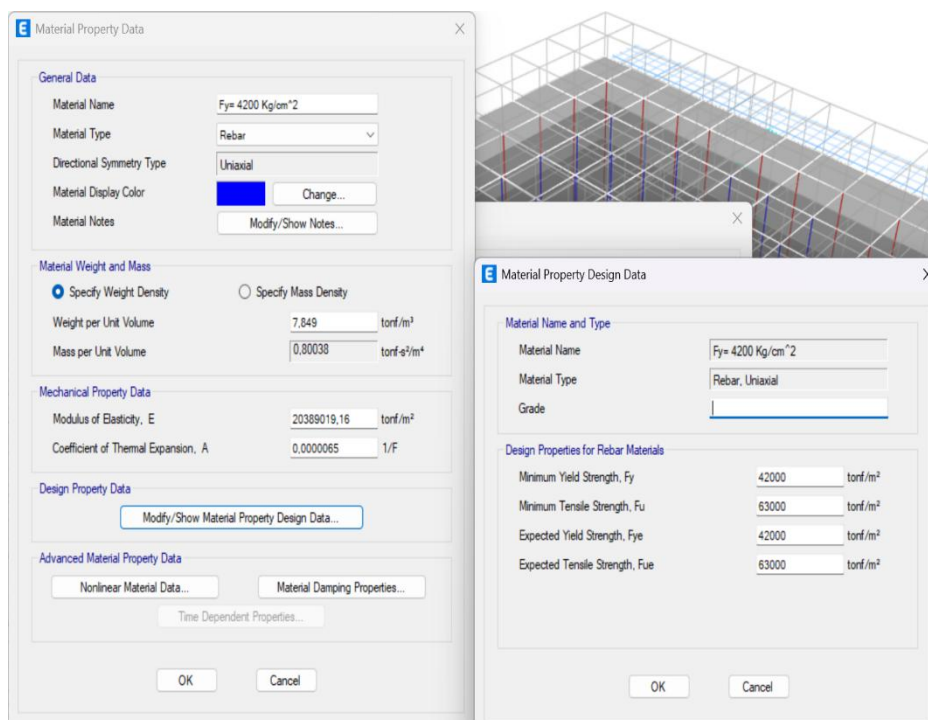
Ilustración 60: Resistencia al hormigón



Fuente: Creado por el autor

Para el acero de refuerzo longitudinal y transversal se especificó un material tipo Rebar con  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Este valor garantiza la compatibilidad con el acero comercial (Grado 60) que se encuentra en el mercado local y satisface los requisitos de ductilidad para diseño de pórticos especiales. Para fines de organización y rastreabilidad en el modelo, se codificó cada material con una nomenclatura específica.

*Ilustración 61: Fluencia de acero*



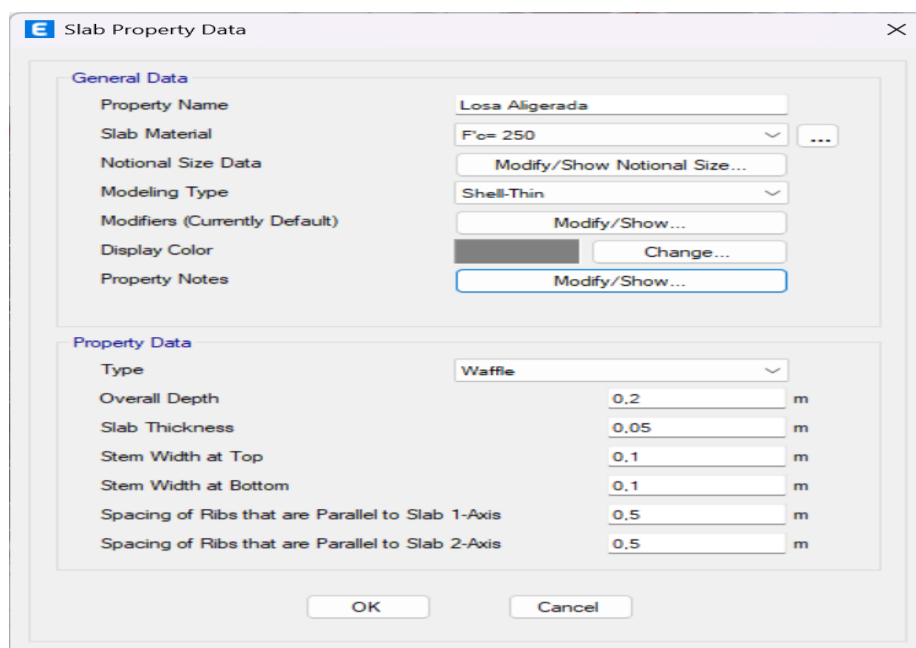
Fuente: Creado por el autor

## Definición de secciones de losa y diafragmas.

Para la modelización de los sistemas de entrepiso y cubierta, se recurrió al comando Define → Slab Sections, estableciendo una sección de losa aligerada. Se establecieron los parámetros geométricos con un peralte total de  $h = 25$  cm y un ancho de nervio de  $B_w = 10$  cm, dimensiones seleccionadas para optimizar la relación peso-rigidez del sistema. En lo que respecta a la formulación del elemento finito, se seleccionó el tipo Shell-Thin, lo cual posibilita la consideración de la rigidez a flexión y la deformación por corte en el análisis. Con el propósito de emular la conducta homogénea de la estructura frente a las demandas sísmicas.

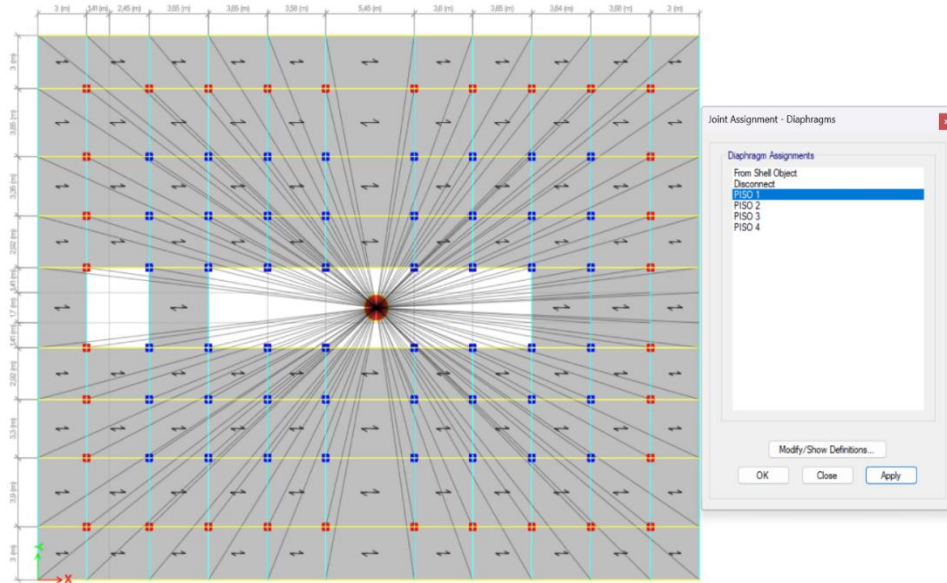
se asignó una restricción de diafragma rígido (Assign → Area → Diafragma) a todos los paños de losa en cada nivel. Esta idealización adopta una rigidez infinita en el plano horizontal, asegurando que todos los puntos de la planta se desplacen de manera conjunta bajo cargas laterales. Esto simplifica la matriz de rigidez y garantiza una transmisión adecuada de fuerzas a los elementos verticales (columnas y muros).

### *Ilustración 62: Creación de losa aligerada*



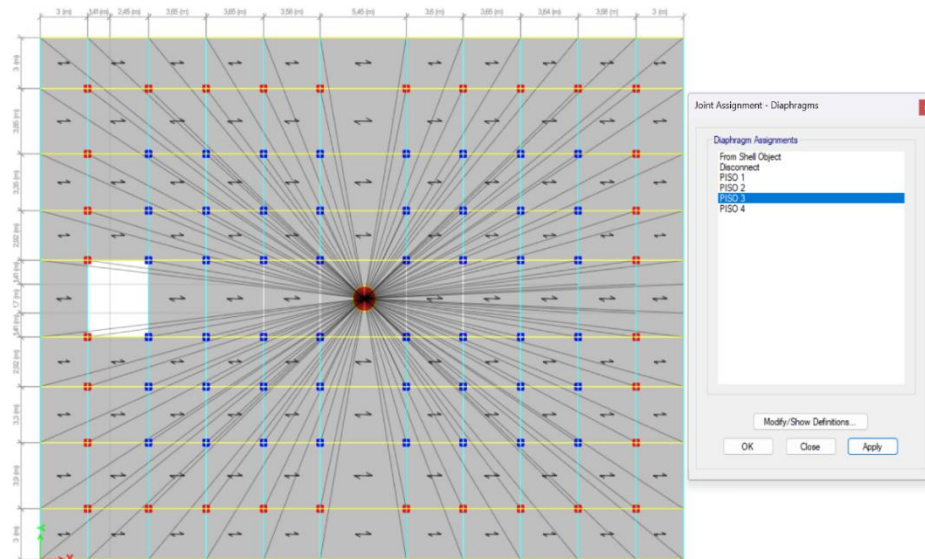
Fuente: Creada por el autor

*Ilustración 63: Creación de Diafragma – Piso 1*



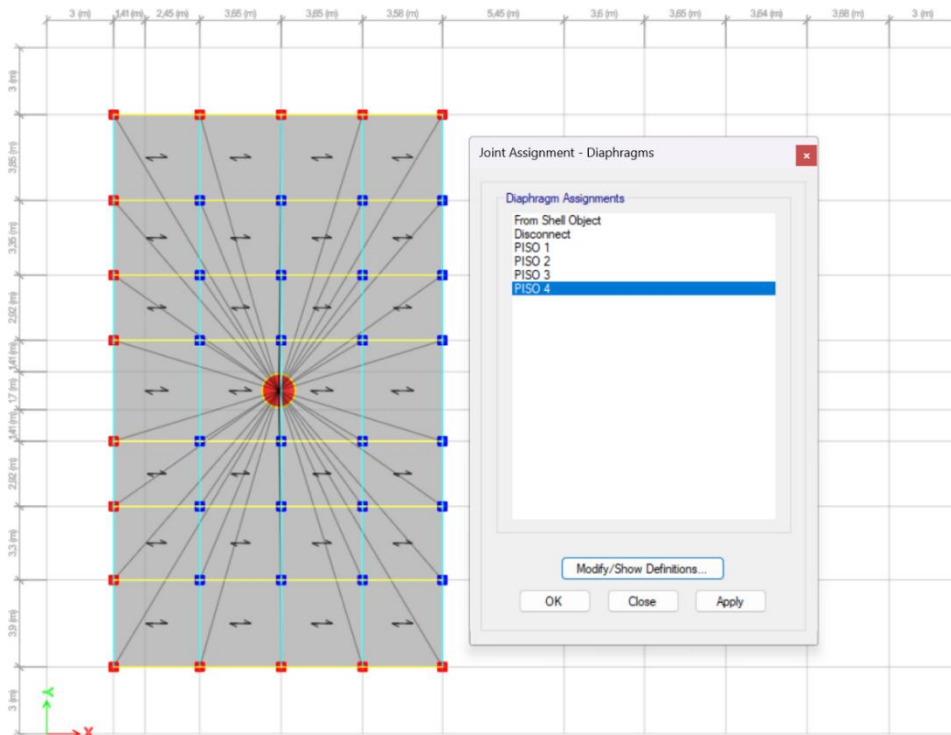
Fuente: Creado por el autor

*Ilustración 64: Creación de Diafragma - Piso 3*



Fuente: Creado por el autor

Ilustración 65: Creación de Diafragma - Piso 4

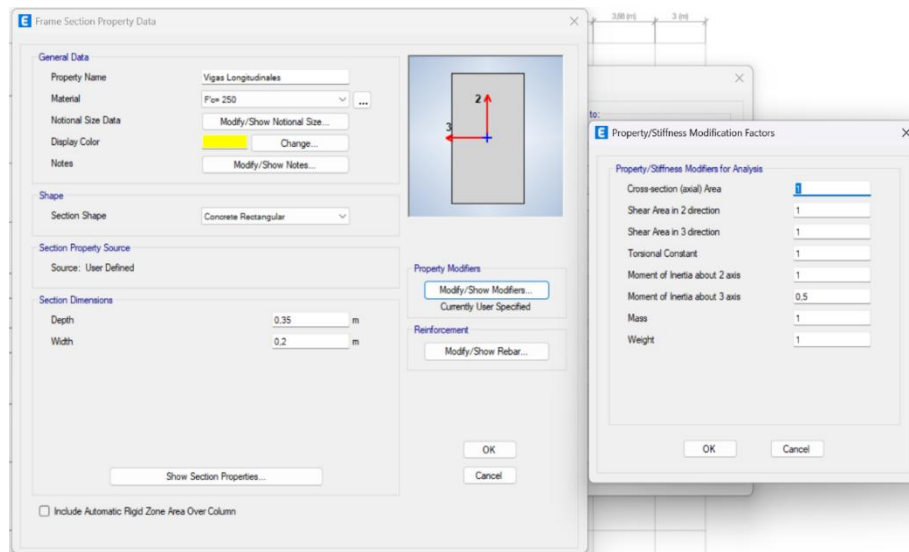


Fuente: Creado por el autor

## Definición de secciones de vigas

Mediante la opción Define → Sections Frame, se produjeron los elementos lineales correspondientes al sistema de vigas. El diseño estructural en cuestión utilizó una sección rectangular homogénea de 20x35 cm (b x h), que se distribuyó a la totalidad de los elementos horizontales del proyecto, incluyendo las vigas longitudinales, transversales y los elementos en voladizo. Esta estandarización tiene como objetivo la simplificación de los procesos de construcción y el encofrado en el sitio de trabajo. Para garantizar que el análisis sísmico tenga en cuenta el comportamiento auténtico del hormigón armado bajo cargas de servicio y últimas, se implementaron modificadores en la rigidez

*Ilustración 66: Creación de vigas, longitudinales, transversales y vigas de borde*

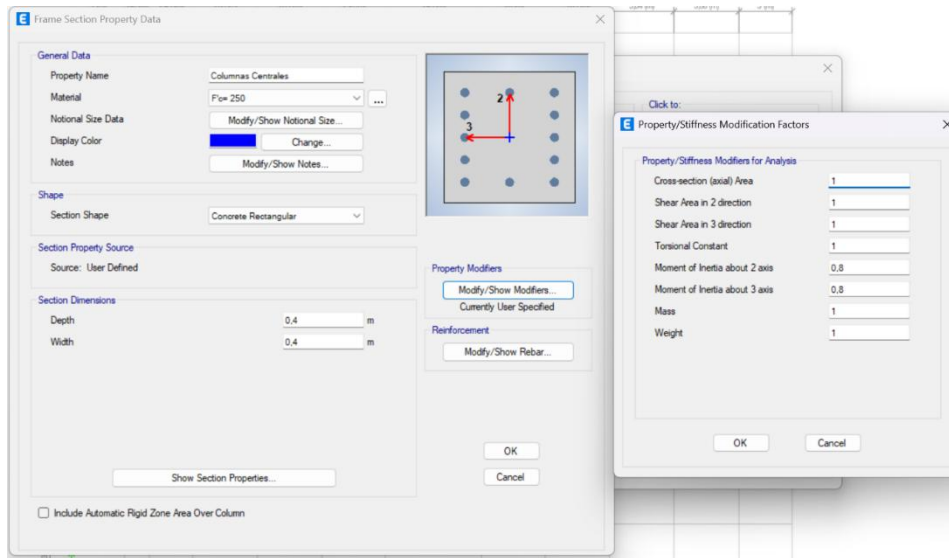


Fuente: Creado por el autor

## **Definición de secciones de columnas**

Mediante el menú Define → Frame Sections, se determinaron las características geométricas de los componentes verticales que constituyen el sistema resistente a cargas gravitatorias y sísmicas. Para el modelo estructural en cuestión, se empleó una sección cuadrada uniforme de 40 x40cm, distribuida de manera uniforme entre las columnas centrales, laterales y esquineras en los cuatro niveles de la construcción. Esta estandarización geométrica tiene como objetivo asegurar la continuidad de la rigidez vertical y simplificar los pormenores constructivos del refuerzo longitudinal. Para el análisis estructural, en consonancia con los códigos ACI 318 y NEC-SE-HM, se implementaron modificadores de rigidez en la sección bruta.

*Ilustración 67: Creación de columnas longitudinales, centrales y esquineras.*



Fuente: Creado por el autor

## **Cargas y combinaciones del modelo base**

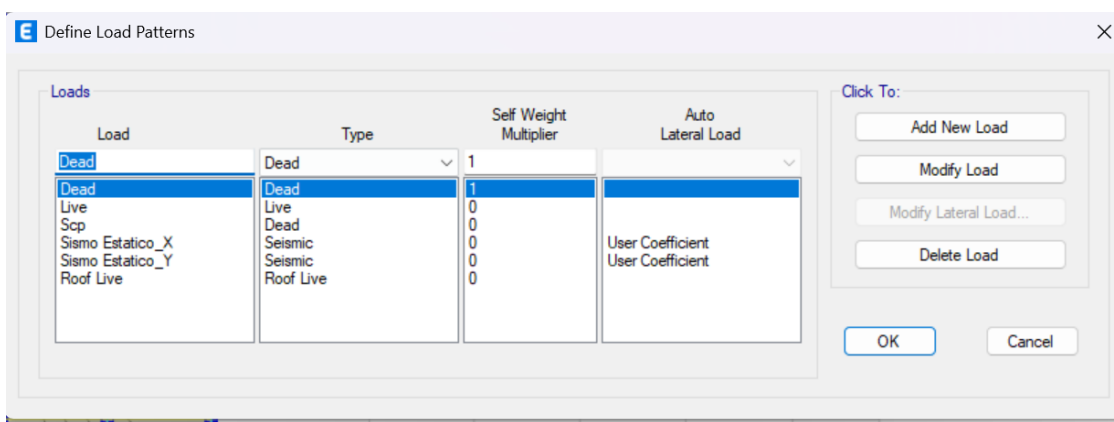
Este procedimiento registra la generación e incorporación de patrones de carga, la distribución de cargas en losas y la formulación de combinaciones para la comprobación del servicio y la resistencia del modelo base. El propósito es que la masa sísmica, las acciones gravitacionales y las combinaciones normativas se establezcan de manera integral antes de cualquier análisis dinámico. Todas las actividades se ejecutan en ETABS

Inicialmente, se establecen los patrones de carga a través de la opción Define → Load Patterns. El patrón denominado DEAD (carga muerta) se establece con un multiplicador de peso propio = 1.00, que activa el peso propio de todos los elementos asignados a este patrón (vigas, losas y columnas); esta elección asegura que el modelo registre automáticamente el peso propio sin duplicaciones. Se procede a

establecer el patrón SCP (Self Weight Multiplier = 0.00), diseñado para afrontar sobrecargas permanentes en las losas (acabados, morteros, impermeabilización, rellenos ligeros, y cuando

corresponda, tabiquería convertida a equivalente por área o por línea). Además, se integra el patrón LIVE (Self Weight Multiplier = 0.00), que representará la carga viva residencial conforme a la normativa vigente. Cada patrón se identifica mediante una nomenclatura explícita (DEAD, SCP, LIVE) y se detalla en una tabla resumen del proyecto, facilitando así que el lector pueda identificar de manera inmediata el origen y la utilización de cada uno.

*Ilustración 68: Definición de cargas*



Fuente: Creado por el autor

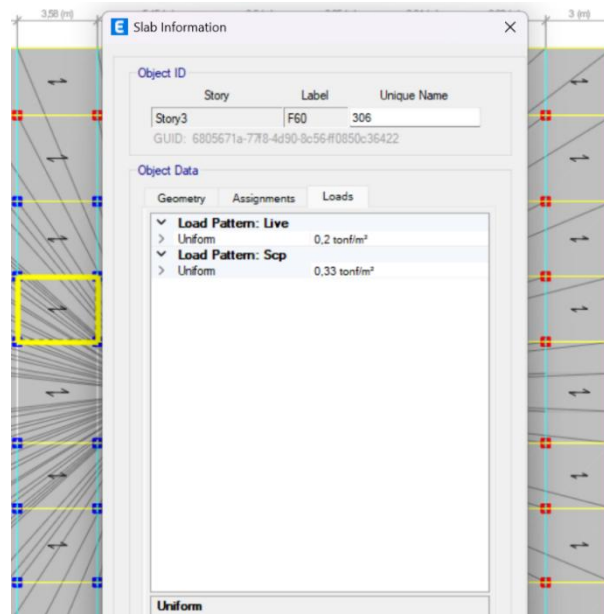
## Asignación de cargas gravitacionales

Tras la definición de los patrones de carga, se efectuó la asignación de las solicitudes a los elementos de área (losas) a través del comando Assign → Shell Loads → Uniform. En relación con la Sobre Carga Permanente (SCP o CM), se adoptó una carga distribuida de 0.33 t/m<sup>2</sup> (330 kg/m<sup>2</sup>); este valor comprende el peso de los acabados de piso, cielo raso, instalaciones y tabiquería interna. Esta carga

se modeló como una carga equivalente distribuida por área para simplificar el análisis sin comprometer la precisión en la masa sísmica. En lo que respecta a las Cargas Vivas (CV), se efectuó

una diferenciación basada en el uso del nivel, en estricto cumplimiento con la norma NEC-SE-CG (Cargas No Sísmicas): Entrepisos (Uso Residencial). Se asignó una carga de 0.2 toneladas por metro cuadrado (200 kilogramos por metro cuadrado), correspondiente a las áreas de habitación y circulación privada. Cubierta (Techo): Se tomó en cuenta una carga de 0.10 t/m<sup>2</sup> (100 kg/m<sup>2</sup>), destinada a cargas de montaje o mantenimiento transitorio.

*Ilustración 69: Asignación de cargas gravitacionaria*



Fuente: Creado por el autor.

## Definición de cargas combinadas

Conforme a las exigencias de la norma NEC-SE-CG y el código ACI 318, se llevó a cabo la generación de combinaciones de carga mediante el menú Define → Load Combinations. La investigación englobaba la elaboración de 21 combinaciones de carga distintas, estructuradas para corroborar tanto los

Estados Límites de Resistencia (Últimos) como los Estados Límites de Servicio.

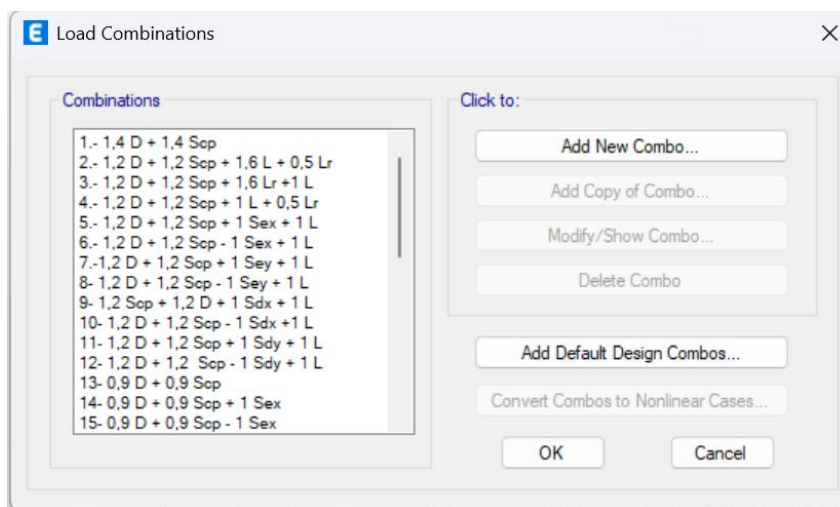
Este conjunto de combinaciones integra las solicitaciones gravitacionales (Carga Muerta, SCP y Carga Viva) con las acciones sísmicas, tomando en consideración dos escenarios de análisis para estas

últimas:

**Estático Sísmica:** Principalmente destinadas a la calibración del cortante basal y la comprobación de regularidad.

**Dinámico Sismo (Espectral):** Se emplearon combinaciones para el diseño final de los elementos y la comprobación de las derivas de piso.

*Ilustración 70: Combinaciones de cargas*



Fuente: Creado por el autor

## **Definición del espectro de diseño (NEC-SE-DS)**

Para la caracterización de la demanda sísmica del proyecto, se diseñó el espectro de diseño elástico de aceleraciones en conformidad rigurosa con las directrices de la norma NEC-SE-DS 2015.

El software ETABS estableció la definición de la curva espectral basándose en los siguientes parámetros de sitio y ocupación:

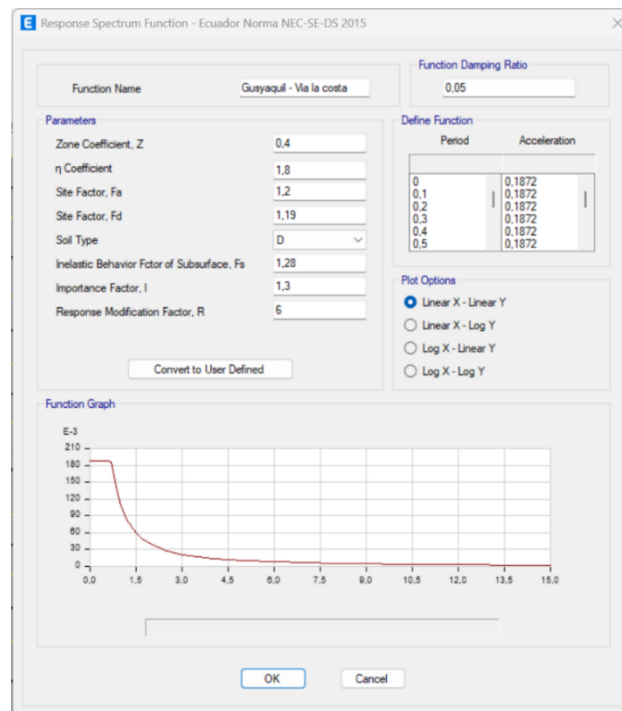
**Peligro Sísmico:** Debido a la localización geográfica del proyecto en la ciudad de Guayaquil (Vía a la Costa), se asignó un factor de zona sísmica  $Z = 0.40$  (Zona V), correspondiente a una región de elevada sismicidad.

**Caracterización del Suelo:** Con base en los estudios geotécnicos, el perfil del suelo fue

categorizado como Tipo D (Suelos Rígidos). Esta clasificación establece los coeficientes de amplificación del sitio:  $F_a = 1.20$ ,  $F_d = 1.19$  y un factor de comportamiento inestable del subsuelo  $F_s = 1.28$ .

**Relación de Aceleración Espectral:** La definición de la meseta del espectro en la región Costa se realizó utilizando el coeficiente  $n = 1.80$ . Dado que la construcción se emplea como residencia estudiantil vinculada al campus universitario, se determinó un Factor de Importancia  $I = 1.3$  (Ocupación Especial). Además, se implementó un Factor de Reducción de Respuesta  $R = 6$  para el sistema de pórticos especiales de hormigón armado, asumiendo un comportamiento dúctil de la estructura.

*Ilustración 71: Espectro de diseño*



Fuente: Creado por el autor

## Definición de caso de carga Modal-Espectral

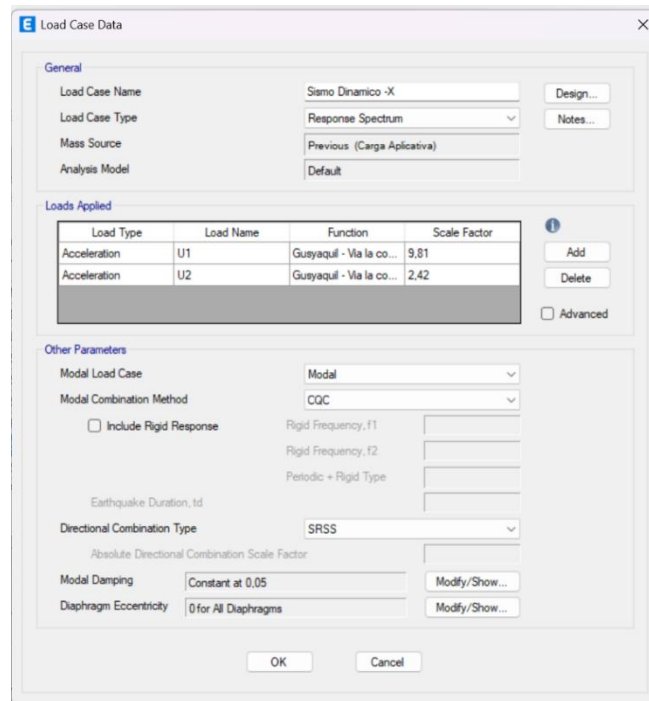
Para el análisis del rendimiento sísmico, se estableció un caso de carga de espectro de respuesta denominado "Sismo Dinámico - X". Este caso integra la función de espectro de diseño previamente generada ("Guayaquil - Via la costa") con los parámetros de sitio previamente establecidos ( $Z=0.4$ ,  $S=D$ ,  $I=1.3$ ,  $R=6$ ). La implementación de la excitación sísmica se diseñó teniendo en cuenta la bidireccionalidad de los efectos. Con este propósito, se asignó la función espectral en la dirección principal U1 (X) con un factor de escala de  $9.81 \text{ m/s}^2$  (equivalente a  $1g$ ), garantizando así la consistencia unitaria con el sistema MKS implementado. Concomitantemente, se incorporó un componente en la dirección ortogonal U2 (Y) con un factor de escala reducido de  $2.42 \text{ m/s}^2$ , con el objetivo de integrar la contribución de los efectos transversales en la respuesta global del sistema. Desde la perspectiva del algoritmo de solución, se seleccionaron los siguientes criterios de combinación para la superposición de la respuesta máxima probable:

**Combinación Modal:** Se aplicó el procedimiento de Combinación Cuadrática Completa (CQC), teniendo en cuenta un amortiguamiento modal constante del  $5\% = 0.05$ ). Este procedimiento fue seleccionado debido a su habilidad para calcular de manera precisa la correlación entre modos de vibración con frecuencias cercanas, una característica común en estructuras de hormigón armado.

**Combinación Direccional:** Se recurrió al método SRSS (Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados) para la integración de los efectos presentes en U1 y U2 dentro del mismo caso de carga.

Y

Ilustración 72: Configuración del Caso de Carga Modal-Espectral Dinámico en X &



Fuente: Creado por el autor

## Revisión modal de masas

Para corroborar la representatividad del análisis dinámico, se efectuó la extracción de las características vibratorias del edificio a través de la generación de tablas de resultados denominadas Modal Participating Mass Ratios. Se llevaron a cabo análisis de los periodos fundamentales de vibración ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_n$ ), así como de los factores de participación de masa efectiva en los grados de libertad traslacionales ( $U_x$ ,  $U_y$ ) y rotacionales ( $R_z$ ).

