

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de ciencias e ingenierías**

**Análisis, evaluación y comparación del comportamiento sísmico de edificios de concreto reforzado y acero estructural de diferentes alturas en Quito, Ecuador, considerando un conjunto de acelerogramas seleccionados de diferente mecanismo focal y tipo de suelo**

**Christian Daniel Pérez Cordero**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Civil

Quito, 10 de diciembre de 2024

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

## **Colegio de Ciencias e Ingenierías**

### **HOJA DE CALIFICACIÓN**

### **DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Análisis, evaluación y comparación del comportamiento sísmico de edificios de concreto reforzado y acero estructural de diferentes alturas en Quito, Ecuador, considerando un conjunto de acelerogramas seleccionados de diferente mecanismo focal y tipo de suelo**

**Christian Daniel Pérez Cordero**

**Nombre del profesor**

**Fabrizio Yépez, PhD**

**Título académico**

**Supervisor de trabajo**

Quito, 10 de diciembre de 2024

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Christian Daniel Pérez Cordero

Código: 00209698

Cédula de identidad: 1725998999

Lugar y fecha: Quito, 10 de diciembre de 2024

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis comparativo detallado de la respuesta dinámica de dos edificaciones modeladas conforme a sus planos estructurales respectivos, correspondientes a proyectos reales en Quito, Ecuador. Ambas, diseñadas como sistemas estructurales mixtos, donde se combinan las propiedades del hormigón armado junto con las prestaciones de la estructura metálica, siendo una representación de la realidad constructiva en la región. La primera es una estructura rectangular de seis niveles sobre el nivel del suelo, denominada Edificio A, mientras que la segunda es una estructura semicircular de dos niveles sobre el nivel del suelo, denominada Edificio B. Las evaluaciones se realizaron con el software ETABS, empleando acelerogramas escalados que representan diversos mecanismos focales, basados en datos históricos de actividad sísmica a nivel mundial.

El estudio se desarrolla en el contexto del riesgo sísmico global, centrado en edificaciones diseñadas para funcionar en Quito, una ciudad situada en una zona altamente sísmica debido a la interacción de placas tectónicas en el continente. Las estructuras analizadas se proyectaron considerando las particularidades geográficas y geológicas de la ciudad y se sometieron a simulaciones basadas en una extensa base de datos de sismos. Estas simulaciones incluyeron acelerogramas representativos de diversos mecanismos focales, obtenidos de distintas regiones del mundo.

A través de este enfoque, se examinan las variaciones en el comportamiento dinámico de ambas estructuras, poniendo en evidencia la influencia del tipo de suelo y mecanismo focal de los eventos sísmicos sobre la respuesta en el comportamiento dinámico. Las conclusiones

proporcionan resultados sobre las diferencias en la respuesta sísmica en términos de desplazamientos, derivas y cortante basal de cada edificación con cada registro sísmico, aportando información relevante para comprender mejor la influencia de los mecanismos focales y el tipo de suelo en el comportamiento dinámico de las estructuras.

**Palabras clave:** Respuesta dinámica, mecanismos focales, Quito-Ecuador, análisis comparativo, hormigón armado, acero estructural, acelerogramas, desplazamientos, derivas, cortante basal, tipo de suelo.

## ABSTRACT

This paper presents a detailed comparative analysis of the dynamic response of two buildings modeled according to their respective structural plans, corresponding to actual projects in Quito, Ecuador. Both, designed as mixed structural systems, where the properties of reinforced concrete are combined with the performance of the steel structure, being a representation of the construction reality in the region. The first is a rectangular structure with six levels above ground level, called Building A, while the second is a semicircular structure with two levels above ground level, called Building B. The evaluations were carried out with the ETABS software, using scaled accelerograms that represent various focal mechanisms, based on historical data of seismic activity worldwide.

The study is developed in the context of global seismic risk, focused on buildings designed to operate in Quito, a city located in a highly seismic zone due to the interaction of tectonic plates on the continent. The structures analyzed were designed taking into account the geographic and geological particularities of the city and were subjected to simulations based on an extensive database of earthquakes. These simulations included representative accelerograms of various focal mechanisms, obtained from different regions of the world.

Through this approach, the variations in the dynamic behavior of both structures are examined, highlighting the influence of the soil type and focal mechanism of the seismic events on the response in the dynamic behavior. The conclusions provide results on the differences in the seismic response in terms of displacements, drifts and base shear of each building with each

seismic record, providing relevant information to better understand the influence of the focal mechanisms and the type of soil on the dynamic behavior of the structures.

Keywords: Dynamic response, focal mechanisms, Quito-Ecuador, comparative analysis, reinforced concrete, structural steel, accelerograms, displacements, drifts, basal shear, type of soil.

## TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	20
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: .....	30
PREGUNTA PRINCIPAL PARA RESOLVER: .....	30
OBJETIVOS: .....	30
ALCANCE Y LIMITACIONES: .....	31
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	34
MECANISMOS FOCALES SÍSMICOS Y SISMICIDAD EN QUITO .....	34
CONSIDERACIONES PARA EL MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS.....	39
Edificación A: .....	39
Edificación B: .....	42
MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN ETABS: ENFOQUES Y MÉTODOS .....	45
CONSIDERACIONES DE MODELAMIENTO EN AMBAS ESTRUCTURAS: .....	50
CAPÍTULO 3: REGISTROS SÍSMICOS Y CONSIDERACIONES .....	51
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	59
EDIFICACIÓN A A 0.2 G: .....	60
Falla tipo deslizamiento: .....	60
Falla tipo inversa:.....	62
Falla tipo normal: .....	63
EDIFICACIÓN A A 0.5 G: .....	64
Falla tipo deslizamiento: .....	64
Falla tipo inversa:.....	66
Falla tipo normal: .....	68
EDIFICACIÓN B A 0.2 G: .....	69
Falla tipo deslizamiento: .....	69

	10
Falla tipo inversa:.....	71
Falla tipo normal:.....	72
EDIFICACIÓN B A 0.5 G: .....	74
Falla tipo deslizamiento:.....	74
Falla tipo inversa:.....	75
Falla tipo normal:.....	77
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	79
EDIFICIO A A 0.2 G:.....	79
EDIFICIO A A 0.5 G:.....	84
Resumen comparativo del Edificio A:.....	89
EDIFICIO B A 0.2 G:.....	91
EDIFICIO B A 0.5 G:.....	96
Resumen comparativo del Edificio B:.....	101
Resumen comparativo de ambas estructuras: .....	102
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES .....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de perfiles de suelo según NEC 2015 (2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf, s. f.) .....	51
Tabla 2: Registros sísmicos utilizados clasificados según su mecanismo focal de falla tipo deslizamiento, magnitud de 6 a 8, y tipos de suelo.....	53
Tabla 3: Registros sísmicos utilizados clasificados según su mecanismo focal de falla tipo inversa, magnitud de 6 a 8, y tipos de suelo. ....	53
Tabla 4: Registros sísmicos utilizados clasificados según su mecanismo focal de falla tipo normal, magnitud de 6 a 8, y tipos de suelo.....	54
Tabla 8: Tabla comparativa de valores máximos en la respuesta dinámica del Edificio A escalado en 0.2 g PGA y 0.5 g PGA. ....	89
Tabla 9: Tabla comparativa de valores máximos en la respuesta dinámica del Edificio B escalado en 0.2 g PGA y 0.5 g PGA. ....	101
Tabla 10: Tabla comparativa de valores máximos en la respuesta dinámica del Edificio A y B escalados en 0.2 g PGA y 0.5 g PGA. ....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Contexto geodinámico de placas tectónicas en la región sudamericana (López Hurtado, 2019). .....	21
Figura 2: Mapa de la región ecuatoriana donde se identifica el sistema de fallas activo Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná (CCPP) (Alvarado et al., 2014). .....	22
Figura 3: Mapa de la provincia de Pichincha, Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q.) (Ecuador Noticias, s. f.). .....	24
Figura 4: c) Vista computarizada tridimensional de la cuenca de Quito en el contexto de la depresión interandina (Alvarado et al., 2014). .....	25
Figura 5: Distribución de la microsismicidad local en el área de Quito, profundidad de los terremotos < 20 km. El ancho del perfil A-A' es de 12 km (Alvarado et al., 2014). .....	27
Figura 6: b) Vista fotográfica de la ciudad de Quito en la depresión interandina incluyendo los tramos El Batán, Ilumbisí y Puengasí (Alvarado et al., 2014). .....	29
Figura 7: Esquema explicativo del movimiento del bloque techo sobre el bloque piso a través del plano de falla. En el esquema se definen los ángulos que definen la geometría de la falla y el movimiento durante un terremoto (Mecanismos Focales - Instituto Geofísico - EPN, s. f.). .....	35
Figura 8: Representación gráfica de una falla normal, donde el bloque superior del plano de falla se desliza hacia abajo, es decir, de manera normal (Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas, s. f.). .....	36
Figura 9: Representación gráfica de una falla inversa, donde el bloque superior del plano de falla se desliza hacia arriba, es decir, de manera inversa (Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas, s. f.). .....	36

Figura 10: Representación gráfica de una falla lateral dextral y sinistral, donde el movimiento lateral de la placa está en función del sentido horario o antihorario (Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas, s. f.).....	37
Figura 11: Plano estructural del edificio A, presentación de medidas y ubicación de muros estructurales. ....	40
Figura 12: Plano estructural del edificio A, presentación de la geometría de los niveles en general y disposición de vigas, columnas y muros estructurales. ....	40
Figura 13: Plano estructural del edificio A, geometría y disposición de elementos estructurales en torreta del último nivel.....	41
Figura 14: Plano estructural del edificio A, presentación de secciones transversales de columnas. ....	41
Figura 15: Plano estructural del edificio B, presentación de geometría de la estructura de hormigón armado, medidas y disposición de cadenas, columnas y muros.....	43
Figura 16: Plano estructural del edificio B, presentación de secciones transversales de muros y cadenas sobre muros de hormigón armado. ....	43
Figura 17: Plano estructural del edificio B, disposición de vigas y secciones transversales de hormigón armado. ....	44
Figura 18: Plano estructural del edificio B, secciones longitudinales de vigas de hormigón armado y sección transversal de losa aligerada. ....	44
Figura 19: Plano estructural del edificio B, disposición de secciones de estructura metálica y geometría.....	45
Figura 20: Plano estructural del edificio B, secciones transversales de vigas metálicas. ....	45
Figura 21: Vista 3D del modelo del Edificio B en ETABS, según planos estructurales. ....	46
Figura 22: Vista frontal en 3D del Edificio B en ETABS. ....	47
Figura 23: Vista en planta del modelo del Edificio B.....	47

Figura 24: Vista en 3D del modelo de la Edificación A en ETABS, según planos estructurales. ....	48
Figura 25: Vista posterior en 3D de la Edificación A en ETABS, según planos estructurales. ....	49
Figura 26: Vista en planta del nivel típico del Edificio A en ETABS. ....	49
Figura 27: Utilización de Degtra para reorganizar y escalar datos. ....	55
Figura 28: Factor de escala de ejemplo para obtener el PGA a 0.2 g. ....	55
Figura 29: Acelerograma organizado y escalado a 0.2 g. ....	58
Figura 30: Presentación de lectura de registro sísmico escalado a 0.2 g en ETABS. ....	58
Figura 31: Presentación de resultados de desplazamientos máximos en cada nivel para acelerogramas en ETABS. ....	59
Figura 32: Presentación de resultados de derivas en cada nivel para acelerogramas en ETABS. ....	59
Figura 33: Presentación de resultados de cortante basal para acelerogramas en ETABS. ....	60
Figura 34: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (DSR: Desplazamiento Suelo Rígido, DSM: Desplazamiento Suelo Medio, DSB: Desplazamiento Suelo Blando).....	60
Figura 35: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (DSR: Desplazamiento Suelo Rígido, DSM: Desplazamiento Suelo Medio, DSB: Desplazamiento Suelo Blando).....	61
Figura 36: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (DSR:	

Desplazamiento Suelo Rígido, DSM: Desplazamiento Suelo Medio, DSB: Desplazamiento Suelo Blando).....	61
Figura 37: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (ISR: Inversa Suelo Rígido, ISM: Inversa Suelo Medio, ISB: Inversa Suelo Blando).....	62
Figura 38: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (ISR: Inversa Suelo Rígido, ISM: Inversa Suelo Medio, ISB: Inversa Suelo Blando).....	62
Figura 39: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (ISR: Inversa Suelo Rígido, ISM: Inversa Suelo Medio, ISB: Inversa Suelo Blando).....	63
Figura 40: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (NSR: Normal Suelo Rígido, NSM: Normal Suelo Medio, NSB: Normal Suelo Blando).....	63
Figura 41: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	64
Figura 42: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	64
Figura 43: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	65
Figura 44: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	65
Figura 45: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	66

Figura 46: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.....	66
Figura 47: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.....	67
Figura 48: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	67
Figura 49: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.....	68
Figura 50: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	68
Figura 51: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	69
Figura 52: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	69
Figura 53: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	70
Figura 54: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	70
Figura 55: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	71
Figura 56: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	71
Figura 57: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	72

Figura 58: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	72
Figura 59: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	73
Figura 60: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	73
Figura 61: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	74
Figura 62: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	74
Figura 63: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	75
Figura 64: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	75
Figura 65: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	76
Figura 66: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	76
Figura 67: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	77
Figura 68: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	77
Figura 69: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	78

Figura 70: Figura comparativa entre respuestas máximas de desplazamientos máximos en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA .....	79
Figura 71: Figura comparativa entre respuestas máximas de derivas máximas en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	81
Figura 72: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	82
Figura 73: Figura comparativa entre respuestas máximas de desplazamientos máximos en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	84
Figura 74: Figura comparativa entre respuestas máximas de derivas máximas en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.....	86
Figura 75: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.....	87
Figura 76: Figura comparativa entre respuestas máximas de desplazamientos máximos en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA. ....	91
Figura 77: Figura comparativa entre respuestas máximas de derivas máximas en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	92

Figura 78: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.....	94
Figura 79: Figura comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	96
Figura 80: Figura comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA. ....	98
Figura 81: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.....	99

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes y justificación:**

La ciudad de Quito, ubicada en una región de alto peligro sísmico, se encuentra en una zona geo-dinámicamente compleja debido a la existencia de varios fenómenos tectónicos de gran escala y alcance. Uno de los más relevantes, debido a su magnitud, frecuencia e impacto directo en la región, es el fenómeno de subducción. La subducción es un proceso que ocurre naturalmente cuando una placa tectónica se desliza y se hunde por debajo de otra. En el caso de Ecuador, la Placa de Nazca se desliza por debajo de la Placa Sudamericana a lo largo de la costa del país. Esta interacción genera una enorme acumulación de energía, que eventualmente se libera en forma de terremotos por subducción y también terremotos corticales en la sierra, principalmente. Este proceso es continuo y puede provocar tanto sismos pequeños como grandes terremotos, dependiendo de la cantidad de energía liberada (Alvarado et al., 2014).

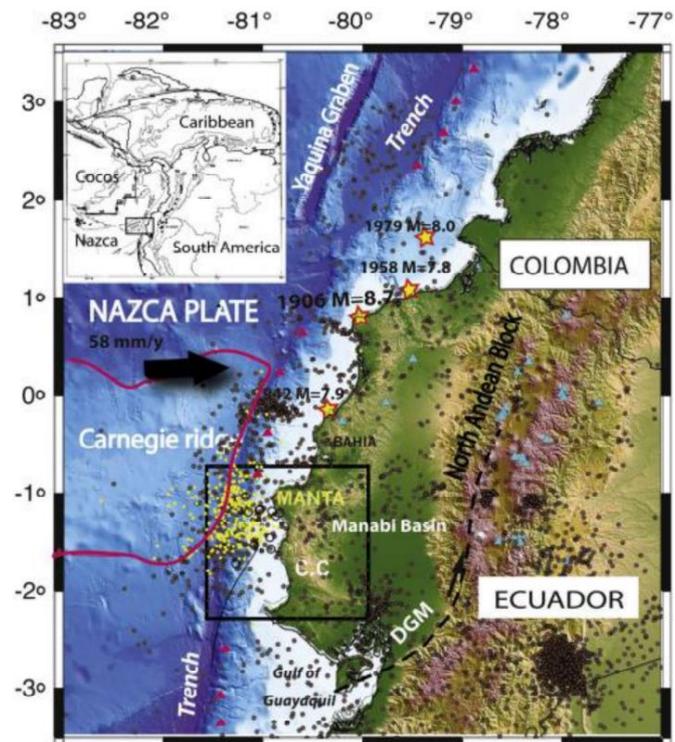


Figura 1: Contexto geodinámico de placas tectónicas en la región sudamericana (López Hurtado, 2019).

La zona de subducción que afecta a Ecuador es parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, una región con gran actividad sísmica y volcánica que abarca países como Japón, Chile y Nueva Zelanda. En Ecuador, este contacto entre las placas genera tanto movimientos sísmicos como deformaciones geológicas en el interior del continente, afectando particularmente a las regiones dentro de su radio de influencia, incluyendo a Quito (Alvarado et al., 2014).