Tabla 14: Revisión Modal Participating Mass Ratios para modelo M-00

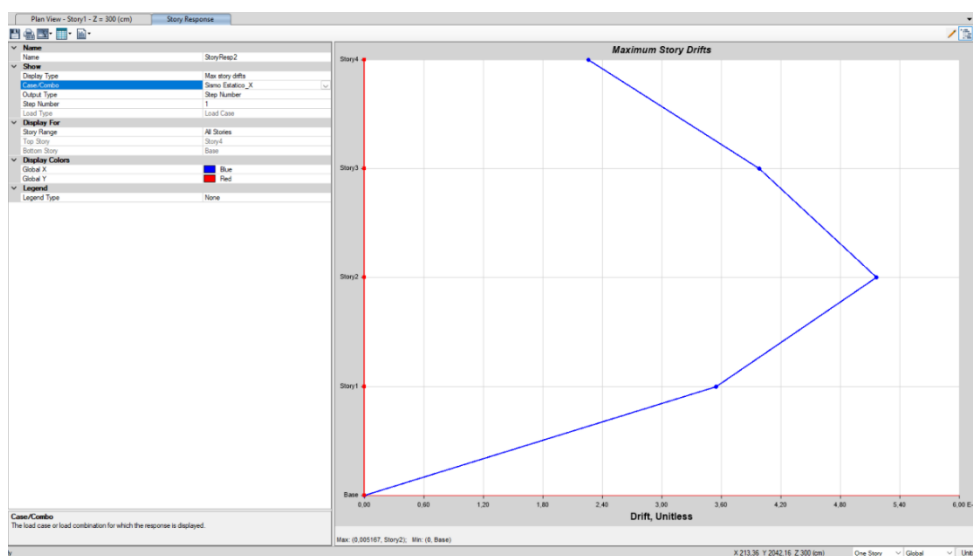
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0,8	0,00001154	0,5163	0	0,00001154	0,5163	0	0,1619	0,000002396	0,3275	0,1619	0,000002396	0,3275
Modal	2	0,776	0,844	0,00001261	0	0,844	0,5163	0	0,00000301	0,1754	9,826E-07	0,1619	0,1754	0,3275
Modal	3	0,711	0,000002041	0,331	0	0,844	0,8473	0	0,0243	0	0,5155	0,1862	0,1754	0,8429
Modal	4	0,242	0,000001128	0,0394	0	0,844	0,8867	0	0,2778	0,000007482	0,0658	0,464	0,1754	0,9088
Modal	5	0,233	0,0948	0,000001044	0	0,9389	0,8867	0	0,00000717	0,6326	0	0,464	0,808	0,9088
Modal	6	0,213	0	0,0584	0	0,9389	0,9451	0	0,3631	0,000001512	0,0413	0,8271	0,808	0,95
Modal	7	0,165	5,316E-07	0,014	0	0,9389	0,9591	0	0,0471	0,000001627	0,0087	0,8742	0,808	0,9587
Modal	8	0,156	0,0372	0	0	0,976	0,9591	0	0,000001001	0,1019	0	0,8742	0,9099	0,9587
Modal	9	0,144	0	0,0168	0	0,976	0,9759	0	0,0359	0	0,0195	0,91	0,9099	0,9783
Modal	10	0,11	0	0,0049	0	0,976	0,9808	0	0,0127	5,259E-07	0,021	0,9227	0,9099	0,9992
Modal	11	0,102	0,024	6,074E-07	0	1	0,9808	0	0,00000229	0,0901	0	0,9227	1	0,9992
Modal	12	0,101	0	0,0192	0	1	1	0	0,0773	0,000001843	0,0008	1	1	1

Fuente: Creado por el autor

## revisión de derivas máximas de piso para modelo M-00

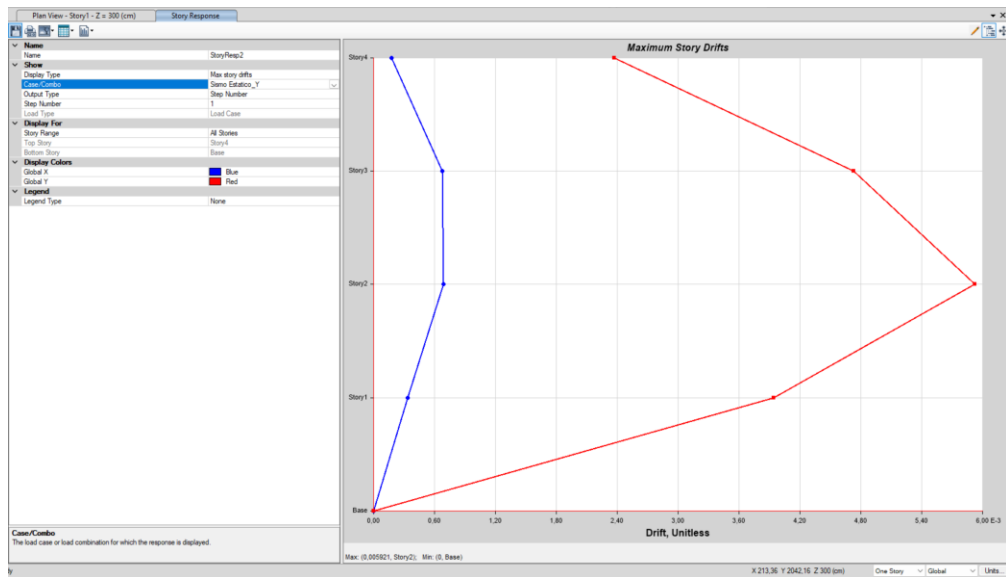
En el análisis de la rigidez lateral de la estructura, se llevó a cabo la extracción de las derivas máximas de piso (Max Story Drifts) correspondientes a los casos de carga sísmica estática y dinámica espectral en las direcciones ortogonales.

Ilustración 73: SEX para modelo M-00



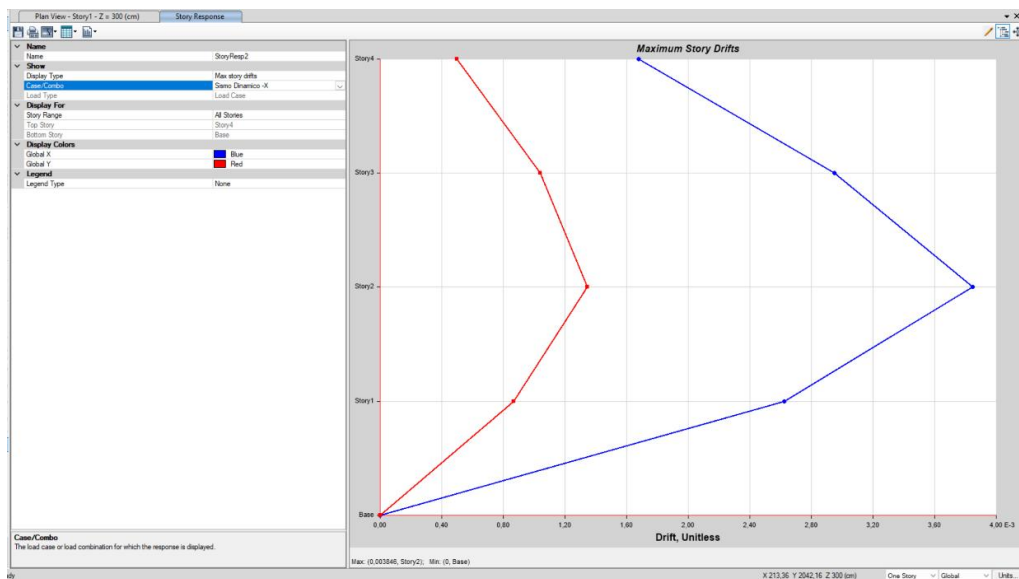
Nota. Derivas de piso para el espectro en X con una deriva máxima de 0,005167

Ilustración 74: SEY para modelo M-00



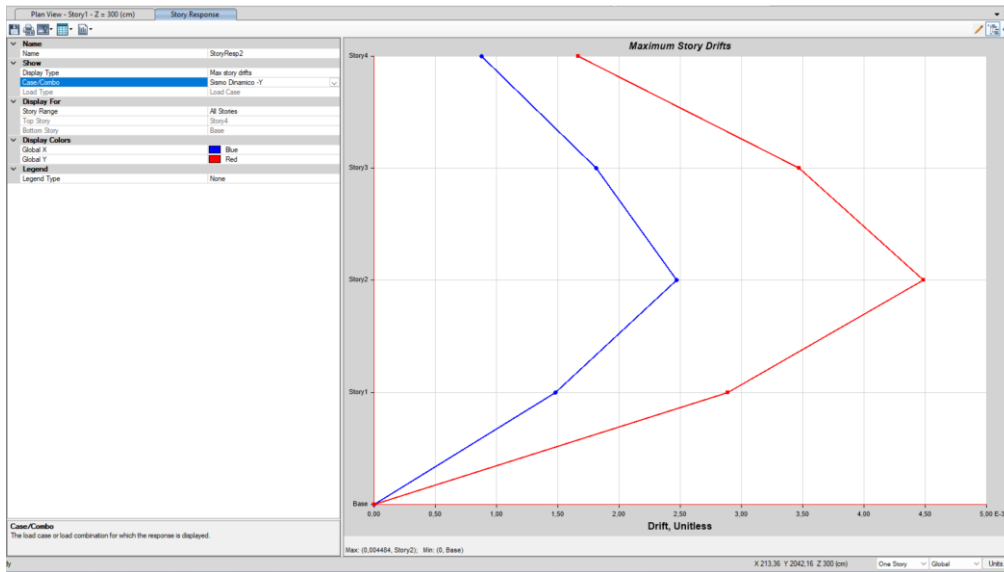
Nota. Derivas de piso para el espectro en Y con una deriva máxima de 0,005921

Ilustración 75: SDX para modelo M-00



Nota. Derivas de piso para el espectro en X con una deriva máxima de 0,003846

Ilustración 76: SDY para modelo M-00



Nota. Derivas de piso para el espectro en Y con una deriva máxima de 0,004484

Tabla 15: Revisión de derivas para modelo M-00

Max story drifts			
Sex	Sey	Sdx	Sdy
0,00517	0,00592	0,003846	0,004484

% PORCENTAJE DI		
$\Delta_X$	2,32515	<2%
$\Delta_Y$	2,66445	

Nota: Se puede evidencia que las derivas están por encima de lo permitido

### Revisión de cortante basal y factores de escalamiento

Los hallazgos derivados del análisis se exponen a continuación:

Cortante Estático  $V_e$ : Se registró una fuerza cortante en la base de 637.74 tonf para ambas direcciones ortogonales.

Cortante Dinámico Inicial  $V_d$ : En la dirección X, el análisis espectral mostró un cortante de

467.52 tonf. En la dirección Y, el valor obtenido fue de 121.51 tonf.

*Tabla 16: Revisión Base Reactions para modelo M-00*

TABLE: Base Reactions									
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	1	-637,7426	0	0	0	-5082,9382	9808,9474
Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	2	-637,7426	0	0	0	-5082,9382	10166,954
Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	3	-637,7426	0	0	0	-5082,9382	9450,9407
Sismo Estatico_Y	LinStatic	Step By Step	1	0	-637,7426	0	5082,9382	0	-12137,011
Sismo Estatico_Y	LinStatic	Step By Step	2	0	-637,7426	0	5082,9382	0	-12578,795
Sismo Estatico_Y	LinStatic	Step By Step	3	0	-637,7426	0	5082,9382	0	-11695,227
Sismo Dinamico -X	LinRespSpec	Max		467,5249	121,5054	0	954,5841	3689,98	7673,4022
Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max		140,116	405,4252	0	3185,1469	1105,8778	9256,4862

Fuente: Creado por el autor

*Tabla 17: Revisión de cortantes Basal para modelo M-00*

Output Case						
<b>Sismo Estatico_X</b>	637,7426					
<b>Sismo Estatico_Y</b>	637,7426					
<b>Sismo Dinamico -X</b>	467,5249	>	542,08121	FACTOR	1,1595	1,16
<b>Sismo Dinamico -Y</b>	121,5054	>	542,08121	FACTOR	4,4614	4,48

Nota: Como no cumple tenemos que corregir el Vs

*Tabla 18: Revisión de cortante Basal Corregido para modelo M-00*

Base Reactions Mayorado								
Sismo Dinamico -X	LinRespSpec	Max	542,3295	544,3365	0	4276,4774	4280,3822	14681,1622
Sismo Dinamico -Y	LinRespSpec	Max	627,7133	470,2941	0	3694,7766	4954,281	14215,4137

V_BASAL CORREGIDO		
544,3365	>	542,08121
627,7133	>	542,08121

Fuente: Creado por el autor

## Revisión de indicadores torsionales para modelo M-00

Se llevó a cabo un análisis de la susceptibilidad del edificio a sufrir deformaciones por torsión en su planta. A partir de los hallazgos del análisis modal, se derivaron los valores de la participación de masa en el grado de libertad rotacional Rz con el objetivo de cuantificar el acoplamiento torsión traslacional de la estructura. La Tabla 17 ofrece un resumen de los indicadores torsionales, especificando la contribución acumulativa y porcentual de la masa rotacional en cada modalidad de vibración. La finalidad de esta comprobación consistió en demostrar que los modos esenciales de la estructura (T1 y T2) movilizan mayormente masa traslacional, relegando los efectos de torsión significativos a modos superiores (comúnmente a partir del tercer modo). Este registro facilita la confirmación de la distribución adecuada de rigidez en el entorno físico y la validación de la estabilidad del sistema frente a las demandas sísmicas excéntricas.

*Tabla 19: Revisión torsional para modelo M-00*

TORSION				
RX	RY	RZ	SUMATORIA	PORCENTAJE
0,1619	0,000002396	0,3275	0,489402396	0,67
3,01E-06	0,1754	9,83E-07	0,175403993	0,00
0,0243	0	0,5155	0,5398	0,95
0,2778	0,000007482	0,0658	0,343607482	0,19
7,17E-06	0,6326	0	0,63260717	0,00
0,3631	0,000001512	0,0413	0,404401512	0,10
0,0471	0,000001627	0,0087	0,055801627	0,16
1E-06	0,1019	0	0,101901001	0,00
0,0359	0	0,0195	0,0554	0,35
0,0127	5,259E-07	0,021	0,033700526	0,62
2,29E-06	0,0901	0	0,09010229	0,00
0,0773	0,000001843	0,0008	0,078101843	0,01

Fuente: Creado por su autor

## Revisión de periodos de vibración y porcentaje de masa para modelo

M-00

Tabla 20: Revisión de periodo de vibración para modelo M-00

PERIODO DE VIBRACION		
Mode	Period	Porcentaje
	sec	
T	0,4	
1	0,8	50,0%
2	0,776	103,1%
3	0,711	109,1%
4	0,242	293,8%
5	0,233	103,9%
6	0,213	109,4%
7	0,165	129,1%
8	0,156	105,8%
9	0,144	108,3%
10	0,11	130,9%
11	0,102	107,8%
12	0,101	101,0%

Fuente: Creado por el autor

Tabla 21: Revisión de porcentaje de masas para modelo M-00

PORSENTAJE DE MASAS		
SumRX	SumRY	SumRZ
0,1619	2,4E-06	0,3275
0,1619	0,1754	0,3275
0,1862	0,1754	0,8429
0,464	0,1754	0,9088
0,464	0,808	0,9088
0,8271	0,808	0,95
0,8742	0,808	0,9587
0,8742	0,9099	0,9587
0,91	0,9099	0,9783
0,9227	0,9099	0,9992
0,9227	1	0,9992
1	1	1

Fuente: Creado por el autor.

Tabla 22: revisión de máximo desplazamiento en x para modelo M-00

TABLE: Joint Displacements												
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
							cm	cm	cm	rad	rad	rad
Story4	5	29	Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	1	4,4862	-0,0019	0,028	0,000048	0,001554	0,000001
Story3	5	28	Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	1	3,8077	-0,0016	0,0268	-0,000023	0,002522	0,000001
Story2	5	30	Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	1	2,6136	-0,0011	0,0227	-0,000021	0,003927	0,000001
Story1	5	27	Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	1	1,0637	-0,0005	0,0138	-0,000003	0,004193	2,747E-07
Base	5	26	Sismo Estatico_X	LinStatic	Step By Step	1	0	0	0	0	0	0

Nota: El mayor desplazamiento que se registra en la estructura es de 4,48cm en sentido X

## Registro tiempo historia y espectro asociado

Para verificar el comportamiento de la estructura y los disipadores ante una excitación sísmica real, se añadió un análisis dinámico paso a paso (Time-History). Se eligió como evento control el Terremoto de Pedernales del 16 de abril de 2016 Mw = 7.5 por ser el evento de subducción más grande y destructivo de la historia reciente del Ecuador y que impuso altas demandas de ductilidad a las edificaciones de la costa.

Se calcularon las dos componentes horizontales ortogonales (N-S y E-) registradas en la estación acelerográfica [ACH1]. La señal se revisó para asegurar la corrección de línea base y el filtrado de ruido. Los parámetros principales del registro introducido en el modelo son los siguientes:

Ilustración 77: Time History - Pedernales 2016

```

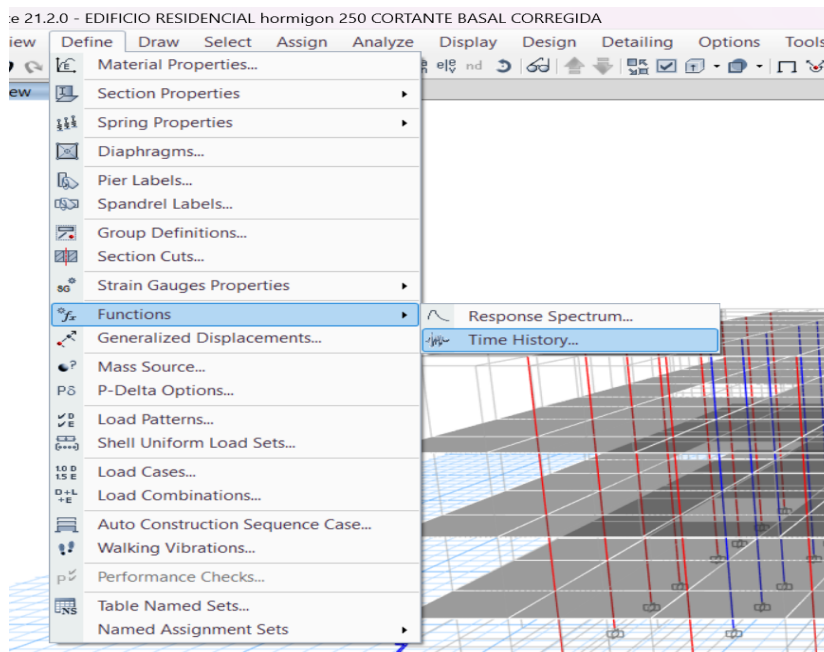
Archivo de aceleración parte de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) Ecuador

Evento: 201604162358
Fecha del evento UTM (aammdd):          2016    4    16
Hora del registro UTM (hhmmss): 23    59 45,00
Estación:                               ACH1
Componente:                             Z
Frecuencia de muestreo (Hz):           1,000000e+02
Unidades: cm/s^2

-0,1794 -0,1840 -0,1693 -0,1428 -0,1098 -0,0430
0,0138 0,0669 0,0972 0,0898 0,0871 0,0733
0,1155 0,2254 0,3536 0,4955 0,5898 0,6191
0,5679 0,4278 0,2409 0,0907 0,0230 0,0157
0,0834 0,1448 0,1603 0,1787 0,2208 0,3298
0,4653 0,5898 0,6155 0,5157 0,3463 0,1017
-0,1080 -0,2325 -0,2801 -0,2481 -0,1519 0,0019
0,1420 0,2519 0,2922 0,2373 0,1631 0,0770
0,0056 -0,0182 -0,0072 0,0248 0,0669 0,0779
-0,0027 -0,1299 -0,2719 -0,4065 -0,5457 -0,7188
-0,8937 -1,0366 -1,0979 -1,0851 -0,9999 -0,8800
-0,7600 -0,6364 -0,5365 -0,4294 -0,2994 -0,2005
-0,1061 0,0010 0,0697 0,1283 0,1842 0,2345
0,3261 0,4772 0,6878 0,8893 0,9955 1,0248
1,0322 1,0514 1,1146 1,1952 1,2373 1,1979
1,0139 0,6878 0,3371 0,0651 -0,0292 -0,0063
0,0596 0,1933 0,3334 0,4598 0,5157 0,4791
0,3719 0,2126 0,0853 0,0038 0,0001 0,0441
0,0688 0,0807 0,0322 -0,0796 -0,2160 -0,2911
-0,2957 -0,2352 -0,0942 0,0386 0,1787 0,3014
0,3444 0,3692 0,3435 0,2620 0,1796 0,0935
0,0349 0,0239 0,0221 0,0404 0,0422 -0,0145
    
```

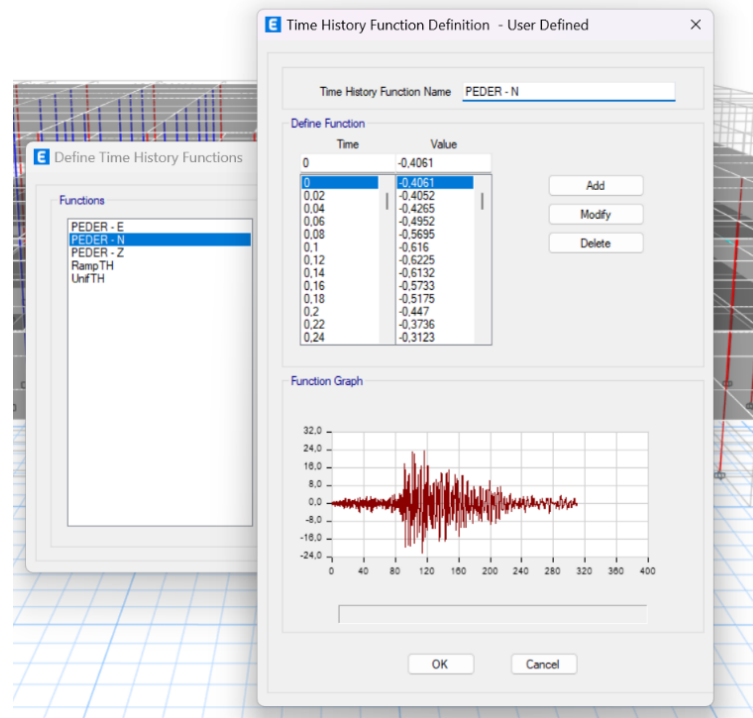
Fuente: RENAC

Ilustración 78: Ingreso de datos al modelo M-00



Fuente: Creado por el autor

Ilustración 79: Parámetros de aceleración espectral de modelo M-00



Fuente: Creado por el autor

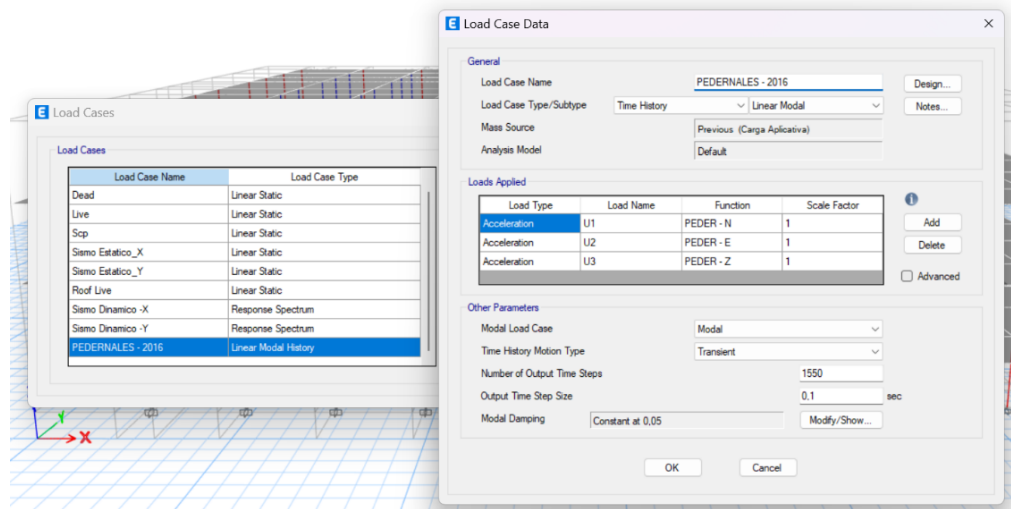
Análisis "PEDERNALES - 2016", definiendo los parámetros de solución que se muestran en la ventana de configuración del tipo de Análisis.

Se eligió un análisis Time History de tipo Linear Modal (Modal Lineal). Esta configuración usa superposición modal para calcular la respuesta en el tiempo, que es computacionalmente eficiente para controles elásticos preliminares.

Cargas aplicadas: Se importaron las acelerogramas de los tres grados de libertad traslacionales de la base: U1 (X), Destinado: PEDER - N (Componente Norte-Sur). U2 (Y): Destinado en la PEDER - E (Parte Este-Oeste). U3 (Z): Designado como PEDER - Z (Vertical), con factor de escala unitario (Scale Factor = 1), en el supuesto de que las funciones ya estén normalizadas o en las unidades coherentes del modelo ( $m/s^2$ ).

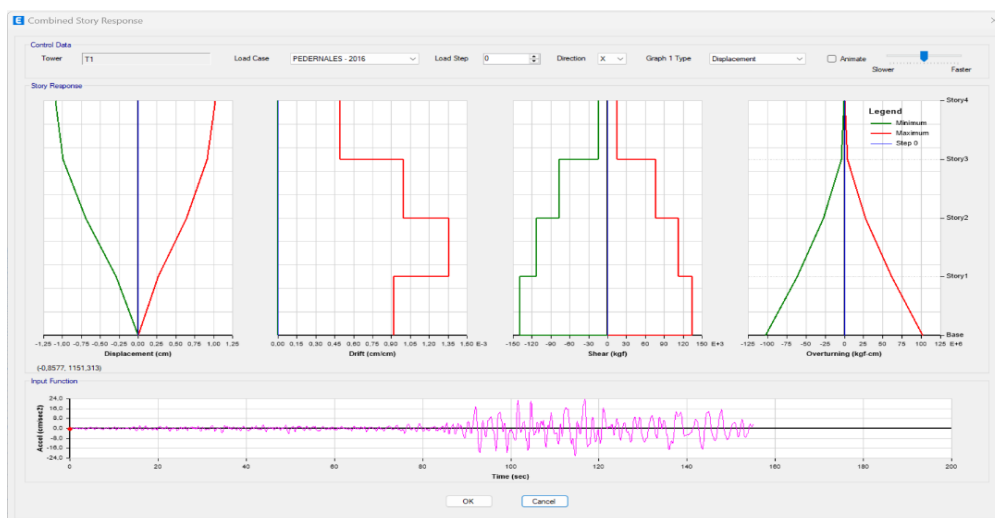
Discretización Temporal: Para la integración de la respuesta, se definió un número total de pasos de salida (Output Time Steps) de 1550 y un tamaño de paso (Step Size) de 0.1 s, para cubrir la duración del evento significativo.

Ilustración 80: Configuración del caso de cargas del modelo M-00



La Figura 3.X representa los hallazgos del análisis cronológico realizado durante la excitación del sismo de Pedernales (2016)." Los gráficos de respuesta combinada (Combined Story Response) exhiben los perfiles verticales del desplazamiento lateral, la deriva del entrepiso, el cortante basal y el momento de volcamiento a lo largo de la altura de la estructural. Las curvas delineadas en rojo y verde demarcan las envolventes de respuesta máxima y mínima absolutas registradas a lo largo de la totalidad del evento sísmico. Por otro lado, la línea azul señala el estado de la estructura en un instante de tiempo específico (t), facilitando la verificación de la progresión gradual de las demandas sísmicas en relación con el acelerograma de entrada exhibido en la parte inferior.

Ilustración 81: Revisión de grafico de respuesta del modelo M-00



Fuente: Creado por el autor.

## **12.5.2. Modelado M-01 - primera propuesta con 4 disipadores sísmicos**

Con los parámetros geométricos y mecánicos establecidos durante la etapa de predimensionamiento, se llevó a cabo la integración de los dispositivos en el entorno ETABS. Al acceder al menú Define → Section Properties → Link/Support Properties, se elaboraron las propiedades constitutivas de los disipadores de energía, generando tipologías particulares para cada nivel (o grupos de

niveles) en respuesta a la fluctuación de la demanda sísmica en altura.

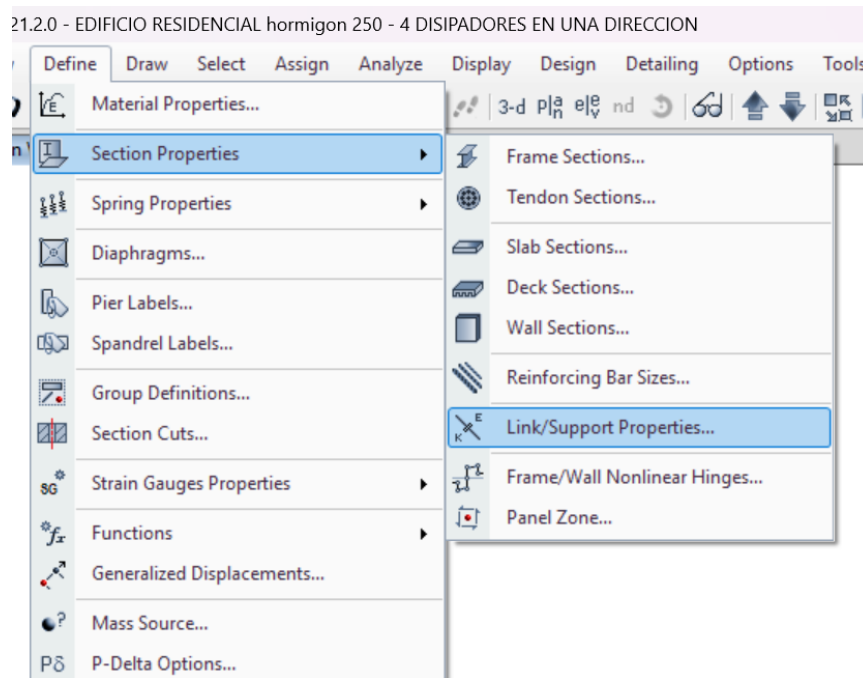
Para emular la conducta del BRB, se optó por un componente de tipo Link, ajustando sus características direccionales para que operen exclusivamente a lo largo del eje axial del dispositivo (Dirección U1). Se empleó un modelo de histéresis de tipo Plastic (Wen), que resulta adecuado para ilustrar el comportamiento bilineal asociado con la plastificación de metales. Los parámetros críticos de diseño fueron introducidos en esta ventana de definición:

La rigidez efectiva ( $K_{eff}$ ) se determina en función de la longitud del núcleo y la superficie de acero requerida.

Fuerza de Fluencia ( $F_y$ ): Se refiere al valor ajustado de la carga  $P_i$ . Razón de Rigidez Post-Fluencia ( $\alpha$ ): Es el valor que determina la pendiente de la rama de endurecimiento por deformación, usualmente oscilando entre 0.02 y 0.05 para el acero.

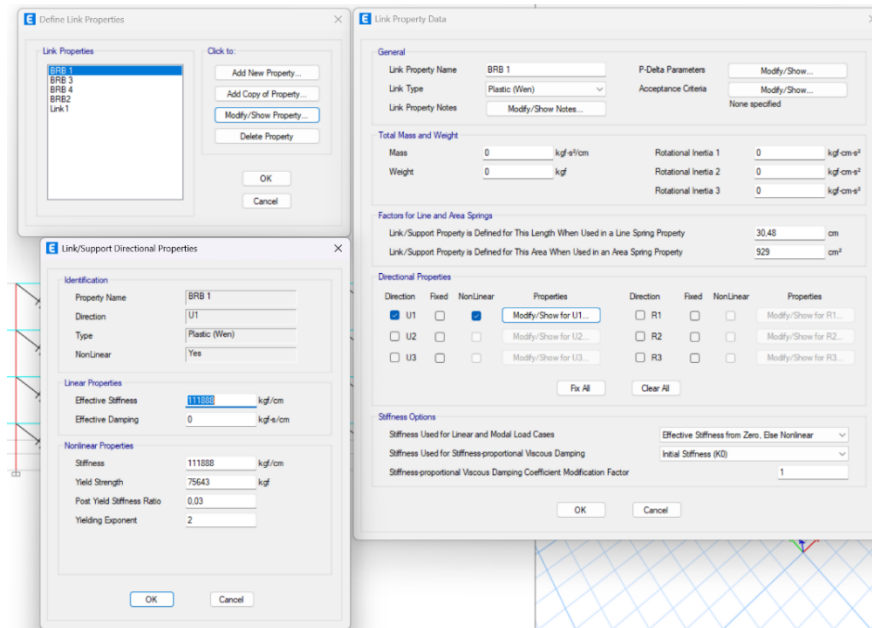
Esta caracterización garantiza que, durante el análisis, el elemento disipa energía a través de la generación de ciclos histeréticos estables cuando la demanda sobrepasa el límite elástico establecido.