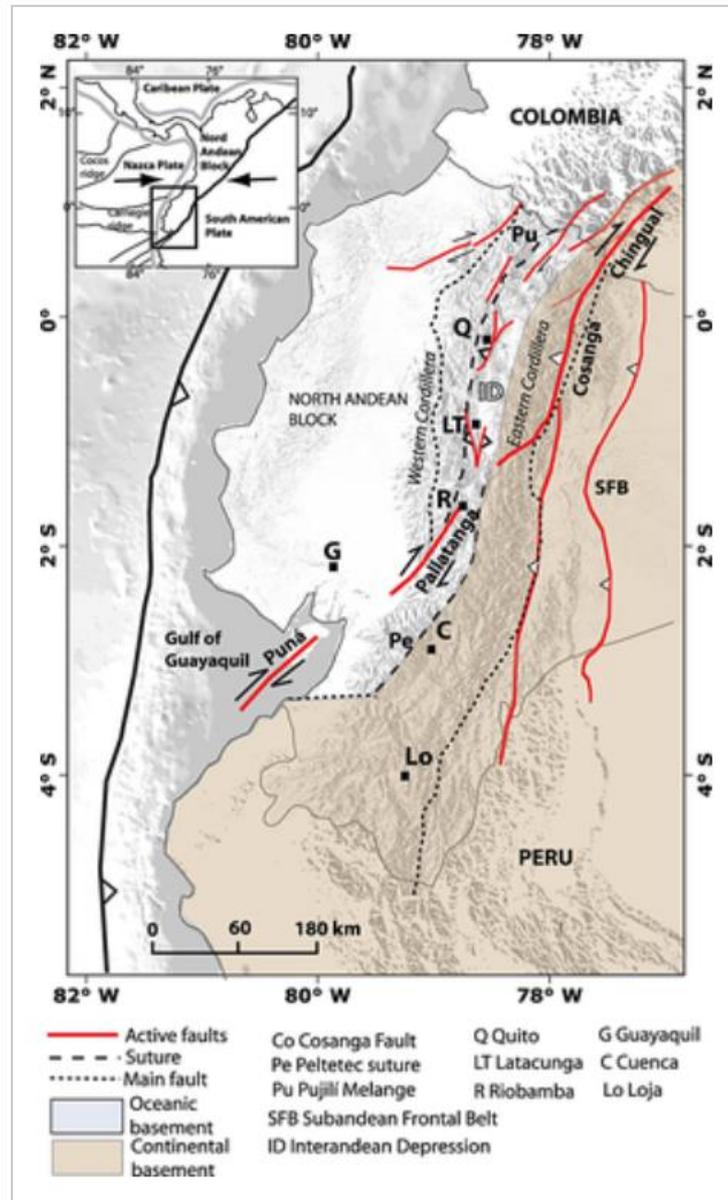


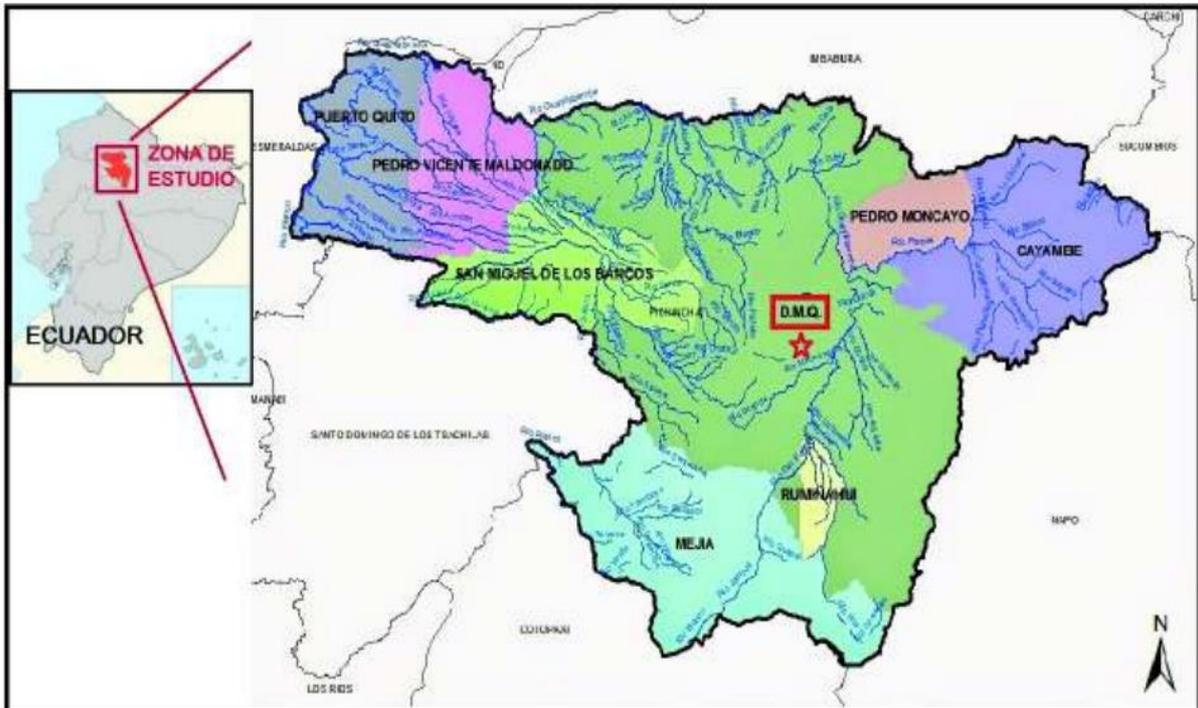
Figura 2: Mapa de la región ecuatoriana donde se identifica el sistema de fallas activo Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná (CCPP) (Alvarado et al., 2014).

El fenómeno tectónico de subducción está vinculado con el sistema de fallas Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná (CCPP), como se muestra en la figura 2, el cual se extiende desde el Golfo de Guayaquil hacia el noreste, enlazándose con otros sistemas de fallas activos en Colombia. Este sistema está caracterizado por fallas transcurrentes dextrales, es decir que, los bloques tectónicos a ambos lados de la falla se desplazan horizontalmente, con el bloque que

queda al lado derecho moviéndose hacia el frente, según el punto de observación en la falla (Alvarado et al., 2014).

Este tipo de falla, también conocida como falla de desplazamiento lateral o de desgarre, produce deslizamientos horizontales y puede desencadenar terremotos cuando se libera la energía acumulada en la placa. El sistema CCPP, ha sido responsable de terremotos históricos en Ecuador, como el de Riobamba en 1797. Este terremoto, con una magnitud estimada de 7.6, es uno de los más destructivos registrados en el país, con un saldo de alrededor de 40,000 víctimas. La intensidad y la magnitud de estos eventos sísmicos destacan la peligrosidad de este sistema de fallas en zonas habitadas (Beauval et al., 2010).

Además del CCPP, en la región interandina, que incluye la ciudad de Quito, existen otras fallas tectónicas activas. Estas fallas presentan tasas de movimiento de entre 1.5 y 4 mm por año, lo que indica que son áreas de actividad sísmica continua (Alvarado et al., 2014). Estas fallas se caracterizan por tener estructuras de pliegues en crecimiento (que indican la formación de ondulaciones en la corteza terrestre) y componentes compresivas fuertes, las cuales ejercen presión en las rocas y contribuyen a liberar energía en forma de sismos. Debido a la actividad sísmica generada por estas fallas, ciudades densamente pobladas como Quito, Ambato, Latacunga e Ibarra han experimentado eventos sísmicos de magnitudes moderadas a altas. La presencia de pliegues en crecimiento y la actividad compresiva en las fallas aumentan la posibilidad de sismos en estas zonas, representando un riesgo importante para la población (Alvarado et al., 2014).



*Figura 3:* Mapa de la provincia de Pichincha, Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q.) (Ecuador Noticias, s. f.).

La subducción es fenómeno principal provocador del origen de sistemas de fallas locales en Quito, esto ocurre porque la proximidad de la ciudad a la zona de subducción implica que no solo experimente tensiones por la subducción directa, sino también por la liberación de energía acumulada, resultando en eventos sísmicos y formación de fallas (Alvarado et al., 2014).

En el contexto de la geodinámica de la región, los edificios estudiados en este trabajo se localizan en la cuenca de Quito, que se encuentra dentro de la Depresión Interandina Central. Esta es una zona geográfica ubicada entre dos cordilleras importantes de los Andes: la cordillera occidental y la cordillera oriental. Esta depresión es una región de valles y cuencas que ha sido formada por procesos geológicos a lo largo de millones de años. En términos

sencillos, se puede imaginar como un "valle" entre montañas que ha sido modelado por la erosión, el levantamiento de la tierra y la actividad volcánica (Cajas Guevara, 2017).

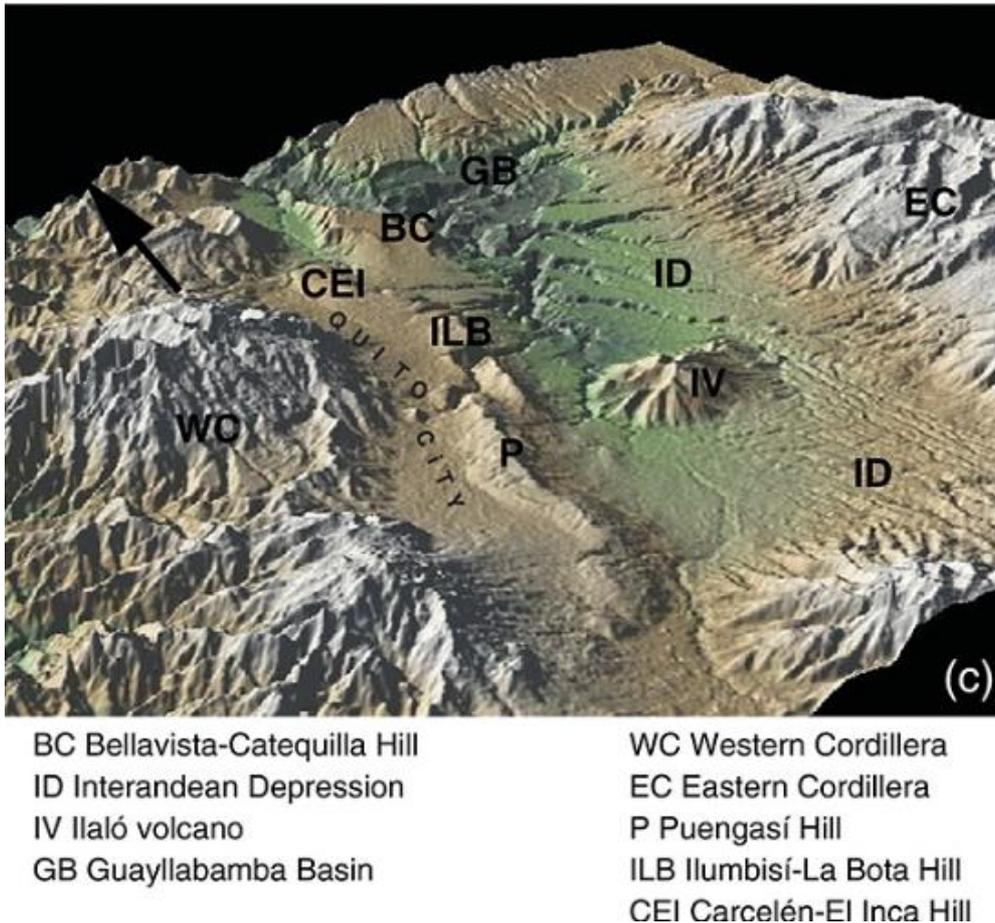


Figura 4: c) Vista computarizada tridimensional de la cuenca de Quito en el contexto de la depresión interandina (Alvarado et al., 2014).

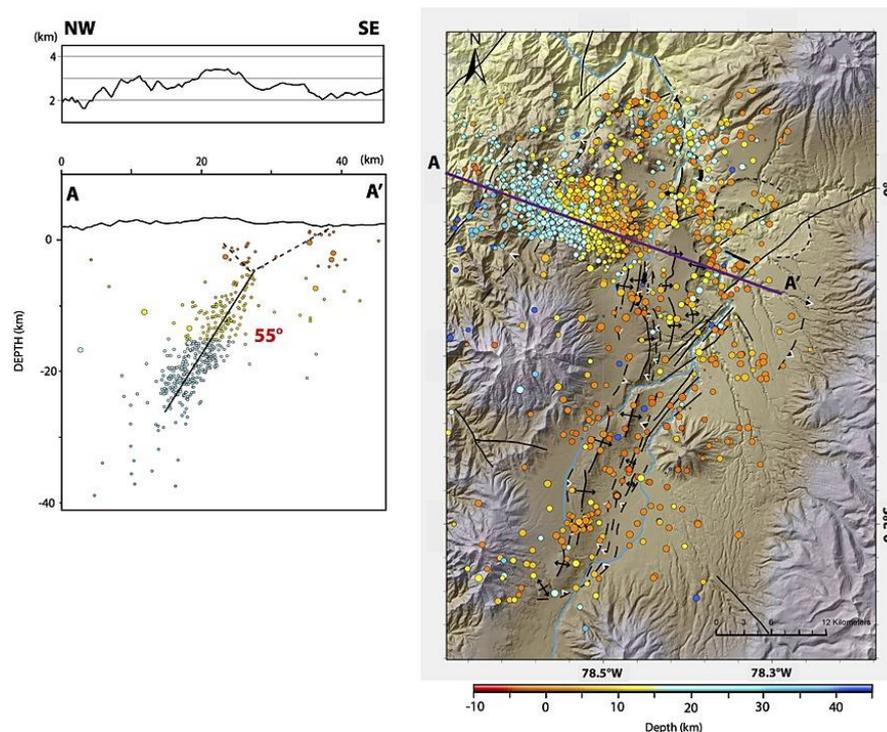
La cuenca de Quito está delimitada por el frente montañoso occidental, que es una serie de volcanes y montañas alineadas que se formaron durante el Pleistoceno, un período geológico que abarca desde hace aproximadamente 2.6 millones hasta hace unos 11,700 años. (Cajas Guevara, 2017).

Por otro lado, los depósitos volcano-sedimentarios que se encuentran en la parte oriental de la cuenca, son materiales que se han acumulado con el tiempo debido a la erosión y la sedimentación. Estos depósitos han sido elevados y deformados por la actividad tectónica cuaternaria, que se refiere a los cambios geológicos ocurridos durante los últimos 2.6 millones de años. Esta actividad tectónica está íntimamente relacionada con el Sistema de Fallas de Quito, QFS (Quito Fault System), que es un conjunto de fallas geológicas al este de la ciudad (Cajas Guevara, 2017).

Este sistema está compuesto por fallas inversas, incluyendo a la falla de Quito, la falla de Rumipamba, la falla de Pomasqui, la falla de la Tola, la falla de San Juan, la falla de Chiche y la falla de Guápulo, siendo responsable de sismos locales de magnitud moderada, y debido a su proximidad a la ciudad, pueden causar graves daños. Estos movimientos tectónicos locales son el resultado del empuje constante de la Placa Sudamericana hacia el oeste, lo que genera un estrés acumulado que se libera en forma de sismos cuando los bloques de roca se desplazan. Un ejemplo de esto es el sismo de Quito en 1990, de magnitud 5.0, que causó daños considerables debido a la cercanía de su epicentro y la vulnerabilidad de las construcciones (Alvarado et al., 2014).

Una vez que la energía consecuente del proceso continuo de subducción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana es liberada, los esfuerzos generados por este fenómeno no se limitan al área costera. En cambio, se transmiten hacia el interior de la corteza continental, propagando la deformación a medida que se distribuyen los esfuerzos.

Esta deformación en la corteza terrestre, conocida como deformación cortical, afecta tanto a las fallas principales, como el sistema de fallas Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná (CCPP), como a las regiones más alejadas de la costa, incluyendo la depresión interandina y áreas pobladas como Quito. Estas tensiones en el interior del continente son responsables de la formación de nuevas fracturas y fallas secundarias, además de las fallas principales ya existentes (Alvarado et al., 2014).



*Figura 5: Distribución de la microsismicidad local en el área de Quito, profundidad de los terremotos < 20 km. El ancho del perfil A-A' es de 12 km (Alvarado et al., 2014).*

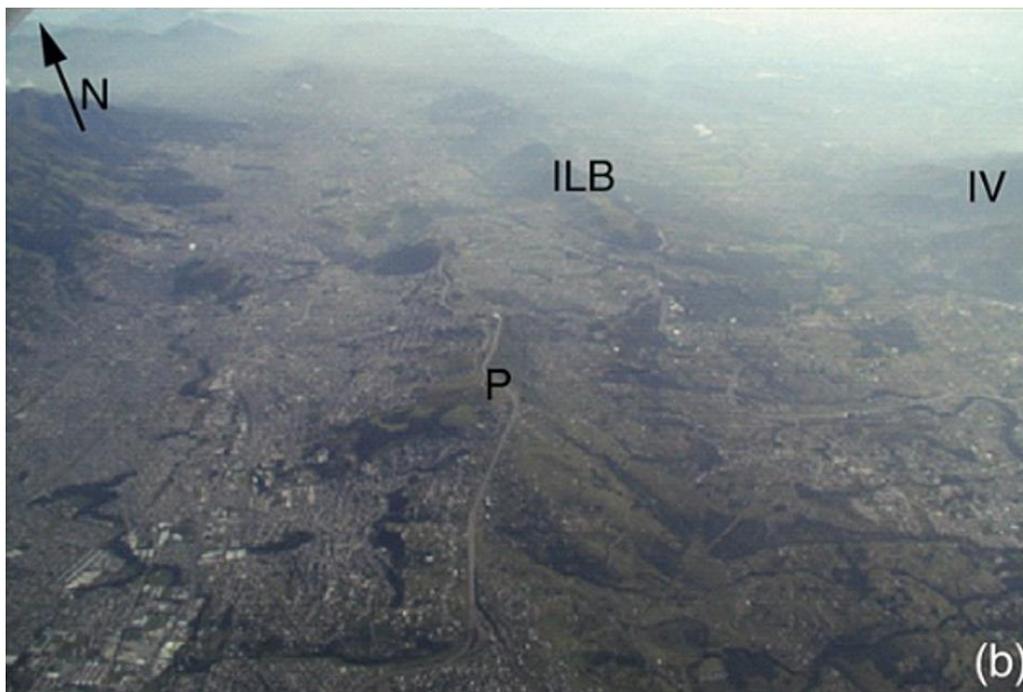
Las fallas inversas identificadas en el sistema QFS (Quito Fault System) representan un estilo tectónico caracterizado por movimientos compresivos que deforman la corteza a lo largo del pie oriental de la Cordillera Occidental. Estas fallas, de alto ángulo, es decir que, el plano

de falla se caracteriza por tener un ángulo relativamente grande con respecto a la horizontal, lo que resulta en una inclinación pronunciada, y buzamiento hacia el oeste, lo que indica la orientación de la dirección del plano de la falla, generan desplazamientos verticales a lo largo de un plano único que desciende aproximadamente  $55^\circ$  hacia el oeste y se extiende a profundidades de 20 a 30 km, tal como se puede apreciar en la figura 4. Esta geometría, observada en las secciones transversales, resalta el carácter activo de estas estructuras y su relevancia en la sismicidad de la región (Alvarado et al., 2014).

La distribución de los hipocentros muestra que los eventos sísmicos ocurren principalmente bajo la ciudad de Quito, alineados a lo largo de los segmentos del sistema de pliegues, o sistema montañoso. Estos segmentos están asociados a mecanismos focales mayoritariamente de falla inversa, con planos que se inclinan entre  $30^\circ$  y  $50^\circ$  hacia el oeste. Este comportamiento es consistente con un régimen tectónico compresivo, con un eje de compresión orientado entre  $N93^\circ$  y  $N119^\circ$ , el cual representa la dirección en la que las fuerzas compresivas están actuando sobre la corteza terrestre, y refleja la segmentación tectónica observada tanto en superficie como en profundidad (Alvarado et al., 2014).

Es importante destacar que, a diferencia de las fallas de piel fina presentes en otras cordilleras como la Subandina Oriental, las fallas inversas del sistema QFS pertenecen a un estilo estructural de piel gruesa. Esto implica que las deformaciones se originan en niveles profundos de la corteza. El sistema QFS constituye un conjunto de fallas inversas activas que desempeñan un papel clave en la sismicidad de Quito. Su configuración y mecanismos son distintivos dentro del marco tectónico regional, destacándose por su profundidad, segmentación y estilo de deformación de piel gruesa (Alvarado et al., 2014).

Cabe recalcar que, Quito es propensa a deslizamientos de tierra inducidos por sismos debido a la combinación de suelos poco consolidados y terrenos montañosos. Los sismos, especialmente los de magnitud moderada a grande, pueden provocar que las laderas empinadas pierdan estabilidad, lo que genera deslizamientos de tierra. Estos eventos son más comunes en áreas con suelos lacustres blandos o depósitos volcánicos no consolidados, lo que pone en riesgo la infraestructura urbana y las viviendas en laderas inestables (López Hurtado, 2019) (López Hurtado, 2019).



*Figura 6: b) Vista fotográfica de la ciudad de Quito en la depresión interandina incluyendo los tramos El Batán, Ilumbisí y Puengasí (Alvarado et al., 2014).*

La figura 6 es una representación fotográfica de la ciudad de Quito dentro de la depresión interandina con enfoque en la presentación del sistema de pliegues característico, la letra P indica la

ubicación de la loma de Puengasí, el número romano IV indica la presencia del cerro Ilaló y las siglas ILB aluden al cerro Ilumbisí-La bota, según la nomenclatura de la figura 4.

### **Problema de investigación:**

El problema de investigación surge como efecto de la necesidad de evaluar la incidencia que tienen los mecanismos focales en las estructuras con respecto al tipo de suelo de donde procede el acelerograma. Analizar y comparar el comportamiento dinámico permite llegar a conocer las características dinámicas en edificios de diferente geometría y altura, para interpretar cuál es el mecanismo focal y tipo de suelo que produce una respuesta dinámica más crítica con respecto al resto.

### **Pregunta principal para resolver:**

**¿Cómo varía la respuesta dinámica de dos edificaciones de diferentes geometrías y materiales (una rectangular de seis niveles y una semicircular de dos niveles) en Quito, Ecuador, frente a acelerogramas históricos de registros sísmicos de una base de datos global siendo caracterizados en función de su mecanismo focal y tipo de suelo?**

### **Objetivos:**

- Evaluar el impacto del mecanismo focal y tipo de suelo en la respuesta dinámica de edificios mediante la determinación de la variación de su comportamiento ante acelerogramas escalados provenientes de registros históricos a nivel mundial.

- Comparar el desempeño de edificios de diferente geometría, altura y material por medio del análisis de su respuesta en términos de desplazamientos máximos, derivas y cortante basal entre estructuras.

**Alcance y limitaciones:**

El alcance de este estudio se centra en el análisis sísmico comparativo de edificaciones de diferente geometría, altura y material en Quito, Ecuador, una ciudad con alta vulnerabilidad sísmica debido a su ubicación en un contexto tectónico complejo. A lo largo del proyecto, se consideran varios aspectos clave para garantizar una evaluación completa de la respuesta estructural bajo diversas condiciones sísmicas, con un enfoque en la selección de estructuras representativas, modelado en el programa computacional ETABS y el uso de acelerogramas reales.

La selección de los edificios a analizar es fundamental. Los casos de estudio incluyen edificaciones típicas de Quito, diseñadas mediante la utilización de sistemas estructurales que siguen las normativas y prácticas internacionales y locales, incluyendo la NEC 2015, AISC 360 y ACI 318-19. La selección de materiales incluye estructuras mixtas que se componen de concreto reforzado y estructura metálica.

Se consideran dos tipos de edificaciones: una de 2 niveles que representa edificios bajos, y otra de 6 niveles, lo que corresponde a edificaciones más altas. Esta selección permite

cubrir un rango representativo de alturas que suelen encontrarse en Quito, lo cual es esencial debido a la variabilidad de comportamiento dinámico entre edificios bajos y altos.

Se emplea el software ETABS como programa computacional para el modelamiento, reconocido por su precisión en la simulación de estructuras mediante el método de elementos finitos. Este método es una técnica numérica con un enfoque matemático donde el software se encarga de dividir un problema complejo en partes más pequeñas y manejables llamadas elementos finitos, los cuales son interconectados en puntos llamados nodos que se combinan para formar una malla.

A cada elemento se le asignan propiedades como la rigidez, la masa y el tipo de material, entre otras más, para que el programa arroje resultados concluyentes. Los casos de carga en el análisis corresponden a acelerogramas proporcionados por el profesor los cuales aluden a registros sísmicos históricos que han sido escalados en su PGA previamente a 0.2 g y a 0.5 g para asegurar que los sismos sean comparables entre sí. ETABS tiene la capacidad para analizar la respuesta de una estructura y proporcionar información acerca del comportamiento de esta, bajo las condiciones establecidas en el modelado.

En esta etapa, se crean modelos detallados de los edificios, replicando fielmente la geometría y distribución de elementos estructurales como vigas, columnas, muros y losas, tal como se presentan en los planos estructurales reales. Cabe destacar que, la idealización del modelo representa a la carga muerta y carga viva, aparte del peso propio de los elementos,

según las especificaciones de la NEC 2015, y de mi criterio con relación al peso de la mampostería, recubrimientos, cielo falso y tuberías de servicio. Los materiales empleados, tanto para el concreto como para el acero, son definidos según sus propiedades mecánicas específicas, las cuales se obtienen de las especificaciones técnicas de los planos estructurales en relación con las normas internacionales vigentes y especificaciones locales ecuatorianas, lo que asegura que los modelos reflejen condiciones reales.

Para el análisis dinámico, la selección de acelerogramas es un aspecto crítico. Los acelerogramas son gráficas representativas que muestran la aceleración de las ondas sísmicas en el suelo en función del tiempo. Se recurre a una base de datos de 27 acelerogramas de sismos de magnitud de entre 6 y 8 en la escala de Richter con diferentes mecanismos focales y tipos de suelo. Esta diversidad en los registros es fundamental, ya que permite observar cómo la dirección de la orientación de los planos de falla y el movimiento de los bloques tectónicos afecta a las estructuras, en este caso, edificaciones diseñadas bajo consideraciones estructurales según el contexto de las características geológicas y tectónicas previamente discutidas de la región de Quito.

El proyecto culmina con la presentación final de los resultados obtenidos. Dichos resultados se expresan a través de tablas, gráficos y figuras, proporcionando una visión clara y detallada del comportamiento dinámico de los edificios bajo estudio. Posteriormente, se procede a un análisis de los resultados, donde se discuten las implicaciones de los hallazgos en términos del mecanismo focal y tipo de suelo de los registros más relevantes por la importancia de su incidencia en las estructuras.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA**

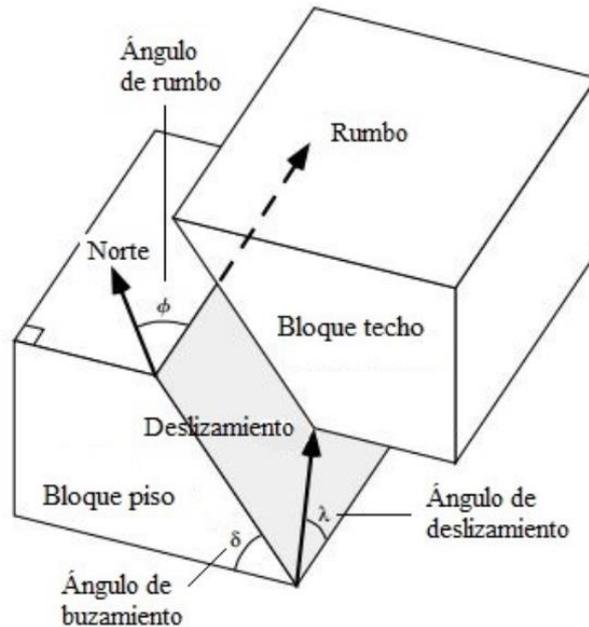
### **Mecanismos Focales Sísmicos y Sismicidad en Quito**

La demostración de la naturaleza de los fenómenos tectónicos se comprende en el estudio de los mecanismos focales. Los mecanismos focales son una representación de cómo se libera la energía acumulada en la Tierra durante un terremoto. Estos mecanismos permiten identificar el tipo de movimiento que ocurre a lo largo de una falla geológica, y ayudan a entender la dirección y orientación del desplazamiento de las placas tectónicas durante un sismo (*Mecanismos Focales - Instituto Geofísico - EPN*, s. f.).

La geometría interna de una falla y su manifestación en la superficie están directamente relacionadas con su cinemática. Este movimiento de la falla no solo genera terremotos y deslizamientos, sino que también produce efectos geológicos importantes, como alteraciones en la dinámica fluvial, cambios topográficos y basculamiento de superficies. En Quito, ciudad de gran importancia económica, administrativa, social y cultural, estos fenómenos geodinámicos tienen consecuencias especialmente significativas (Cajas Guevara, 2017).

El mecanismo focal de un sismo describe el tipo de movimiento que ocurre en una falla durante un evento sísmico. En términos simples, es un "diagrama" que muestra la manera en que las rocas a ambos lados de la falla se deslizan. Los mecanismos focales son representados según la orientación de la falla, el tipo de desplazamiento (si es normal, inverso o de

deslizamiento lateral) y la dirección en la que se liberan las ondas sísmicas (*Mecanismos Focales - Instituto Geofísico - EPN, s. f.*).



*Figura 7: Esquema explicativo del movimiento del bloque techo sobre el bloque piso a través del plano de falla. En el esquema se definen los ángulos que definen la geometría de la falla y el movimiento durante un terremoto (Mecanismos Focales - Instituto Geofísico - EPN, s. f.).*

Existen tres tipos principales de mecanismos focales:

- a. **Fallas normales:** Ocurren cuando el bloque superior de la falla se desplaza hacia abajo en relación con el bloque inferior. Esto sucede generalmente en áreas donde la corteza terrestre se está estirando o alargando, es decir, mediante fuerzas tensionales (*Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas, s. f.*).

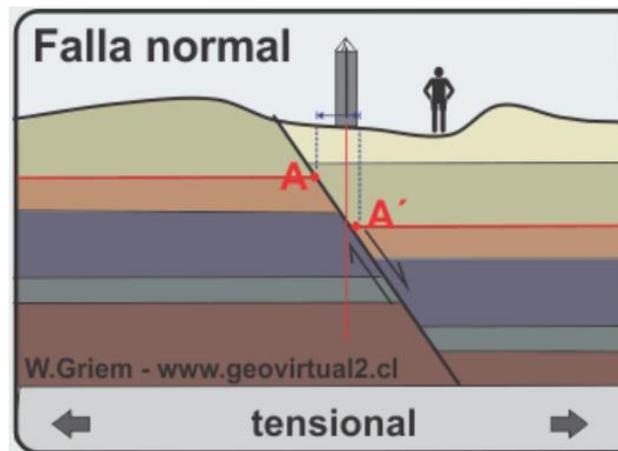


Figura 8: Representación gráfica de una falla normal, donde el bloque superior del plano de falla se desliza hacia abajo, es decir, de manera normal (*Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas, s. f.*).

- b. Fallas inversas:** Aquí, el bloque superior se desplaza hacia arriba, comprimiendo la corteza, debido a fuerzas compresivas. Estas fallas se asocian a zonas de colisión entre placas tectónicas, como es el caso de la subducción en Ecuador (*Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas, s. f.*).

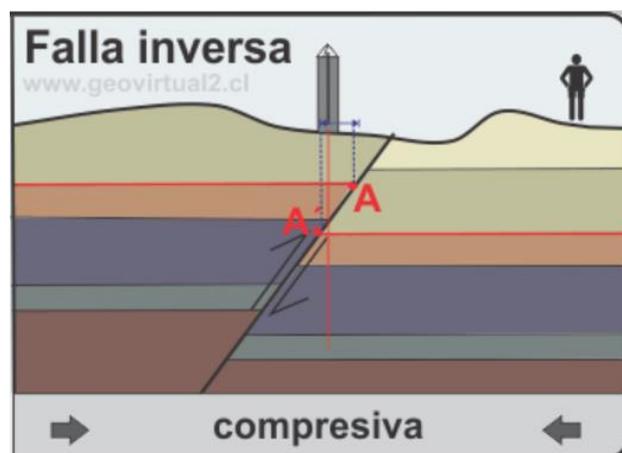


Figura 9: Representación gráfica de una falla inversa, donde el bloque superior del plano de falla se desliza hacia arriba, es decir, de manera inversa (*Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas, s. f.*).

- c. **Fallas de deslizamiento lateral:** Los bloques de roca se desplazan lateralmente uno respecto al otro. Este tipo de falla se asocia con zonas de desplazamiento lateral con respecto al rumbo entre placas tectónicas, también se le conoce como falla de rumbo, y puede ser dextral o sinistral, en función del sentido con el que se desplazan las placas, horario o antihorario, respectivamente (*Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas*, s. f.).

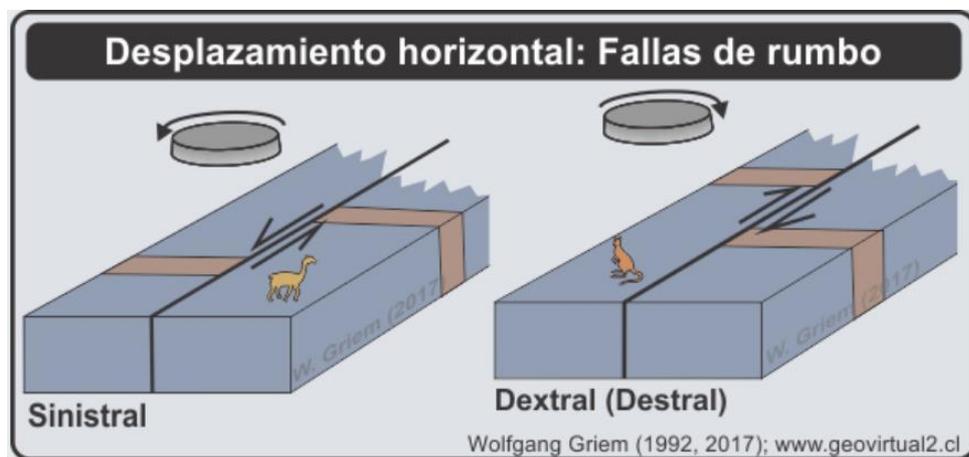


Figura 10: Representación gráfica de una falla lateral dextral y sinistral, donde el movimiento lateral de la placa está en función del sentido horario o antihorario (*Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas*, s. f.).

La dinámica tectónica en las zonas de subducción está dominada por fallas inversas o fallas de compresión, resultado de la colisión entre placas tectónicas. En estos escenarios, una placa se empuja sobre la otra, generando un desplazamiento vertical característico. Este proceso, común en zonas como la costa de Ecuador, implica una acumulación significativa de energía debido a las fuerzas compresivas en la interfaz de contacto (Alvarado et al., 2014).

Durante un terremoto, esta energía se libera, generando un patrón típico en el mecanismo focal asociado a fallas inversas. Gráficamente representado en la figura 9, este patrón refleja el movimiento vertical del bloque superior sobre el inferior, resultado directo de la intensa compresión propia de estos sistemas tectónicos y muy común en Quito.

El entorno geológico de Quito está caracterizado por varios tipos de suelos que juegan un papel determinante en el comportamiento de las estructuras durante un sismo. Las zonas más relevantes incluyen depósitos lacustres y flancos volcánicos. Los depósitos lacustres, que predominan en el norte y sur de la ciudad, tienen espesores considerables (hasta 140 metros) y están compuestos por capas de cenizas, arenas arcillosas, pómez y material vegetal. Estos suelos son propensos a amplificar las aceleraciones sísmicas, particularmente en zonas donde la compactación del suelo es menor. En contraste, los flancos del volcán Pichincha están compuestos por suelos coluviales y depósitos de Cangahua, una toba volcánica consolidada que puede presentar mejor comportamiento sísmico en términos de vibración (López Hurtado, 2019).

La microzonificación sísmica de Quito ha identificado tres perfiles de suelo principales (S1, S2 y S3) que varían en su respuesta frente a eventos sísmicos. El perfil S1, compuesto por suelos más consolidados y rocas, presenta menores periodos de vibración (menos de 0.2 segundos), lo que genera menores amplificaciones. En contraste, las zonas S2 y S3, que corresponden a suelos menos consolidados como arenas y gravas, muestran mayores periodos de vibración y una tendencia a amplificar las ondas sísmicas, incrementando los riesgos para las estructuras (*Mecanismos Focales - Instituto Geofísico - EPN, s. f.*).

## **Consideraciones para el modelamiento de las estructuras**

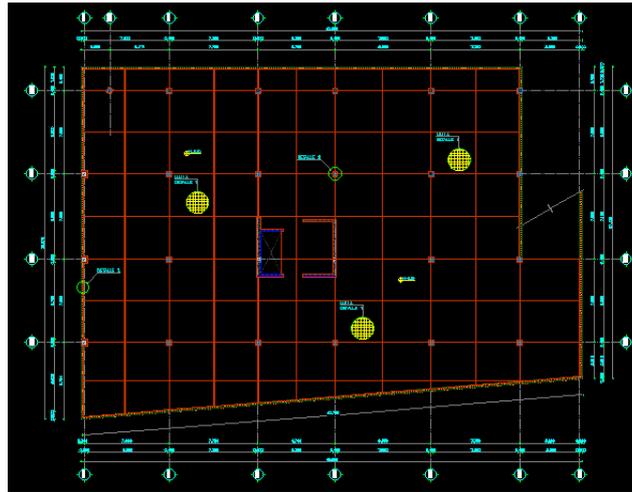
Las estructuras se modelan conforme a las disposiciones establecidas en los planos estructurales de ambas edificaciones. Se considera las dimensiones de los elementos estructurales como vigas, viguetas, columnas, muros y losas, siguiendo la geometría exacta y ubicación de cada elemento estructural, para de esta manera, conseguir modelos representativos a la realidad en el contexto ecuatoriano.

### **Edificación A:**

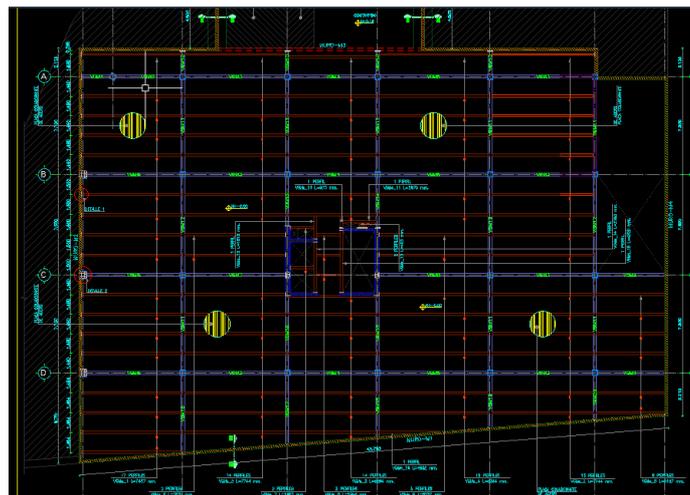
Las características estructurales de la edificación A son complejas, su geometría se adapta a las necesidades arquitectónicas de los diseñadores, y su composición alude a una mezcla de materiales constructivos que enriquecen las prestaciones del edificio. Se trata de una estructura de seis niveles por encima del nivel del suelo, con la incorporación de muros de contención que rodean los niveles de subsuelo, y muros estructurales ubicados en el centro de la edificación que se extienden a lo largo de toda su altura. La geometría se mantiene estándar en todos los niveles, exceptuando el nivel más superior, donde se modela una torreta de geometría inferior que también es sostenida por el muro estructural central que contiene al ascensor.

A continuación, se presenta una muestra de las características del plano en AutoCAD utilizado para el modelamiento de la edificación en ETABS, siendo el plano estructural la guía fundamental para el modelo. Cabe recalcar que, no es el interés de este proyecto juzgar o analizar el razonamiento de las decisiones del diseñador al momento de seleccionar la

geometría o disposición de secciones transversales o de materiales utilizados para el diseño de este plano, si no de seguir fielmente sus recomendaciones y modelar la estructura para determinar las propiedades y prestaciones en términos de su respuesta dinámica frente a los acelerogramas a analizar.



*Figura 11: Plano estructural del edificio A, presentación de medidas y ubicación de muros estructurales.*



*Figura 12: Plano estructural del edificio A, presentación de la geometría de los niveles en general y disposición de vigas, columnas y muros estructurales.*

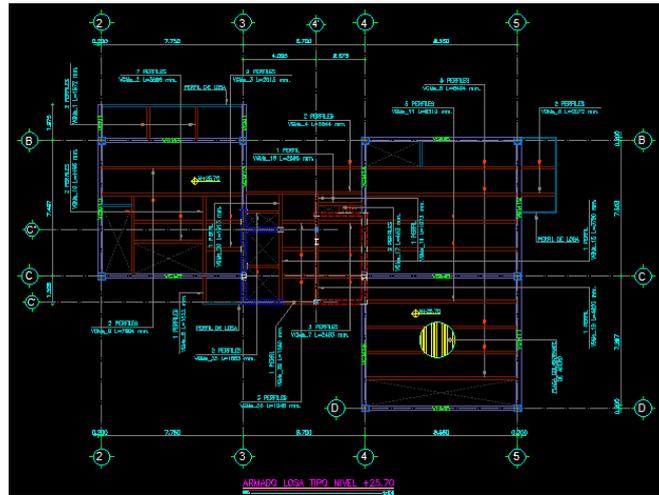


Figura 13: Plano estructural del edificio A, geometría y disposición de elementos estructurales en torreta del último nivel.

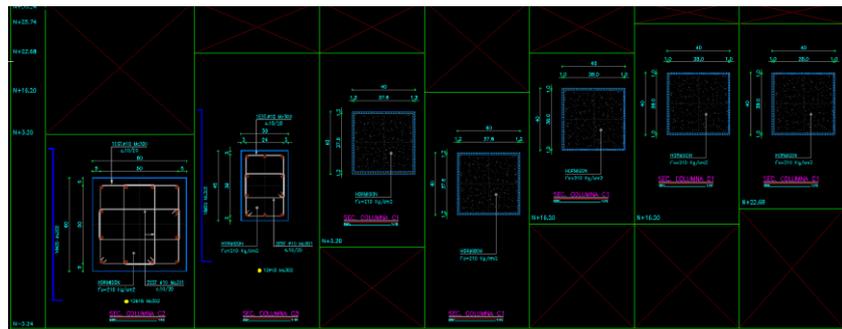


Figura 14: Plano estructural del edificio A, presentación de secciones transversales de columnas.