Ilustración 82: Creación de los disipadores



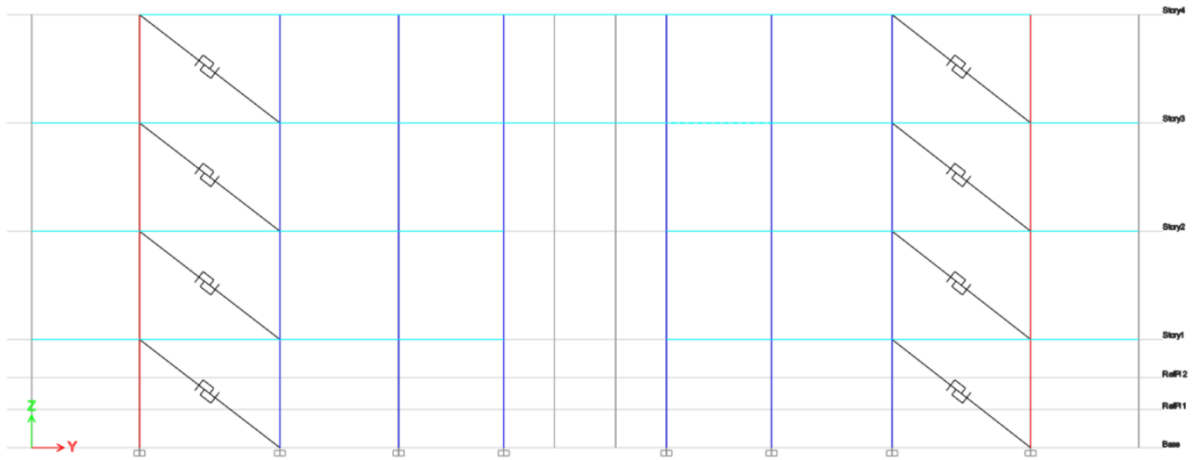
Fuente: Creado por el autor

Ilustración 83: Configuración de propiedades



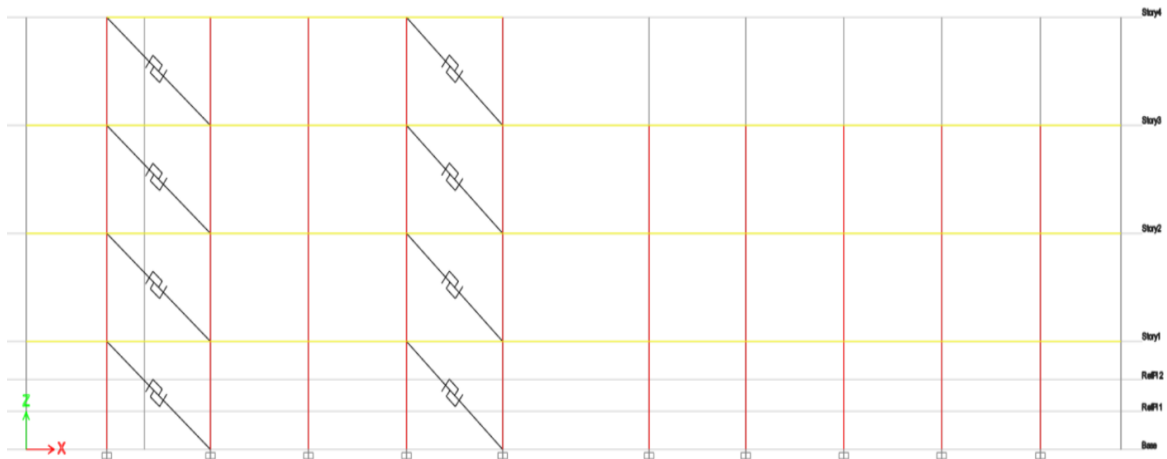
Nota: se hace este paso para todos los disipadores por piso con sus debidas propiedades

*Ilustración 84: Disipadores en dirección Y*



Nota: Para este análisis se optó poner los disipadores en una sola dirección

*Ilustración 85: Disipadores en dirección X*



Fuente: Creado por el autor

## Revisión de demandas para modelo M-01 - primera propuesta con disipadores sísmicos

Utilizando el modelo base previamente validado (con la misma geometría, materiales, diafragmas, cargas, combinaciones y espectro), se elabora un análisis paramétrico en el que la variable única es el número de disipadores histeréticos BRB por piso, preservando su disposición simétrica en los pórticos escogidos. Para cada escenario (4 y 8 BRB por piso), los casos de carga se duplican en ETABS,

se escala el espectral por cortante basal según NEC cuando corresponda y se registran, sin alterar la estructura, los siguientes indicadores: deriva de entrepiso (servicio/diseño), desplazamiento máximo por nivel, períodos T1–T2, cortante basal, así como fuerza y recorrido en los BRB (verificación frente a capacidad y carrera admisible). Este método posibilita la cuantificación del impacto directo del conteo de BRB en el rendimiento global y en las demandas locales, asegurando una comparación equitativa y replicable con el caso SIN control.

### Extracción de datos de modelo M-00

*Tabla 23: Extracción de datos de Etabs para modelo M-01*

<i>Datos</i>			<i>Sismicos</i>				<b>Tipo</b>	<i>PLATINUM</i>			
<b>T</b>	0,81	s	<b>n</b>	1,81	<b>r</b>	1,00	<b>An</b>	36	ksi		
<b>Sa</b>	0,76		<b>Z</b>	0,40	<b>fp</b>	1,00	<b>fy</b>	2530	kg/cm2		
<b>W</b>	2,00		<b>Fa</b>	1,20	<b>fe</b>	1,00	<b>w</b>	1,30			
<b>R</b>	6,00		<b>Fd</b>	1,19	<b>I</b>	1,00	<b>b</b>	1,15			
			<b>Fs</b>	1,28	<b>Tc</b>	0,70	<b>KF</b>	1,44		<b>Ry</b>	1,30

Fuente: Creado por el autor

Desde el modelo base previamente validado, los insumos que sustentan el dimensionamiento BRB se consolidan. Para cada pórtico y piso, se documentan el ángulo de la diagonal ( $\theta$ ) y la longitud

efectiva (L) basándose en las coordenadas de nudos del modelo; se determinan los períodos fundamentales (T1, T2) y la masa total/efectiva por dirección (M) a partir de los informes modales; la rigidez lateral (K) por dirección se registra a partir de la relación cortante-desplazamiento del caso estático equivalente (control por nivel y global); el cortante basal de diseño (V) se deriva de las Base Reactions para el caso espectral escalado según NEC; y, para los elementos de acero, se registra el Fy del material y el factor de sobrerresistencia adoptado (por ejemplo, Ry u  $\Omega$ ) que se utilizarán en las verificaciones de capacidad.

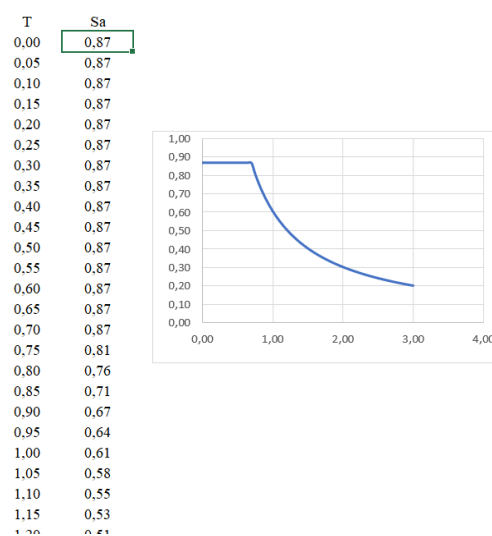
*Tabla 24: Revisión de Masas, Cortantes, rigidez, desplazamiento y derivas por piso para modelo M-01*

<i>Pisos</i>	<i>M</i>	<i>V</i>	<i>desp</i>	<i>der</i>	<i>der obj</i>	<i>H</i>	<i>K</i>	<i>L</i>
	<i>kg.s2/cm</i>	<i>kg</i>	<i>cm</i>			<i>cm</i>	<i>kg/cm</i>	<i>cm</i>
4	276,1923	-89743,5	4,48	0,0023	0,0033	300	132788,09	545
3	1301,067	-406811	3,81	0,0040	0,0033	300	341162,36	545
2	949,74	-561111	2,62	0,0052	0,0033	300	361871,61	545
1	949,74	-638261	1,06	0,0035	0,0033	300	599763,18	545
						<b>1200</b>		

Fuente: Creado por el autor.

## Cálculo de aceleración

*Ilustración 86: Revisión de cálculo de aceleración*



Nota: Se obtuvo un Sa = 0,76

## Revisión de cálculo de energía disipada para modelo M-01

Tabla 25: Revisión de cálculo de energía disipada por piso para modelo M-01

<i>Pbrb</i>	<i>Num</i>
<i>kg</i>	
22436	4
101703	4
140278	4
159565	4

Nota: Los disipadores se diseñan para que absorba el 25% de la cortante  $V_b$  y los pórticos absorban el 75% de la energía

## Revisión de estimación de demandas para modelo M-01

Tabla 26: Revisión de demandas para disipadores BRB – Modelo M-01

<i>Pi-x</i>	<i>ang</i>		<i>Pi</i>
<i>kg</i>	<i>rad</i>	<i>grad</i>	<i>kg</i>
5609	0,50	28,83	6403
25426	0,50	28,83	29023
35069	0,50	28,83	40032
39891	0,50	28,83	45536

## revisión de diseño de BRB para activación temprana en zona de fluencia de modelo M-01

La meta es que el BRB se convierta en el primer componente disipativo del sistema, introduciendo flujo estable antes de que el pórtico (vigas-columnas) alcance un comportamiento inelástico. Para lograr este objetivo, se calibra el par  $K_1-F_y$  del vínculo histerético (y su razón de endurecimiento post-fluencia) basándose en las demandas  $P_{ix}/P_i$  adquiridas y la deriva objetivo de

control. El punto de activación del BRB se establece en una deriva que sea idéntica o ligeramente inferior a la deriva límite de servicio (der\_obj), garantizando así que el dispositivo se active inicialmente y limitando el desarrollo de deformaciones. El  $F_y$  se implementa con sobre resistencia (valor esperado) para asegurar que, durante la deriva de activación, las demandas en vigas y columnas permanezcan dentro del rango elástico, que la carrera útil del BRB no se agote y que la fuerza pico no supere su capacidad nominal ni la de los arriostres y nudos. En caso de que algún nivel no satisfaga estos criterios, se modifica  $F_y/K1$  o la cantidad de BRB, preservando la simetría y la trazabilidad del modelo.

La siguiente tabla sintetiza, para cada piso, los datos geométricos y mecánicos empleados en la modelización de los BRB y en su comprobación. Se proporciona información sobre el área del núcleo ( $A_n$ ) y el área del arriostre exterior ( $A_{real}$ ), la excentricidad/holgura de anclaje ( $e$ ) y la longitud libre del arriostre ( $l$ ); las capacidades axiales de referencia en tracción ( $T_{max}$ ) y compresión ( $C_{max}$ ); la longitud efectiva del núcleo BRB ( $L_{bwp}$ ); la rigidez elástica efectiva ( $K_{eff}$ ) y la rigidez post-fluencia ( $K_{pwp}$ ), la fuerza de fluencia esperada del dispositivo ( $P_{ye}$ ) En la evaluación del rendimiento, se registran la deformación axial de activación del BRB ( $d_{brb}$ ), los desplazamientos laterales del piso ( $dx$ ) y la deriva objetivo del edificio ( $dy$  (edif)), junto con la envolvente de desplazamiento máximo del nivel ( $d_{max}$ ) y el máximo admisible del BRB ( $d_{max}$  Brb) para control de carrera. En última instancia, se incorpora el coeficiente geométrico  $m$ , que representa la relación de la diagonal, empleado para convertir los cortantes de piso en fuerza axial del BRB.

*Tabla 27: Revisión de parámetros para BRB del modelo M-01*

<i>An</i>	<i>Areal</i>	<i>e</i>	<i>l</i>	<i>Tmax</i>	<i>Cmax</i>	<i>Lbwp</i>	<i>Keff</i>	<i>Kpwp</i>	<i>Pye</i>	<i>d brb</i>	<i>dx</i>	<i>dy (edif)</i>	<i>dmax</i>	<i>dmax Brb</i>	<i>m</i>
<i>cm2</i>	<i>cm2</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>cm</i>	<i>kg/cm</i>	<i>kg/cm</i>	<i>kg</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	
2,81	4,00	0,3	6,8	16444	18911	622	19443	13502	13155	0,97	0,85	1,35	2,70	3,09	3,17
12,75	15,00	0,7	11,1	61665	70915	622	72913	50634	49332	0,97	0,85	2,39	4,77	5,45	5,59
17,58	21,00	0,8	13,5	86332	99281	622	102078	70887	69065	0,97	0,85	3,10	6,20	7,08	7,27
20,00	23,00	0,8	14,8	94554	108737	622	111800	77639	75643	0,97	0,85	2,13	4,26	4,86	4,99

Fuente: creado por el autor

En la siguiente tabla se registra, para cada nivel, el desplazamiento lateral adquirido en

ETABS para el escenario con BRB, la deriva calculada en términos de  $\Delta/h$  (der), el límite adoptado (der obj = 0,0033), y el veredicto automático (OK/NO) en función de la comparación con el umbral especificado.

*Tabla 28: Revisión de control de derivas por piso para modelo M-01*

<i>des BRB</i>	<i>der</i>	<i>der obj</i>		
<i>ETABS</i>				
3,12	0,0017	0,0033	OK	0,79%
2,59	0,0028	0,0033	OK	1,25%
1,76	0,0034	0,0033	NO	1,53%
0,74	0,0025	0,0033	OK	1,11%

Fuente: creado por el autor

### **Revisión de desplazamientos por nivel y mayor energía disipada para modelo M-01**

La tabla condensa los desplazamientos laterales máximos por nivel derivados del caso de respuesta espectral NEC escalado (X e Y), junto con la energía histerética asignada al disipador de mayor demanda de desplazamiento en cada nivel (BRB crítico). Los desplazamientos se exponen en centímetros y sus derivas se expresan en términos de  $\text{KgF}^*\text{cm}$ , correspondiendo a la cuota objetivo de disipación establecida para el nivel (criterio del 25 % del cortante basal distribuido por el piso). Estos valores respaldan la comprobación de la funcionalidad y capacidad del dispositivo, así como la comparación entre SIN y CON BRB en el capítulo de resultados.

*Tabla 29: Revisión de máximo desplazamiento con 4 disipadores sísmicos para modelo M-01*

<b>SEX</b>	<b>SDX</b>	<b>SEY</b>	<b>SDY</b>
3,12	3,27	2,78	2,11
2,59	2,75	2,29	1,75
1,76	1,89	1,52	1,16
0,74	0,79	0,64	0,49

Fuente: Creado por el autor

Tabla 30: Revisión de máxima energía disipada para modelo M-01

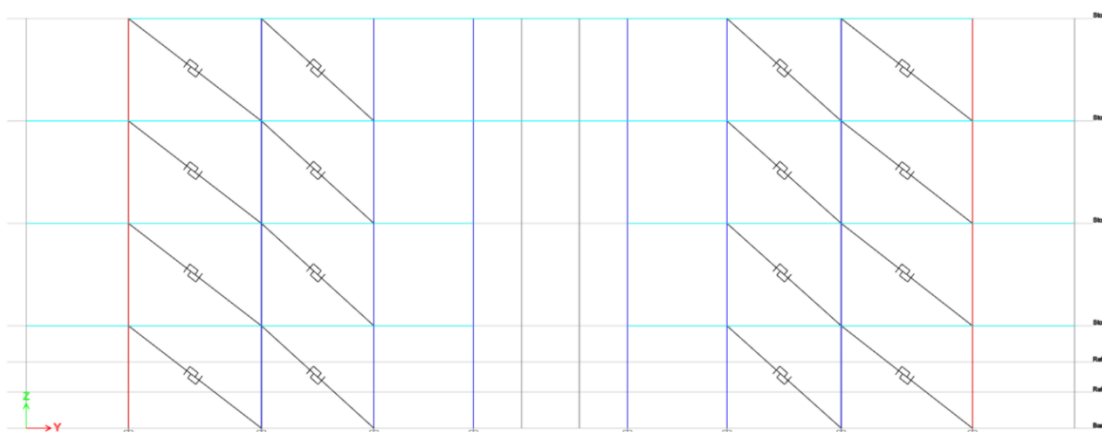
<b>Ed</b>	<b>1478239</b>	<b>kg-cm</b>
-----------	----------------	--------------

Nota: La mayor demanda se obtuvo en el piso 2

### 12.5.3. Modelo M-02 - segunda propuesta con 8 disipadores sísmico

Con el propósito de evaluar la sensibilidad de la respuesta sísmica ante un incremento en la capacidad de amortiguamiento, se planteó un segundo escenario de análisis en el cual se aumentó la densidad de dispositivos a 8 disipadores por piso, en contraste con la configuración inicial de 4 disipadores. Es importante destacar que, para esta variante, se mantuvieron inalteradas las secciones y propiedades del modelo M-00 de hormigón armado (vigas y columnas), con el fin de aislar y cuantificar exclusivamente el impacto que genera la duplicación de los elementos de protección en la reducción de derivas y la disipación de energía.

Ilustración 87: Ubicación de disipadores sísmico para modelo M-02



Nota: La ubicación de los disipadores fueron colocados tanto en el eje X y Y

La determinación de las propiedades mecánicas de los nuevos disipadores se realizó utilizando la misma metodología de cálculo que en el pasado. Se definió la fuerza axial ( $P_i$ ) y la rigidez necesaria ( $K_{eff}$ ) para cada una de las 8 unidades por nivel, siendo consistente la geometría (longitud del núcleo y ángulo  $\theta$ ) con las dimensiones reales de los nuevos vanos intervenidos. Posteriormente, estos parámetros se introdujeron en el software creando nuevas propiedades de Link

(Section Properties), las cuales se aplicaron al modelo 3D. Una vez modelado, se repitió el análisis sísmico bajo las mismas combinaciones de carga, obteniendo así un conjunto de datos comparativos (derivadas, cortantes y periodos) para comparar la eficiencia del sistema de 4 disipadores con la propuesta reforzada de 8 disipadores.

*Tabla 31: Revisión de datos del modelado M-00*

<i>Datos</i>			<i>Sismicos</i>				<i>Tipo</i>	<i>PLATINUM</i>			
<b>T</b>	0,81	s	<b>n</b>	1,81	<b>r</b>	1,00	<b>An</b>	36	ksi		
<b>Sa</b>	0,76		<b>Z</b>	0,40	<b>fp</b>	1,00	<b>fy</b>	2530	kg/cm2		
<b>W</b>	2,00		<b>Fa</b>	1,20	<b>fe</b>	1,00	<b>w</b>	1,30			
<b>R</b>	6,00		<b>Fd</b>	1,19	<b>I</b>	1,00	<b>b</b>	1,15			
			<b>Fs</b>	1,28	<b>Tc</b>	0,70	<b>KF</b>	1,44		<b>Ry</b>	1,30

Nota: Como el análisis va a utilizar el mismo modelo base, se vuelven a utilizar los mismos datos

*Tabla 32: Revisión de masas, cortantes, rigidez, desplazamiento y derivas para*

<i>Pisos</i>	<i>M</i>	<i>V</i>	<i>desp</i>	<i>der</i>	<i>der obj</i>	<i>H</i>	<i>K</i>	<i>L</i>
	<i>kg.s2/cm</i>	<i>kg</i>	<i>cm</i>			<i>cm</i>	<i>kg/cm</i>	<i>cm</i>
4	276,1923	-89743,5	4,48	0,0023	0,0033	300	132788,09	545
3	1301,067	-406811	3,81	0,0040	0,0033	300	341162,36	545
2	949,74	-561111	2,62	0,0052	0,0033	300	361871,61	545
1	949,74	-638261	1,06	0,0035	0,0033	300	599763,18	545
						<b>1200</b>		

*modelo M-02*

Fuente: Creado por el autor

*Tabla 33: Revisión de cálculo de energía por piso para modelado M-02*

<i>Pbrb</i>	<i>Num</i>
<i>kg</i>	
22442	8
101558	8
140143	8
159436	8

Nota: Esta es la energía que va a recibir cada piso

Tabla 34: Revisión de cálculo de demanda para los BRB de modelo M-02

<b>Pi-x</b>	<b>ang</b>		<b>Pi</b>
<b>kg</b>	<b>rad</b>	<b>grad</b>	<b>kg</b>
2805	0,50	28,83	3202
12695	0,50	28,83	14491
17518	0,50	28,83	19997
19929	0,50	28,83	22749

Fuente Creado por el autor

Tabla 35: Revisión de parámetros de BRB para el modelo M-02

<b>An</b>	<b>Areal</b>	<b>e</b>	<b>l</b>	<b>Tmax</b>	<b>Cmax</b>	<b>Lbwp</b>	<b>Keff</b>	<b>Kpwp</b>	<b>Pye</b>	<b>d brb</b>	<b>dx</b>	<b>dy (edif)</b>	<b>dmax</b>	<b>dmax Brb</b>	<b><math>\mu</math></b>
<b>cm2</b>	<b>cm2</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>cm</b>	<b>kg/cm</b>	<b>kg/cm</b>	<b>kg</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	
1,41	4,00	0,3	6,8	16444	18911	622	19443	13502	13155	0,97	0,85	1,35	2,70	3,09	3,17
6,36	8,00	0,5	8,3	32888	37822	622	38887	27005	26311	0,97	0,85	2,39	4,77	5,45	5,59
8,78	11,00	0,6	9,5	45221	52005	622	53469	37131	36177	0,97	0,85	3,10	6,20	7,08	7,27
9,99	13,00	0,7	9,6	53443	61460	622	63191	43883	42755	0,97	0,85	2,13	4,26	4,86	4,99

Nota: Con este cálculo podemos ver cuanta energía va a recibir el núcleo del dissipador y cuanto es su máximo desplazamiento para lo que fue diseñado

Tabla 36: Revisión de control de derivas por piso para modelo M-02

<b>des BRB</b>	<b>der</b>	<b>der obj</b>		
<b>ETABS</b>				
2,82	0,0014	0,0033	OK	0,63%
2,40	0,0025	0,0033	OK	1,14%
1,64	0,0032	0,0033	OK	1,42%
0,69	0,0023	0,0033	OK	1,04%

Nota: Cómo se puede observar con 8 dissipadores cumplimos con nuestras derivas objetivo

*Tabla 37: Revisión de máximo desplazamiento con 8 disipadores sísmicos para modelo M-02*

<b>SEX</b>	<b>SDX</b>	<b>SEY</b>	<b>SDY</b>
2,82	2,99	2,57	1,91
2,40	2,59	2,16	1,62
1,64	1,79	1,45	1,09
0,69	0,76	0,61	0,46

Fuente: Creado por el autor

*Tabla 38: Revisión de máxima energía disipada para modelo M-02*

Ed	774316	kg-cm
----	--------	-------

Nota: La mayor demanda se obtuvo en el piso 2

## **CAPITULO IV**

### **13.Resultados**

Este capítulo expone los hallazgos del análisis estructural de la edificación bajo el espectro NEC con un tipo de suelo D en tres situaciones análogas:

- Modelo base sin disipadores (M-00)
- Incorporación de 4 BRB por piso (M-01)
- Incorporación de 8 BRB por piso. (M-02)

La geometría, los materiales, las cargas, las combinaciones y los parámetros del caso espectral permanecen invariables. Se presentan indicadores globales (T1–T2, masa participante y

cortante basal) y de piso (derivadas y desplazamientos), junto con los controles de demanda implementados en los dispositivos (cuando se implementen). Las figuras se manifiestan a través de gráficos dinámicos elaborados a partir de tablas.

Además del modelo base M-00 (sin BRB), se realizaron análisis de los modelos M-01 y M-02 con dos disposiciones geométricas de disipadores, manteniendo invariables la estructura (vigas, columnas, losas), masas, cargas, combinaciones y espectro NEC:

**Disposición unidireccional (U):** todos los BRB de cada pórtico se posicionan en la misma dirección (un chevron "inclinado" coherente desde el nivel inferior hasta el superior).

**Disposición enfrentada (E):** los BRB se miran mutuamente mediante crujía (chevrone contrarios), lo que resulta en simetría local en cada nivel.

Para una mejor comprensión de los informes, se designarán como M-01U / M-01E y M-02U / M-02E. La finalidad es identificar el impacto de la orientación en la respuesta global y por piso, incluyendo períodos modales, derivadas y desplazamientos, índice de torsión, cortante basal, y demandas en los BRB (fuerza y carrera). La hipótesis operativa postula que la configuración enfrentada (E) tiende a disminuir las excentricidades y la torsión del diafragma, optimizando la distribución de energía entre las crujías, mientras que la configuración unidireccional (U) puede concentrar la rigidez en un sentido y incrementar la sensibilidad torsional. La representación gráfica adjunta representa ambas variantes basadas en el mismo modelo y los pórticos que fueron intervenidos.

## **RESULTADOS DEL ANÁLISIS MODAL Y PERIODOS DE VIBRACIÓN**

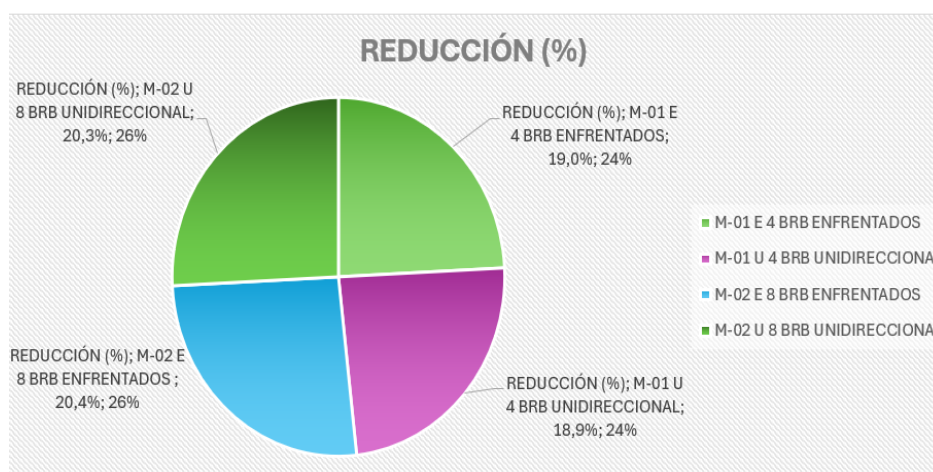
El primer indicador examinado para cuantificar la repercusión de los disipadores BRB fue la alteración de las propiedades dinámicas de la estructura. La Tabla 39 sintetiza los periodos esenciales (T1, T2, T3), los factores de participación de masa para el modelo de referencia (M-00) y las cuatro variantes con disipadores sísmicos (M-01U/E y M-02U/E).

Tabla 39: Comparación de Periodos Fundamentales y Participación Modal

MODELO	CONFIGURACIÓN	T1(s)	T2(s)	T3(s)	REDUCCIÓN (%)
M-00	BASE (SIN BRB)	0,800	0,776	0,711	-
M-01 E	4 BRB ENFRENTADOS	0,648	0,641	0,563	19,0%
M-01 U	4 BRB UNIDIRECCIONAL	0,649	0,641	0,558	18,9%
M-02 E	8 BRB ENFRENTADOS	0,637	0,616	0,541	20,4%
M-02 U	8 BRB UNIDIRECCIONAL	0,638	0,618	0,540	20,3%

Fuente: Creado por el autor

Ilustración 88: Porcentaje de Disminución en el Periodo Fundamental T1 y Aumento en la Rigidez Global.



Fuente: Creado por el autor

La integración de los disipadores propicia un incremento inmediato de la rigidez lateral elástica, lo cual se manifiesta en la disminución del periodo fundamental.

**Comparativa entre los modelos M-00 y M-01:** La incorporación de cuatro disipadores por piso disminuye el periodo de 0.800s a un promedio de 0.648s, lo que implica un incremento de rigidez global cercano al 19%.

**Comparativa entre M-01 y M-02:** Al duplicar la cantidad de dispositivos en un nivel de 8 (M-02), se observa una disminución marginal de 0.637s en el periodo. Este hallazgo sugiere que el incremento de rigidez no es lineal; la duplicación de los BRB no duplica la rigidez total del edificio, dado que la

estructura de hormigón continúa proporcionando la mayor proporción de la rigidez elástica inicial.

Mediante la comparación de las configuraciones geométricas, los hallazgos refutan parcialmente la hipótesis de una sensibilidad significativa en el rango elástico:

La discrepancia temporal entre las disposiciones Enfrentadas (E) y Unidireccionales (U) es insignificante (diferencias inferiores a 0.2%).

#### **Torsional Analysis (Modo 1 - RZ):**

- En el modelo M-01E, el 12.26% corresponde a la masa rotacional.
- En el modelo M-01U, esta proporción se sitúa en el 11.71%.

A diferencia de lo anticipado, ambas configuraciones conservan niveles de acoplamiento torsional similares y reducidos en comparación con el primer modo. Esto indica que, en esta arquitectura regular, la orientación "Chevron Invertido" versus "Chevron Alineado" no provoca una modificación significativa en el centro de rigidez global.

### **Control de derivas de piso (story drifts)**

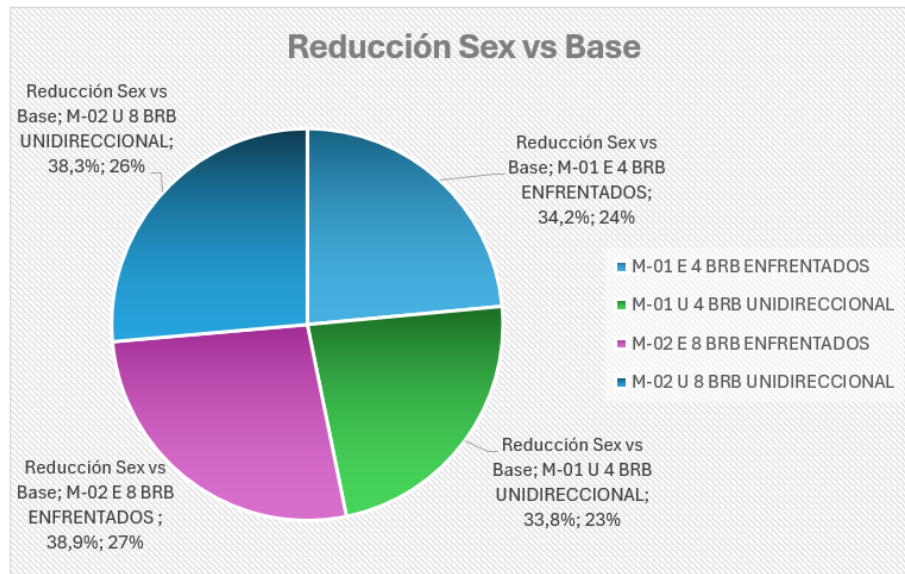
El análisis de las derivas de piso es esencial para corroborar la eficiencia del sistema de disipación y el cumplimiento de los límites de servicio y seguridad estipulados por la norma NEC-SE-DS. Se llevaron a cabo análisis de las derivas máximas inelásticas  $\Delta M$  derivadas de los desplazamientos elásticos  $\Delta E$  escalados por el factor de reducción de respuesta R y el coeficiente de rigidez agrietada.

*Tabla 40: Resumen de Derivas Máximas Elásticas*

Modelo	CONFIGURACIÓN	Estático X (Sex)	Estático Y (Sey)	Reducción Sex vs Base	Dinámico X (Sdx)	Dinámico Y (Sdy)
M-00	BASE (SIN BRB)	0,005167	0,005921	-	0,003846	0,004484
M-01 E	4 BRB ENFRENTADOS	0,003402	0,003897	34,2%	0,005662	0,004892
M-01 U	4 BRB UNIDIRECCIONAL	0,00342	0,003929	33,8%	0,005707	0,004931
M-02 E	8 BRB ENFRENTADOS	0,003155	0,003831	38,9%	0,005601	0,004839
M-02 U	8 BRB UNIDIRECCIONAL	0,003186	0,003852	38,3%	0,005631	0,004885

Fuente: Creado por el autor

*Ilustración 89: Perfil de Derivas Inelásticas Producto de la Altura del Entrepiso en Porcentaje.*



Fuente: Creado por el autor

**Mitigación de la Demanda Estática:** Se observa una mejora significativa en la rigidez lateral de la estructura. La integración de cuatro disipadores (M-01) disminuye en un 34.2% la deriva estática en la dirección X en comparación con el modelo original. Al duplicar la cantidad de dispositivos a 8 (M-02), la disminución se incrementa hasta alcanzar el 39%.

Contraste en posición de disipadores (E versus U): Al igual que en el análisis de periodos, las discrepancias entre la disposición Enfrentada (E) y la Unidireccional (U) son mínimas (menos del 1% en valores de deriva). No obstante, la configuración Enfrentada (E) exhibe de manera sistemática valores ligeramente inferiores, corroborando la hipótesis de que una distribución de rigidez simétrica ("Chevron invertido opuesto") promueve un comportamiento global más equilibrado.

**Observación sobre la Respuesta Dinámica Sdx:** Se constata que las derivas espectrales (Dinámicas) en los modelos con BRB (aproximadamente 0.0056) presentan un valor superior al del modelo base elástico (0.0038). Esta circunstancia se debe a que los disipadores atraen una mayor fuerza sísmica debido al acortamiento del periodo (incremento en la aceleración espectral en la meseta), aunque su función primordial será disipar dicha energía a través de histéresis en el espectro

no lineal, lo que contribuye a la protección de los pórticos de gravedad.