Es importante destacar que, el detalle en planos estructurales de las secciones transversales de todas las columnas metálicas establece que debe de asegurarse la sección compuesta. Es decir que, la parte interna de los perfiles tubulares debe rellenarse con hormigón de resistencia  $f'c = 210 \frac{kgf}{cm^2}$ , según las especificaciones técnicas del diseño.

Con respecto a las vigas, se mantienen únicamente dos perfiles generalizados para toda la edificación. El perfil de viga tipo I, con sección transversal robusta, que corresponde a las vigas principales que conectan columnas; y las viguetas tipo I secundarias, donde su sección transversal corresponde a un tamaño inferior, debido a que son utilizadas en mayor cantidad y con espaciamientos más cortos entre sí.

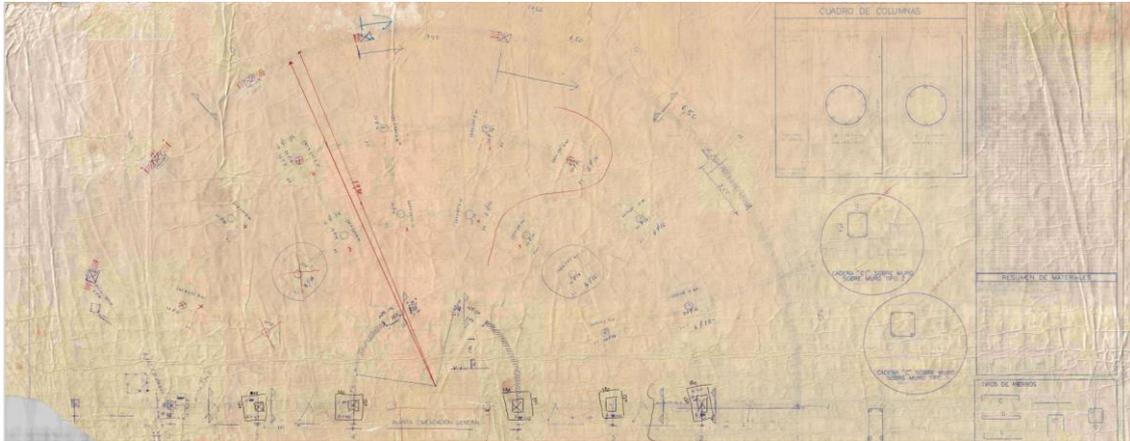
### **Edificación B:**

El edificio B, por su parte, es una edificación semicircular de dos niveles, la cual se caracteriza por componerse de muros de contención en su nivel de subsuelo, con losa aligerada y vigas de hormigón armado, junto con las prestaciones que brinda la estructura metálica en sus niveles superiores.

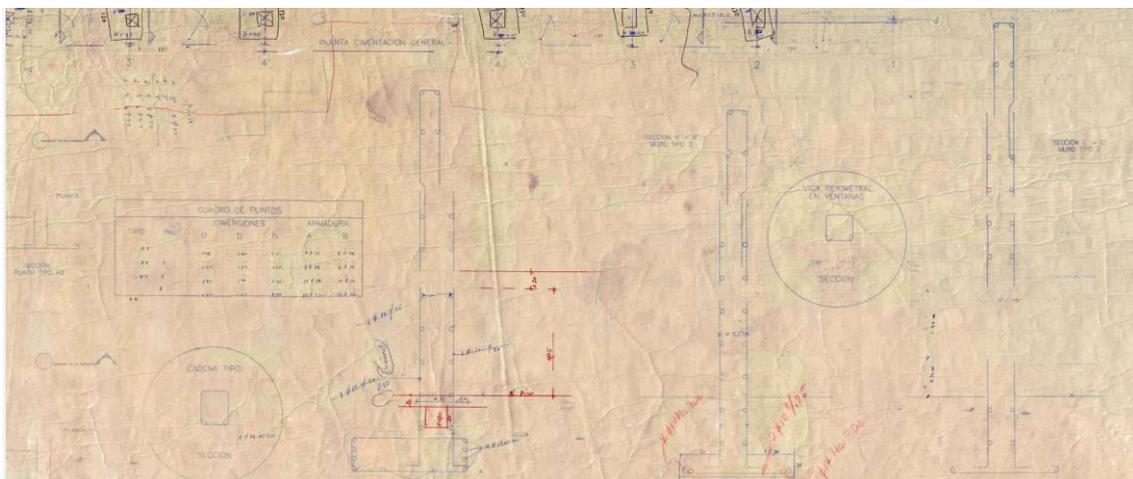
Por su parte, las columnas que se encuentran por debajo del nivel del suelo son completamente de hormigón armado, mientras que las columnas que están en la parte superior son de acero estructural. A diferencia de la Edificación A, estas columnas, tanto circulares como rectangulares no son de sección compuesta, por lo que no están rellenas de hormigón. El plano estructural especifica únicamente la utilización de perfiles completamente huecos, como resultado del criterio del diseñador.

Nuevamente cabe aclarar que, no es el interés de este proyecto estudiar o analizar el diseño estructural de estas edificaciones, si no seguir fielmente los planos propuestos. A continuación, se presenta una muestra del plano estructural de la edificación, teniendo como

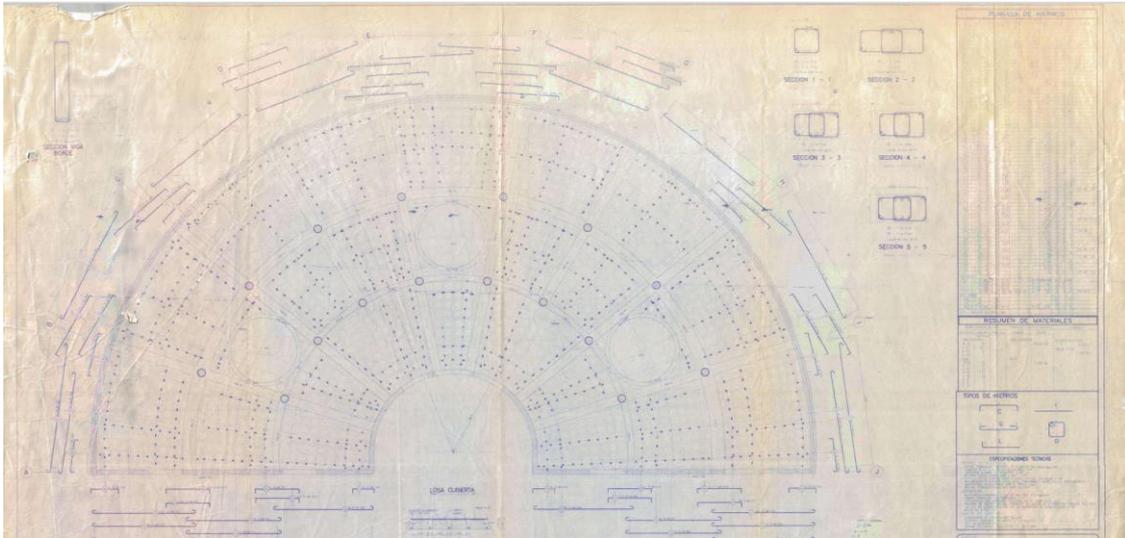
finalidad que se comprenda la realidad de los procesos constructivos en el contexto ecuatoriano, y más precisamente en la ciudad de Quito.



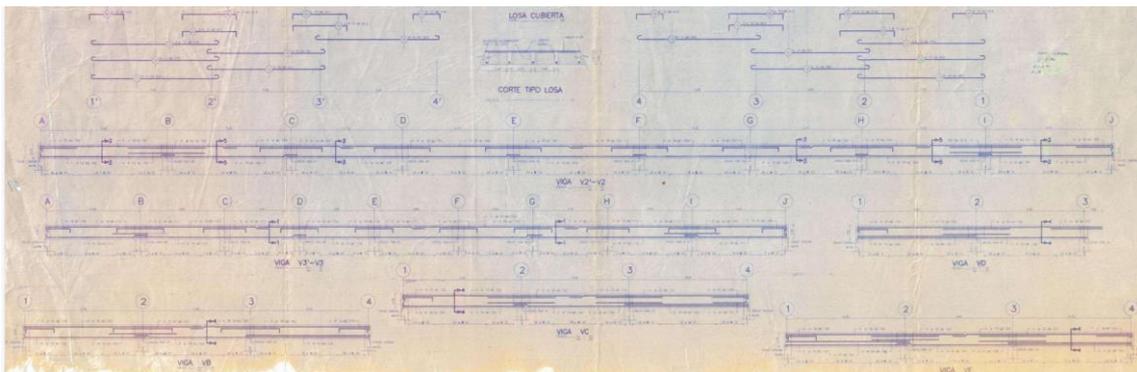
*Figura 15: Plano estructural del edificio B, presentación de geometría de la estructura de hormigón armado, medidas y disposición de cadenas, columnas y muros.*



*Figura 16: Plano estructural del edificio B, presentación de secciones transversales de muros y cadenas sobre muros de hormigón armado.*



*Figura 17: Plano estructural del edificio B, disposición de vigas y secciones transversales de hormigón armado.*



*Figura 18: Plano estructural del edificio B, secciones longitudinales de vigas de hormigón armado y sección transversal de losa aligerada.*

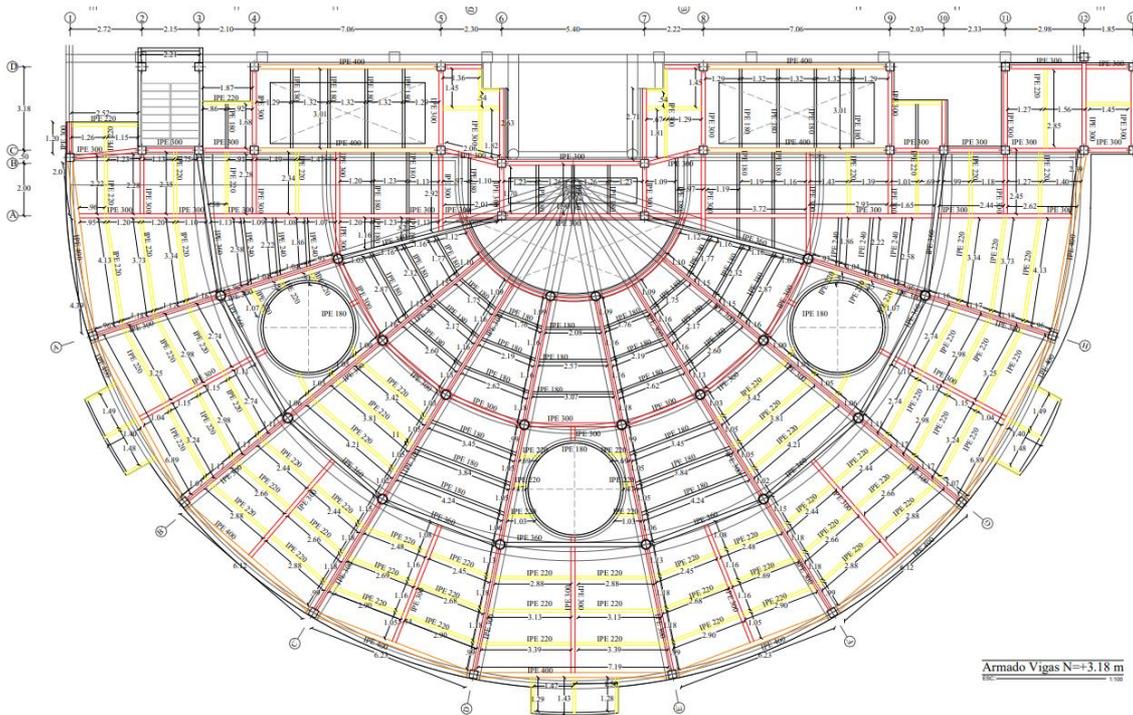


Figura 19: Plano estructural del edificio B, disposición de secciones de estructura metálica y geometría.

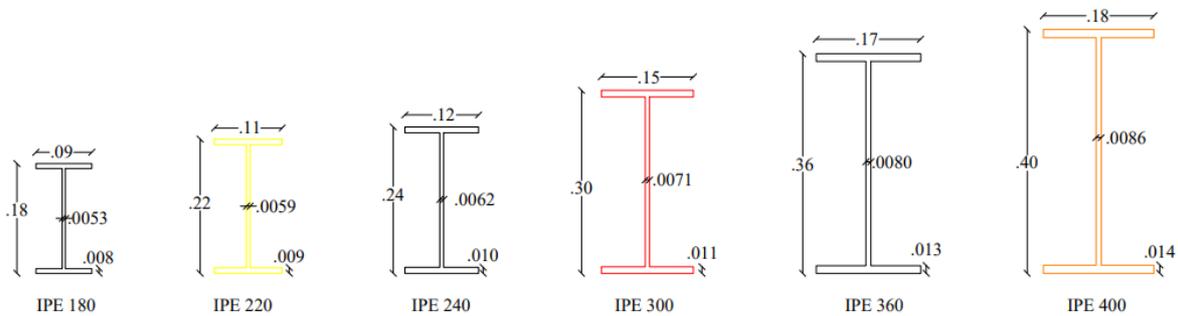
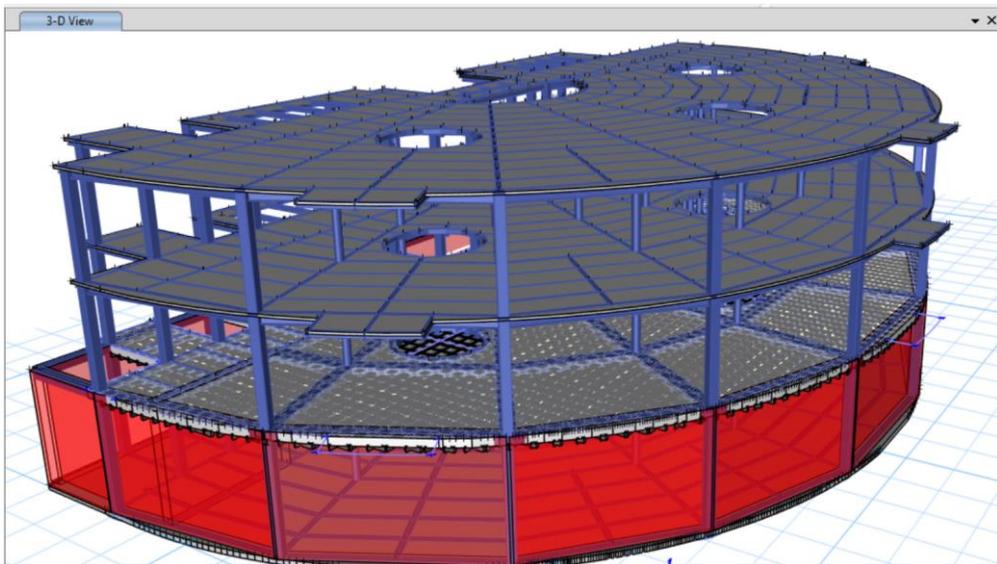


Figura 20: Plano estructural del edificio B, secciones transversales de vigas metálicas.

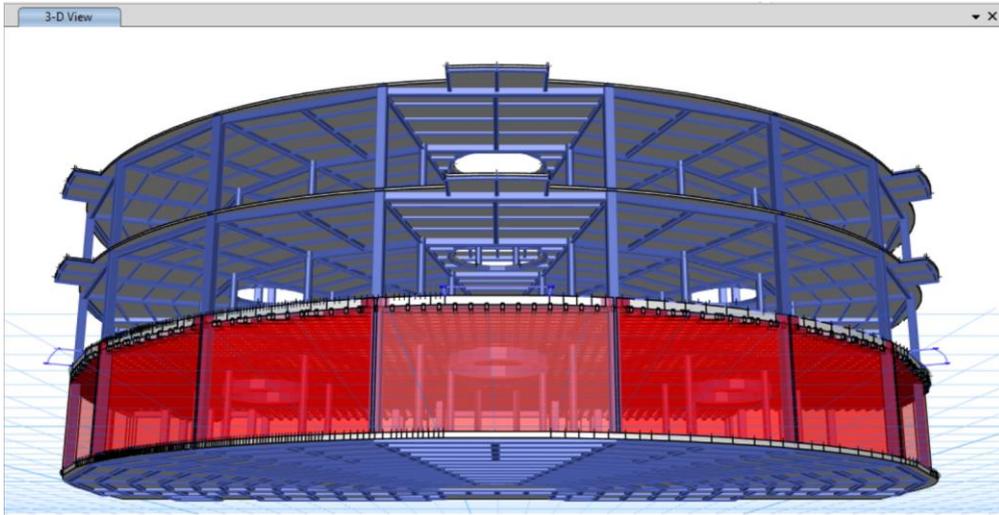
### Modelamiento de las estructuras en ETABS: Enfoques y Métodos

Debido a que el diseño arquitectónico y estructural de la Edificación B es variante en toda su composición, en términos de ubicación de vigas y columnas, y por el hecho ignorable

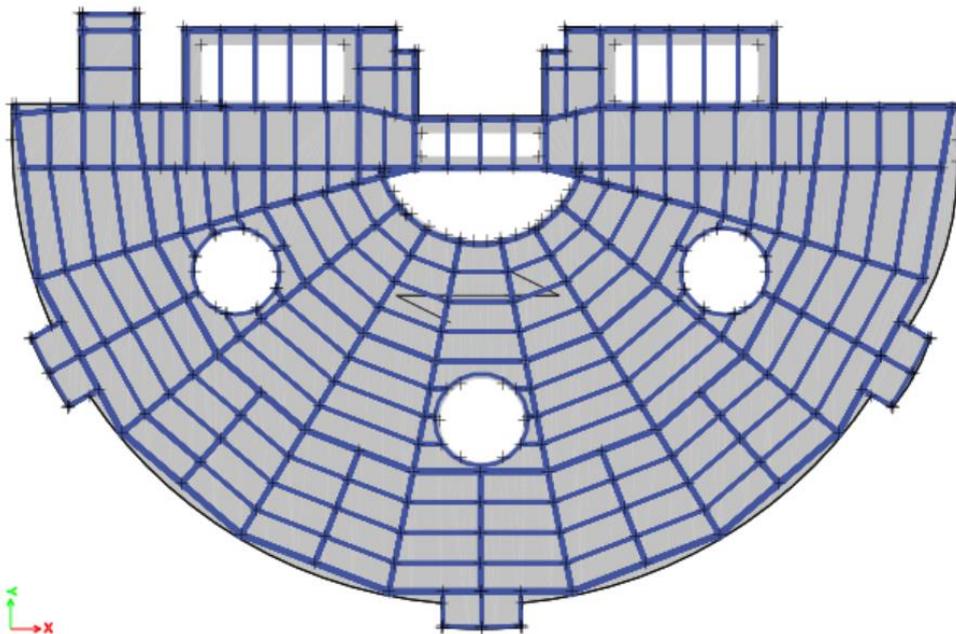
que el radio del semicírculo varía conforme el barrido de la longitud de arco, es decir que, la geometría de la medialuna es asimétrica, con un lado más largo que el otro, sin respetar un ángulo de giro circular específico, el enfoque de modelamiento fue el de tomar el archivo .DXF de AutoCAD y exportarlo directamente al software ETABS, con la finalidad de evitar la creación excesiva de ejes y facilitar el modelamiento manual para obtener un resultado exacto del modelo minimizando la posibilidad de confusión y entorpecimiento, con respecto a la colocación de los elementos estructurales en sus puntos específicos, que no responden a una simetría exacta.



*Figura 21: Vista 3D del modelo del Edificio B en ETABS, según planos estructurales.*



*Figura 22: Vista frontal en 3D del Edificio B en ETABS.*

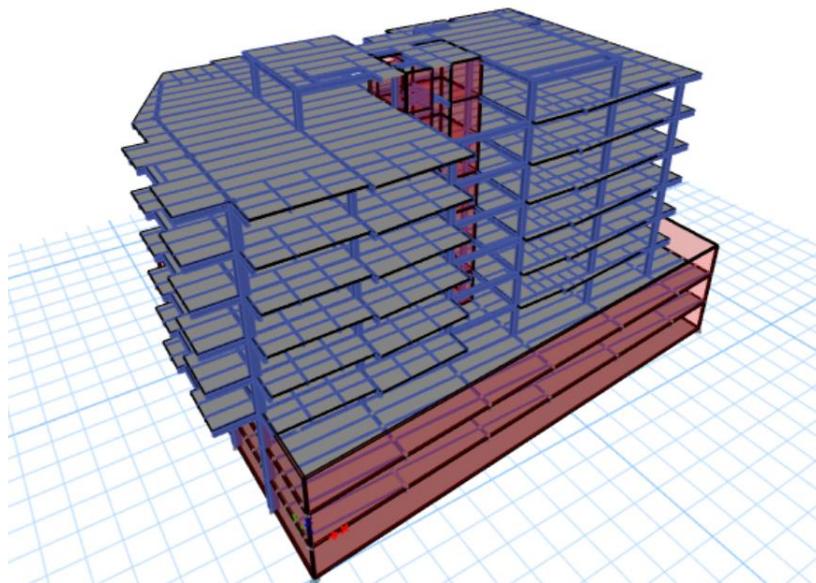


*Figura 23: Vista en planta del modelo del Edificio B.*

La importación de los planos estructurales a ETABS es fundamental para lograr obtener las dimensiones exactas de la estructura con respecto a los planos y convertir manualmente las líneas correspondientes a los elementos estructurales en elementos tipo “frame” y tipo “shell”

reales reconocidos por el software, incluyendo vigas, columnas y losas. Sin embargo, para los primeros planos antiguos de los cuales solo se tiene registros físicos, se debe considerar la misma geometría de los planos importados de los niveles superiores y realizar los cambios respectivos a las especificaciones de los planos reales.

Por su parte, para la edificación A, el modelamiento manual es viable debido a la simplicidad de la estructura. Un sistema de varios ejes distribuidos con las longitudes y dimensiones establecidas en los planos es factible puesto que la redundancia en los niveles de pisos, siendo la torreta el único nivel con cambios en geometría, lo permite. A pesar de contener más niveles que la edificación B, todos comparten una gran similitud y están compuestas de secciones simétricas. La ubicación de las vigas secundarias mantiene una separación homogénea, y los detalles perimetrales no representan mayor dificultad por tratarse de líneas rectas, por lo que su modelamiento es incluso más sencillo.



*Figura 24: Vista en 3D del modelo de la Edificación A en ETABS, según planos estructurales.*

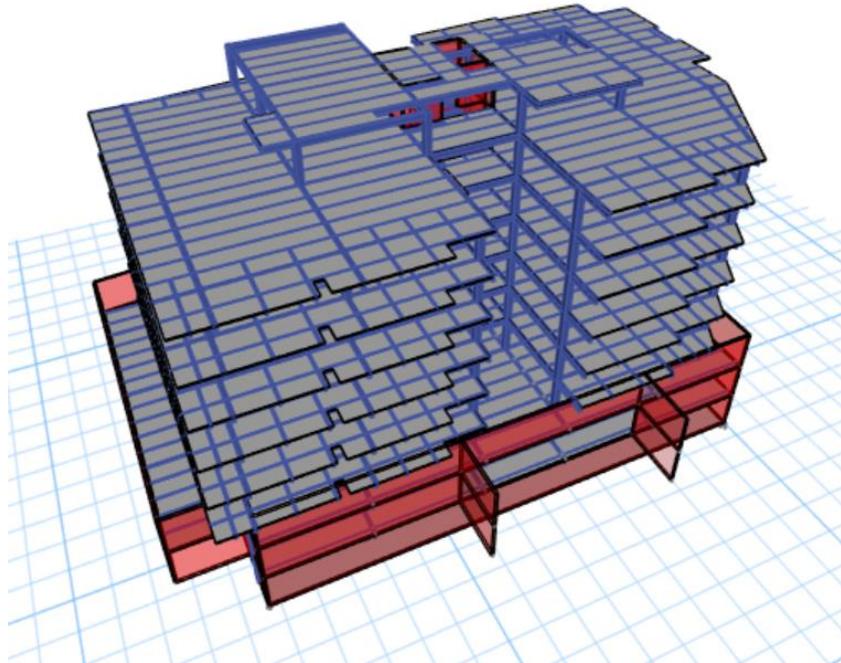


Figura 25: Vista posterior en 3D de la Edificación A en ETABS, según planos estructurales.



Figura 26: Vista en planta del nivel típico del Edificio A en ETABS.

### **Consideraciones de modelamiento en ambas estructuras:**

Un factor clave para la obtención correcta de la respuesta dinámica de ambas estructuras es la identificación adecuada de la condición de los grados de libertad de cada nodo en el modelo. Debido a que ambas estructuras cuentan con niveles subterráneos, se consideró en este trabajo el empotramiento completo en los grados de libertad en todos los nodos a nivel de la cimentación, puesto que se asume que, en los suelos de Quito, todos los grados de libertad están restringidos a nivel de la cimentación, es por ello que, no se encuentra modelada en el programa.

Adicional a ello, en los niveles por debajo de la superficie del suelo, los grados de libertad de los nodos deben estar restringidos para traslación en sentido “x” y sentido “y” del plano, pero no el empotramiento completo como en la cimentación. Esto supone un adecuado confinamiento de los subsuelos que impide desplazamientos laterales. Sin embargo, para el resto de los niveles superiores, los nodos en las estructuras se mantienen completamente libres y sin restricciones de movimiento. Esto asegura que el edificio pueda desplazarse libremente, lo que simula su comportamiento real.

### CAPÍTULO 3: REGISTROS SÍSMICOS Y CONSIDERACIONES

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

Tabla 1: Clasificación de perfiles de suelo según NEC 2015 (2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf, s. f.)

La NEC 2015 proporciona una clasificación de los tipos de suelo en función de sus características y comportamiento. El criterio base de clasificación de suelos se mide en función de la velocidad de onda cortante sísmica que atraviesa los estratos, tal como se presenta en la tabla 1. A medida que la velocidad de onda cortante disminuye, se asume estratos de suelo

menos competentes debido a la presentación de mayores discontinuidades, lo que se interpreta como suelos menos consolidados o espacios vacíos en su interior. La clasificación de la NEC 2015 presenta un abanico vasto de posibilidades de tipos de suelo según límites de onda cortante que varían de entre menos de 380 m/s, lo que corresponde a un perfil de suelo Tipo E, hasta más de 1500 m/s, lo que sería un perfil de suelo Tipo A.

Sin embargo, la base de datos de registros sísmicos utilizada en este proyecto sigue una clasificación de estratos más simplificada, basada también en el mismo criterio de velocidad de onda cortante. Esta clasificación más considera únicamente tres tipos de suelo. El suelo rígido, corresponde a una velocidad de onda cortante de 600 m/s o mayor; el suelo medio está entre una velocidad de onda cortante de 400 m/s y 600 m/s, mientras que el suelo blando se caracteriza por una velocidad de onda cortante de entre 200 m/s y 400 m/s.

Cabe destacar que, los acelerogramas no solo se clasifican según su perfil estratigráfico de tipo de suelo, si no también de su magnitud y del mecanismo focal que produjo el sismo. La intención es analizar la incidencia del mecanismo focal en la respuesta dinámica de las estructuras. Es por ello que, se han clasificado los acelerogramas en:

Clasificación de acelerogramas según su mecanismo focal, magnitud y tipo de suelo:		
Falla tipo deslizamiento lateral o de cizalla:		
Magnitud de entre 6 a 8 en la escala de Richter:		
Suelo Blando: 200 m/s < Vs < 400 m/s	Suelo Medio: 400 m/s < Vs < 600 m/s	Suelo Rígido: Vs > 600 m/s

RSN1626_SITKA_212V5090	RSN164_IMPVAL.L.H_H-CPE237	RSN38_BORREGO_A-TLI249
RSN1633_MANJIL_ABBAR--T	RSN265_VICT_CPE315	RSN95_MANAGUA_A-ESO090
RSN1763_HECTOR_PFT090	RSN420_GREECE_B-IER-WE	RSN158_IMPVAL.L.H_H-AEP315

*Tabla 2: Registros sísmicos utilizados clasificados según su mecanismo focal de falla tipo deslizamiento, magnitud de 6 a 8, y tipos de suelo.*

Clasificación de acelerogramas según su mecanismo focal, magnitud y tipo de suelo:		
Falla tipo inversa:		
Magnitud de entre 6 a 8 en la escala de Richter:		
Suelo Blando: 200 m/s < Vs < 400 m/s	Suelo Medio: 400 m/s < Vs < 600 m/s	Suelo Rígido: Vs > 600 m/s
RSN537_PALMSPR_SIL090	RSN125_FRIULIA_A-TMZ270	RSN15_KERN_TAF111
RSN572_SMART1.45_45EO2EW	RSN139_TABAS_DAY-T1	RSN51_SFERN_PVE065
RSN748_LOMAP_BES075	RSN325_COALINGA.H_H-TM2090	RSN126_GAZLI_GAZ090

*Tabla 3: Registros sísmicos utilizados clasificados según su mecanismo focal de falla tipo inversa, magnitud de 6 a 8, y tipos de suelo.*

Clasificación de acelerogramas según su mecanismo focal, magnitud y tipo de suelo:		
Falla tipo normal:		
Magnitud de entre 6 a 8 en la escala de Richter:		
Suelo Blando: 200 m/s < Vs < 400 m/s	Suelo Medio: 400 m/s < Vs < 600 m/s	Suelo Rígido: Vs > 600 m/s
RSN283_ITALY_A-ARI270	RSN1128_KOZANI_VEO--T	RSN232_MAMMOTH.I_I-MLS254
RSN1126_KOZANI_KOZ--T	RSN1136_DINAR_BLK090	RSN287_ITALY_A-BOV270

RSN4468_L-AQUILA_BS029XTE	RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE	RSN1752_NWCHINA3_JIA270
---------------------------	---------------------------	-------------------------

*Tabla 4: Registros sísmicos utilizados clasificados según su mecanismo focal de falla tipo normal, magnitud de 6 a 8, y tipos de suelo.*

En total son 27 registros sísmicos de varios países, los cuales han sido obtenidos de una base de datos consolidada en la USFQ. En este trabajo, todos estos registros se escalan a 0.2 g y a 0.5 g para analizar cada edificación; es decir que, hay 54 acelerogramas introducidos como casos de carga e interpretados por ETABS como funciones tiempo-historia. Debido a que son dos edificaciones, Edificio A y Edificio B, se realizarán 108 corridas de los modelos de las edificaciones para luego estudiar los resultados de desplazamientos máximos, derivas y cortante basal, representados en gráficas que permiten establecer patrones y realizar comparaciones entre resultados.

Cabe destacar que, los acelerogramas fueron organizados y escalados mediante el programa Degtra, el cual permite tomar registros provenientes de los acelerógrafos y reubicar los datos provenientes en sentido horizontal a sentido vertical con respecto al periodo, que es como ETABS lee los datos, además de poder escalarlos en amplitud, como se describió anteriormente.

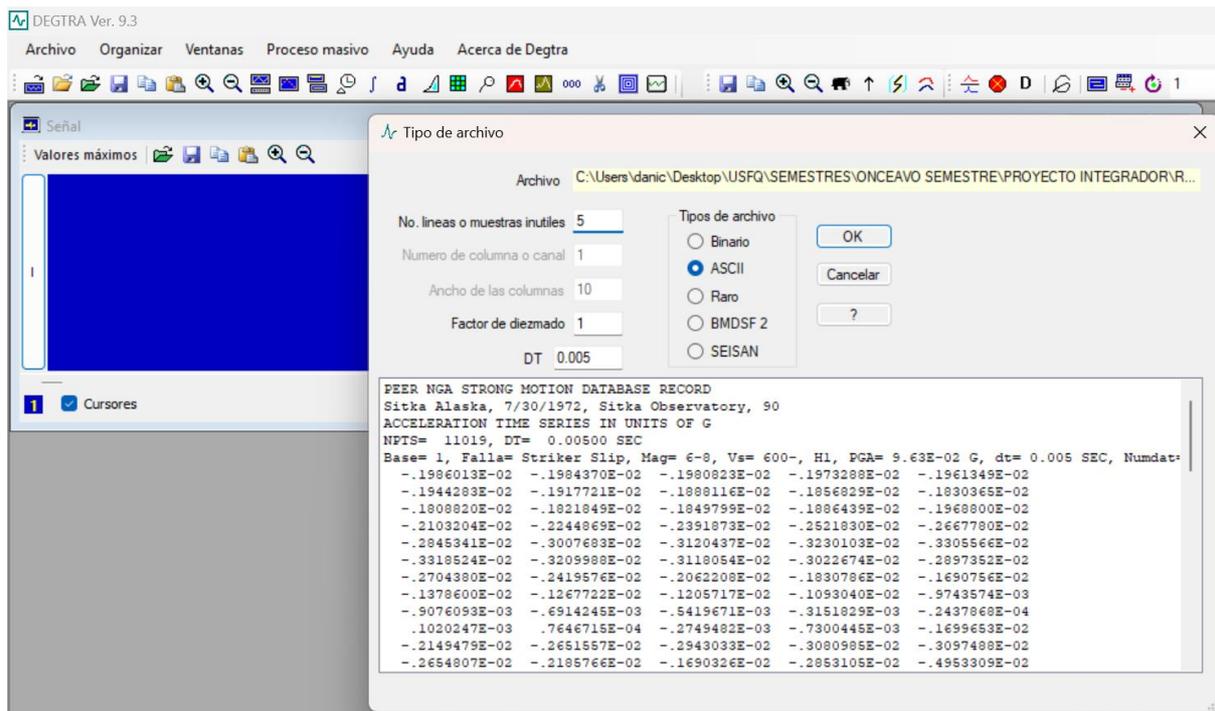


Figura 27: Utilización de Degtra para reorganizar y escalar datos.

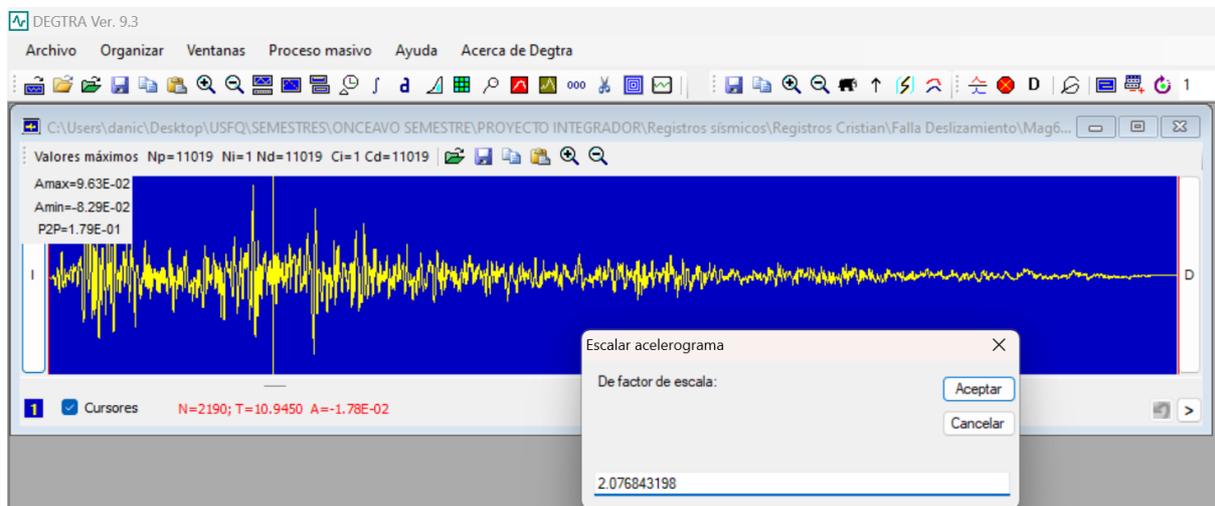


Figura 28: Factor de escala de ejemplo para obtener el PGA a 0.2 g.

Este proceso se repite de manera análoga para todos los registros sísmicos, considerando el factor de escala correspondiente según el PGA de cada registro con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de escala} = \frac{0.2 [g] \text{ ó } 0.5 [g]}{\text{PGA} [g]}$$

Falla de deslizamiento					
Suelo Rígido		Suelo Medio		Suelo Blando	
<b>RSN1626_SITKA_212V5090</b>		<b>RSN164_IMPVALL.H_H-CPE237</b>		<b>RSN38_BORREGO_A-TLI249</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.0963	1	0.157	1	0.0972	1
0.2	2.076843198	0.2	1.27388535	0.2	2.057613169
0.5	5.192107996	0.5	3.184713376	0.5	5.144032922
<b>RSN1633_MANJIL_ABBAR--T</b>		<b>RSN265_VICT_CPE315</b>		<b>RSN95_MANAGUA_A-ESO090</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.497	1	0.633	1	0.372	1
0.2	0.402414487	0.2	0.315955766	0.2	0.537634409
0.5	1.006036217	0.5	0.789889415	0.5	1.344086022
<b>RSN1763_HECTOR_PFT090</b>		<b>RSN420_GREECE_B-IER-WE</b>		<b>RSN158_IMPVALL.H_H-AEP315</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.0356	1	0.0267	1	0.271	1
0.2	5.617977528	0.2	7.490636704	0.2	0.73800738
0.5	14.04494382	0.5	18.72659176	0.5	1.84501845

Tabla 5: Factores de escala a 0.2 g y 0.5 g de los registros sísmicos de falla de deslizamiento.

Falla inversa					
Suelo Rígido		Suelo Medio		Suelo Blando	
<b>RSN537_PALMSPR_SIL090</b>		<b>RSN125_FRIULI.A_A-TMZ270</b>		<b>RSN15_KERN_TAF111</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.116	1	0.315	1	0.18	1
0.2	1.724137931	0.2	0.634920635	0.2	1.111111111
0.5	4.310344828	0.5	1.587301587	0.5	2.777777778
<b>RSN572_SMART1.45_45EO2EW</b>		<b>RSN139_TABAS_DAY-T1</b>		<b>RSN51_SFERN_PVE065</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.136	1	0.409	1	0.0258	1
0.2	1.470588235	0.2	0.488997555	0.2	7.751937984
0.5	3.676470588	0.5	1.222493888	0.5	19.37984496
<b>RSN748_LOMAP_BES075</b>		<b>RSN325_COALINGA.H_H-TM2090</b>		<b>RSN126_GAZLI_GAZ090</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.111	1	0.0374	1	0.864	1
0.2	1.801801802	0.2	5.347593583	0.2	0.231481481
0.5	4.504504505	0.5	13.36898396	0.5	0.578703704

Tabla 6: Factores de escala a 0.2 g y 0.5 g de los registros sísmicos de falla de deslizamiento.