## Resultados de cortante basal

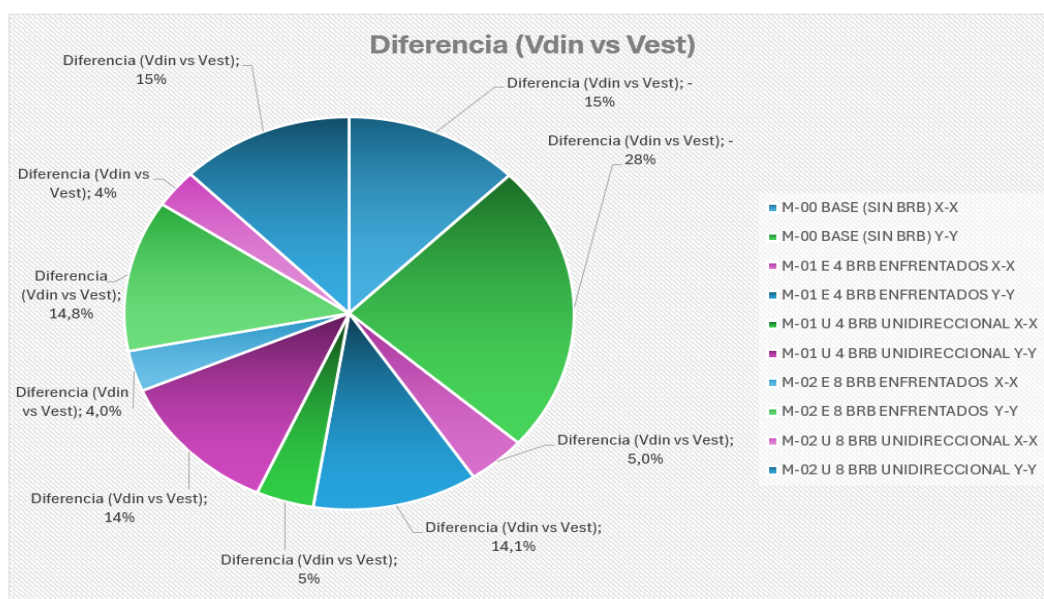
La comprobación del cortante basal constituye el paso crucial para garantizar que la estructura, a pesar de su diseño mediante un análisis dinámico, cumpla con la resistencia mínima base prescrita por la normativa NEC-SE-DS. Se realizó una comparación entre el Cortante Estático Vest y el Cortante Dinámico Vdin obtenidos del análisis espectral.

Tabla 41: Comparación de Cortantes basales

Modelo	CONFIGURACIÓN	Dirección	Vestatico (tonf)	Vdinamico (tonf)	Diferencia (Vdin vs Vest)
M-00	BASE (SIN BRB)	X-X	697,3583	593,1539	-15%
		Y-Y	695,2097	498,4639	-28%
M-01 E	4 BRB ENFRENTADOS	X-X	638,2614	670,1061	5,0%
		Y-Y	638,2614	728,2104	14,1%
M-01 U	4 BRB UNIDIRECCIONAL	X-X	638,2614	669,6026	5%
		Y-Y	638,2614	727,9812	14%
M-02 E	8 BRB ENFRENTADOS	X-X	638,2614	663,6418	4,0%
		Y-Y	638,2614	732,6237	14,8%
M-02 U	8 BRB UNIDIRECCIONAL	X-X	638,2614	662,2579	4%
		Y-Y	638,2614	732,503	15%

Fuente: Creado por el autor

Ilustración 90: Relación Porcentual entre el Cortante Dinámico y el Cortante Basal Estático de Diseño existente.



Fuente: Creado por el autor

## Análisis de la demanda sísmica

**Equidad Estática:** Incremento de la Demanda Dinámica (Efecto de Rigidez): Al no alterar la masa reactiva del edificio (el peso de los BRB es insignificante en comparación con el hormigón), la demanda de corte estático se mantiene inalterada en 638.26 tonf.

La transición del modelo M-00 al M-02 evidencia una tendencia ascendente en el cortante dinámico ( $V_{din}$ ). Esta justificación física se fundamenta en la disminución del periodo fundamental ( $T$  de 0.80s a 0.64s), situando así a la estructura en una región de mayor aceleración espectral  $S_a$  dentro del espectro de diseño establecido.

## Control de desplazamientos laterales máximos

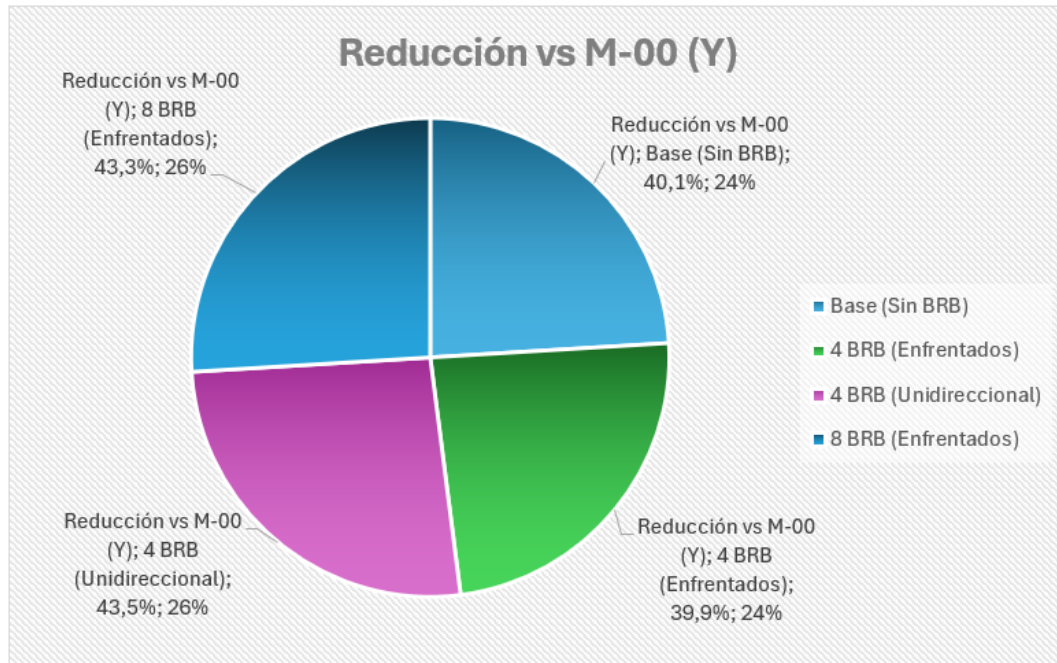
Además del análisis de derivas, se realizó una evaluación del desplazamiento absoluto en el centro de masa de la cubierta (el piso más alto) con el objetivo de cuantificar la rigidez global del sistema. La Tabla 42 establecen una comparación entre los desplazamientos máximos obtenidos bajo la influencia del sismo estático y dinámico.

*Tabla 42: Desplazamientos Máximos*

Modelo	Configuración	Estático X (Dest-X)	Estático Y (Dest-Y)	Reducción vs M-00 (Y)	Dinámico X	Dinámico Y
M-00	Base (Sin BRB)	4,49	5,01	-	3,28	3,57
M-01 E	4 BRB (Enfrentados)	3,12	3	40,1%	4,16	3,67
M-01 U	4 BRB (Unidireccional)	3,13	3,01	39,9%	4,19	3,71
M-02 E	8 BRB (Enfrentados)	2,82	2,83	43,5%	4,11	3,55
M-02 U	8 BRB (Unidireccional)	2,85	2,84	43,3%	4,13	3,57

Fuente: Creado por el autor

*Ilustración 91: Evaluación Proporcional del Control de Desplazamientos en comparación con el Modelo M-00.*



Fuente: Creado por el autor

**Incremento de la Rigidez Lateral:** El sistema de disipadores proporciona una rigidez considerable que limita el movimiento lateral dentro del rango elástico.

En la dirección Y (la más flexible originalmente), el desplazamiento estático disminuye de 5.01 cm (M-00) a 3.00 cm (M-01), lo que resulta en una disminución del 40% con únicamente cuatro disipadores por piso.

Con la configuración intensiva (M-02), la reducción se extiende hasta 2.83 cm.

**Influencia de la Configuración Geométrica (U versus E):** Los resultados de desplazamiento corroboran lo evidenciado en las derivas: la disposición geométrica de los BRB (Enfrentada versus Unidireccional) ejerce un impacto marginal en la respuesta traslacional pura.

**Comportamiento Dinámico:** Las diferencias entre las configuraciones M-01E y M-01U son inferiores a 1 mm (0.01 cm), lo que permite inferir que, en lo que respecta al control de desplazamientos globales, ambas configuraciones son técnicamente equivalentes. Este fenómeno se atribuye al fenómeno de resonancia con la meseta del espectro: la rigidificación de la estructura T

disminuye de 0.8s a 0.65s, esta "escala" en el espectro de diseño NEC atrae fuerzas de inercia que resultan en desplazamientos elásticos teóricos, los cuales serán posteriormente regulados por la histerética del disipador.

### Respuesta ante sismo de pedernales (time-history)

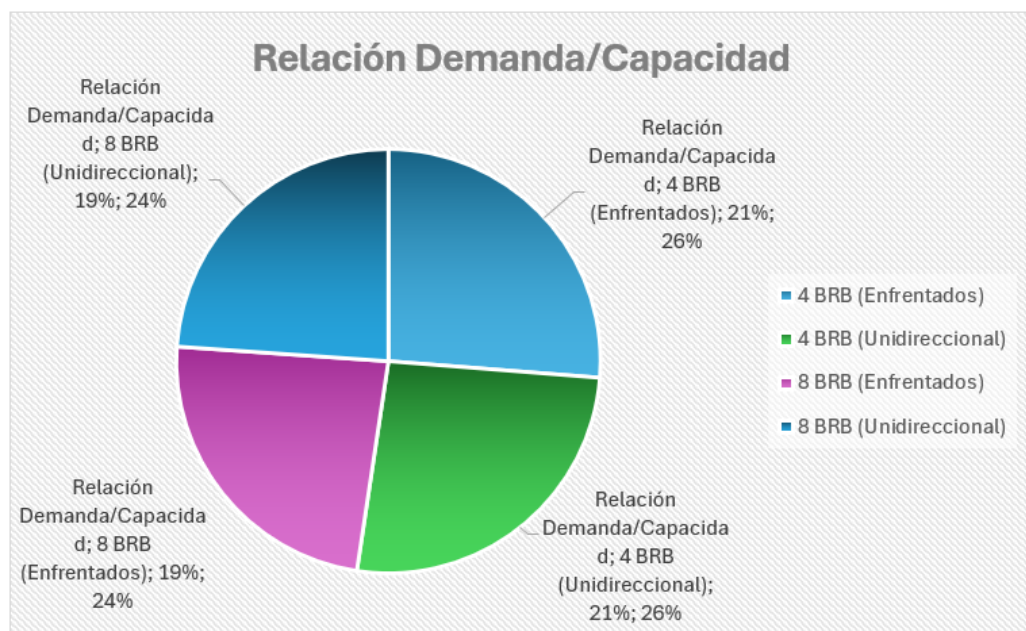
Como evaluación definitiva del rendimiento, se examinó la reacción de los modelos reforzados frente a la señal acelerográfica auténtica del terremoto de Pedernales (2016). El propósito de la investigación fue corroborar si la estructura, concebida bajo el marco teórico de la NEC-15, tiene la capacidad de resistir un evento sísmico de mayor magnitud sin generar exigencias de ductilidad desmesuradas.

Tabla 43: Demanda sísmica – Pedernales

Modelo	Configuración	Cortante Pedernales (Vth)	Cortante Diseño NEC (Vest)	Relación Demanda/Capacidad	Estado de la Estructura
M-01 E	4 BRB (Enfrentados)	132,66	637,74	20,8%	Elástico (Sin Daño)
M-01 U	4 BRB (Unidireccional)	132,11	637,74	20,7%	Elástico (Sin Daño)
M-02 E	8 BRB (Enfrentados)	119,89	637,74	18,8%	Elástico (Sin Daño)
M-02 U	8 BRB (Unidireccional)	120,8	637,74	18,9%	Elástico (Sin Daño)

Fuente: Creado por el autor

Ilustración 92: Relación Demanda/Capacidad (%) frente al Sismo de Pedernales (2016).



Fuente: Creado por el autor

## 14. Conclusiones

La integración de disipadores de energía de pandeo restringido (BRB) en la estructura residencial se evidenció como una estrategia altamente eficaz para la optimización del rendimiento sismorresistente. Este incremento se manifiesta en la disminución del periodo fundamental de vibración en un 20% y una reducción significativa de las derivas de piso máximas en el intervalo del 34% al 39% en comparación con el sistema aporticado convencional, asegurando de esta manera el cumplimiento riguroso del límite de servicio del 2% estipulado por la Norma Internacional de Construcción. La comparación de las configuraciones geométricas reveló que la orientación de los dispositivos (enfrentada versus unidireccional) no modifica de manera significativa la respuesta dinámica en estructuras regulares, lo que confiere flexibilidad al diseño estructural sin poner en riesgo la seguridad. En última instancia, la comprobación a través del análisis cronológico (Time-History) con base en los registros del sismo de Pedernales (2016) corroboró la solidez de la propuesta. Se observó que la demanda de corte basal generada por el evento auténtico (aproximadamente 132 tonf) constituyó apenas el 20.8% de la capacidad nominal de diseño (637.74 tonf), garantizando que la construcción se mantendría en el rango elástico y operativo incluso ante la eventual ocurrencia de un evento sísmico de tal envergadura en la ciudad de Guayaquil.

## 15. Recomendaciones

Se recomienda la adopción de la propuesta del Modelo M-01 E, que implica cuatro disipadores por nivel con orientación simétrica, como la opción constructiva idónea. Esta variante logra cumplir con los límites normativos de deriva y salvaguardar los elementos no estructurales con una inversión considerablemente inferior en comparación con la opción intensiva de ocho dispositivos, que proporciona beneficios marginales en la respuesta global. Además, resulta esencial corroborar la capacidad última del sistema a través de un análisis estático no lineal (Pushover) para establecer los márgenes reales de seguridad frente a eventos extremos que superen los de diseño. Asimismo, es esencial asegurar un minucioso detalle de las placas de conexión (Gusset Plates) para

garantizar la transferencia adecuada de cargas axiales y verificar la capacidad portante de la cimentación frente al aumento de las fuerzas cortantes basales derivadas de la mayor rigidez estructural adquirida.

## 16. Bibliografía

Acevedo Vera, K. D., & Hurtado Robayo, A. P. (2024). *ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE COLUMNAS DE GRAVA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL* (K. R. Proaño Viscarra, Ed.).

Ansumant. (2021, October 24). *Applications, Advantages and Disadvantages of Photogrammetry / Planning Tank*. Planning Tank. <https://planningtank.com/geographic-information-system/applications-advantages-disadvantages-of-photogrammetry>

Aulestia Valencia, D., Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Cámara de la Industria de la Construcción, Martín Erquicia, J. A., Toral Valdivieso, J. A., Paredes Cortez, R. D., Guevara Urquizo, L. F., Chiluisa Ochoa, J. V., Blanc, F., Gómez Pumagualle, J. S., Saura Gonzalez, J. D., Flores Maldonado, H., Manciatí Jaramillo, G., Baldeón Valencia, C., Díaz Mendoza, S. D., Placencia Andrade, P. H., Vaca Moncayo, F. P., Yépes Arosteguí, H. A., . . . Albuja Espinosa, A. F. (2014). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE CÓDIGO NEC - SE - DS*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>

Aulestia Valencia, D., Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Cámara de la Industria de la Construcción, Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, Arq. Jose Antonio Martín Erquicia, Arq. Jose Antonio Toral Valdivieso, Arq. Rubén Darío Paredes Cortez, Econ. Luis Felipe Guevara Urquizo, Econ.

Diego Aulestia Valencia, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Cámara de la Industria de la Construcción, Cámara de la Industria de la Construcción, Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha, Escuela Politécnica Nacional, Escuela Politécnica Nacional, . . . Espinosa, A. F. A. (2014). *GEOTÉCNIA y CIMENTACIONES*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/7.-NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones.pdf>

Aulestia Valencia, D., Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Cámara de la Industria de la Construcción, Martín Erquicia, J. A., Toral Valdivieso, J. A., Paredes Cortez, R. D., & Guevara Urquiza, L. F. (2014a). *CARGAS (NO SÍSMICAS) NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC CÓDIGO NEC - SE - CG* (By Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Cámara de la Industria de la Construcción). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>

Aulestia Valencia, D., Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Cámara de la Industria de la Construcción, Martín Erquicia, J. A., Toral Valdivieso, J. A., Paredes Cortez, R. D., & Guevara Urquiza, L. F. (2014b). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO* (By Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda & Cámara de la Industria de la Construcción). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>

Barbat, H., Oller, S., Vielma, J. C., & CENTRO INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA. (2005). *CÁLCULO y DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS. APLICACIÓN DE LA NORMA NCSE-02* [Monografía]. In A. H. Barbat (Ed.), *Monografía CIMNE IS-56*. CENTRO INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA. (Original work published 2005)

Cajias Chávez, M. & Universidad de Especialidades Espíritu Santo. (2015). DISEÑO DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL CON LA NUEVA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC11), EN EL SECTOR DE LA PROSPERINA AL NOROESTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, EN EL KM. 26 DE LA VÍA PERIMETRAL. In C. Terreros (Ed.), *Trabajo De Titulación*.

Celigüeta, J. T. (n.d.). ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS. In *ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS* (p. 1).

Centeno Vélez, J. H. (2024). DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA SISMORRESISTENTE PARA UN EDIFICIO DE CUATRO PISOS EN HORMIGÓN ARMADO PARA USO DE VIVIENDA EN EL CANTÓN LA LIBERTAD, PROVINCIA DE SANTA ELENA. In L. J. Echeverria Fabre (Ed.), *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*.

Chuy Rodríguez, T. J., Colectivo CENAIS, Correa González, K., & Pérez Riquenes, D. (2013). *SISMOS UNA RESPONSABILIDAD COMPARTIDA Ciencia y Comunidad en la gestión de los Riesgos Naturales*.

[https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/CaribeHerramientasydocumentos/Capacitacion/CARE\\_CENAIS\\_Cuba\\_SismoCienciaycomunidadenlagestiondelosriesgosnaturales.pdf](https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/CaribeHerramientasydocumentos/Capacitacion/CARE_CENAIS_Cuba_SismoCienciaycomunidadenlagestiondelosriesgosnaturales.pdf)

Díaz Torres, A. C., & Espinoza Rodas, M. K. (2025). ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS UNIONES SOLDADAS y APERNADAS PARA LA EDIFICACION “LA FABRIL” EN EL CANTÓN MANTA. In K. R. Proaño Viscarra, *CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL*.

Domínguez Caicedo, M. & Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas. (2014). Períodos de vibración de las edificaciones. *Revista De Arquitectura E Ingeniería*, 1–13. <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193932724001.pdf>

Equipos y Consumibles de Occidente. (n.d.). *Generalidades de Topografía*.

<https://www.ecomexico.net/proyectos/soporte/Varios/Generalidades%20de%20topografia.pdf>

Espín Flores, J. L. (2020). *DISEÑO ESTRUCTURAL SISMO RESISTENTE EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA, APLICADAS EN EDIFICACIONES MAYORES a DOS PISOS DE ALTURA EN EL PROYECTO RESIDENCIAL EL PEDREGAL DE CHUROLOMA* (M. M. Arévalo Navarrete, Ed.).

Fajardo Vera, P. V., Fajardo Vera Pamela Virginia, & Fajardo Vera Pamela Virginia. (2022). *Edificio de vivienda para niños, adolescentes y jóvenes en situación de riesgo* (By Arq. Carlos Alberto Andrés Donoso Paulson; MGS, Arq. Enrique Alejandro Mora Alvarado; MGS, & Arq. Carlos Alberto Andrés Donoso Paulson; Mgs).

Freire Medina, D. E. (2018). Diseño sismorresistente del edificio de viviendas en hormigón armado. In C. A. Romero Romero (Ed.), *Trabajo De Titulación* [Thesis].

GARCÍA VELA, A. V. (2024). DISEÑO y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO PARA USO DE CEMENTERIO EN LA PARROQUIA CHONGÓN, CANTÓN GUAYAQUIL. In ING. HÉCTOR CAMPOVERDE. MSC, *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*.

Herrera Goya, L. J. & UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. (2025). DISEÑO DE TORRE DE TELECOMUNICACIÓN EN EL CANTÓN DAULE. In K. R. Proaño Viscarra (Ed.), *Trabajo De Titulación*.

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA –INPRES-. (n.d.). TERREMOTOS. In *INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA –INPRES-*.

Martínez Macancela, J. S., & Bermeo Cabrera, V. F. (2023). ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECISIÓN y EFICIENCIA DE TECNOLOGÍAS TOPOGRÁFICAS PARA LEVANTAMIENTOS: FOTOGRAMETRÍA y LIDAR AEROTRANSPORTADO CON DRON y RECEPTOR GNSS (MODO RTK), APLICADO AL PARQUE EL

PARAÍSO DE LA CIUDAD DE CUENCA. In VÍCTOR FERNANDO PINOS MATA, *CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL*.

Metwally, I. M. & Continuing Education and Development, Inc. (n.d.). Seismic design of structures according to ASCE/SEI 7-22 [Course]. In *www.cedengineering.com*. <https://www.cedengineering.com/userfiles/S03-028%20-%20Seismic%20Design%20of%20Structures%20According%20to%20ASCE%20SEI%207-22.pdf>

Norma E.030. (2023.). *Norma E.030 diseño sismorresistente*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/3.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-2.pdf>

Otero, Ezquerria, Rodríguez-Solano, Martín, & Bachiller. (n.d.). *Fotogrametría*. [https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/734/mod\\_label/intro/fotogrametria\\_cap\\_libro.pdf](https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/734/mod_label/intro/fotogrametria_cap_libro.pdf)

P, J. (2025, May 29). *Placas tectónicas: Teoría, movimiento y tipos*. *geotecniafacil.com*. [https://geotecniafacil.com/placas-tectonicas/#bordes\\_de\\_placa\\_divergentes](https://geotecniafacil.com/placas-tectonicas/#bordes_de_placa_divergentes)

Pichucho Chérrez, V. A. (2024). ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO POR EL MÉTODO MODAL ESPECTRAL y TIEMPO-HISTORIA DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO EN MANTA. In H. A. Campoverde Pérez (Ed.), *Trabajo De Titulación Previo a La Obtención Del Título De Ingeniero Civil*.

POBLACIÓN PARROQUIA CANTÓN PROVINCIA Z. (n.d.). *POBLACIÓN PARROQUIA CANTÓN PROVINCIA Z*.

Salinas, R. & CISMID-FIC-UNI. (n.d.). FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DINAMICO DE ESTRUCTURAS. In *CURSO DE SEGUNDA ESPECIALIZACION EN INGENIERIA SISMORRESISTENTE* (pp. 1–4). Universidad Nacional de Ingeniería –

Facultad de Ingeniería Civil – Sección de Post Grado.

Taylor, A. W., Zeisler, G. M., & American Concrete Institute. (2025). *Código de Construcción para Concreto Estructural: Requisitos y Comentario*. Instituto Americano del Concreto. <http://www.concrete.org>

*Terremotos*. (2022, November 23). Argentina.gob.ar.  
<https://www.argentina.gob.ar/inpres/docentes-y-alumnos/terremotos>

Vera Yanez, J. A. (2024). DISEÑO DE UN EDIFICIO CON ESTRUCTURA METÁLICA SISMORRESISTENTE DE 3 PISOS PARA USO DE UN CENTRO COMERCIAL EN LA URBANIZACIÓN VISTA SAN EDUARDO, CANTÓN GUAYAQUIL. In K. R. Proaño Viscarra & UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, *CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL*.

Yourname. (n.d.). *FOTOGRAMETRÍA*.  
<https://www.cuevadelcivil.com/2010/11/fotogrametria.html>

## **ANEXOS**

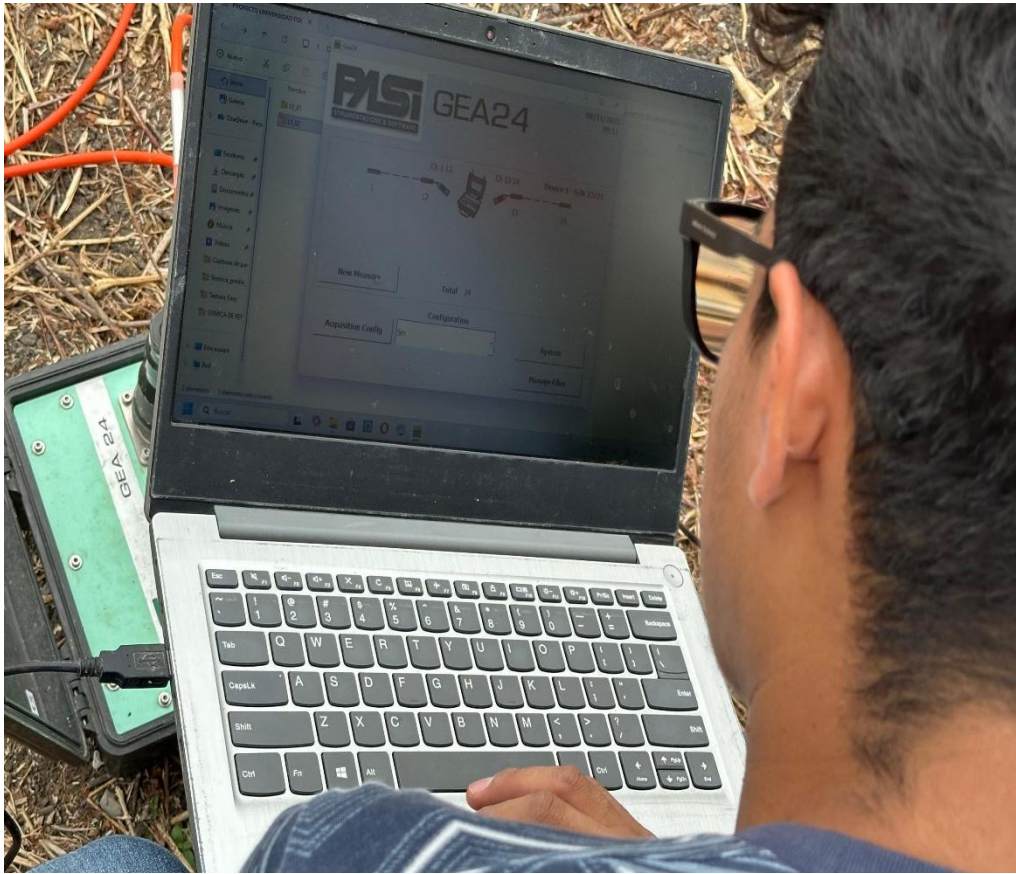
**ANEXO No.1**

**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYO DE REFRACCIÓN**

**SÍSMICA**









**ANEXO No.2**

**ESTUDIO GEOFÍSICO MÉTODO APLICADO ENSAYO DE  
SÍSMICA DE REFRACCIÓN NERMA ASTM D 5777**

**ESTUDIO GEOFÍSICO  
PARA LOS PROYECTOS DE  
TITULACIÓN EN LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA,  
GUAYAQUIL.**



**ESTUDIOS ESPECIALIZADOS DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO GEOFÍSICO  
MÉTODO APLICADO  
ENSAYO DE SISMICA DE REFRACCIÓN  
NORMA ASTM D 5777**

CONSULTOR:	<b>INGEO ESTUDIOS ESPECIALIZADOS DE INGENIERÍA</b>	<a href="mailto:Ingeocivil2023@gmail.com">Ingeocivil2023@gmail.com</a> <a href="mailto:marioalmh@hotmail.com">marioalmh@hotmail.com</a> Cel: 0983282066
PROYECTO:	<b>ESTUDIO GEOFÍSICO PARA LOS PROYECTOS DE TITULACIÓN EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, GUAYAQUIL.</b>	
MÉTODO:	<b>MÉTODO APLICADO ENSAYO DE SISMICA DE REFRACCIÓN NORMA ASTM D 5777</b>	
SOLICITADO POR:	Srta. Connie González	
FECHA:	 Noviembre del 2025	
REALIZADO POR:	Ing. Luis Mario Almache Consultor Geotécnico - Geofísico	

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	8
<b>1. GENERALIDADES</b> .....	9
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	10
<b>1.3. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	10
<b>2. GEOLOGÍA DE LA ZONA</b> .....	14
<b>2.1 DEPÓSITOS ESTUARINOS (De)</b> .....	14
<b>2.1.1 CONDICIONES GEODINAMICAS Y ESTRUCTURALES</b> .....	14
<b>2.1.2 CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS</b> .....	14
<b>2.1.3 TRABAJABILIDAD Y POSIBLE USO DEL MATERIAL</b> .....	14
<b>2.1.4 COMPORTAMIENTO, EN RESUMEN</b> .....	14
<b>2.1.5 SUSCEPTIBILIDAD A TERRENOS INESTABLES</b> .....	15
<b>3. ENSAYO GEOFÍSICOS</b> .....	17
<b>3.1 MÉTODOS INDIRECTOS (ENSAYOS GEOFÍSICOS)</b> .....	17
<b>3.2 TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS DETERMINADAS POR MEDIO DE LA GEOFÍSICA</b> .....	18
<b>3.3 EQUIPO UTILIZADO</b> .....	19
<b>3.4 MÉTODO SÍSMICO DE REFRACCIÓN NORMA ASTM D5777</b> .....	20
<b>3.4.1 BASE DEL ENSAYO SISMICO DE REFRACCIÓN</b> .....	20
<b>3.4.2 CURVAS DE TIEMPO Y DISTANCIA</b> .....	21
<b>3.5 ENSAYO ReMI + MAS W</b> .....	22
<b>3.5.1 CURVAS DE DISPERSIÓN GENERADAS APLICANDO EL MÉTODO ReMI + MASW</b> ....	24
<b>3.6 VELOCIDADES DE ONDA CARACTERÍSTICAS DE SUELOS Y ROCAS</b> .....	24
<b>3.6.1 CÁLCULO DEL PERFIL DE VELOCIDADES DE ONDA DE CORTE (Vs)</b> .....	26
<b>3.7 CORRELACIÓN DE PARÁMETROS ELÁSTICOS Y GEOMECÁNICOS EN FUNCIÓN DE LAS CAPAS INFERIDA DEL SUBSELO POR MEDIO DE LA GEOFÍSICA</b> .....	26
<b>3.7.1 MÓDULO DE YOUNG</b> .....	27
<b>3.7.2 MÓDULO DE CORTE</b> .....	27
<b>3.7.3 PESO ESPECÍFICO</b> .....	27

3.7.4 COEFICIENTE DE POISSON .....	28
3.7.5 MÓDULO DE BULK .....	28
3.7.6 MÓDULO EDMÉTRICO.....	28
3.7.7 MÓDULO BALASTO .....	29
3.7.8 RESPUESTA DINÁMICA DEL TERRENO, DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE VIBRACIÓN .....	29
3.7.9 CÁLCULO DE PARÀMETROS GEOMECÁNICOS EN FUNCIÓN DE VELOCIDADES....	30
3.7.10 VELOCIDAD DE ONDA PROMEDIO EN LOS PRIMEROS 30 METROS PARA DISEÑO SISMORESISTENTE DE ESTRUCTURAS .....	30
3.7.11 CORRELACIÓN DEL NÚMERO DE GOLPES N DEL ENSAYO SPT CON LAS $V_p$ .....	31
3.9 LÍNEA EJECUTADA EN EL PROYECTO LS – 01.....	31
3.8.1 ENSAYO SÍSMICO DE REFRACCIÓN LS – 01 .....	33
3.8.2 ENSAYO SÍSMICO ReMI + MAS W LS-01.....	38
3.9 LÍNEA EJECUTADA EN EL PROYECTO LS – 02.....	42
3.9.1 ENSAYO SÍSMICO DE REFRACCIÓN LS – 02 .....	43
3.9.2 ENSAYO SÍSMICO ReMI + MAS W LS-02.....	48
5. ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	52
5.1 PERFIL DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA ONDA DE CORTE $V_s$ .....	55
5.2 COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO.....	55
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
6.1 CONCLUSIONES .....	57
BIBLIOGRAFÍA .....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de ubicación del terreno en estudio y del ensayo sísmica de refracción .....	10
Tabla 2: Parámetros físico–mecánicos representativos de los depósitos estuarinos de Guayaquil .....	15
Tabla 3: Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con la NEHRP .....	19
Tabla 4: Rango de velocidades para ondas de compresión en el suelo y rocas .....	25
Tabla 5: Valores promedio de $V_p$ y $V_s$ en materiales del subsuelo .....	26
Tabla 6: Fórmulas empíricas para determinar la cohesión en función de velocidades de onda .....	30
Tabla 7: Fórmulas empíricas para determinar el ángulo de fricción en función de las velocidades de onda .....	30
Tabla 8: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto LS-01 .....	31
Tabla 9: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 01 .....	37
Tabla 10: Parámetros geomecánicos, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 1. Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D .....	41
Tabla 11: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto LS-02 .....	42
Tabla 12: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 02 .....	47
Tabla 13: Parámetros geomecánicos, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 2. Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D .....	51
Tabla 14: Valores de la aceleración máxima Z en función de la zona sísmica .....	53
Tabla 15: Perfil de terreno seleccionado para la zona de estudio .....	55
Tabla 16: Factor de amplificación ( $F_a$ ) en función de zona ( $z$ ) y el perfil del suelo .....	56

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Vista longitudinal de la zona de estudio .....	12
Fotografía 2: Vista lateral de la zona de estudio.....	13
Fotografía 3: Equipo utilizado para el ensayo de Sísmica MAS W.....	19
Fotografía 4: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-01 .....	32
Fotografía 5: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-01.....	33
Fotografía 6: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-02 .....	42
Fotografía 7: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-02.....	43

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona en estudio .....	11
Figura 2: Geología de la zona en estudio. Depósitos Estuarinos .....	16
Figura 3: Representación de las ondas sísmica tipo P. ....	18
Figura 4: Representación de las ondas sísmicas tipo S. ....	18
Figura 5: Esquema de ensayo sísmico de refracción.....	21
Figura 6: Esquema de sismograma .....	22
Figura 7: Curvas de tiempo – distancia, dromocronas.....	22
Figura 8: Esquema de Ensayo ReMI + MASW. ....	23
Figura 9: Curva de dispersión con influencia multi-modal. ....	24
Figura 10: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 01	34
Figura 11: Tomografía sísmica de refracción LSR – 01 .....	35
Figura 12: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 01, velocidades de onda $V_p$ .....	36
Figura 13: Sismograma de la LS – 1 y longitud de exploración de línea sísmica generada .....	38

Figura 14: Espectro de velocidad – frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS – 01 .....	38
Figura 15: Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 01 .....	39
Figura 16: Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MAS W LS-01 hasta los 30 m de profundidad .....	40
Figura 17: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 02	44
Figura 18: Tomografía sísmica de refracción LSR – 02.....	45
Figura 19: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 02, velocidades de onda Vp.....	46
Figura 20: Sismograma de la LS – 2 y longitud de exploración de línea sísmica generada .....	48
Figura 21: Espectro de velocidad – frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS – 2 en 3D.....	48
Figura 22: Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 02 .....	49
Figura 23: Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MAS W LS-02 hasta los 30 m de profundidad .....	50
Figura 24: Mapa de fallas cuaternarias actuantes en el Ecuador e influencia de la zona en estudio.....	53
Figura 25: Zonas y aceleraciones sísmicas en el Ecuador .....	54

## RESUMEN

El presente informe detalla la ejecución e interpretación del ensayo geofísico de Sísmica de Refracción, complementado de manera preliminar con un análisis MASW, con el propósito de caracterizar la estratigrafía y el comportamiento dinámico del subsuelo para los proyectos de titulación en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), la sede en Guayaquil.

Las zonas en estudio presentan un componente topográfico regular, exponiendo una morfología sin variaciones en sus curvas de nivel, sin exponer movimientos gravitacionales de cualquier índole. A más de lo expuesto, en el sitio se observa actualmente edificaciones aledañas estables, en una zona de interés para el proyecto, la ser parte de una terraza aluvial fina

Acorde a lo solicitado, en la zona se ejecutaron dos tipos de ensayos geofísicos. Ensayos sísmicos de refracción, así como ensayos REMI + MAS W . Se generaron dos líneas, una de 120 m de longitud y otra de 48 m de longitud, en ambos casos se analizaron por los dos métodos indicados

El primer ensayo denominado ensayo geofísico sísmico de refracción, está amparado en la normativa ASTM D 5777, permite determinar la velocidad de onda longitudinal que conforma el terreno; en función de este parámetro, es posible calcular la velocidad de onda cortante del terreno, así como parámetros elásticos de los estratos que conforman el subsuelo, a más de ello, faculta determinar las formas del subsuelo y sus capas en 2 D. Para este ensayo se utilizaron geófonos de 10 Hz; mientras que, el ensayo de Refracción de Microtremores sumado al Analisis Multicanal de Ondas Superficiales (ReMI + MAS W), permite determinar la vibración del terreno por efecto ambiental, a diferencia de los ensayos geofísicos sísmicos, este ensayo se realizó con geófonos de 4.5 Hz, permitiendo conocer el subsuelo en 1 D.

Al correlacionar la refracción y la geología de la zona con el ensayo MAS W, se puede además de determinar la velocidad de onda cortante ( $V_s$ ), calcular la velocidad de onda cortante promedio hasta 30 m de profundidad, permitiendo encasillar al subsuelo en un tipo de perfil acorde a lo expuesto en la NEC (2015). También se determinó por este segundo método, el periodo de vibración del subsuelo, al igual que parámetros elásticos y geomecánicos de las capas del subsuelo, utilizados en el diseño sismoresistente de estructuras.

Del primer ensayo geofísico al igual que del segundo ensayo geofísico se infiere una capa de aproximadamente 3.30 m, superficial, susceptible a cambios volumétricos, suelos arcillosos de alta relación de vacíos, con capacidades admisibles menores a  $1 \text{ kg/cm}^2$

La segunda capa cuya potencia varía entre 9.00 m y 11.00 m expone un estrato arcilloso de mayor consolidación con arenas, suelos de mediana a baja relación de vacíos, con capacidades admisible próximas a  $1.90 \text{ Kg/cm}^2$

Bajo la segunda capa hasta los 30 m s infiere materiales arcillosos arenosos cuya consolidación aumenta con la profundidad, su capacidad admisible varía entre  $2.60 \text{ kg/cm}^2$  a  $3.54 \text{ kg/cm}^2$

Par el diseño estructural de edificaciones en la zona, se recomienda considerar al subsuelo como D

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En los diferentes proyectos ingenieriles, previo a la construcción de cualquier obra de índole civil, es necesario determinar el comportamiento del suelo en función de sus propiedades y condiciones actuales; de esta manera, para el caso de cimentaciones, diseñar las mismas acorde a las propiedades del suelo, cumpliendo lo estipulado en la Normativa Ecuatoriana de Construcción (N.E.C), y garantizado un comportamiento favorable del material, frente a la carga a ser transmitida, es vital para la obra. Para este tipo de investigaciones, la norma ecuatoriana faculta realizarlo con métodos directos e indirectos; estos últimos, son métodos no destructivos que permiten tener amplia información del suelo, a un menor costo y tiempo.

En la presente investigación, los ensayos realizados al igual que su interpretación, están orientados directamente a determinar las velocidades de onda cortante y compresional del subsuelo, su potencia y su periodo, datos utilizables no solo al diseñar una estructura sismoresistente, sino al analizar posibles movimientos de masas, sobre todo en suelos cohesivos, cohesivos saturados y con comportamientos expansivos; por otra parte, parámetros geomecánicos del suelo en función de la diferentes capas, al igual que sus capacidades admisibles.

En el caso del ensayo sísmico de refracción, a más de la determinación de velocidades de onda, aplicando fórmulas empíricas propuestas por diferentes autores, es factible determinar parámetros físicos y elásticos del subsuelo, así como su periodo de vibración. Con esta información es posible categorizar al suelo acorde a la normativa nacional vigente.

El análisis del período fundamental de vibración del terreno es relevante dentro de los estudios de respuesta dinámica del subsuelo, ya que refleja el grado de deformabilidad del mismo frente a la propagación de ondas sísmicas. Este parámetro permite diferenciar el comportamiento entre suelos duros, que transmiten las vibraciones con mayor velocidad, y suelos blandos, que tienden a amplificar el movimiento. Su conocimiento resulta esencial para investigaciones geofísicas orientadas a la evaluación sísmica y geotécnica de suelos, incluso sin vinculación directa con el diseño de edificaciones.

El análisis por el método sísmico de los materiales se realizó en un punto de interés de la zona de estudio. El ensayo geofísico permitió inferir y determinar el perfil estratigráfico en la zona determinando en función de las velocidades de onda, suelos con relaciones de alta relación de vacíos a baja relación de vacíos.

El suelo motivo de estudio corresponde a depósitos estuarinos recientes, formados por la acumulación de materiales finos en ambientes de transición fluvio-marina. Estos depósitos se componen principalmente de arcillas y limos blandos, con intercalaciones arenosas y niveles orgánicos asociados a antiguos procesos de sedimentación en zonas de marea y estuarios. Presentan una alta humedad natural, baja densidad y un grado variable de consolidación, características que influyen notablemente en su comportamiento mecánico y dinámico. La estratigrafía observada refleja la evolución típica de suelos costeros formados por la superposición de capas blandas y saturadas, propias de los entornos estuarinos de la región de Guayaquil.

## 1.2 OBJETIVOS

Los objetivos planteados en la presente investigación son los siguientes:

- Realizar el análisis de la información bibliográfica, referente a la geología de la zona.
- Determinar la formación geológica de la zona y su correlación con los ensayos de laboratorio.
- Generar dos ensayos sísmicos de refracción
- Generar dos ensayos aplicando el método del Análisis Multicanal de Ondas Superficiales
- Determinar las capas del subsuelo hasta los 30 m de profundidad
- Realizar el procesamiento e interpretación de resultados
- Recomendar tipo y profundidad de cimentación, acorde a la estructura proyectada.
- Emitir las conclusiones y recomendaciones respectivas.

## 1.3. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El terreno en estudio se encuentra ubicado en la Universidad Politécnica Salesiana , sede de Guayaquil.

La tabla 1, presenta las coordenadas del terreno donde se ejecuta el proyecto, la figura 1, la ubicación del predio en estudio. La fotografía 1 y 2 exponen las zonas de estudio a considerar.

Puntos No.	COORDENADAS WGS84 / ZONA 17 M		Altitud aproximada
	X	Y	m.s.n.m
LS-01	606489	9757013	26
LS-02	606956	9757086	26

Tabla 1: Coordenadas de ubicación del terreno en estudio y del ensayo sísmica de refracción  
Fuente: Consultor



Figura 1: Ubicación de la zona en estudio  
Fuente: Consultor & Google Earth



Fotografía 1: Vista longitudinal de la zona de estudio  
Fuente: Consultor



Fotografía 2: Vista lateral de la zona de estudio  
Fuente: Consultor

## **2. GEOLOGÍA DE LA ZONA**

De acuerdo con la Hoja Geológica de Guayaquil, la zona en estudio se encuentra localizada dentro de una zona perteneciente a Depósitos Estuarinos (De), compuesto por bloques, gravas y arenas limosas en diferentes porcentajes y composición.

### **2.1 DEPÓSITOS ESTUARINOS (De)**

Depósitos recientes del Holoceno hasta la actualidad, formados en ambientes de transición fluvio-marina característicos del estuario del río Guayas y sus afluentes. Estos materiales se han acumulado por procesos de sedimentación fina en zonas de mareas, planicies costeras y esteros, donde las aguas dulces y salobres favorecen la deposición de limos y arcillas blandas con intercalaciones arenosas.

Su composición es principalmente de arcillas grises a verdosas, limos arcillo-arenosos, con contenidos variables de materia orgánica y niveles turbosos en los sectores más bajos y húmedos. Estos suelos presentan alta humedad natural, baja densidad aparente, plasticidad media a alta y un grado de consolidación generalmente bajo, lo cual les confiere un comportamiento compresible y deformable.

#### **2.1.1 CONDICIONES GEODINAMICAS Y ESTRUCTURALES**

Los depósitos estuarinos se encuentran sometidos a procesos de consolidación natural lenta, influenciados por fluctuaciones mareales y movimientos diferenciales del terreno debido a su elevada compresibilidad. Son frecuentes los fenómenos de asentamientos diferenciales y reblandecimiento por saturación, especialmente en sectores donde la napa freática es somera.

Las zonas planas asociadas a estos depósitos presentan una baja pendiente general, con ocasionales micro depresiones que pueden retener agua temporalmente.

#### **2.1.2 CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS**

Nivel freático superficial a poco profundo (0.5 a 2.0 m), con variaciones estacionales relacionadas al régimen de mareas y precipitaciones.

El material presenta una permeabilidad baja a media, predominando la conductividad hidráulica reducida por la alta fracción de finos cohesivos. La presencia de materia orgánica y sales puede generar condiciones reductoras, afectando la estabilidad química de estructuras metálicas enterradas.

#### **2.1.3 TRABAJABILIDAD Y POSIBLE USO DEL MATERIAL**

Debido a su baja capacidad portante y alta plasticidad, estos materiales no son recomendables como soporte directo de cimentaciones ni para rellenos estructurales sin previa mejora del suelo.

Las labores de movimiento de tierra deben ejecutarse en épocas secas, ya que la humedad excesiva limita el tránsito y la compactación. El material es adecuado únicamente como relleno no estructural o para mejoras con mezcla granular y estabilización química.

#### **2.1.4 COMPORTAMIENTO, EN RESUMEN**

Material fino, cohesivo, saturado y compresible, con tendencia a la expansión o contracción ante variaciones de humedad. Presenta baja resistencia al corte, alta deformabilidad y poca capacidad drenante.

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

Tabla 2: Parámetros físico-mecánicos representativos de los depósitos estuarinos de Guayaquil  
Fuente: MOP-Ecuador, NEC 2015

### 2.1.5 SUSCEPTIBILIDAD A TERRENOS INESTABLES

Susceptibilidad moderada a alta, debido a la baja resistencia al corte y la presencia de niveles freáticos someros.

En zonas donde se proyecten obras, deben considerarse técnicas de mejoramiento del terreno, como precarga, drenaje vertical, columnas de grava o sustitución de material.

Los taludes naturales son estables únicamente en pendientes suaves (menores a 10°), mientras que cortes verticales o excavaciones temporales requieren entibado o confinamiento lateral.

Se recomienda evitar sobre excavaciones extensas y controlar el agua superficial y subterránea para prevenir procesos de licuación o pérdida de soporte en materiales saturados.

La figura 2, expone la formación geológica dominante de la zona



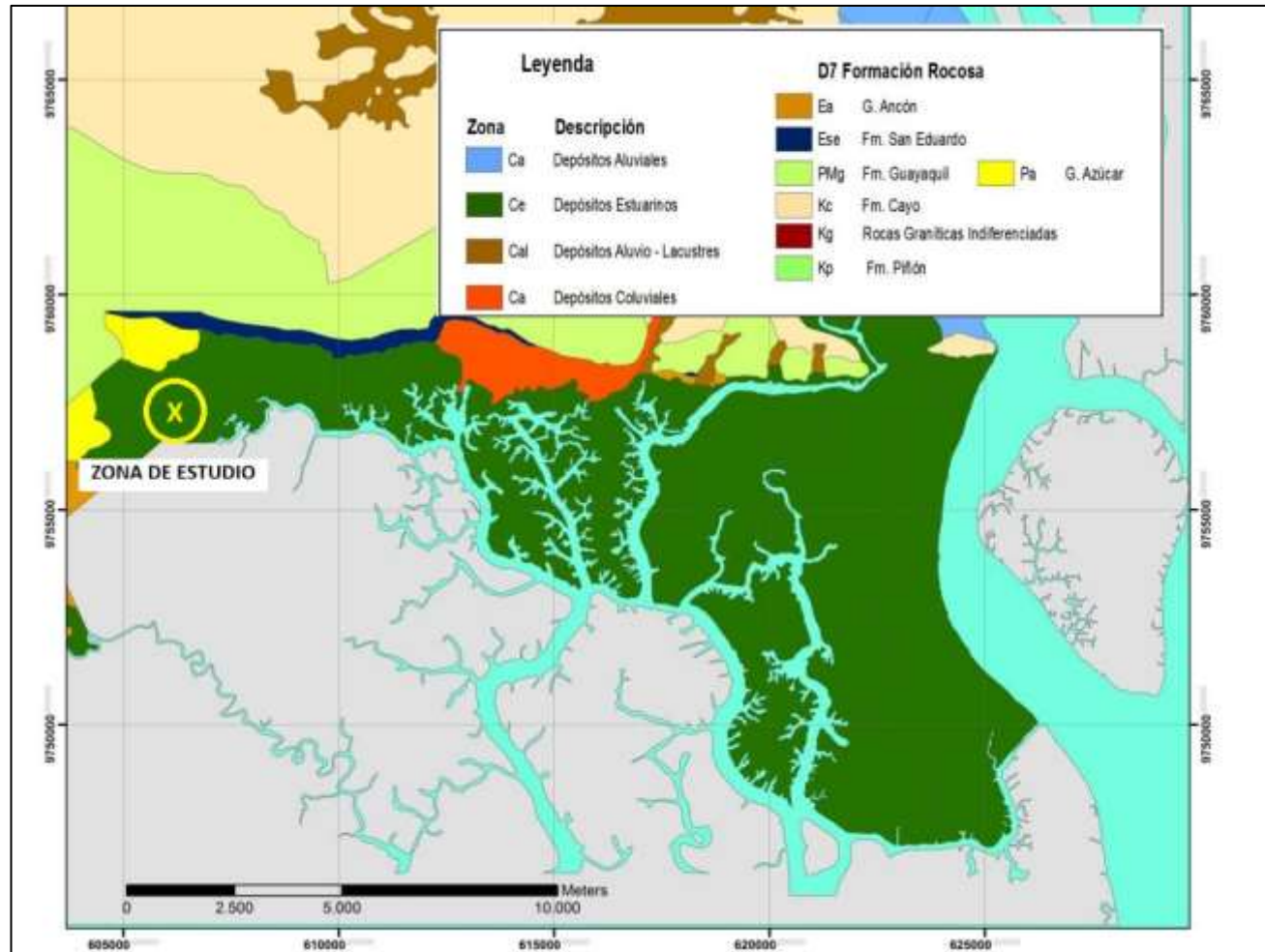


Figura 2: Geología de la zona en estudio. Depósitos Estuarinos  
Fuente: MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, Geoestudios S.A.

### 3. ENSAYO GEOFÍSICOS

En este capítulo se describe los ensayos geofísicos de campo, para la determinación de las velocidades de onda cortante y la caracterización del terreno mediante lo expuesto en la normativa NEC (2015), así como determinación por métodos indirectos de los parámetros geomecánicos y elásticos de los componentes del subsuelo aplicando el método ReMI + MAS W; de igual forma, se ejecutó el método sísmico de refracción que busco determinar formas de estratos principalmente y correlacionar los parámetros geomecánicos y elásticos del subsuelo con los resultados del ensayo REMI + MAS W. En la zona se ejecutaron en total 1 línea geofísica de cada método .

#### 3.1 MÉTODOS INDIRECTOS (ENSAYOS GEOFISICOS)

Como parte de los estudios realizados en la zona, se contempló este método indirecto avalado en la Norma Ecuatoriana de Construcción.

Actualmente en el país, puntualmente en el campo de la ingeniería civil, es conocida las ventajas que proporciona emplear los métodos de exploración geofísica, básicamente por lo económico y rápido que resulta realizar estos ensayos; por eso su conocimiento masivo es esencial. Durante los últimos años se han venido realizando investigaciones que buscan hacer el proceso de exploración aún más eficiente y confiable, es así como surge los métodos geofísicos de refracción sísmica y de medición de ondas de corte (MASW y MAM) que basa sus procedimientos en matemática avanzada como las Transformadas de Fourier, inversión de matrices, velocidad de fase, ondas Rayleigh, etc. (Rivas. L; R. A).

El programa de exploración geofísica de refracción, planteado para la presente consultoría, consiste en la ejecución de ensayos de medición de la velocidad de propagación de las ondas "P" ( $V_p$ ) y su correlación con las ondas "S" ( $V_s$ ) del terreno, denominados Refracción Sísmica, facultando el determinar potencias y formas de los estratos a lo largo de la superficie en campo seleccionada. El ensayo sísmico de refracción permite tener en 2D un conocimiento de la forma de los estratos, siendo necesaria esta información para poder determinar estratos para cimentaciones de las edificaciones proyectadas.

Los ensayos sísmicos aplicando el método MASW, permitirán determinar de manera indirecta los contactos de los estratos en función de su compacidad y/o consistencia, hasta una profundidad mayor a 30 m, a partir de los ensayos de Refracción activa en superficie cuando se aplica el método MAS W

Entonces la prospección geofísica se basa en el estudio de parámetros físicos-químicos del subsuelo y cuyo objetivo es localizar diferentes estratos en el mismo, interpretar sus formas y potencias; y, de manera particular en el campo de la ingeniería civil es buscar estratos resistentes que puedan soportar y resistir obras civiles, localizar posibles yacimientos de aguas, eventualidades geológicas, entre otras (Manilla Aceves, 2003). El método de prospección geofísica, sísmica de refracción, está estipuladas en la NEC-15 correspondiente a la normativa del Ecuador.

### 3.2 TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS DETERMINADAS POR MEDIO DE LA GEOFÍSICA

Existen dos tipos de ondas, las internas y las superficiales, el primer tipo de onda se subdividen en ondas **P** (primaria u ondas de dilatación) como lo expone la figura 4, las cuales manifiestan desplazamientos de las partículas en la misma dirección de la propagación de la onda; y en tanto, las ondas **S** (secundarias u ondas de cortante) figura 5, manifiestan desplazamientos de las partículas en la dirección perpendicular a la dirección de propagación. Las ondas superficiales se cuentan con las ondas **Rayleigh** (R) y las ondas **Love** (L), en las ondas de tipo R se produce movimientos circulares, por su parte las ondas L producen movimientos horizontales transversales a la dirección de propagación. (García Reyes, 1998).

Con este método, se determinan las ondas superficiales y por medio de programas, en función de estos resultados se calculan las velocidades de ondas internas  $V_p$  y  $V_s$ . Cabe señalar que la similitud de las ondas superficiales e internas es considerable. Las velocidades de onda Rayleigh corresponde a un 93% de las ondas cortantes  $V_s$ , en el presente documento, en el procesamiento de la información, el programa utilizado las convierte en un 100% de onda cortante.

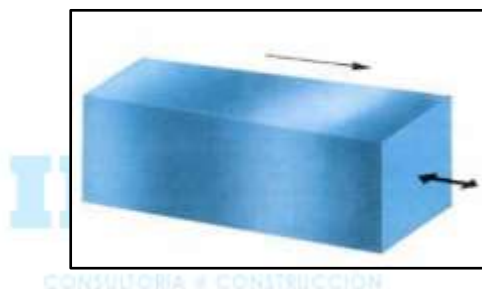


Figura 3: Representación de las ondas sísmica tipo P.  
Fuente: (Manilla Aceves, 2003)

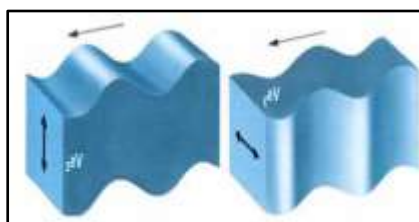


Figura 4: Representación de las ondas sísmicas tipo S.  
Fuente: (Manilla Aceves, 2003)

El interés de determinar el tipo de onda y su velocidad radica en el requerimiento en el ámbito geotécnico de la interacción suelo estructura y en el ámbito estructural del tipo de material sobre el cual se va a construir, como lo expone la tabla 3, generada por la National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP), mediante la determinación de los valores determinados de  $V_{s30}$  en el ensayo de MASW, infiriendo el tipo de suelo predominante en la zona de estudio. Este criterio es la base de lo expuesto en la NEC - 15, en el ámbito estructural

CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO CON LA NEHRP		
Tipo de suelo	Clasificación de Suelo	Vs 30 (m/s)
A	Roca dura	> 1500
B	Roca	760 - 1500
C	Suelo muy denso o roca suave	360 - 760
D	Suelo duro	180 - 360
E	Suelo suave	< 180
F	Suelos especiales que requieren evaluación específica de sitio	-

Tabla 3: Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con la NEHRP  
Fuente: NEHRP

### 3.3 EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado en la prospección sísmica, al igual que sus coordenadas, se observan en la siguiente fotografía.



Fotografía 3: Equipo utilizado para el ensayo de Sísmica MAS W.  
Fuente: Consultor

- Sismógrafo Ge24 PASI
- 24 geófonos verticales de 4.5 Hz a 15 Hz de frecuencia
- Cables sísmicos
- Martillo de 8 kg

- Placa de acero
- Cable Triger
- Software Geopsy
- Software GEA-PC
- Software Easy MAS W
- Computador Lenovo
- Cable USB

### **3.4 MÉTODO SÍSMICO DE REFRACCIÓN NORMA ASTM D5777**

La base del ensayo sísmico de refracción consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de compresión (Ondas P) generadas por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno (geófonos). La energía que se propaga en forma de ondas es detectada, amplificada y registrada de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto. El tiempo cero o inicio de la grabación es generado por un dispositivo de arranque que activa el sistema de adquisición de datos al momento de producirse el impacto o explosión (en la presente consultoría impacto sobre una base metálica con un martillo de 8 Kg). La diferencia entre el tiempo de arribo y el tiempo cero, permite evaluar el tiempo de propagación de las ondas desde la fuente de energía hasta el lugar en que éstas son registradas y obtienen el nombre de dromocronas.

#### **3.4.1 BASE DEL ENSAYO SISMICO DE REFRACCIÓN**

Este ensayo permite obtener los perfiles de ondas P de una zona de investigación, el principio del método consiste en medir el tiempo de llegada de las ondas de compresión (P) de una fuente artificial (caída de peso, pistolas de aire, martillo, explosivo). La longitud de la línea (L) se encuentra relacionada en una proporción de 3 a 4 veces con la profundidad de investigación (h), ( $L \sim 3h$  a  $4h$ ). A medida que la línea de refracción es más larga, la energía necesaria es mayor, necesitando en algunos casos explosivos.

Los materiales más compactos muestran velocidades altas de ondas P, en comparación con las velocidades bajas en materiales no consolidados. Las mediciones de refracción sísmica se llevan a cabo a lo largo de los perfiles longitudinales de con múltiples sensores alineados (geófonos), con diferentes impactos posicionados en los extremos y parte central del tendido de la línea. La siguiente figura expone un esquema del ensayo sísmico de refracción.

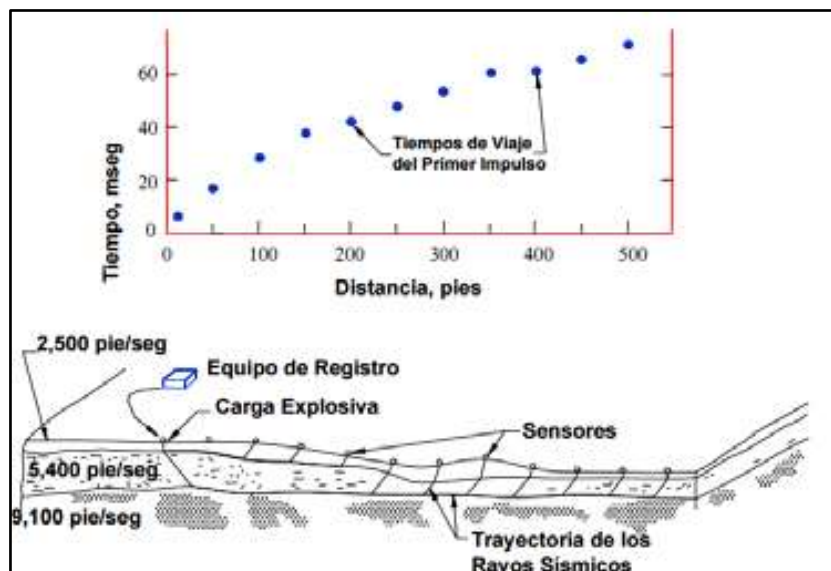


Figura 5: Esquema de ensayo sísmico de refracción

Fuente: Georys Ingenieros

Los resultados correspondientes a la velocidad de propagación de la onda de compresión  $V_p$  permiten definir áreas de contraste entre materiales de diferente velocidad y densidad. Este método se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas P (primarias), longitudinales o compresionales, desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de sensores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición. Conociendo el tiempo de recorrido y distancia entre fuente y geófonos, se puede determinar la velocidad de propagación del medio situado entre ambos. La refracción sísmica permite reconstruir un perfil bidimensional de ondas P ( $V_p$ ) en función de la profundidad a lo largo de la línea de los geófonos. Estas velocidades están controladas por los parámetros elásticos que describen el material y pueden correlacionarse con numerosas propiedades geomecánicas.

### 3.4.2 CURVAS DE TIEMPO Y DISTANCIA

Las curvas tiempo distancia se construyen con los tiempos de llegada de las ondas P a cada uno de los sensores, y la distancia de cada sensor al punto de disparo.

Los tiempos de llegada pueden ser leídos directamente en la pantalla de la unidad de adquisición, (o de una impresión realizada desde dicha unidad); o en la computadora, a través de un software especializado, una vez los datos hayan sido transferidos de la unidad de adquisición al computador. El conjunto de registros (del total de geófonos) como se pueden apreciar en una impresión realizada desde la unidad de adquisición, son mostrados en la siguiente figura.

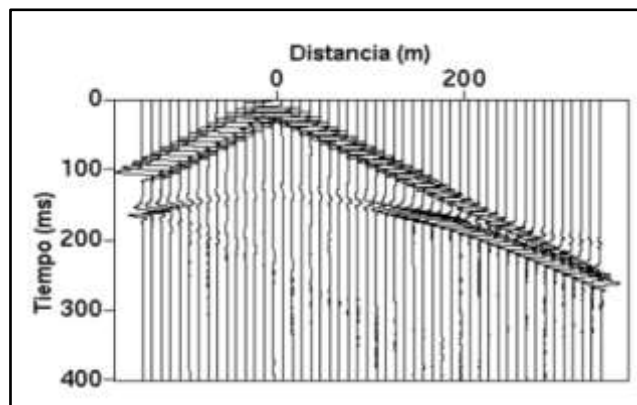


Figura 6: Esquema de sismograma  
Fuente: Boyd, 1999

Para tener información más detallada del subsuelo a analizar, se realizan tendidos de refracción conjugados, llamados tendido directo, reverso e intermedio. En el primero el punto de disparo se ubica en un extremo del tendido a una distancia conocida, mientras que en el segundo el punto de disparo se ubica al otro extremo del tendido; en el tendido intermedio, el punto de disparo es colocado usualmente hacia el centro del tendido. Cuando se van a estudiar terrenos muy extensos, o cuando se necesita información muy detallada, se acostumbra a hacer tendidos traslapados que permiten modelar mejor la topografía de las discontinuidades

Las curvas de diferentes puntos de disparo (p. ej. directo, reverso) de un mismo tendido se dibujan sobre una misma gráfica como se ilustra a continuación denominadas dromocronas.

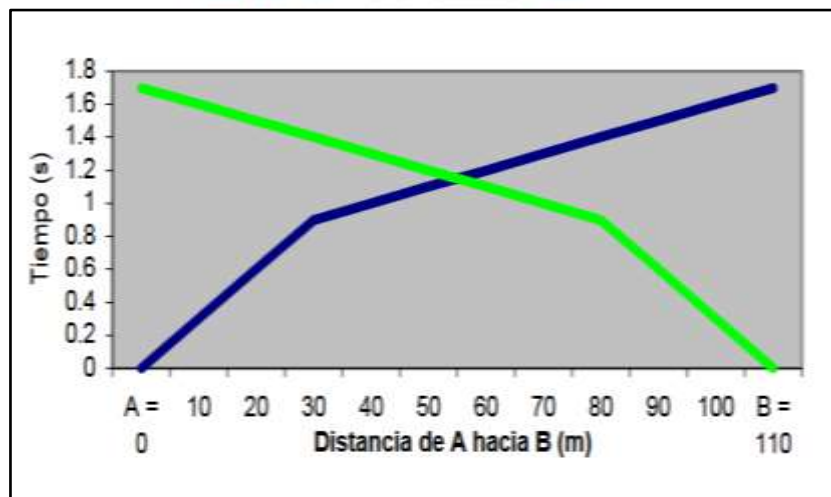


Figura 7: Curvas de tiempo – distancia, dromocronas  
Fuente: Boyd, 1999

### 3.5 ENSAYO ReMI + MAS W

El nivel de daños que puede sufrir una edificación está relacionado con la magnitud de los desplazamientos laterales, a mayor desplazamiento lateral mayores deformaciones en los elementos estructurales y mayores serán sus esfuerzos internos. En función de lo expuesto, el conocimiento del valor del periodo es necesario para determinar cuál será su respuesta ante los posibles movimientos sísmicos que puedan presentarse en la zona determinada.

El valor del período fundamental de vibración de las edificaciones varía con tipo de suelo en que se apoya. Un edificio cimentado sobre roca o suelo duro se comportará como un voladizo perfectamente empotrado en la base y tendrá su menor período de vibración, pero cuando el suelo es blando se deforma con las vibraciones, el conjunto suelo-edificio se torna más flexible y el período se incrementa al comportarse como parcialmente empotrado debido a la deformación del empotramiento. El periodo de vibración del suelo puede ser determinado mediante el ensayo sísmico aplicando el método ReMI + MAS W, que permite determinar la velocidad de onda cortante  $V_s$ , hasta los 30 primeros metros de profundidad.