Falla normal					
Suelo Rígido		Suelo Medio		Suelo Blando	
<b>RSN283_ITALY_A-ARI270</b>		<b>RSN1128_KOZANI_VEO--T</b>		<b>RSN232_MAMMOTH.I_I-MLS254</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.0346	1	0.0268	1	0.324	1
0.2	5.780346821	0.2	7.462686567	0.2	0.617283951
0.5	14.45086705	0.5	18.65671642	0.5	1.543209877
<b>RSN1126_KOZANI_KOZ--T</b>		<b>RSN1136_DINAR_BLK090</b>		<b>RSN287_ITALY_A-BOV270</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.14	1	0.00265	1	0.0446	1
0.2	1.428571429	0.2	75.47169811	0.2	4.484304933
0.5	3.571428571	0.5	188.6792453	0.5	11.21076233
<b>RSN4468_L-AQUILA_BS029XTE</b>		<b>RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE</b>		<b>RSN1752_NWCHINA3_JIA270</b>	
PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala	PGA [g]	Factor de escala
0.00846	1	0.0201	1	0.274	1
0.2	23.64066194	0.2	9.950248756	0.2	0.729927007
0.5	59.10165485	0.5	24.87562189	0.5	1.824817518

Tabla 7: Factores de escala a 0.2 g y 0.5 g de los registros sísmicos de falla de deslizamiento.

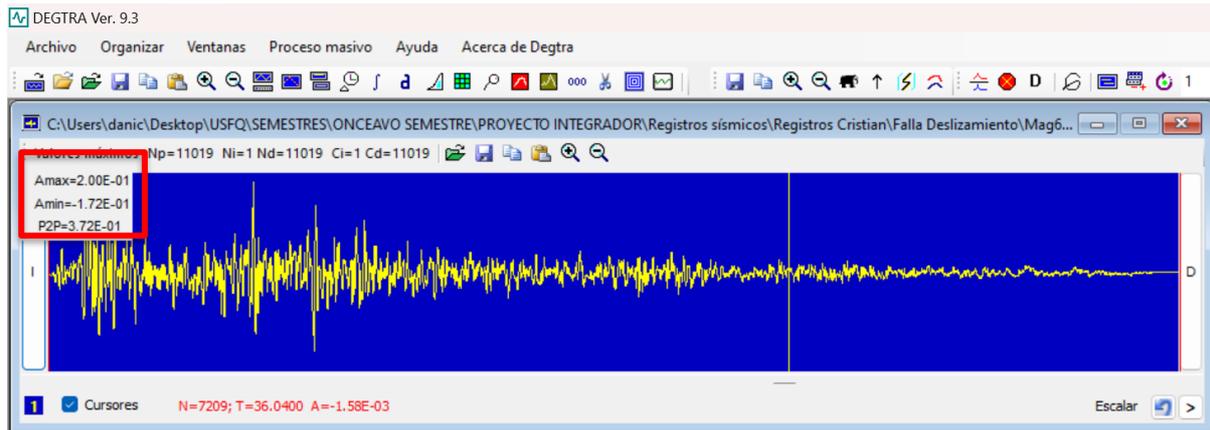


Figura 29: Acelerograma organizado y escalado a 0.2 g.

Todos los registros sísmicos son exportados del programa Degtra e introducidos en ETABS mediante un archivo de texto .txt, de esta manera se asegura que los registros tengan coherencia y sean comparables entre sí. Una vez dentro de ETABS, se analizan todos los registros y se exportan los resultados para proceder a crear las gráficas comparativas de cada uno.

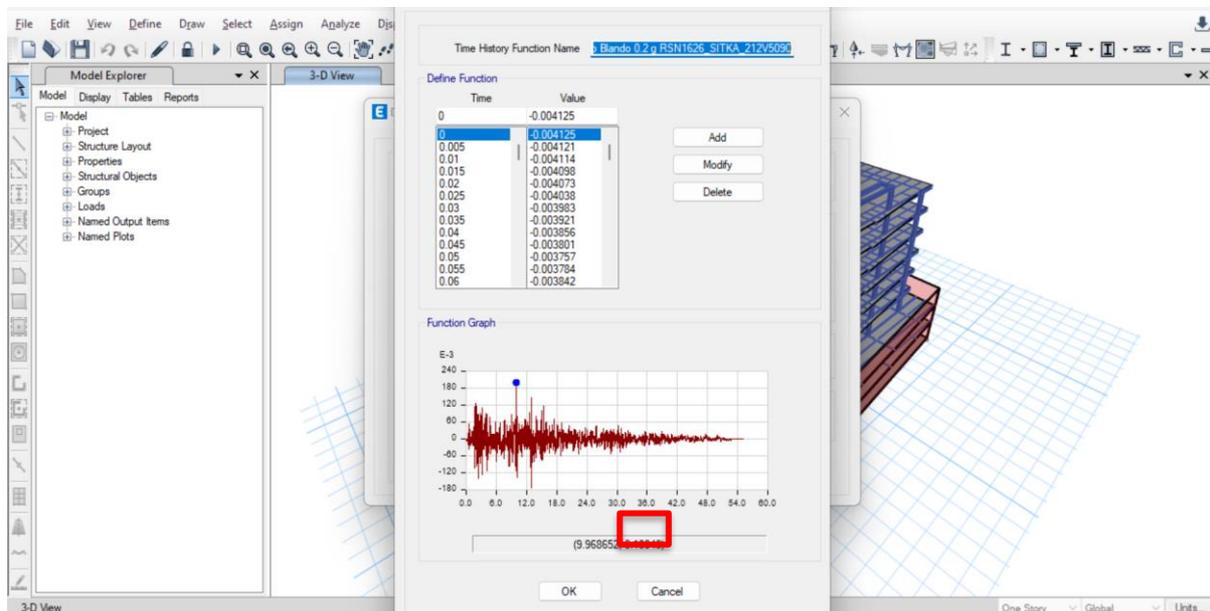


Figura 30: Presentación de lectura de registro sísmico escalado a 0.2 g en ETABS.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS

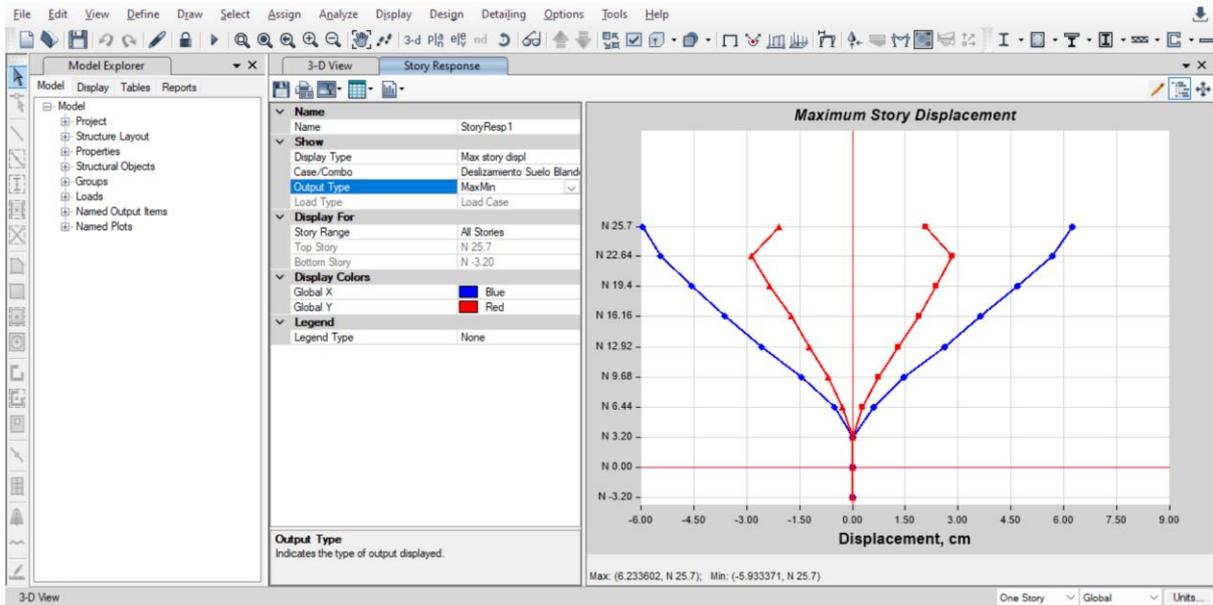


Figura 31: Presentación de resultados de desplazamientos máximos en cada nivel para acelerogramas en ETABS.

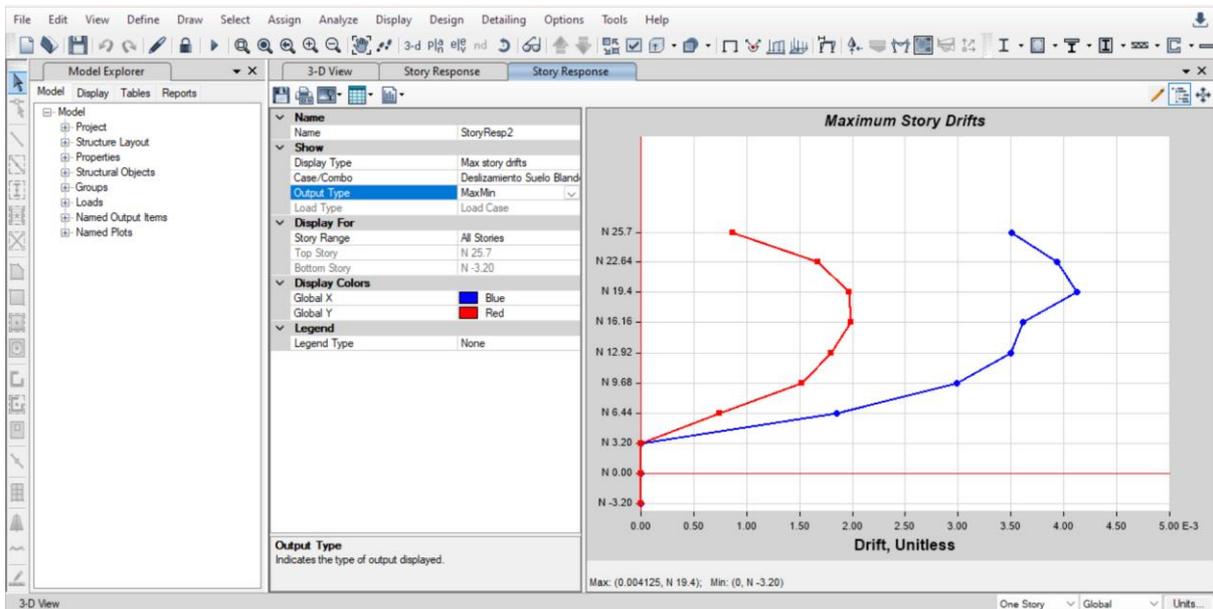


Figura 32: Presentación de resultados de derivas en cada nivel para acelerogramas en ETABS.

	Output Case	Case Type	Step Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m	X m
▶	Deslizamiento...	LinModHist	Max	776.3608	37.396	0	617.4748	8495.1325	12384.9183	0
	Deslizamiento...	LinModHist	Min	-784.9438	-39.062	0	-574.8736	-8150.401	-13419.0976	0

Figura 33: Presentación de resultados de cortante basal para acelerogramas en ETABS.

Los resultados se obtienen exportando los valores de los datos presentados en las figuras 31, 32 y 33 y creando gráficas en Excel que muestran los desplazamientos máximos, derivas y cortante basal de cada acelerograma con respecto a su mecanismo focal y tipo de suelo. Es decir que, cada gráfica muestra nueve curvas que son comparables entre sí.

### Edificación A a 0.2 g:

#### Falla tipo deslizamiento:

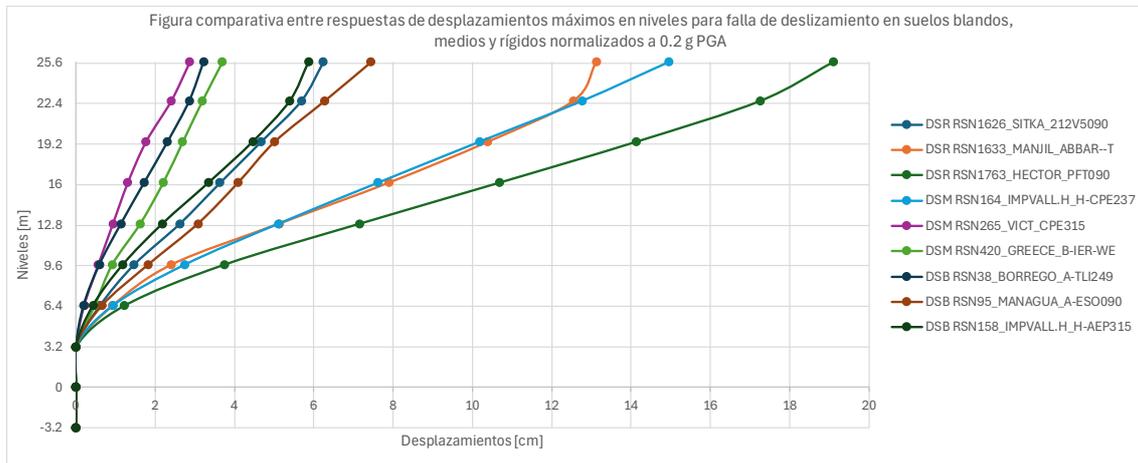


Figura 34: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (DSR: Desplazamiento Suelo Rígido, DSM: Desplazamiento Suelo Medio, DSB: Desplazamiento Suelo Blando).

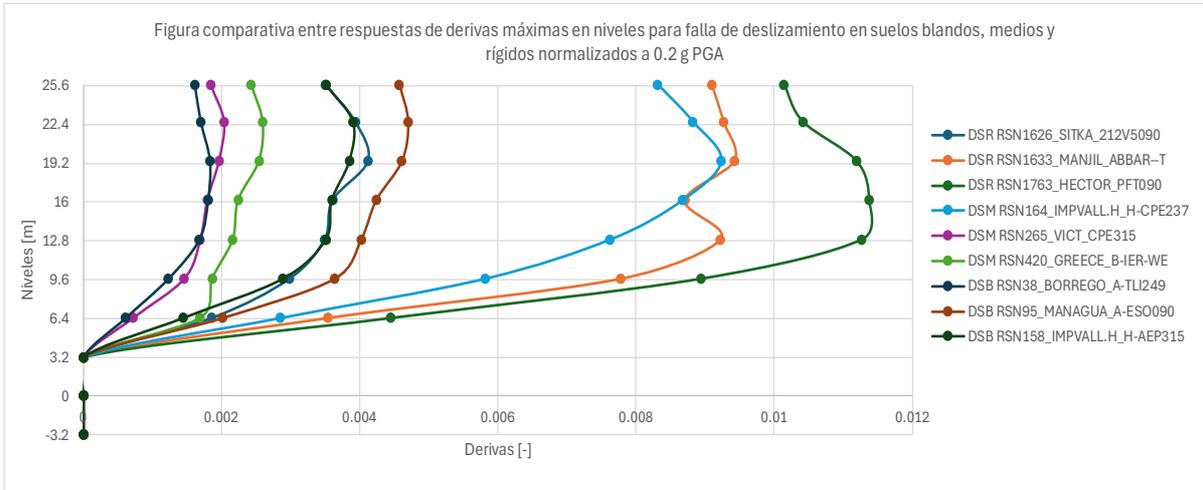


Figura 35: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (DSR: Desplazamiento Suelo Rígido, DSM: Desplazamiento Suelo Medio, DSB: Desplazamiento Suelo Blando).

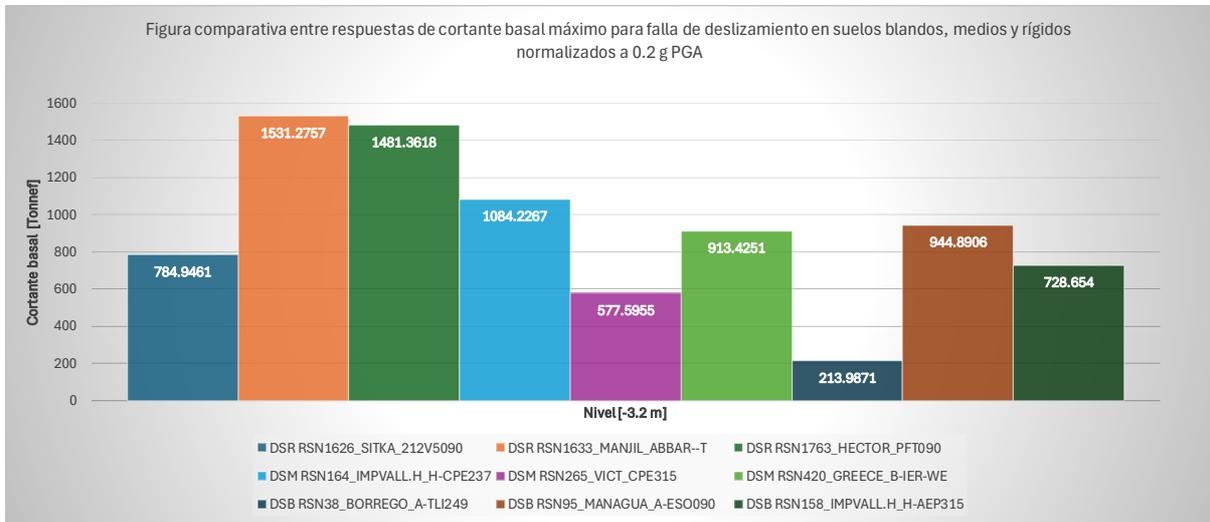


Figura 36: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (DSR: Desplazamiento Suelo Rígido, DSM: Desplazamiento Suelo Medio, DSB: Desplazamiento Suelo Blando).

### Falla tipo inversa:

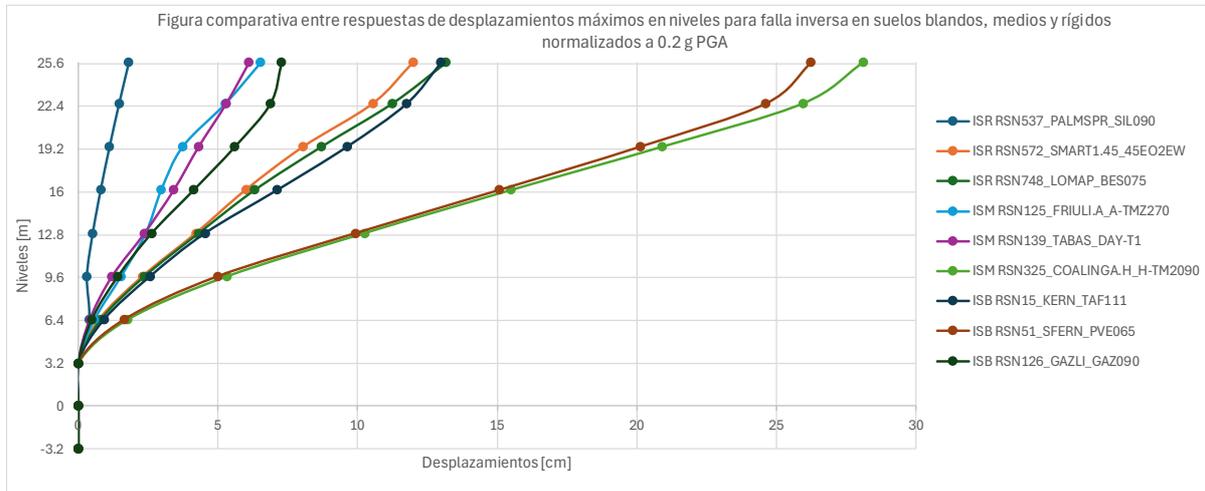


Figura 37: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (ISR: Inversa Suelo Rígido, ISM: Inversa Suelo Medio, ISB: Inversa Suelo Blando).

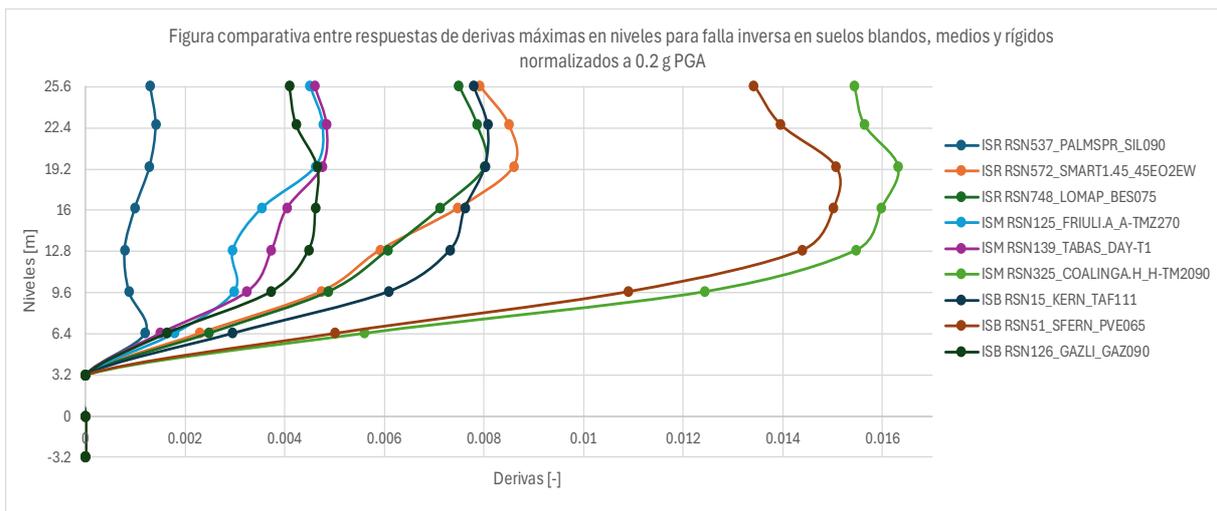


Figura 38: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (ISR: Inversa Suelo Rígido, ISM: Inversa Suelo Medio, ISB: Inversa Suelo Blando).

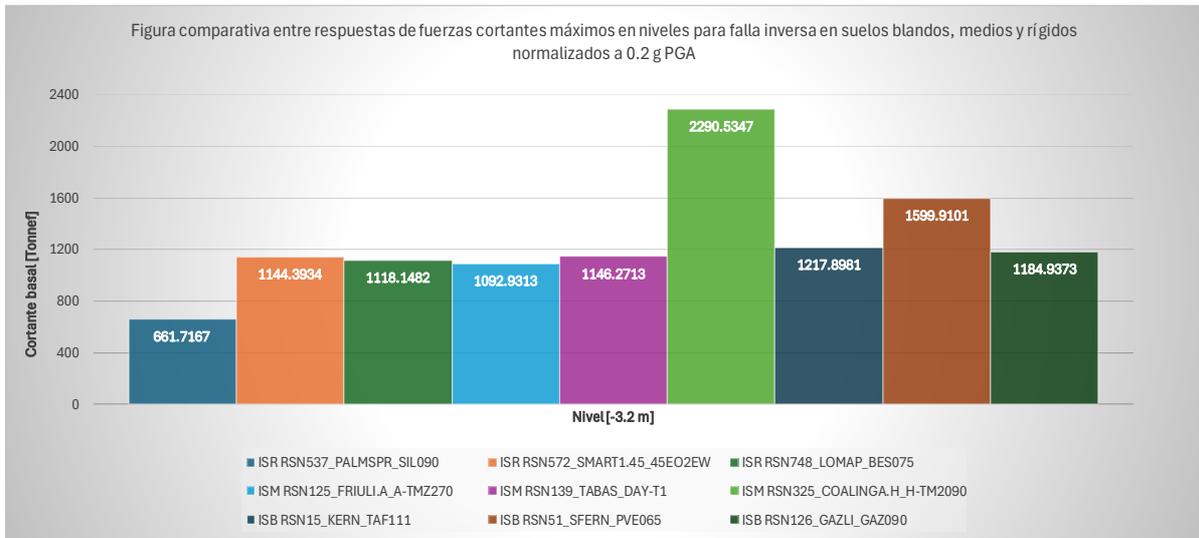


Figura 39: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (ISR: Inversa Suelo Rígido, ISM: Inversa Suelo Medio, ISB: Inversa Suelo Blando).

**Falla tipo normal:**

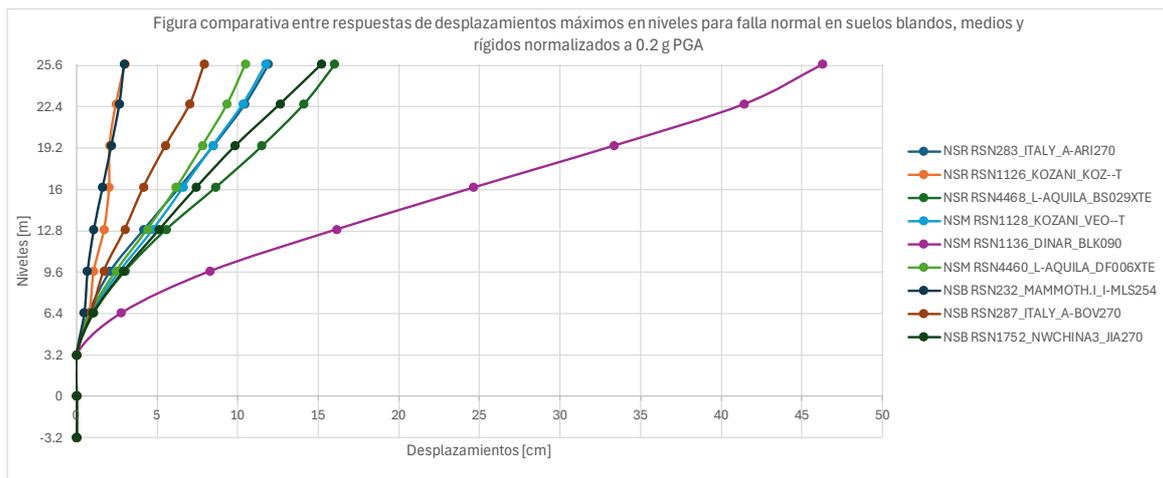


Figura 40: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA (NSR: Normal Suelo Rígido, NSM: Normal Suelo Medio, NSB: Normal Suelo Blando).