El método Multichannel Analysis of Surface Waves o Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), es un ensayo no invasivo en donde las ondas superficiales registradas, son generadas por el golpe de un martillo en el suelo, el cual genera la perturbación en la superficie (Careaga Arriagada, 2016). Fue desarrollado por profesionales de la división de investigación y servicio de la Universidad de Kansas (KGS por sus siglas en inglés), en donde se lograron determinar que las ondas de superficie tienen un componente principal demás de 98% de onda S y menos del 2% de ondas P (Chapilliquen Celis, 2017).

Las señales emitidas por el golpe de un martillo son captadas por un arreglo de geófonos dispuestos de manera lineal, equidistantes entre ellos (Rivas Lucero, 2016), este método tiene gran similitud a la medición de reflexión de un punto común de profundidad, por tal motivo el método MASW, puede ser aplicado a una reflexión o refracción ( Lopez Avalos, Mejia Carrilos, & Vega, 2008), tal como se muestra en la figura siguiente.

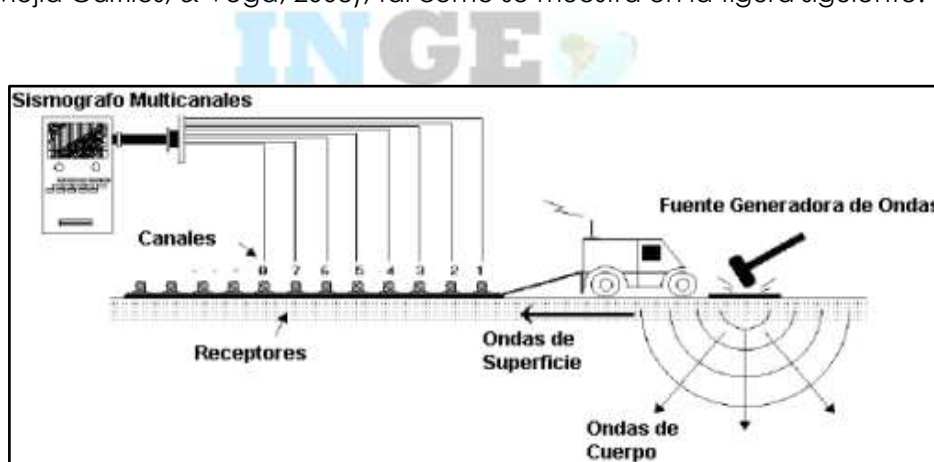


Figura 8: Esquema de Ensayo ReMI + MASW.

Fuente: ( Lopez Avalos, Mejia Carrilos, & Vega, 2008)

En un medio estratificado, la velocidad de propagación (velocidad de fase) de las ondas Rayleigh, depende de la frecuencia. Esta propiedad se la conoce como dispersión (Chapilliquen Celis, 2017), que una vez procesados los datos obtenidos del ensayo ReMI + MASW, se debe elegir una curva de dispersión generadas por la fuente. Habitualmente, este método permite determinar con certeza las ondas hasta 30 m de profundidad, pero es factible, con igual certeza, determinar las ondas posteriores a esta profundidad; esto se logra, con la configuración del equipo y software de procesamiento.

### 3.5.1 CURVAS DE DISPERSIÓN GENERADAS APLICANDO EL MÉTODO ReMI + MASW

El concepto de curva de dispersión aparente fue introducido en los años 90, para tomar en cuenta la posibilidad de una influencia multi-modal en el proceso de inversión, ya que, a inicios del método, se asumía el modo fundamental ( $M_0$ ) como predominante. En la figura siguiente, se puede ver un ejemplo de una curva de dispersión construida considerando los modos posteriores al modo fundamental. (Correia Machuca, 2015)

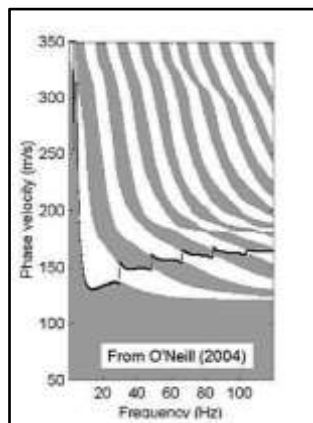


Figura 9: Curva de dispersión con influencia multi-modal.

Fuente: O'Neil, 2004

La curva de dispersión es la relación entre la velocidad de fase y la frecuencia, invertir la curva permite obtener el perfil de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) en la profundidad. La línea sísmica generada, permitió inferir en el conocimiento del subsuelo, el ensayo generó curvas de dispersión, y consecuentemente, posterior al procesamiento de los datos, las velocidades de onda que presenta el terreno.

Analizando las ondas Rayleigh y tomando en cuenta que el subsuelo está compuesto por varios estratos, que distribuyen las ondas a diferentes velocidades, se logra determinar el perfil de velocidades correspondientes para el depósito de suelo estudiado. (Escalona Medina, 2016). Entre mayor sea la frecuencia, la longitud de onda tiende a disminuir dependiendo de las velocidades de propagación de los estratos superficiales (Escalona Medina, 2016).

### 3.6 VELOCIDADES DE ONDA CARACTERÍSTICAS DE SUELOS Y ROCAS

La ASTM D 5777 expone que, el método de refracción sísmica proporciona la velocidad de ondas P compresionales en materiales del subsuelo. Aunque la velocidad de la onda P es un buen indicador del tipo de suelo o roca, no es un indicador único. La Tabla siguiente muestra que cada tipo de sedimento o roca tiene una amplia gama de velocidades sísmicas, y muchos de estos rangos se superponen. La sísmica, es una técnica que mide la velocidad de las ondas sísmicas en materiales terrestres, es el intérprete quien, basado en el conocimiento de las condiciones locales y otros datos como la geología, debe interpretar los datos de refracción y llegar a una solución geológicamente factible. A más de lo expuesto hay que considerar lo siguiente:

Las velocidades de la onda P son generalmente mayores para:

- Rocas más densas que rocas más ligeras;
- Rocas más viejas que rocas más jóvenes;

- Rocas ígneas que rocas sedimentarias;
- Rocas sólidas que rocas con grietas o fracturas;
- Rocas sin meteorizar que rocas erosionadas;
- Sedimentos consolidados que sedimentos no consolidados;
- Sedimentos no consolidados saturados de agua que secos sedimentos no consolidados
- Suelos húmedos que suelos secos.

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

Tabla 4: Rango de velocidades para ondas de compresión en el suelo y rocas  
Fuente: ASTM D 5777, 20

En la tabla siguiente, se exponen los valores fluctuantes de las velocidades de onda, según diversos autores.

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

Arena cementada	853 - 975	512 - 585
Arcilla arenosa	975 - 1158	585 - 695

Tabla 5: Valores promedio de  $V_p$  y  $V_s$  en materiales del subsuelo  
Fuente: (Redpath, 1973)

### 3.6.1 CÁLCULO DEL PERFIL DE VELOCIDADES DE ONDA DE CORTE ( $V_s$ )

Para el cálculo de las velocidades de onda de corte ( $V_s$ ), producto del ensayo geofísico de campo, al igual que las ondas longitudinales ( $V_p$ ), se sigue el siguiente procedimiento:

- En el terreno se realiza el tendido de la línea sísmica con sus respectivos geófonos verticales de baja frecuencia, equidistantes entre sí.
- Posteriormente se obtiene el registro de las ondas superficiales, generados por una fuente externa sea esta, un martillo, una pesa entre otros, la cual debe estar alineados al arreglo geofónico. En el presente estudio, el golpe generado por un martillo sobre la placa de acero que se conecta al equipo
- Luego, se procesa la información, permitiendo obtener la curva de dispersión de las ondas superficiales, mediante un análisis F – K (frecuencia – número de onda).
- De manera inmediata, se conjetura la curva de dispersión, de la cual se obtiene la curva de velocidad de fase (m/s) vs la frecuencia (Hz). La velocidad de fase está dada por la relación entre la frecuencia y el número de onda.
- Finalmente, se hace uso de un software capaz de invertir la curva de dispersión, con el fin de determinar el perfil de velocidad para el punto medio, del arreglo geofónico.

Una vez grabados los ensayos mediante el software GEA en un computador portátil, estos datos se procesan mediante el software GEOPSY, el cual es de código abierto, en donde se obtiene la curva de dispersión, en esta curva se realiza el "Picking". Para la inversión de las curvas superficiales, se hace uso del módulo "DINVER" del programa GEOPSY, cuyo resultado ingresando previamente los parámetros necesarios, se obtienen tanto las velocidades de onda cortante ( $V_s$ ) del subsuelo, al igual que su potencia; así como las velocidades longitudinales ( $V_p$ ) con las que viaja las ondas fruto del golpe en la superficie.

### 3.7 CORRELACIÓN DE PARÁMETROS ELÁSTICOS Y GEOMECÁNICOS EN FUNCIÓN DE LAS CAPAS INFERIDA DEL SUBSELO POR MEDIO DE LA GEOFÍSICA

Los ensayos geofísicos permiten, en función de las ondas determinadas, inferir una serie de parámetros elásticos y mecánicos de los materiales del subsuelo; inclusive, es posible calcular las capacidades de carga con una certeza aceptable de los diferentes estratos.

Los parámetros elásticos son un conjunto de propiedades y comportamientos que rigen un material cuando son sometidos a esfuerzos, estas cargas generan inicialmente una deformación del material; posteriormente, el material tiene la opción de recuperar su forma original o presentar una deformación pequeña, en función de su elasticidad. En la sísmica estos parámetros son importantes debido a que las velocidades de las ondas sísmicas dependen de las mismas y de la densidad de las rocas, los resultados obtenidos

de las ondas longitudinales y cortantes permiten determinar diferentes parámetros elásticos, como se describe a continuación.

### 3.7.1 MÓDULO DE YOUNG

El módulo de Young es un parámetro que determina la rigidez de un material que, mediante la ley de Hooke, relaciona el esfuerzo y la deformación uniaxiales en un mismo eje. El módulo de Young se puede expresar de la siguiente manera (Tezcan, Ozdemir, & Keceli, 2009) como lo expone la siguiente ecuación

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

Donde:

$E$  = *Módulo de Young*

$\nu$  = *Coefficiente de poisson*

$G$  = *Módulo de cortante*

### 3.7.2 MÓDULO DE CORTE

Es la relación existente entre los esfuerzos de cortante originados en la muestra y las deformaciones de cizalladura provocadas por dicho esfuerzo. Este parámetro se calcula en función de las ondas de corte  $V_s$ , mediante la siguiente expresión (Tezcan, Ozdemir, & Keceli, 2009).

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

Donde:

$G$  = *Módulo de Corte*

$\gamma$  = *Peso específico*

$V_s$  = *Velocidad de onda secundarias*

$g$  = *gravedad*

### 3.7.3 PESO ESPECÍFICO

Para calcular el peso específico, en función de las velocidades de onda  $V_s$  se aplica la fórmula empírica que a continuación se muestra: (Naranjo Aguay & Dranichnikov, 2012).

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

Donde:

$\gamma$  = *Peso específico*

$V_p$  = *Velocidades de onda primarias*

Sin embargo, se resalta que el software utilizado para el procesamiento de la información, también determina la tendencia del peso volumétrico de los materiales inferidos en los diferentes ensayos.

### 3.7.4 COEFICIENTE DE POISSON

Se define como la relación existente entre la deformación transversal y la deformación longitudinal, al someterle a un cuerpo a una fuerza de tracción o compresión, y se define mediante la siguiente expresión (Tezcan, Ozdemir, & Keceli, 2009).

$$v = \frac{\alpha - 2}{2(\alpha - 1)}; \alpha = \left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2$$

Donde:

$v$  = Coeficiente de Poisson

$Vp$  = Velocidades de onda principales

$Vs$  = Velocidades de onda secundarias

$\alpha$  = coeficiente que depende de  $Vp$  y  $Vs$

### 3.7.5 MÓDULO DE BULK

El módulo de Bulk, o también conocido como de compresibilidad, mide la resistencia a la compresión uniforme y, por lo tanto, indica el aumento de presión requerido para causar una disminución unitaria del volumen dado, su cálculo se lo puede realizar como lo expresa la ecuación siguiente (Tezcan, Ozdemir, & Keceli, 2009)

$$K = E / 3(1 - 2v)$$

Donde:

$E$  = Módulo de Young

$v$  = Coeficiente de poisson

### 3.7.6 MÓDULO EDOMÉTRICO

Este módulo se trata de un parámetro similar al módulo de elasticidad, pero en este caso el módulo edométrico es un módulo de compresión confinada sin deformaciones horizontales y solo tiene validez para determinados valores de carga, su uso es extendido en el cálculo del asentamiento del suelo, a causa de la carga, principalmente en suelos arcillosos. Este parámetro mediante la geotecnia se calcula por medio del ensayo de consolidación. La siguiente ecuación, expone su cálculo (Tezcan, Ozdemir, & Keceli, 2009)

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

Donde:

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

### 3.7.7 MÓDULO BALASTO

En todo análisis estructural es necesario conocer o estimar las deformaciones asociadas con las cargas que transfiere una fundación al terreno natural. Para realizar el análisis estructural de las fundaciones se modela el suelo representado por un número infinito de resortes cada uno de los cuales no es afectado por el otro. La constante que define la función fuerza-desplazamiento de estos resortes es conocida como el coeficiente de balasto y puede ser vertical u horizontal, dependiendo de la dirección de las fuerzas analizadas. Es oportuno indicar que el coeficiente de balasto no es un parámetro intrínseco del suelo, sino que el mismo depende de las dimensiones de la fundación y las propiedades mecánicas del terreno. Esto se debe a que al cargar una fundación se generan esfuerzos en la masa de suelos los cuales dependen del tamaño y la geometría de la fundación. Ahora bien, las deformaciones, y por ende los asentamientos, debajo de una fundación dependen del módulo de elasticidad del suelo. Por eso, varios autores utilizan el módulo de elasticidad del suelo para generar fórmulas que permitan calcular el coeficiente de balasto a la vez que introducen factores de corrección para tomar en consideración el tamaño y la geometría de la fundación. En el presente estudio, 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:

$E = \text{Módulo de Young}$   
 $\nu = \text{Coeficiente de poisson}$   
 $K = \text{Módulo de Balasto}$   
 $B = \text{Ancho de cimentación}$

Para el presente estudio, se asumió un ancho de cimentación igual a 1 m, independientemente del tipo de cimentación o de la obra a construirse, por las características obtenidas del terreno, un material limoso de baja plasticidad en sus primeros metros y limolitas en función de la profundidad, por efecto de un adecuado comportamiento del suelo frente a la carga, se consideró en caso de realizarse emplazamientos, zapatas aisladas.

### 3.7.8 RESPUESTA DINÁMICA DEL TERRENO, DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE VIBRACIÓN

El periodo fundamental de vibrar de un edificio es un parámetro clave para el diseño sísmico de una estructura; en el caso de construcciones existentes es un valor que puede ayudar a determinar las condiciones actuales de seguridad estructural.

Para conocer el periodo dominante del suelo y compararlo con el de la estructura, se considera una estratificación horizontal homogéneo equivalente, esto al determinar mediante la geofísica que, la zona estudiada, presenta un dominio de un material limoso, en función de la similitud de  $V_s$  determinados). La relación entre estos parámetros se presenta en la Ecuación siguiente, donde  $T_s$  es el periodo dominante del estrato

equivalente,  $H_s$  el espesor total del estrato del terreno y  $V_s$  la velocidad efectiva de propagación de ondas de corte en el estrato

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

### 3.7.9 CÁLCULO DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN FUNCIÓN DE VELOCIDADES

Pazmiño (2017), en su trabajo denominado “Velocidades de onda  $V_s$  y  $V_p$  y su correlación con los valores del ángulo de fricción interna, cohesión y  $N_{spt}$  para los suelos de Sangolquí”, sugiere fórmulas empíricas recopiladas para el cálculo de parámetros geomecánicos del suelo. Cabe señalar que, desde el punto de vista geotécnico, los materiales superficiales de la zona ejecutada, se consideran suelos aluviales, dominados mayoritariamente por el ángulo de fricción. Las fórmulas aplicadas para el presente estudio, en función de las características geológicas de los materiales se exponen a continuación:

<b>AUTOR: I.G. MINDEL</b>	$c' = 0.908 - 0.168 \frac{V_p}{V_s}$	<b>Cohesión para los suelos saprolíticos de los Urales</b>
---------------------------	--------------------------------------	------------------------------------------------------------

Tabla 6: Fórmulas empíricas para determinar la cohesión en función de velocidades de onda  
Fuente: Pazmiño (2017). Velocidades de onda  $V_s$  y  $V_p$  y su correlación con los valores del ángulo de fricción interna, cohesión y  $N_{spt}$  para los suelos de Sangolquí

$\varphi \text{ (grados)} = 0,7792 \frac{V_p}{V_s} + 26,529$	<b>ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA EN FUNCIÓN DE LAS VELOCIDADES DE ONDA <math>V_p</math> Y <math>V_s</math></b>
--------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 7: Fórmulas empíricas para determinar el ángulo de fricción en función de las velocidades de onda

Fuente: Pazmiño (2017). Velocidades de onda  $V_s$  y  $V_p$  y su correlación con los valores del ángulo de fricción interna, cohesión y  $N_{spt}$  para los suelos de Sangolquí

### 3.7.10 VELOCIDAD DE ONDA PROMEDIO EN LOS PRIMEROS 30 METROS PARA DISEÑO SISMORESISTENTE DE ESTRUCTURAS

La NEC en el capítulo de estructuras sismoresistente, establece el mecanismo para determinar la velocidad promedio de onda en los 30 primeros metros de superficie,  $V_{s30}$ ; en función de este parámetro se puede categorizar al terreno entre los diferentes tipos de perfiles. En los subcapítulos siguientes, se observan los parámetros determinados en la zona en estudio donde se ejecutó este ensayo.

### 3.7.11 CORRELACIÓN DEL NÚMERO DE GOLPES N DEL ENSAYO SPT CON LAS Vp

Refiriéndose a los ensayos SPT, existen correlaciones entre el número de golpes y la velocidad de propagación de las ondas longitudinales. Así para los loess de Ucrania, I. G. Mindel dedujo la siguiente correlación:

$$N = 0,0284 \times Vp - 7,6$$

### 3.9 LÍNEA EJECUTADA EN EL PROYECTO LS – 01

Las siguientes figuras al igual que las fotografías, exponen el sismograma generado en el primer ensayo de campo, la longitud de exploración de la línea en superficie, el gráfico de dispersión inferido del ensayo, la zona de ensayos y las coordenadas. La tabla siguiente expone las coordenadas

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	606489	9757013	120	26

Tabla 8: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto LS-01

Fuente: Consultor

INGEO CONSULTORIA & CONSTRUCCIÓN



Fotografía 4: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-01  
Fuente: Consultor



Fotografía 5: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-01

Fuente: Consultor

### 3.8.1 ENSAYO SÍSMICO DE REFRACCIÓN LS – 01

Las siguientes figuras exponen los resultados del procesamiento del primer ensayo sísmico ejecutado. Se observa las dromocronas generadas, el mapa de velocidades de onda que se obtuvo del subsuelo, así como el perfil geofísico estratigráfico inferido. Los gráficos presentados fueron obtenidos al procesar la información de campo con el programa especializado Geostru EasyReftact. También se observa los parámetros elásticos determinados por el programa al procesar la información.

En este primer ensayo aplicando el método sísmico se observa que:

- Desde la cota de exploración se presenta una primera capa de material concordante con suelos arcillosos muy húmedos, materiales de origen marino de alta a mediana relación de vacíos. Su  $V_p = 366.36$  m/s mientras que la velocidad de onda cortante que calcula el programa es  $V_s = 195.83$  m/s. Su potencia es variable entre 0 m y 7 m aproximadamente, un estrato irregular a lo largo de la zona de exploración
- El segundo estrato se presenta como un material compacto, posiblemente arcilas arenosas muy rígidas a rocas blandas  $V_p = 1034.55$  m/s y la  $V_s = 633.53$  m/s

La zona expone una alta presencia de saturación, probablemente entre 1.00 m y 2.00 m de profundidad.

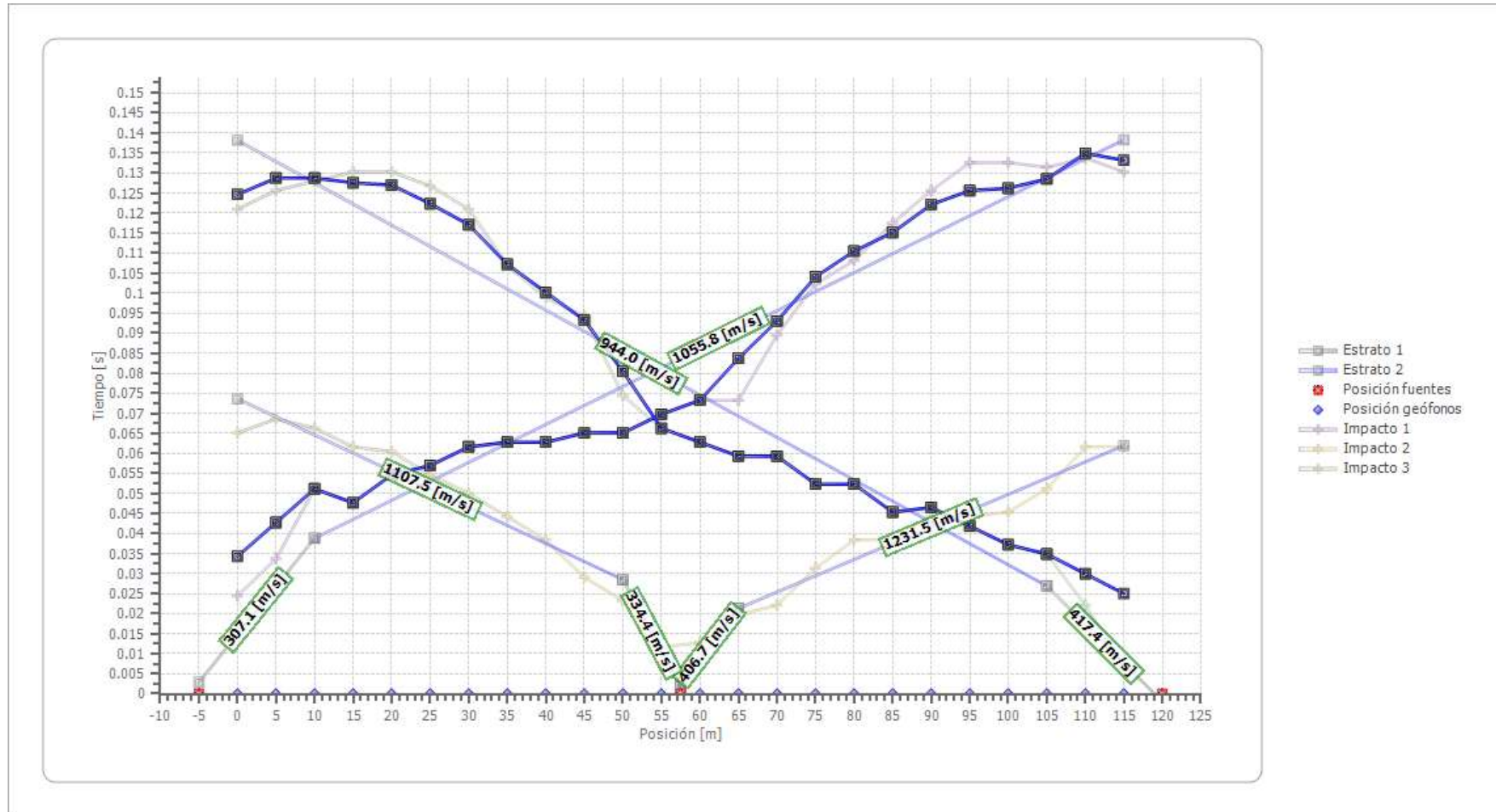


Figura 10: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 01  
Fuente: Consultor / Easy Refract

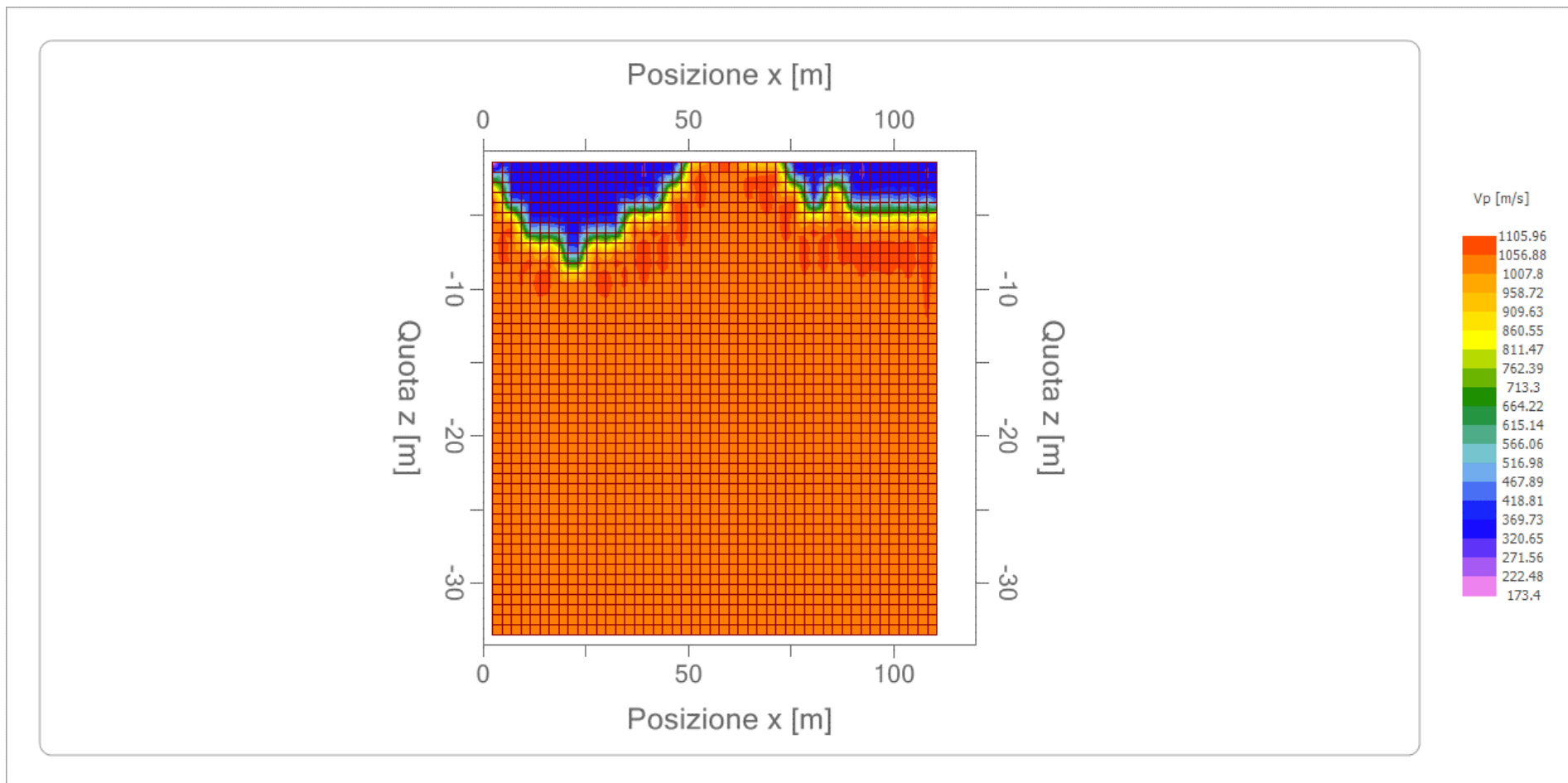


Figura 11: Tomografía sísmica de refracción LSR - 01  
Fuente: Consultor / Easy Refract

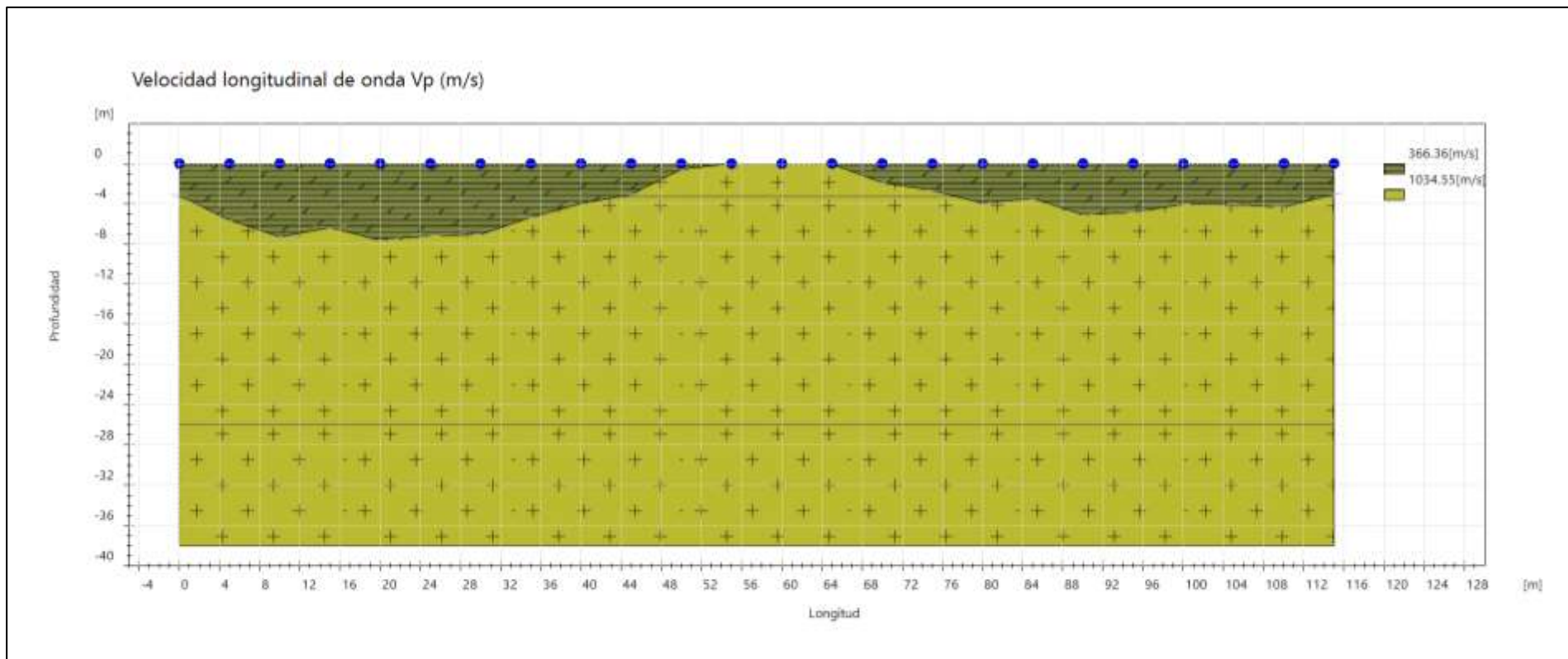


Figura 12: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR - 01, velocidades de onda Vp  
Fuente: Consultor / Easy Refract

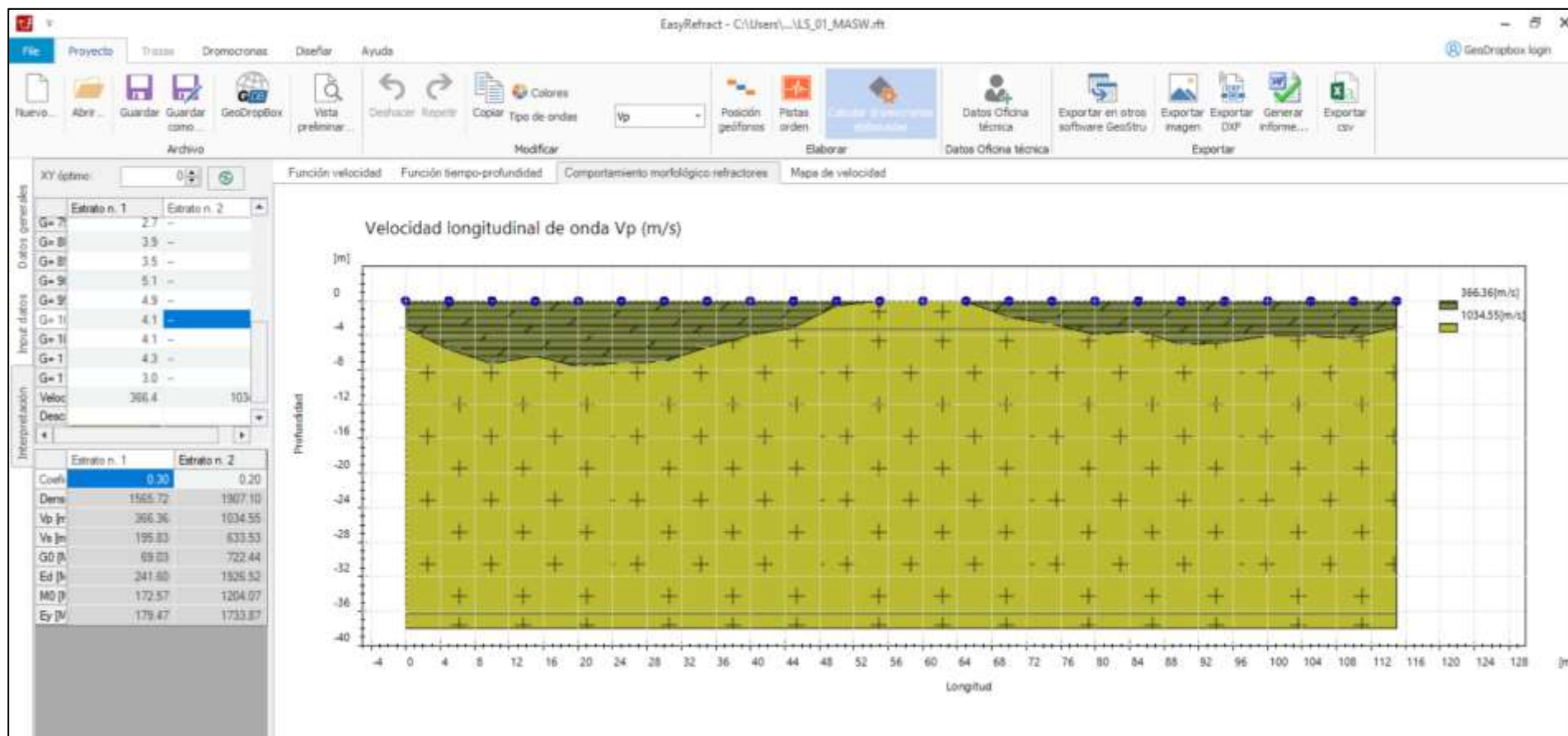


Tabla 9: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 01  
Fuente: Software EasyRefract.

### 3.8.2 ENSAYO SÍSMICO ReMI + MAS W LS-01

Las siguientes figuras exponen el sismograma generado en estos ensayos, la curva de dispersión, el perfil de velocidad así como la interpretación en 1 D fruto del ensayo geofísico ReMI + MAS W

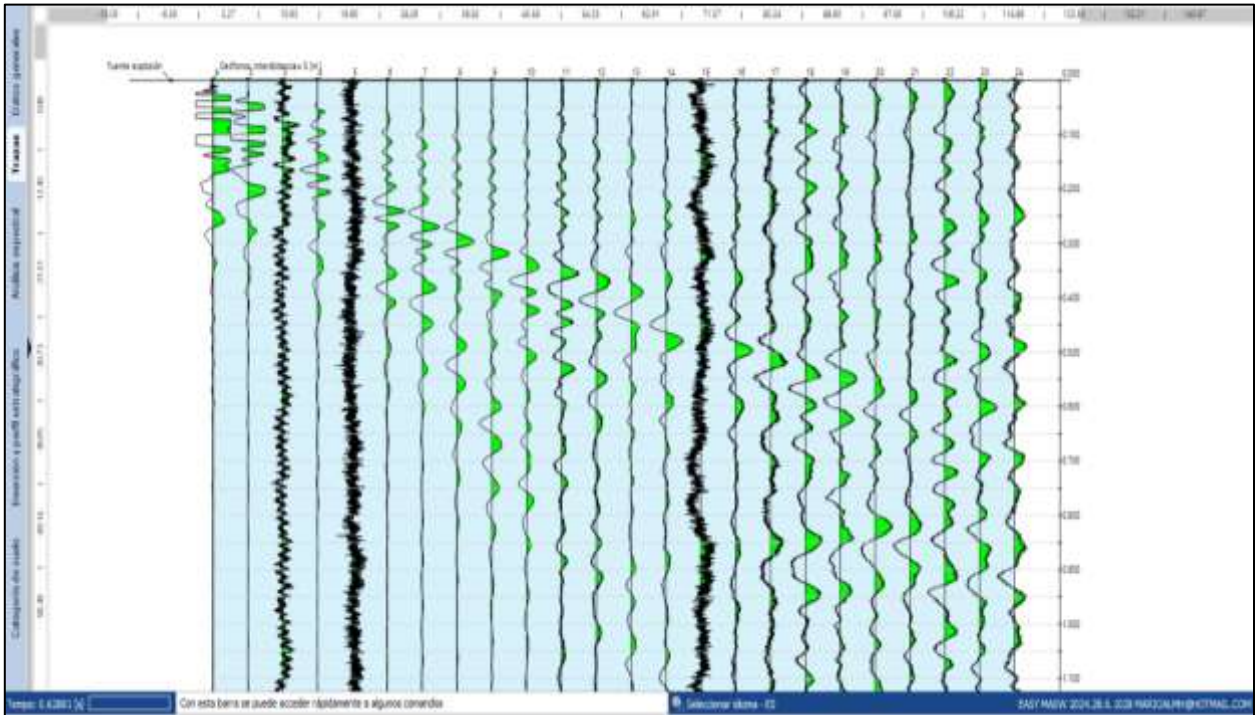


Figura 13: Sismograma de la LS - 1 y longitud de exploración de línea sísmica generada  
Fuente: Equipo consultor

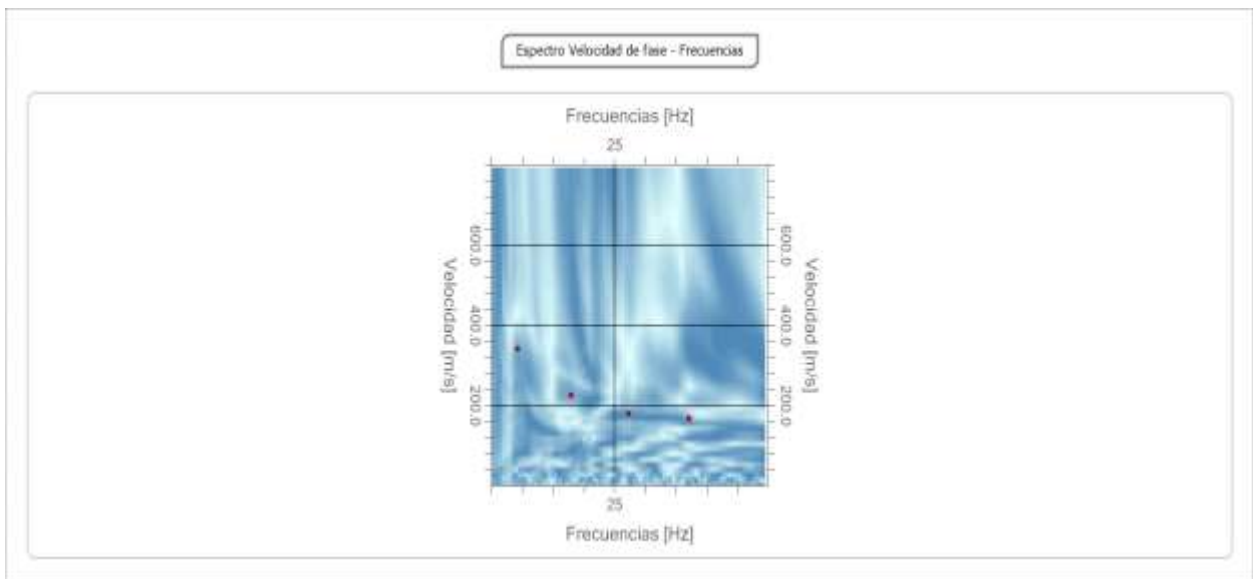


Figura 14: Espectro de velocidad - frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS - 01  
Fuente: Software Easy MAS W

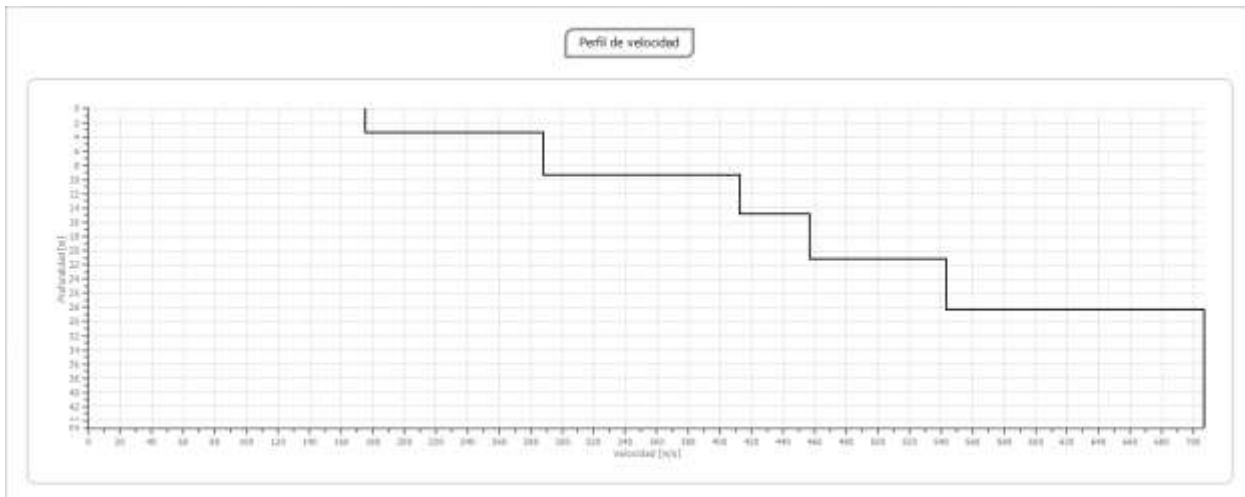


Figura 15: Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 01  
Fuente: Software Easy MAS W

En función del procesamiento de información, la primera línea generada por el método MAS W presenta hasta los 30 m de profundidad, cuatro capas geofísicas en función de sus velocidades de onda. Las velocidades de onda y los estratos inferidos son los siguientes:

- Desde la cota de exploración, hasta los 3.38 m aproximadamente, expone en promedio una  $V_s = 175,36$  m/s. y la  $V_p = 328,06$  m /s. Se presenta como un material con alta relación de vacíos, posiblemente materiales arcillosos muy húmedos, se comportan como rellenos
- Desde los 3.38 m hasta 9.36 m se infiere un material de mayor consolidación, suelos arcillosos arenosos de baja relación de vacíos.  $V_s = 287.87$  m/s. y la  $V_p = 520.78$  m /s.
- Desde los 9.36 hasta los 21.15 m aproximadamente, se presenta como un material con baja relación de vacíos, materiales rígidos, posiblemente lutitas o limolitas, de  $V_s = 781.22$  m/s. y la  $V_p = 456.94$  m /s
- Finalmente, entre los 21.15 m y los 30.00 m se infiere una roca blanda a dura, posiblemente areniscas,  $V_s = 928.71$  m/s. y la  $V_p = 543.20$  m /s

En la tabla siguiente se observa los parámetros geomecánicos determinados para el subsuelo de la línea ejecutada en la zona. Se caracteriza al subsuelo como un material tipo D. La figura siguiente presenta el perfil estratigráfico inferido del ensayo de campo MAS W en 1D. El periodo de vibración del terreno es 0.33. Se resalta que la caracterización del suelo como tipo D obedece a su cercanía al límite inferior de 360 m/s

Del ensayo MAS W 01, se resalta que la primera es susceptible a cambios volumétricos e inestabilidad, pudiendo planificarse para cimentaciones pasar este primer estrato

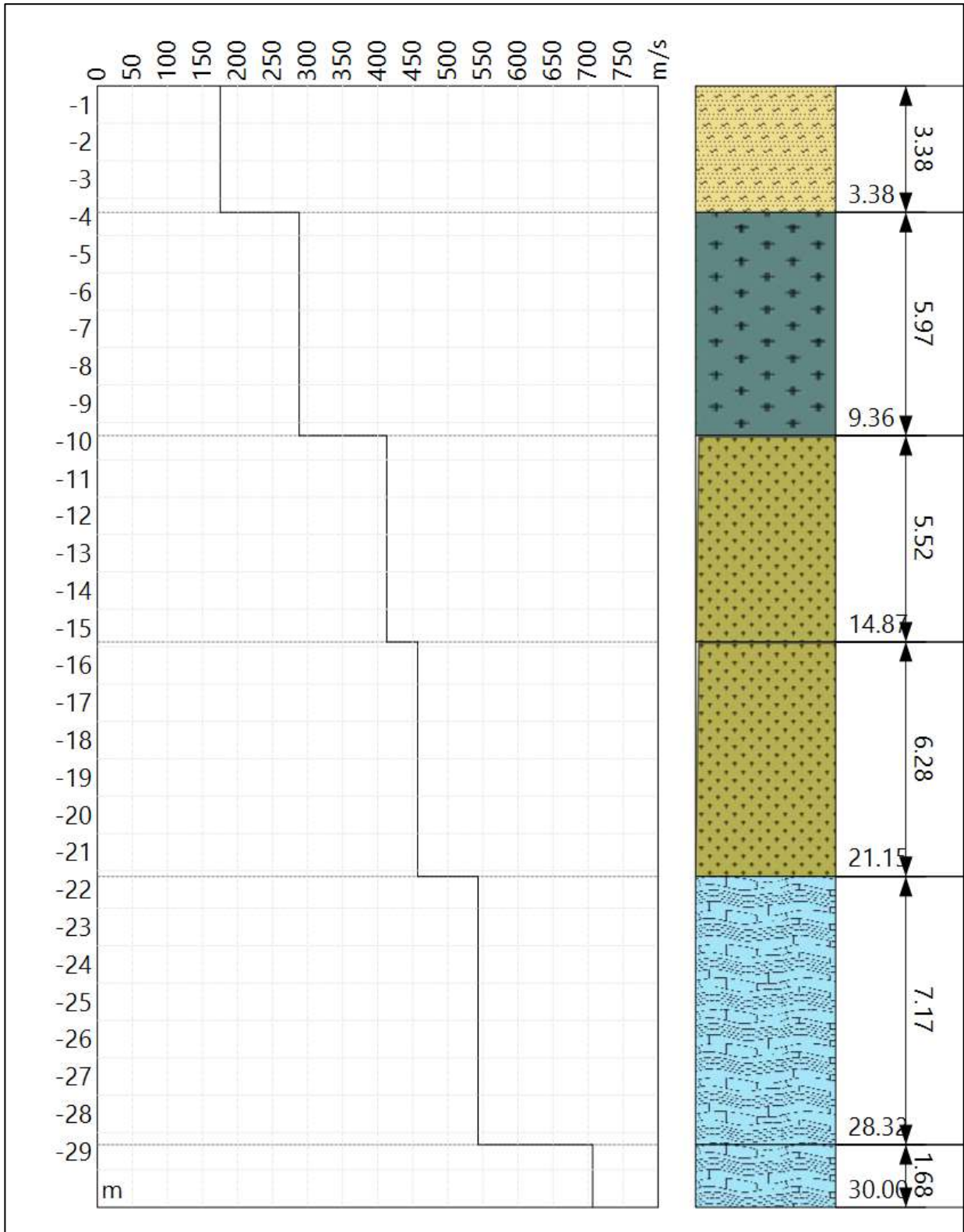


Figura 16: Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MAS W LS-01 hasta los 30 m de profundidad  
Fuente: Consultor

ESTUDIO GEOFÍSICO PARA LOS PROYECTOS DE TITULACIÓN EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, GUAYAQUIL.																											
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				Modulo de corte	Coefficiente Poisson	Modulo Young	Modulo Edométrico	Modulo Bulk	Modulo Balasto	Cohesión	Ángulo de fricción	Periodo Dominante		Perfil Estrato	Perfil V <sub>sz</sub>			
	capas presentes	Variación estrato	Potencia estrato (i)	Vp	Vs	di/V <sub>si</sub>	γ	q <sub>a</sub>	q <sub>a</sub>	q <sub>a</sub> (prom)	N referencial	G	ν	E	E <sub>c</sub>	kb	k	c	Φ	T <sub>s</sub>	T <sub>s</sub> prom	Según NEC (2015)					
		[m]	[H]	[m/s]	[m/s]																	[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 - 01	1	0	3,38	3,38	328,06	175,36	0,01927	14,99	115,00	118,70	116,85	9	46988,73	0,30	12217,07	3289,32	10180,89	13425,35	1,34	24,3	0,08		E	D			
	2	3,38	9,36	5,98	520,78	287,87	0,02077	16,68	196,43	190,09	193,26	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	306,70	286,56	296,63	22	390983,57	0,25	97745,89	29955,07	65163,93	104262,28	83,78	28,8	0,10	0,33	C				
	4	21,15	30	8,85	928,71	543,2	0,01629	18,56	368,36	341,20	354,78	26	395027,49	0,22	96386,71	29538,54	57373,04	101289,10	111,26	30,3	0,07		C				
Σdi =		30		Σdi /Vs =		0,08214		Vs, media (Vs30)														365,22					

Tabla 10: Parámetros geomecánicos, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 1. Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D.  
Fuente: Consultor

### 3.9 LÍNEA EJECUTADA EN EL PROYECTO LS – 02

Las siguientes figuras al igual que las fotografías, exponen el sismograma generado en el segundo ensayo de campo, la longitud de exploración de la línea en superficie, el gráfico de dispersión inferido del ensayo, la zona de ensayos y las coordenadas. Cabe señalar que paralelamente a este ensayo. La tabla siguiente expone las coordenadas.

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	606956	9757086	606435	9757074	606456	9757086	48	26

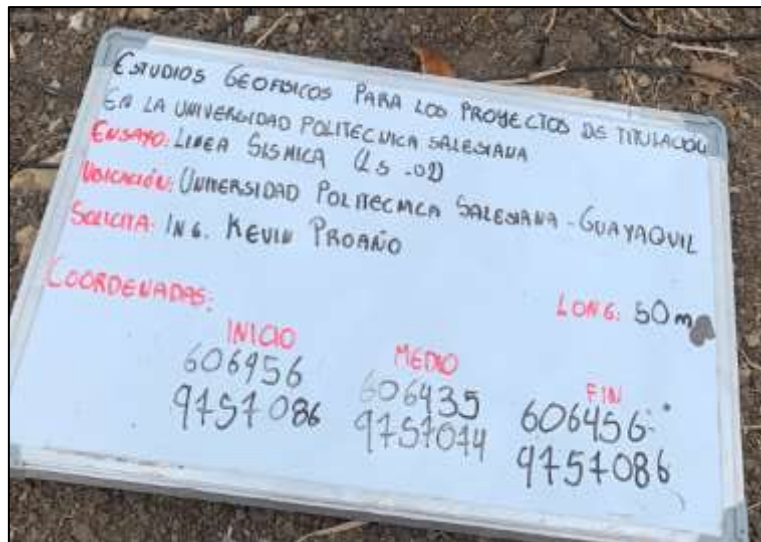
Tabla 11: Coordenadas de ubicación de los ensayos geofísicos MAS W ejecutados en el proyecto LS-02

Fuente: Consultor



Fotografía 6: Zona de ejecución del ensayo geofísico LS-02

Fuente: Consultor



Fotografía 7: Coordenadas de ejecución del ensayo geofísico sísmico LS-02  
Fuente: Consultor

### 3.9.1 ENSAYO SÍSMICO DE REFRACCIÓN LS – 02

Las siguientes figuras exponen los resultados del procesamiento del segundo ensayo sísmico ejecutado. Se observa las dromocronas generadas, el mapa de velocidades de onda que se obtuvo del subsuelo, así como el perfil geofísico estratigráfico inferido. Los gráficos presentados fueron obtenidos al procesar la información de campo con el programa especializado Geostru EasyReftact. También se observa los parámetros elásticos determinados por el programa al procesar la información.

En este segundo ensayo aplicando el método sísmico se observa que:

- Desde la cota de exploración se presenta una primera capa de material concordante con suelos arcillosos muy húmedos, materiales de origen marino de alta relación de vacíos. Su  $V_p = 248.85$  m/s mientras que la velocidad de onda cortante que calcula el programa es  $V_s = 141.72$  m/s. Su potencia es variable entre 0 m y 4 m aproximadamente, suelos tipo relleno, susceptibles a cambios volumétricos
- El segundo estrato se presenta como un material duro, posiblemente arcillas arenosas muy rígidas  $V_p = 848.16$  m/s y la  $V_s = 248.85$  m/s

La zona expone una alta presencia de saturación, probablemente entre 1.00 m y 2.00 m de profundidad.

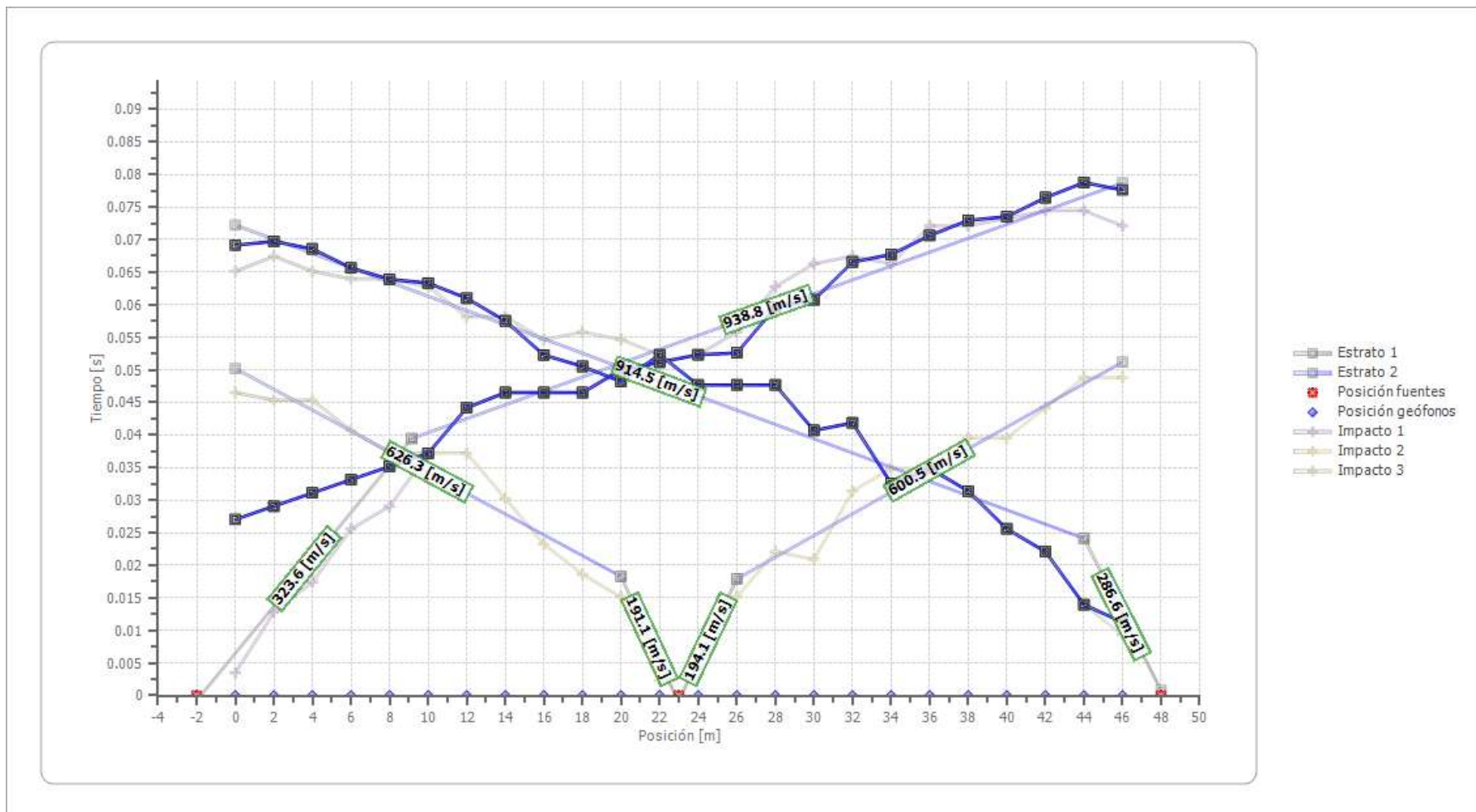


Figura 17: Dromocronas generadas del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR – 02  
Fuente: Consultor / Easy Refract

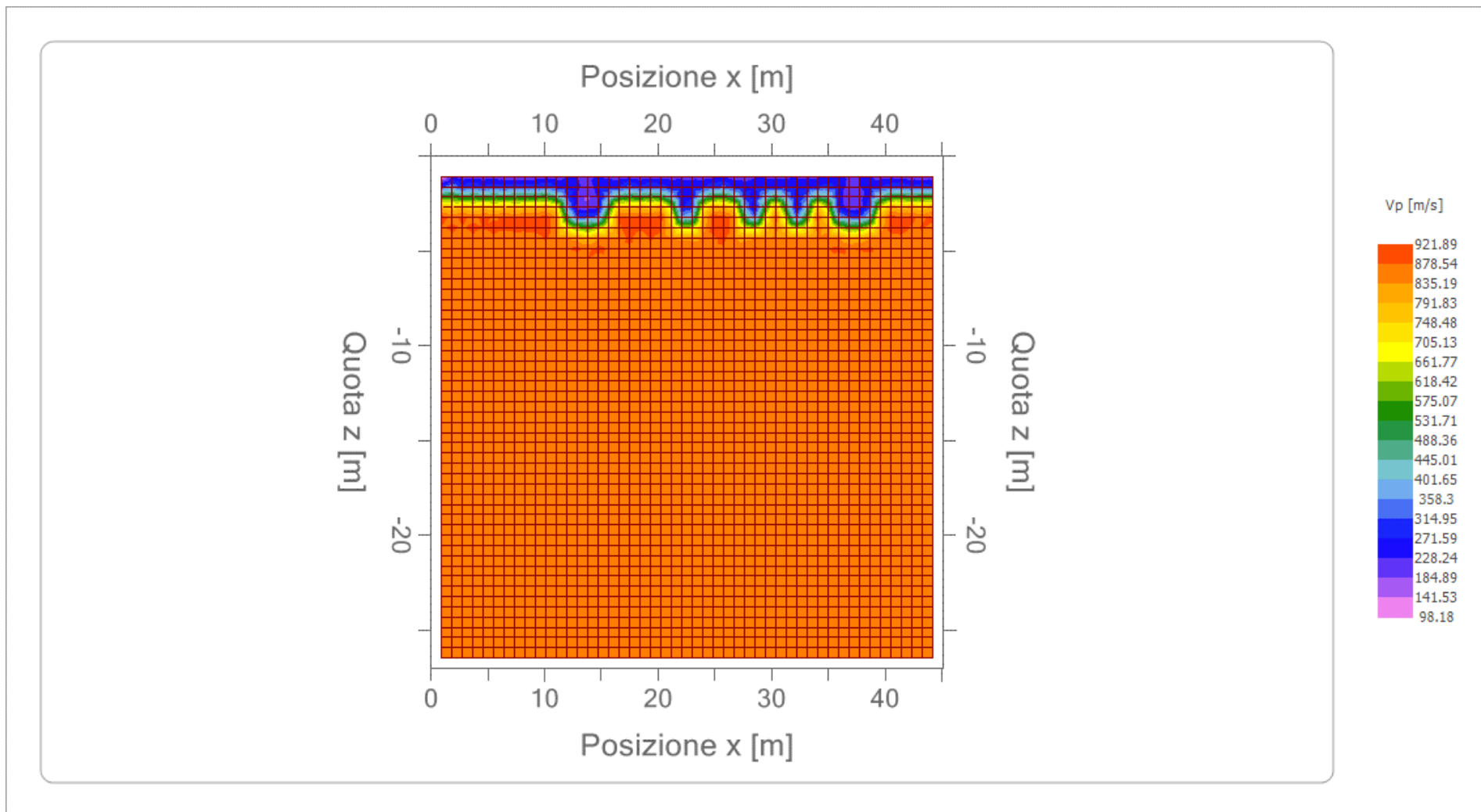


Figura 18: Tomografía sísmica de refracción LSR - 02  
Fuente: Consultor / Easy Refract

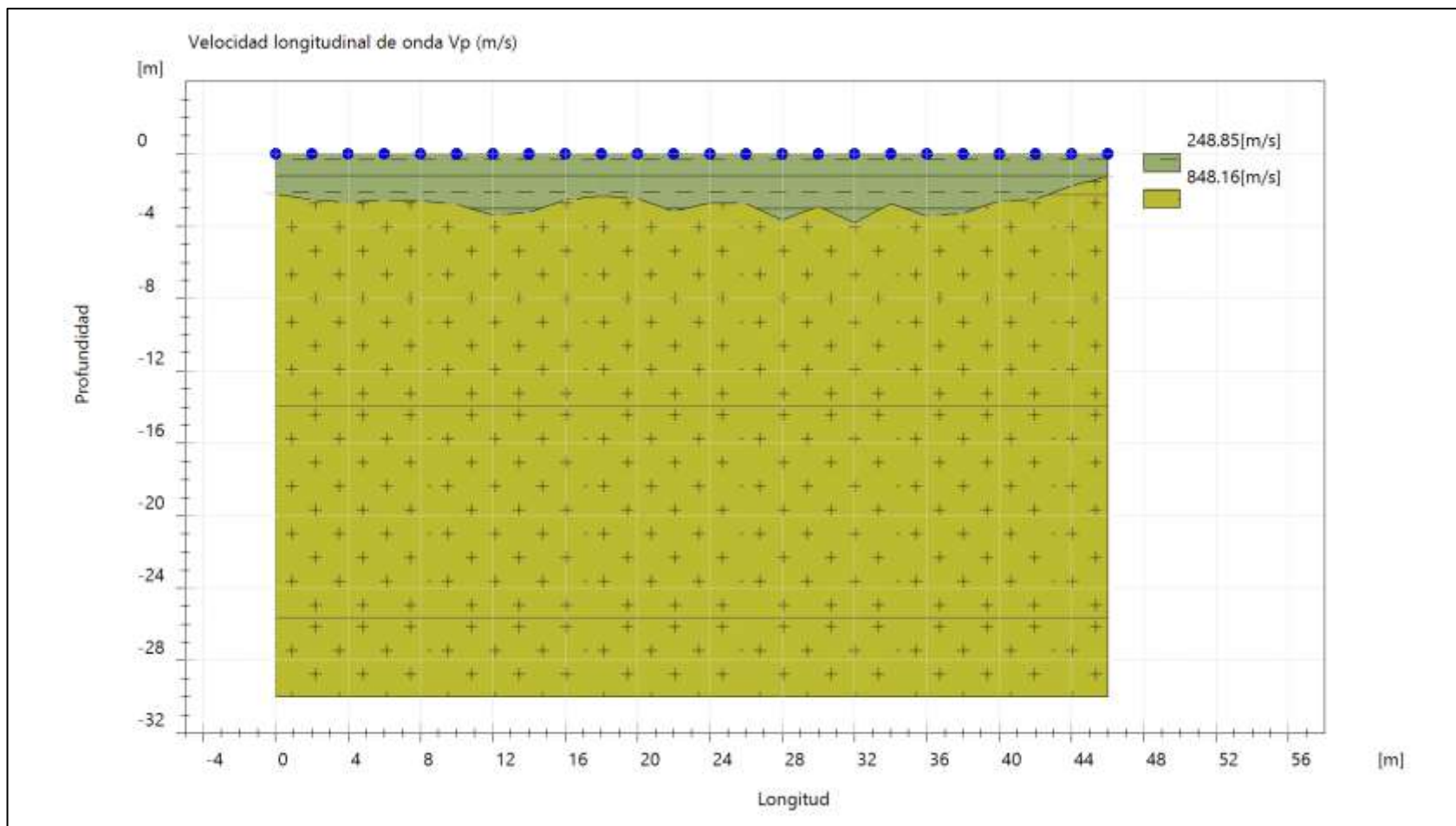


Figura 19: Perfil geofísico estratigráfico inferido, generado del ensayo geofísico sísmico de refracción LSR - 02, velocidades de onda Vp  
Fuente: Consultor / Easy Refract

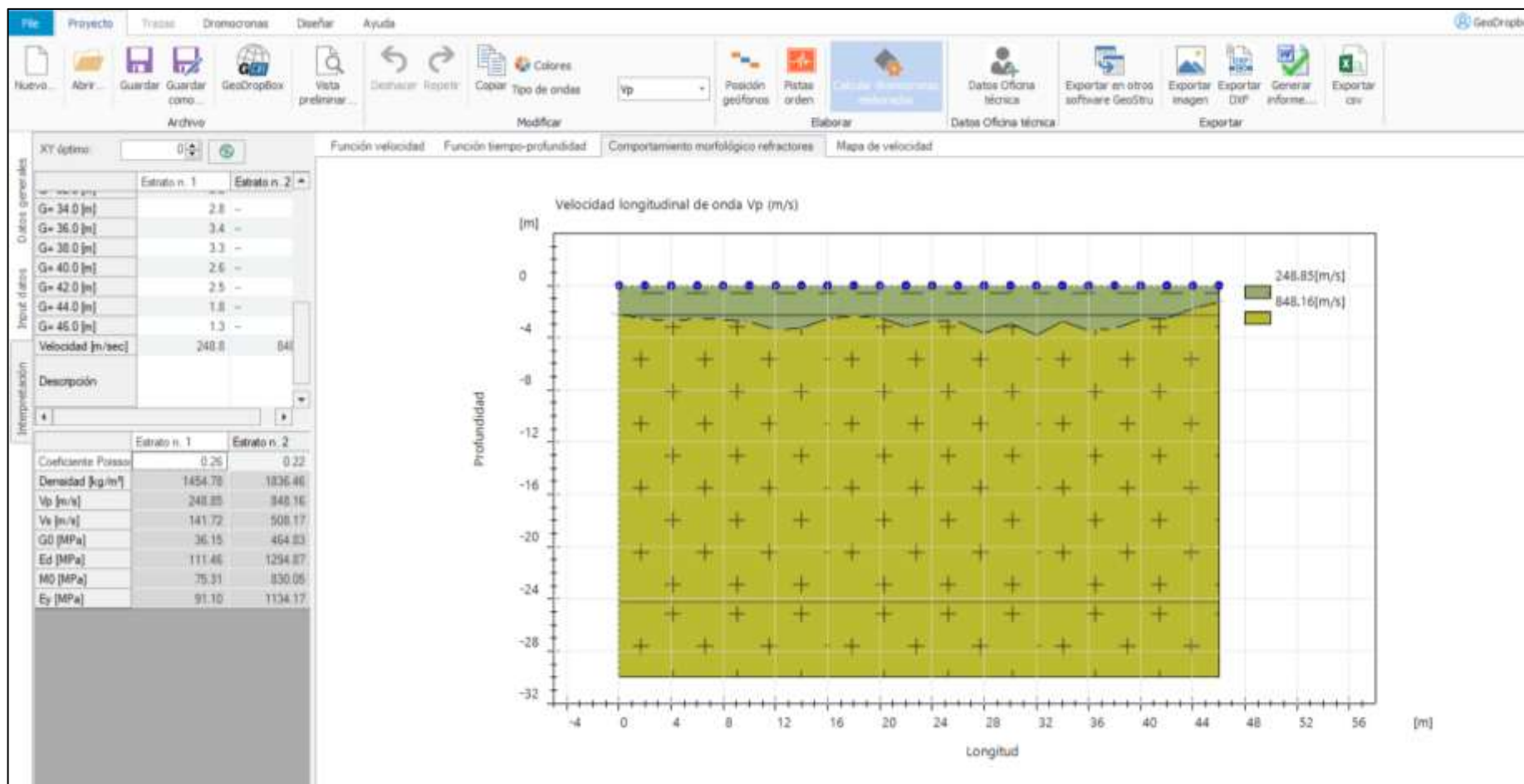


Tabla 12: Parámetros geomecánicos y elásticos inferidos del ensayo LS- 02  
Fuente: Software EasyReftact.

### 3.9.2 ENSAYO SÍSMICO ReMI + MAS W LS-02

Las siguientes figuras exponen el sismograma generado en estos ensayos, la curva de dispersión, el perfil de velocidad así como la interpretación en 1 D fruto del ensayo geofísico ReMI + MAS W

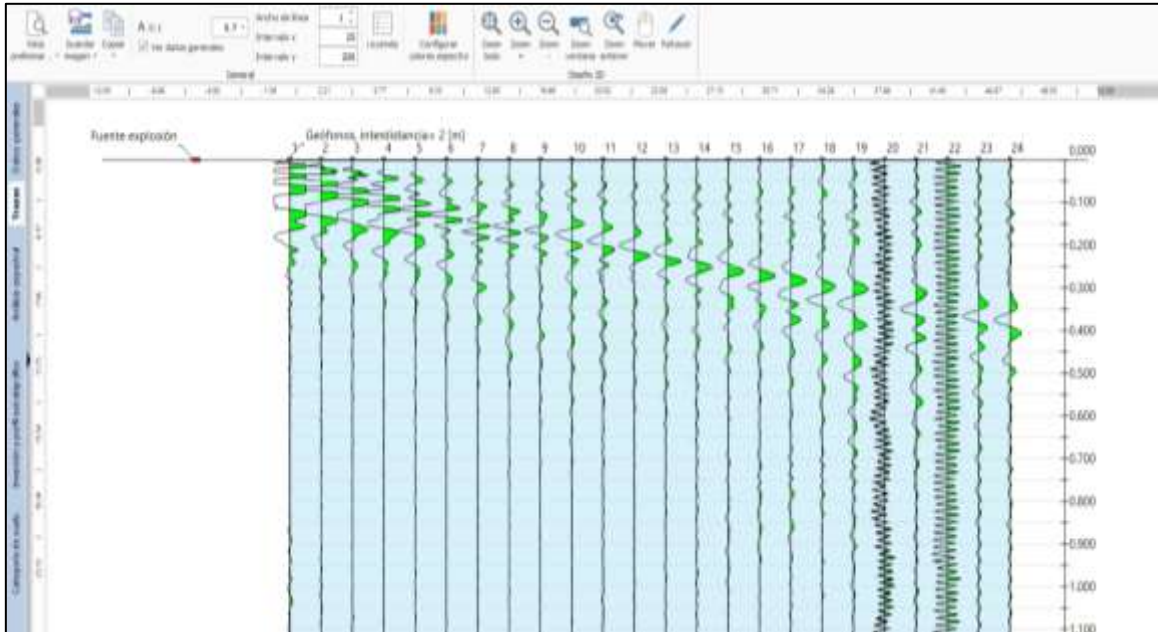


Figura 20: Sismograma de la LS – 2 y longitud de exploración de línea sísmica generada  
Fuente: Equipo consultor

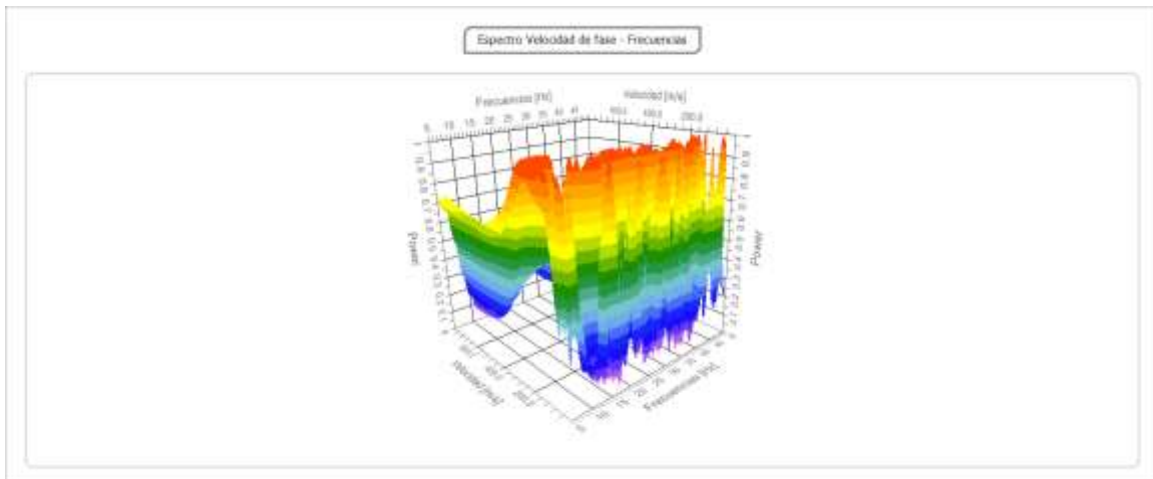


Figura 21: Espectro de velocidad – frecuencia de la Curva de dispersión obtenida para ReMI + MAS W / LS – 2 en 3D  
Fuente: Software Easy MAS W

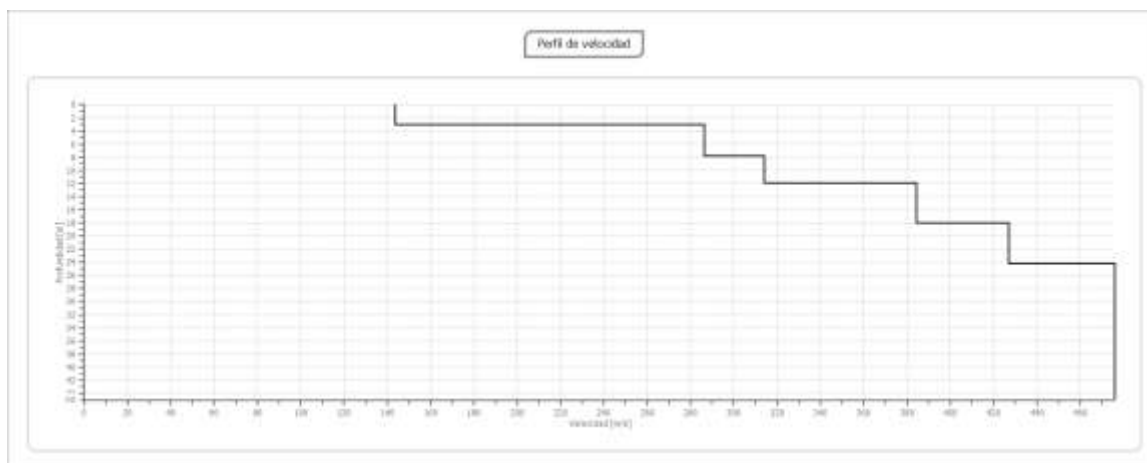


Figura 22: Tendencias de Perfil de velocidad MAS W hasta 30 m de profundidad / MAS W – 02  
Fuente: Software Easy MAS W

En función del procesamiento de información, la segunda línea generada por el método MAS W presenta hasta los 30 m de profundidad, cuatro capas geofísicas en función de sus velocidades de onda. Las velocidades de onda y los estratos inferidos son los siguientes:

- Desde la cota de exploración, hasta los 3.09 m aproximadamente, expone en promedio una  $V_s = 143.49$  m/s. y la  $V_p = 251.96$  m /s. Se presenta como un material con alta relación de vacíos, posiblemente materiales arcillosos muy húmedos, se comportan como rellenos, suelos inestables
- Desde los 3.09 m hasta 11.90 m se infiere un material de mayor consolidación, suelos arcillosos arenosos de baja relación de vacíos.  $V_s = 286.40$  m/s. y la  $V_p = 496.06$  m /s.
- Desde los 11.90 hasta los 24.30 m aproximadamente, se presenta como un material con baja relación de vacíos, materiales rígidos,  $V_s = 712.64$  m/s. y la  $V_p = 426.97$  m /s
- Finalmente, entre los 24.30 m y los 30.00 m se infiere un estrato rígido a roca blanda.  $V_s = 476.21$  m/s. y la  $V_p = 794.81$  m /s

En la tabla siguiente se observa los parámetros geomecánicos determinados para el subsuelo de la línea ejecutada en la zona. Se caracteriza al subsuelo como un material tipo D. La figura siguiente presenta el perfil estratigráfico inferido del ensayo de campo MAS W en 1D. El periodo de vibración del terreno es 0.36

Del ensayo MAS W 01, se resalta que la primera es susceptible a cambios volumétricos e inestabilidad, pudiendo planificarse para cimentaciones pasar este primer estrato

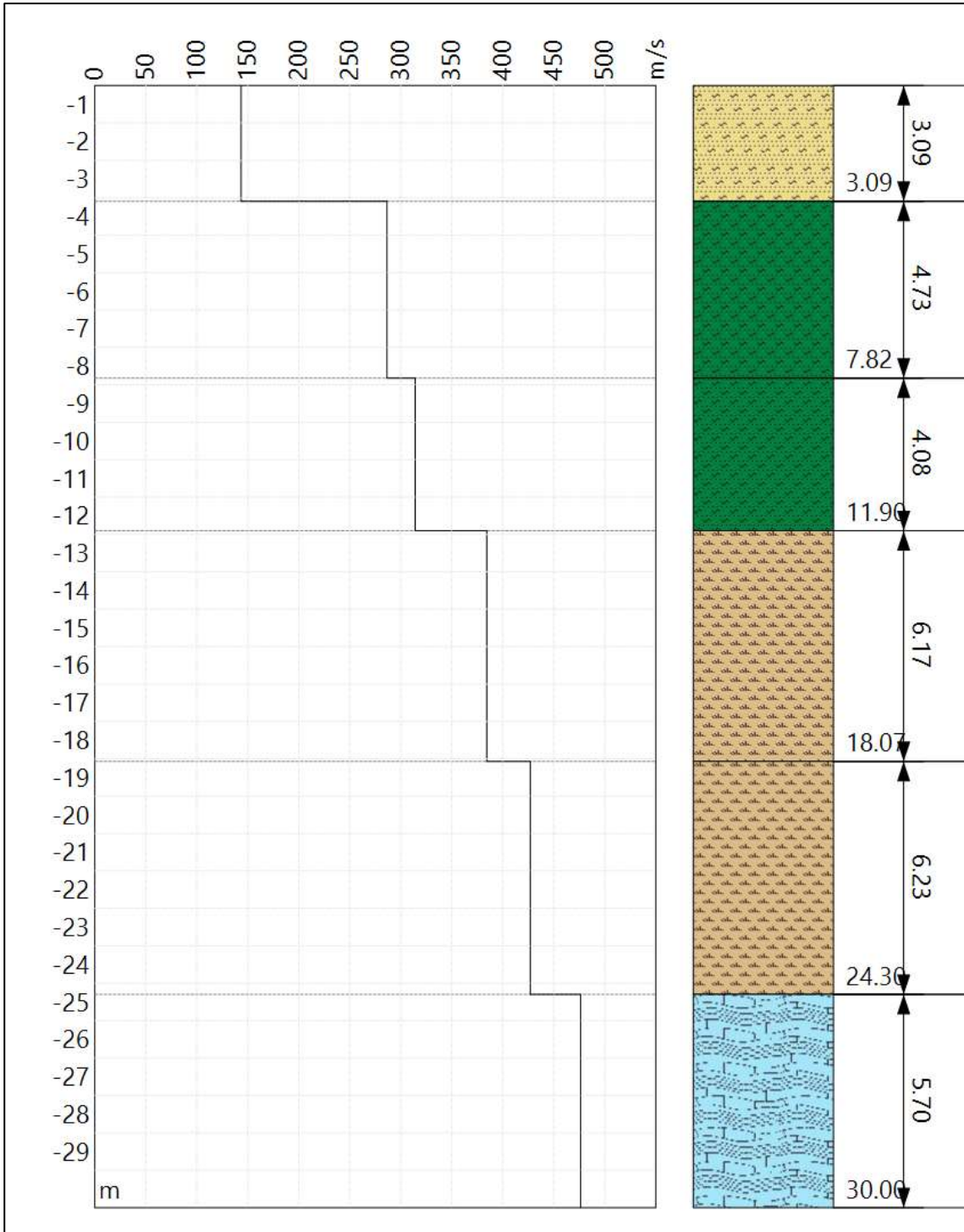


Figura 23: Velocidades de onda cortantes Vs obtenida para ReMI - MAS WLS-02 hasta los 30 m de profundidad  
Fuente: Consultor

ESTUDIO GEOFÍSICO PARA LOS PROYECTOS DE TITULACIÓN EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, GUAYAQUIL.

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				Modulo de corte	Coefficiente Poisson	Módulo Young	Módulo Edométrico	Módulo Bulk	Módulo Balasto	Cohesión	Ángulo de fricción	Periodo Dominante		Perfil Estrato	Perfil V <sub>S30</sub>
	capas presentes	Variación estrato		Potencia estrato (i)	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	di/V <sub>si</sub>	γ	q <sub>a</sub>	q <sub>a</sub>	q <sub>a</sub> (prom)	N referencial	G	ν	E	E <sub>c</sub>	kb	k	C	Φ	T <sub>s</sub>	T <sub>s</sub> prom	Según NEC (2015)	
		[m]	[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>3</sup> ]	KN/m <sup>2</sup>	°	[s]			
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		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	0,36	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	
	Σdi =		30	Σdi /Vs =		0,09059	Vs, media (Vs30)										331,17							

Tabla 13: Parámetros geomecánicos, elásticos, periodo dominante y perfil del terreno, determinados para las capas del subsuelo de la zona del ensayo MAS W – 2.  
Perfil de terreno de acuerdo con la NEC (2015) tipo D.  
Fuente: Consultor

## 5. ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio del peligro sísmico guarda relación entre los parámetros de movimiento de suelo y su periodo de recurrencia; sin embargo, desde el punto de vista ingenieril, lo que interesa es conocer además los niveles de aceleración, velocidad y desplazamiento esperados en el sitio del área de estudio. El peligro sísmico, representa la probabilidad de que un valor dado de intensidad sísmica (aceleración, velocidad o desplazamiento), sea excedido en un lugar durante un periodo de tiempo determinado. Para obtener las intensidades sísmicas esperadas se usan dos metodologías, el método probabilístico y el determinístico, existiendo además metodologías intermedias que se ubican entre los métodos citados.

En el mapa de sismicidad del Ecuador, se observa una acumulación de sismos superficiales hacia el norte de 1° de Latitud Sur, debido posiblemente a la mayor inclinación de la placa oceánica. En cambio, hacia el sur de esta latitud, la sismicidad es más dispersa y sobre todo profunda, lo que implica que a pesar de ser una zona altamente sísmica no se tengan consecuencias catastróficas. Esto implica que la región austral y sur del país, tenga una actividad sísmica moderada debido a la mayor profundidad de los sismos.

De acuerdo con los estudios de regionalizaciones sísmicas, se puede concluir que todos coinciden con las tres regiones que tiene el territorio nacional, la diferencia está que, en cada una de ellas, la subdivisión tiende a diferenciarse. En definitiva, se puede decir que la primera región abarca la zona de subducción, la cordillera costera y la cuenca arco fosa, en definitiva, la Costa; en la zona donde comienza la subducción los sismos son superficiales, con profundidades menores a los 60 Km. y que aumentan la profundidad a medida que la placa penetra en el continente.

Una segunda región corresponde al arco volcánico, que comprende las cordilleras andinas y las diversas cuencas que se forman en su estructura; aquí, los sismos son de profundidad intermedia, existiendo también sismos superficiales producto del fallamiento debido al levantamiento de los Andes.

Una tercera gran región corresponde al cinturón tras arco, con sismos que tienen profundidades mayores a los 150 Km. también se tiene sismicidad superficial hacia el sur de los 2°.

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona sismogénica V, correspondiente a una zona de alta amenaza sísmica. Los sismos que se registran en esta región están relacionados principalmente con el proceso de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, así como con la actividad de diversas fallas corticales activas localizadas en el litoral ecuatoriano. Entre las estructuras más relevantes que influyen en la sismicidad de la zona se encuentran la Falla Daule–Guayaquil, la Falla Puná–Santa Clara y el sistema Pallatanga–Puná, que generan una importante deformación cortical y microsismicidad asociada. En la figura siguiente, se observa el mapa de fallas Cuaternarias que se presentan en el Ecuador; se aprecia al sur del país, el sistema de fallas que influyen en la zona austral y consecuentemente la región en estudio.



Figura 24: Mapa de fallas cuaternarias actuantes en el Ecuador e influencia de la zona en estudio  
Fuente: Egúez et al., 2003

Para la determinación del valor de la aceleración sísmica de diseño, se ha utilizado el mapa de peligros sísmicos elaborado en el año 2011, e incorporado al Código Ecuatoriano de la Construcción NEC 2015. La tabla 14, indica el valor del factor Z en función de las zonas sísmicas en el país.

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

Tabla 14: Valores de la aceleración máxima Z en función de la zona sísmica  
Fuente: NEC 2015

En la figura siguiente, se observa el mapa de peligros sísmicos en aceleraciones, g, para un periodo de retorno de 475 años en el país.

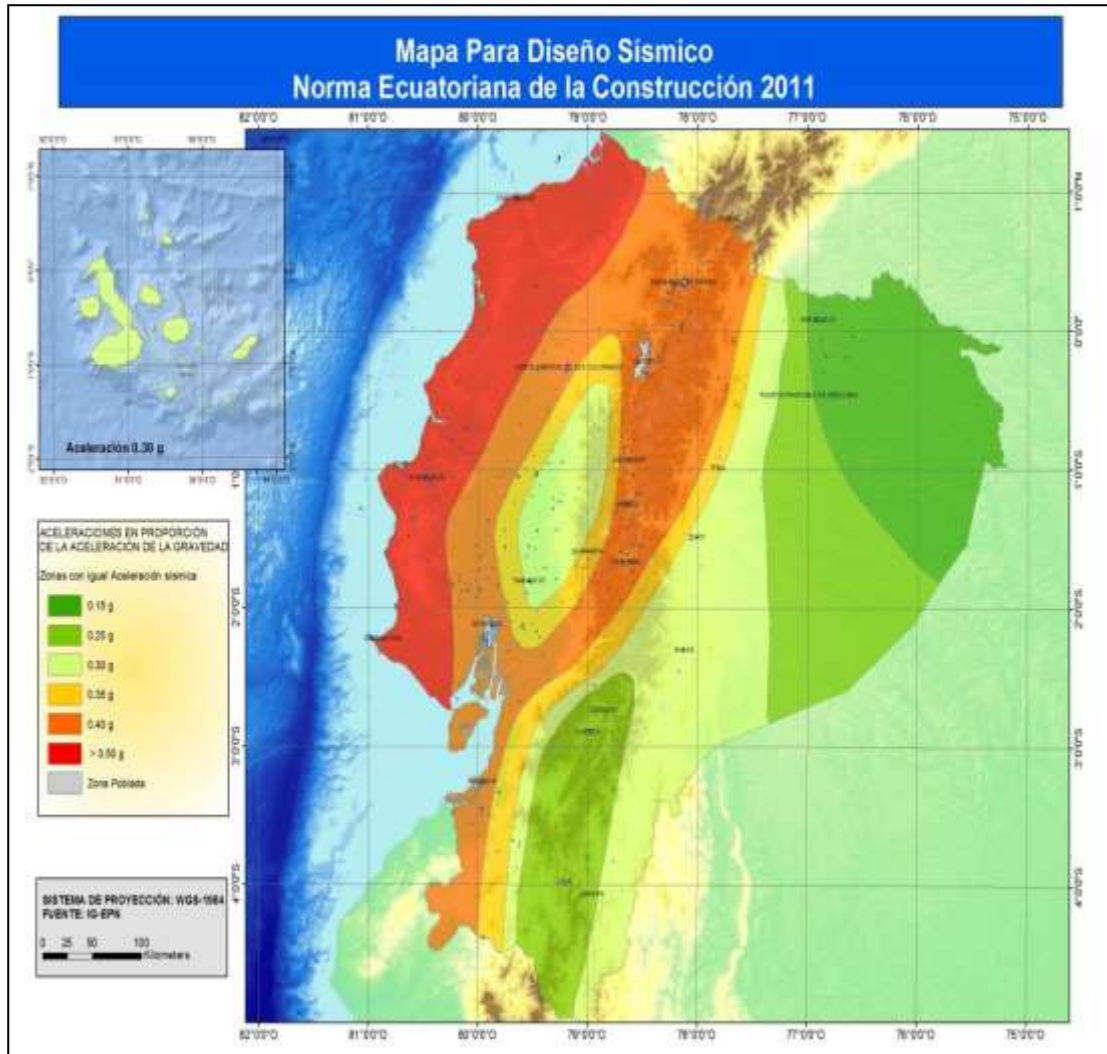


Figura 25: Zonas y aceleraciones sísmicas en el Ecuador  
Fuente: NEC 2015

Para el diseño estructural, por un posible evento sísmico, los factores utilizados se rigen a la NEC, al código NEC - SE - DS, "PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE". En este apartado de la Norma, en el capítulo 3 denominado "PELIGRO SÍSMICO DEL ECUADOR Y EFECTOS SÍSMICOS LOCALES" se describen las diferentes zonas sísmicas del país y el factor de zona Z, que expresa la aceleración máxima esperada en función de un sismo

En función de lo expuesto en la tabla 14, para la zona sísmica de Guayaquil, se presenta un valor de Z igual a 0.40g, correspondiente a la zona V por su ubicación geográfica. Este valor de 0.40 es el mínimo recomendado por la norma para la zona analizada. Para el caso de análisis de estabilidad de taludes, este valor debe ser minorizado conforme expone la normativa de acuerdo con el factor de seguridad de cortante mínimo, siendo un 60% de la aceleración.

## 5.1 PERFIL DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA ONDA DE CORTE $V_s$

Para poder determinar el tipo de perfil en función del tipo de suelo, es necesario determinar la velocidad de onda cortante  $V_s$ , que se obtiene de manera directa de los ensayos de prospección geofísica de sísmica de refracción, principalmente del ensayo MAS W. En el presente estudio, en el capítulo anterior, se determinó que la velocidad de onda cortante hasta los 30 m de profundidad, caracterizo a la zona como perfil Tipo D, con velocidades de onda cortante menores a 360 m/s y mayor a 180 m/s.

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500\text{m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500\text{m/s} > V_s \geq 760\text{m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760\text{m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50,0$
		$S_u \geq 100\text{Kpa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante	$360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50,0 > N \geq 15,0$
		$100\text{Kpa} > S_u \geq 50\text{Kpa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad cortante, o	$V_s < 180\text{m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas	$IP > 20$
		$w \geq 40\%$
		$S_u < 50\text{Kpa}$
F	Perfiles de suelo tipo F que requieran una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista.	

Tabla 15: Perfil de terreno seleccionado para la zona de estudio  
Fuente: NEC. 2015

## 5.2 COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO

Una vez determinado el tipo de suelo, la normativa reguladora presenta los valores del coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto  $F_a$ , en función del tipo de perfil de subsuelo y el factor  $z$ . De acuerdo con la Tabla 16, para un perfil de suelo tipo D y el factor  $z$  de 0.40, se tiene un valor  $F_a$  de 1.2.

Tipo de Perfil del Subsuelo	Factor Z					
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥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	1.20	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97

Tabla 16: Factor de amplificación ( $F_a$ ) en función de zona ( $z$ ) y el perfil del suelo  
Fuente: NEC-SE-DS, 2015.

Para un período de retorno de 475 años se considera una aceleración  $PGA_{roca}$  equivalente al factor  $Z$ , es decir, 0.40 g; obteniendo un valor de  $PGA_{suelo}$  de 0.48 g. De acuerdo con la NEC-15, para cálculos pseudoestáticos de estabilidad global se recomienda asumir el 60% del valor de  $PGA_{suelo}$ , de esta forma se obtiene un coeficiente sísmico horizontal  $k_h$  de 0.288 g. Valor a ser empleando en el análisis de estabilidad del talud o diseño de estructuras.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- a. De acuerdo con la geología de la zona, el material dominante pertenece a Depósitos Estuarinos, conformados por arcillas y limos de alta compresibilidad, con intercalaciones de arenas finas y niveles orgánicos. Estos sedimentos se originaron en ambientes de transición fluvio-marina, característicos de los estuarios y zonas de marea del litoral de Guayaquil, donde la acción combinada del río y el mar ha generado una secuencia de suelos blandos, saturados y de baja densidad.
- b. El predio en estudio se localiza en una zona de mediana densidad poblacional, sobre el cual se planifica el emplazamiento de obras civiles, siendo los ensayos geofísicos, métodos indirectos complementarios a los ensayos geotécnicos, métodos indirectos avalados en la NEC 2015
- c. El primer ensayo denominado ensayo geofísico sísmico de refracción generado, está amparado en la normativa ASTM D 5777, permite determinar la velocidad de onda longitudinal que conforma el terreno; en función de este parámetro, es posible calcular la velocidad de onda cortante del subsuelo, así como parámetros elásticos de los estratos que conforman el subsuelo, a más de ello, faculta determinar las formas del subsuelo y sus capas en 2 D. Para este ensayo se utilizaron geófonos de 10 Hz; mientras que, el ensayo de Refracción de Microtremores sumado al Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (ReMI + MAS W), permite determinar la vibración del terreno por efecto ambiental, a diferencia del ensayo geofísico sísmico, este ensayo se realizó con geófonos de 4.5 Hz, permitiendo conocer el subsuelo en 1 D; al correlacionar la refracción y la geología de la zona con el ensayo MAS W faculta además de determinar la velocidad de onda cortante ( $V_s$ ), calcular la velocidad de onda cortante promedio hasta 30 m de profundidad, permitiendo encasillar al subsuelo en un tipo de perfil acorde a lo expuesto en la NEC (2015). También se determinó por este segundo método, el periodo de vibración del subsuelo, al igual que parámetros elásticos y geomecánicos de las capas del subsuelo, utilizados en el diseño sismoresistente de estructuras.
- d. Del ensayo geofísico 01, se resalta que la primera capa expone una potencia que llega hasta casi 3.38 se conforma con materiales de altas relaciones de vacíos, posiblemente arcillas saturadas. Su capacidad admisible es próxima a 1.1 Kg/cm<sup>2</sup>. Bajo esta capa hasta los 9.36 m aproximadamente se infiere un estrato arcilloso arenoso de mayor consolidación. Su capacidad admisible es próxima a 1.93 kg/cm<sup>2</sup>. Bajo esta capa se infiere un material hasta los 21.15 m caracterizado por suelos rígidos duros con capacidades admisibles próximas a las 2.97 kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, como estrato base un material tipo lutita o limolita cuya capacidad admisible es próxima a 3.55 Kg/cm<sup>2</sup>
- e. Del primer ensayo se observa que la primera capa es susceptible a cambios volumétricos cuando se les somete a cargas. Probabilidad de nivel freático superficial entre 1.00 m y 2.00 m
- f. Del ensayo geofísico 02, se resalta que la primera capa expone una potencia que llega hasta casi 3.09 se conforma con materiales de altas relaciones de vacíos,

posiblemente arcillas saturadas. Su capacidad admisible es próxima a 0.85 Kg/cm<sup>2</sup>. Bajo esta capa hasta los 11.90 m aproximadamente se infiere un estrato arcilloso arenoso de mayor consolidación. Su capacidad admisible es próxima a 1.91 kg/cm<sup>2</sup>. Bajo esta capa se infiere un material hasta los 24.30 m caracterizado por suelos rígidos duros con capacidades admisibles próximas a las 2.61 kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, como estrato base un material rígido cuya capacidad admisible es próxima a 2.96 Kg/cm<sup>2</sup>

- g. Del segundo ensayo se observa que la primera capa es susceptible a cambios volumétricos cuando se les somete a cargas. Probabilidad de nivel freático superficial entre 1.00 m y 2.00 m, siendo compatible este resultado con el primer ensayo generado
- h. Se recalca que el método aplicado, es un método normado indirecto; sin embargo, por la geología de la zona, el predio se localiza en un área estable, sin riesgos y factible de construir edificaciones de acuerdo con la NEC (2015)



## BIBLIOGRAFÍA

- Ángeles, D. R. (2013). Compendio de GEOLOGIA General. Lima: MACRO
- Braja M.: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, THOMSON LEARNING, 594 (1999).
- Braja M.: Principios de Ingeniería de Cimentaciones. THOMSON LEARNING, 594 (2001)
- Bowles, J. (1982). Foundation analysis and design – International student edition, Third Edition. McGraw-Hill International Book Company, pp 130-159.
- Gonzales, A. (1999). Estimativos de parámetros de resistencia al corte con el SPT. X Jornadas Geotécnica de la Ingeniería Colombiana. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2009). Chile
- Hoek, E. and Bray, J. (1977). Rock Slope Engineering, 1 st edn, Inst. Mining and Metallurgy, London, UK.
- Hoek, E. and Bray, J. (2005). Rock Slope Engineering - Civil and Mining. Taylor & Francis e-Library, New York, NY 10016, pp 176-187.
- Hoek, E. and Brown, E. (1988). The Hoek -Brown failure criterion, a 1988 update. Proc. 15a Canadian Rock Mechanics Symposium. Univ. Toronto.
- L. I. G. d. Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño y C. Oteo, INGENIERÍA GEOLÓGICA, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, 2002.
- López, R. (2003). Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires
- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). Capítulo V. Geotécnica y Cimentaciones
- Núñez Del Arco. GEOLOGIA DEL ECUADOR. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 253, (2003)
- Patrone Y Prefumo. La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones. Métodos de prevención y control . Primeras Jornadas de Ingeniería de Cimentaciones. 2005
- PDOT. Cantón Guayaquil 2018
- Programa de Financiamiento para Gestión de Riesgos Del Banco del Estado, 2010
- SUAREZ, Jaime. Deslizamientos, ANALISIS GEOTECNICO, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. 582, (1998).