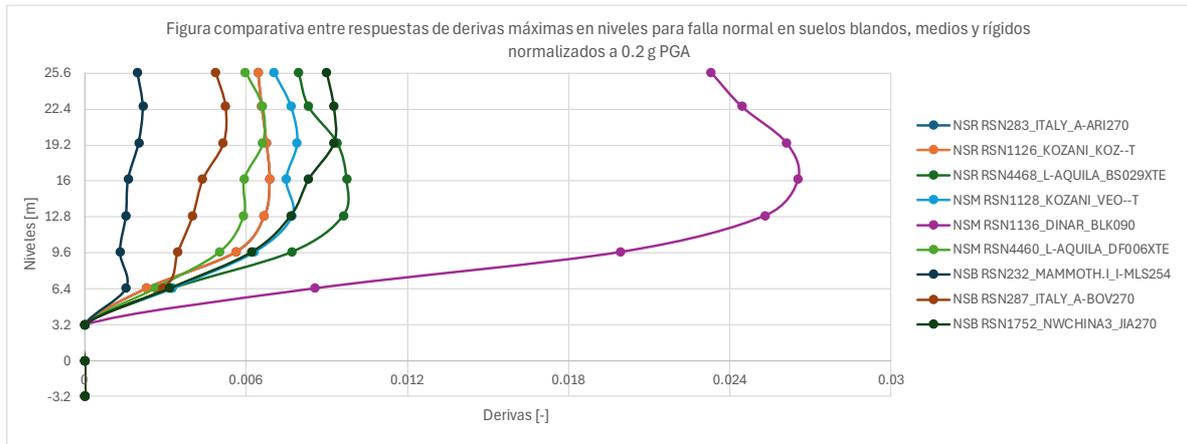


Figura 41: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

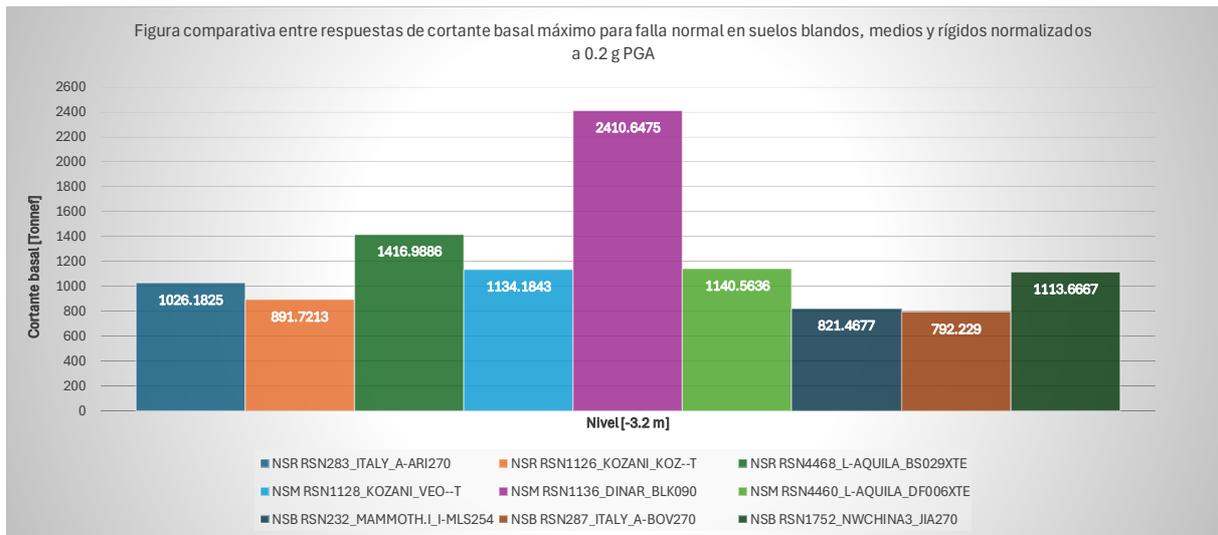


Figura 42: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

**Edificación A a 0.5 g:**

**Falla tipo deslizamiento:**

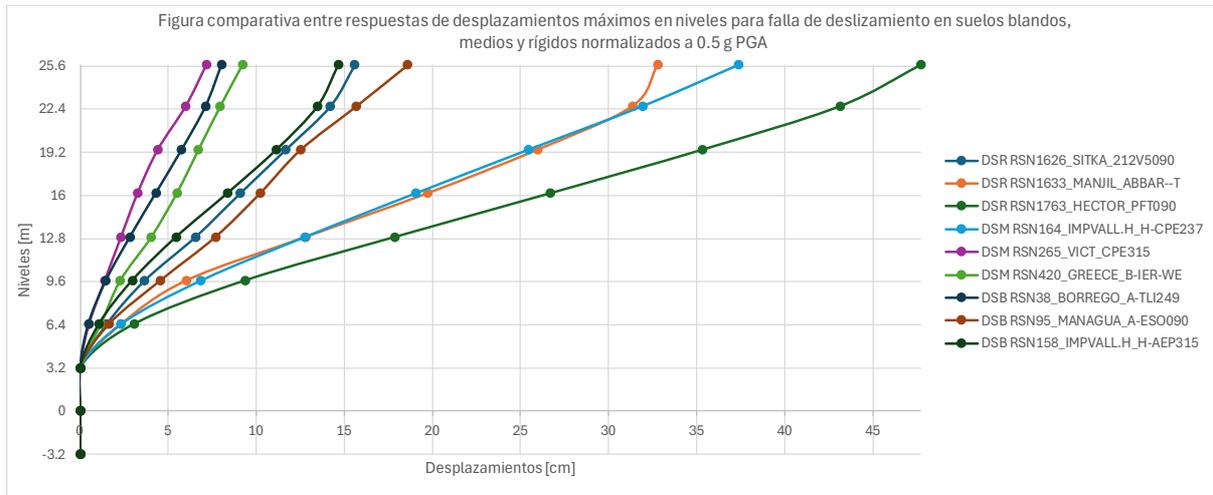


Figura 43: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

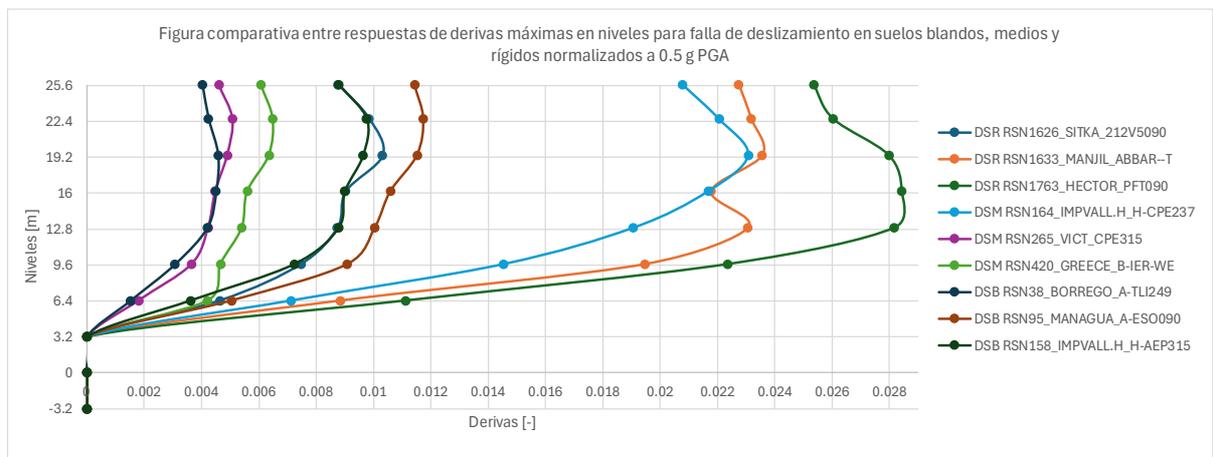


Figura 44: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

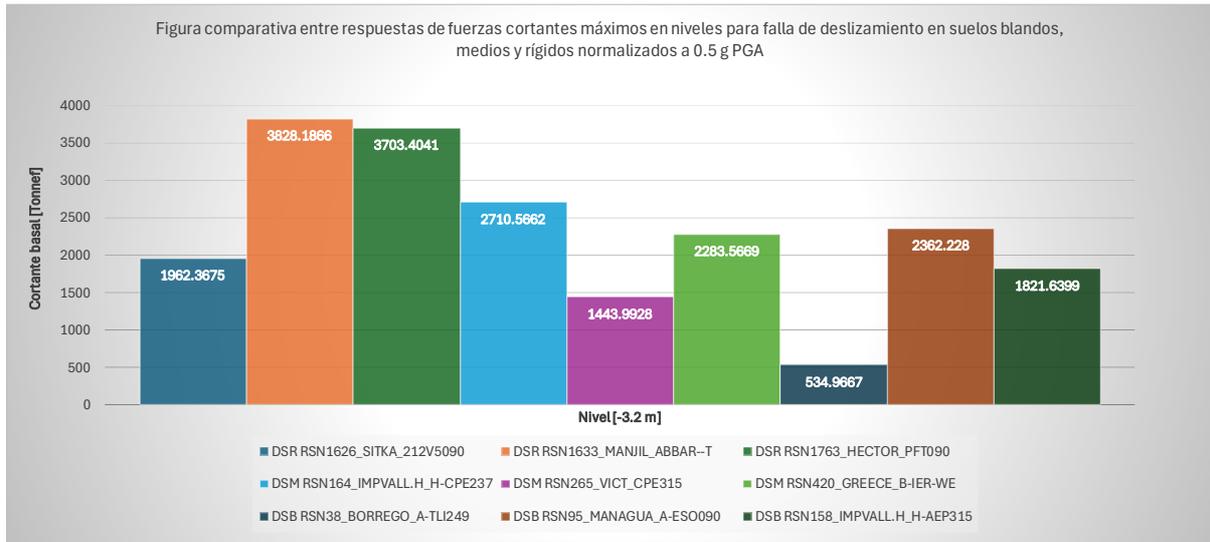


Figura 45: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

### Falla tipo inversa:



Figura 46: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

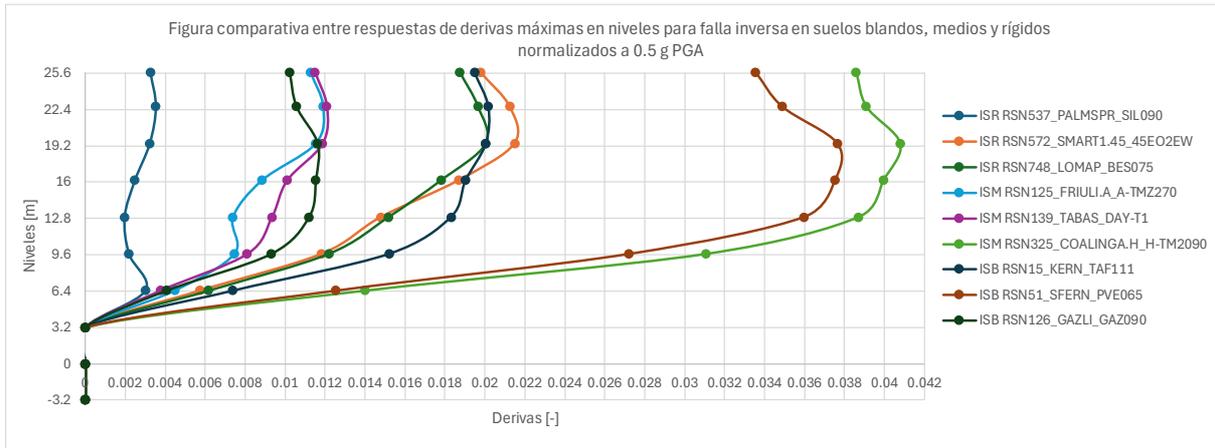


Figura 47: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

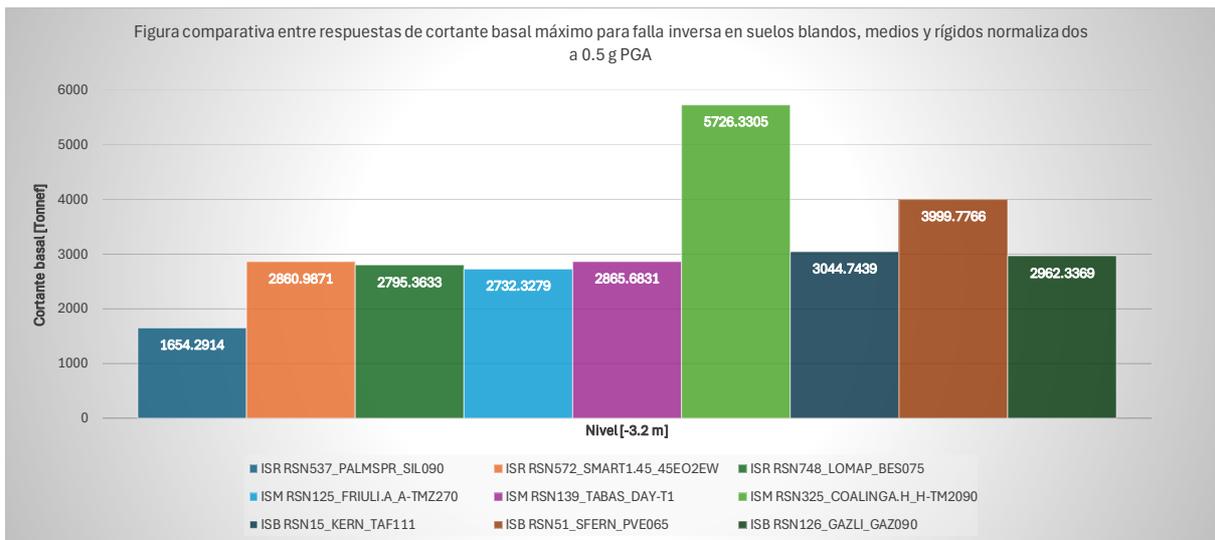


Figura 48: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

### Falla tipo normal:

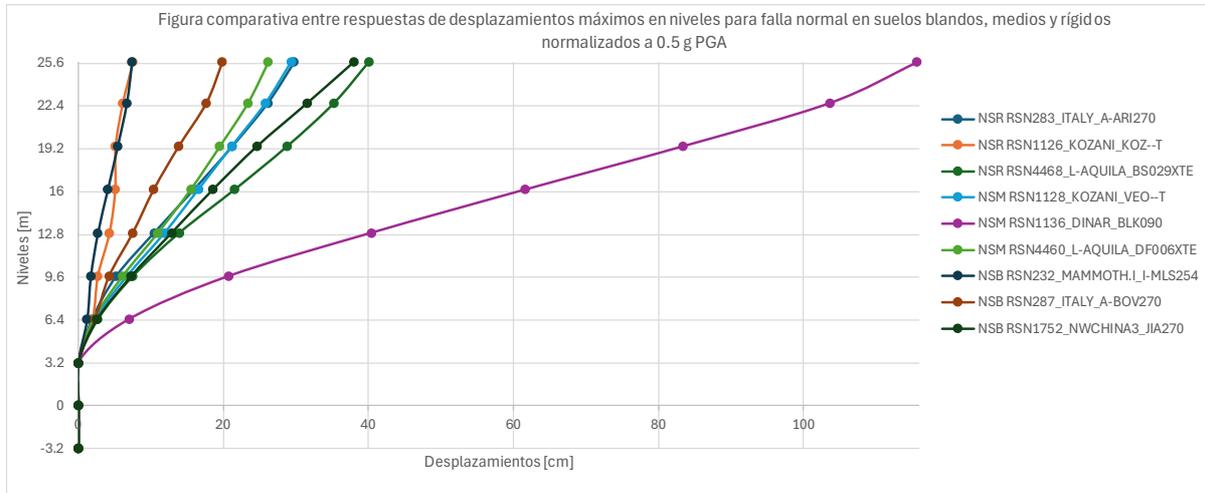


Figura 49: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

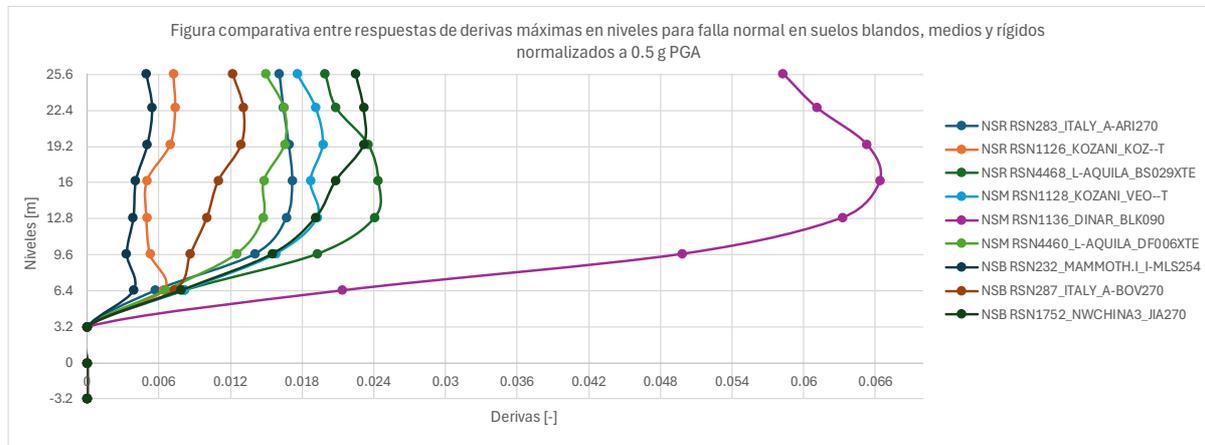


Figura 50: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

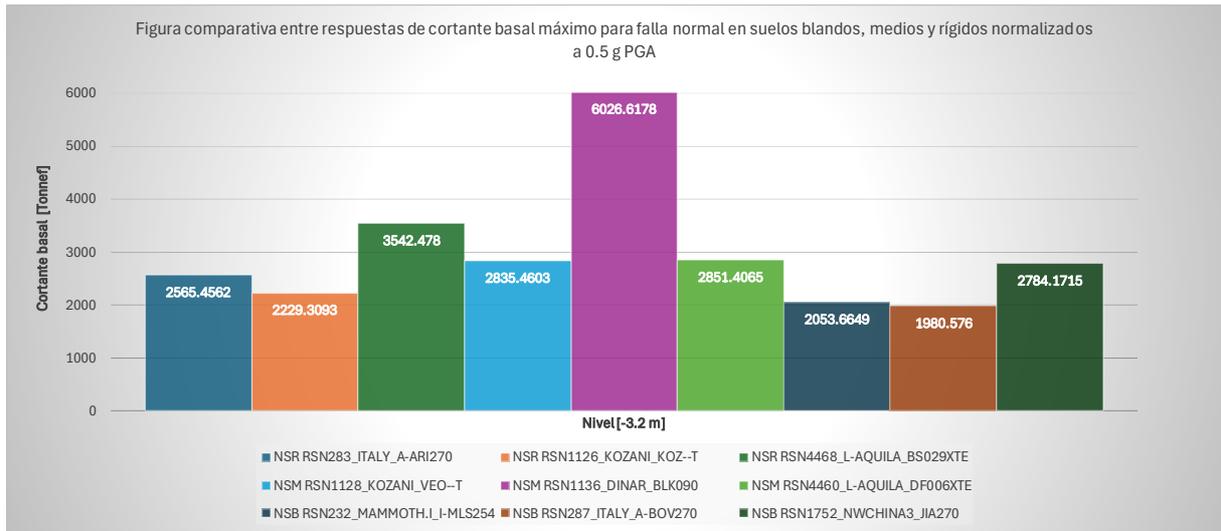


Figura 51: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

**Edificación B a 0.2 g:**

**Falla tipo deslizamiento:**

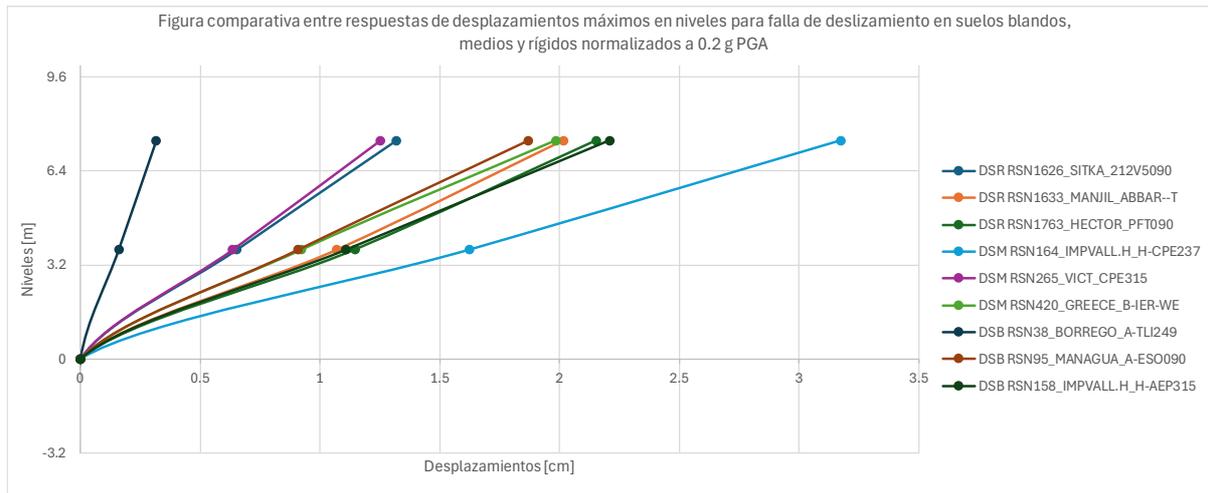


Figura 52: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

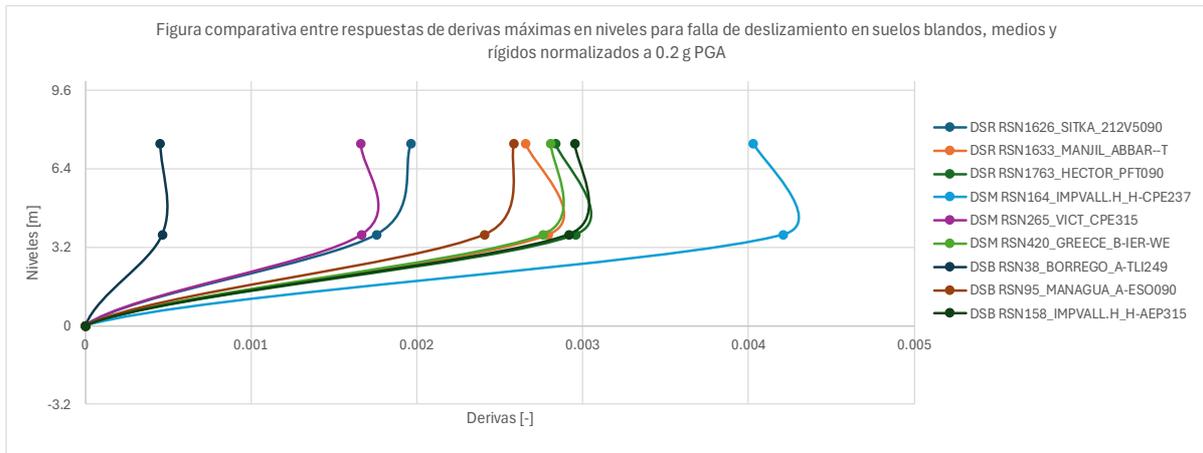


Figura 53: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

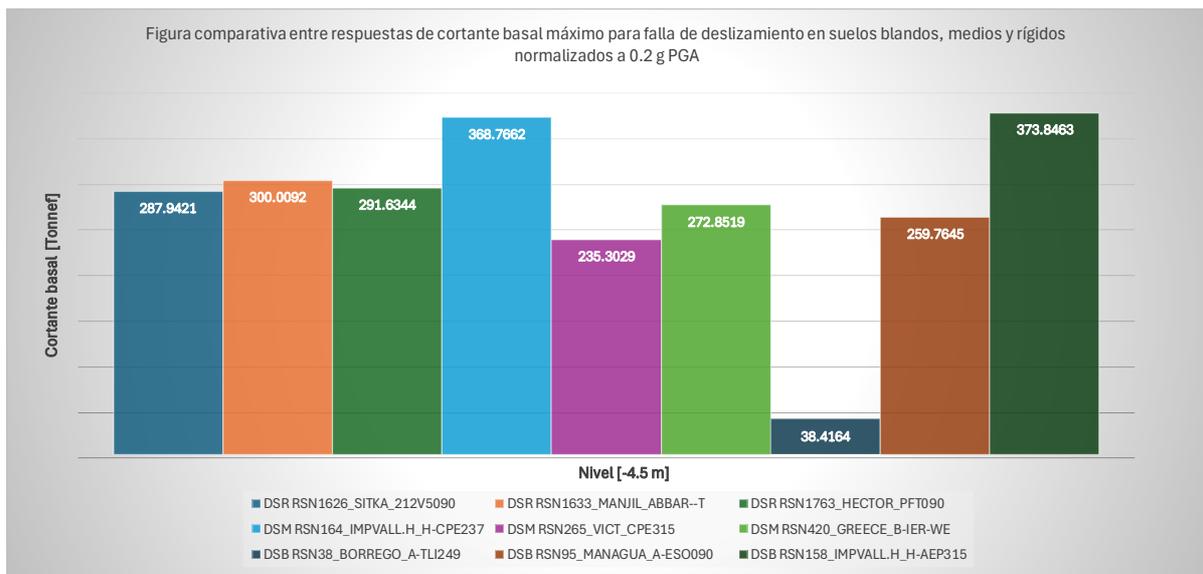


Figura 54: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

### Falla tipo inversa:

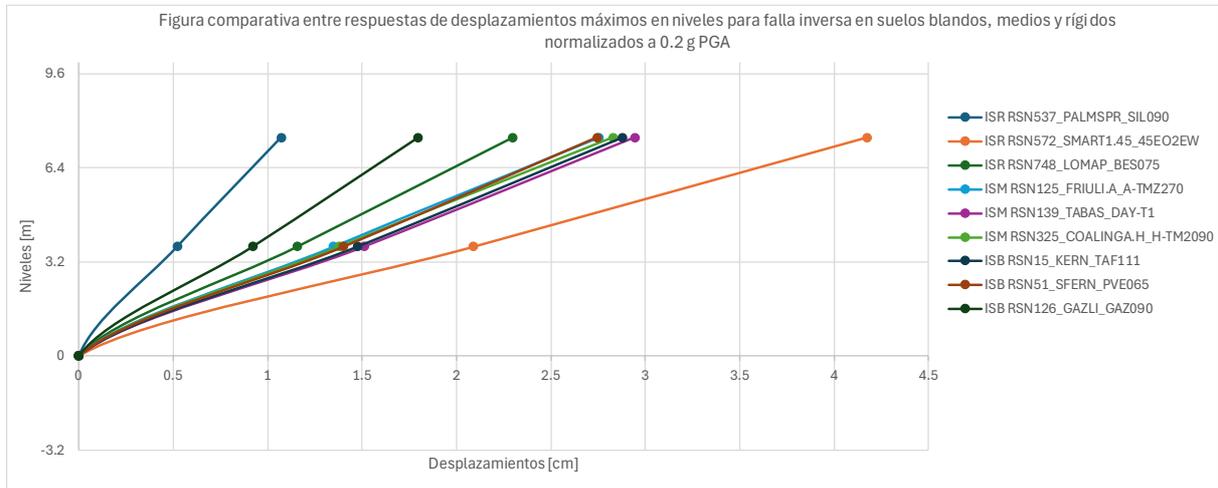


Figura 55: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

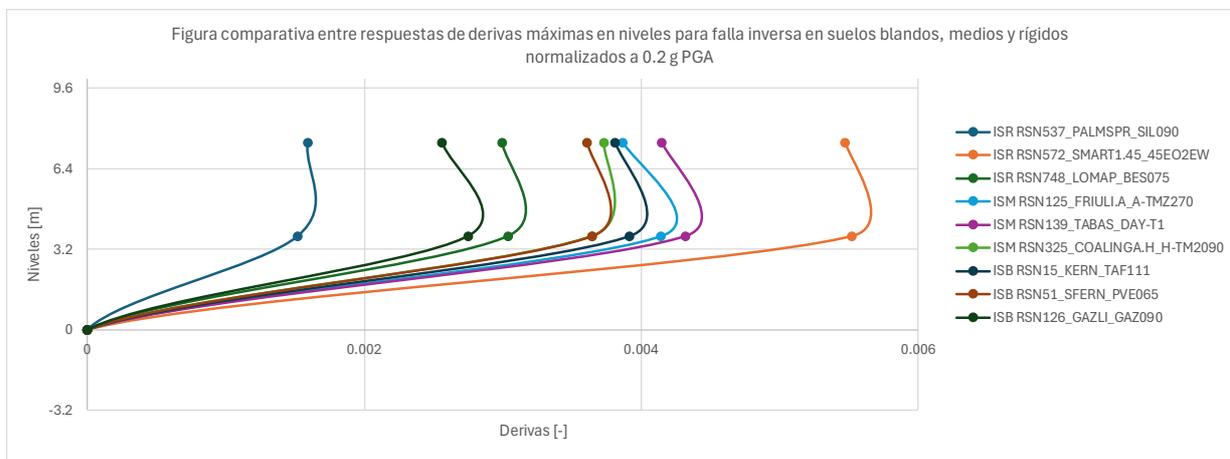


Figura 56: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

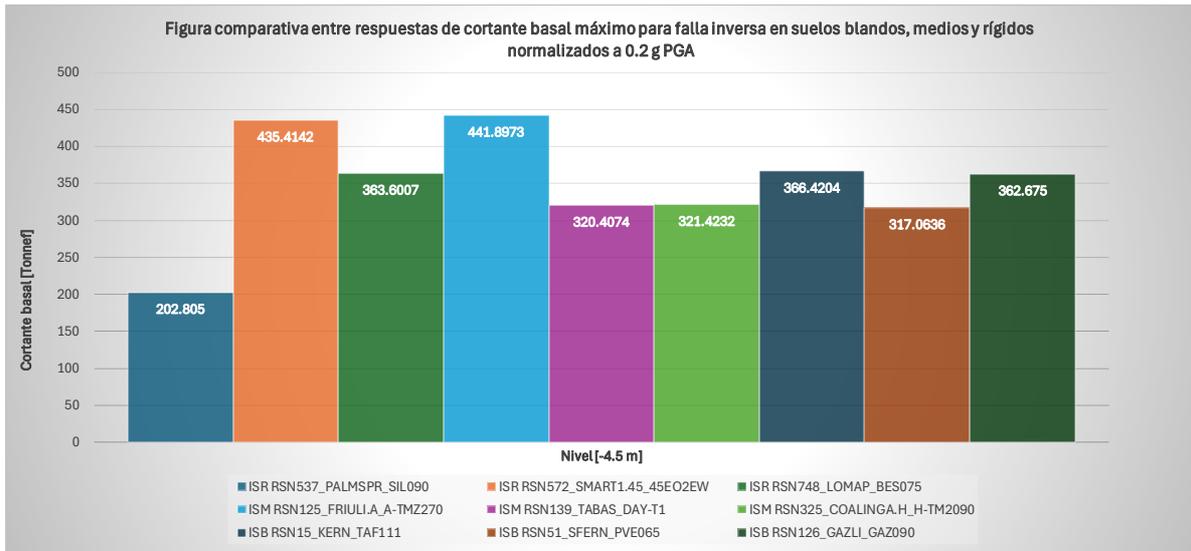


Figura 57: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

### Falla tipo normal:

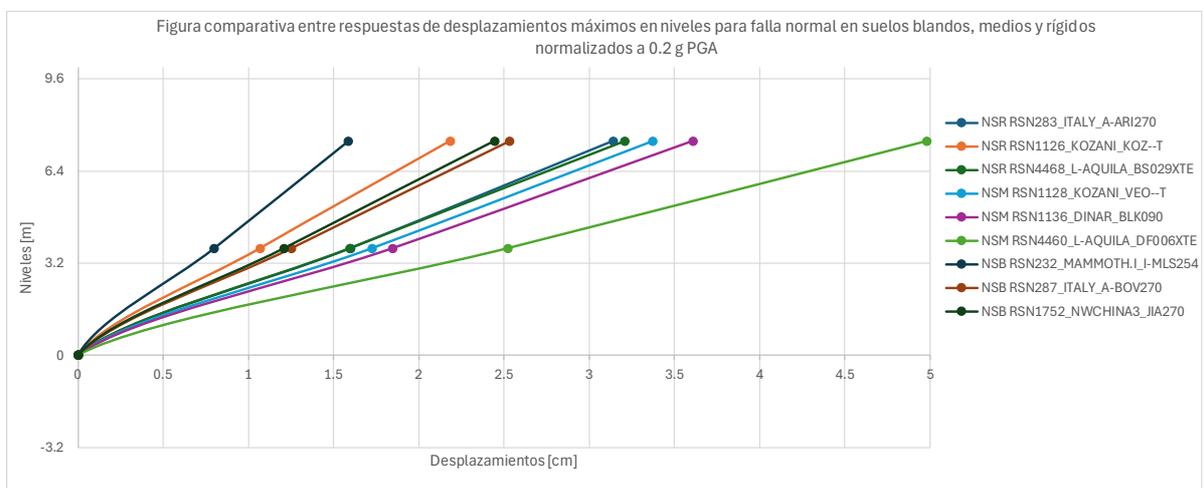


Figura 58: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

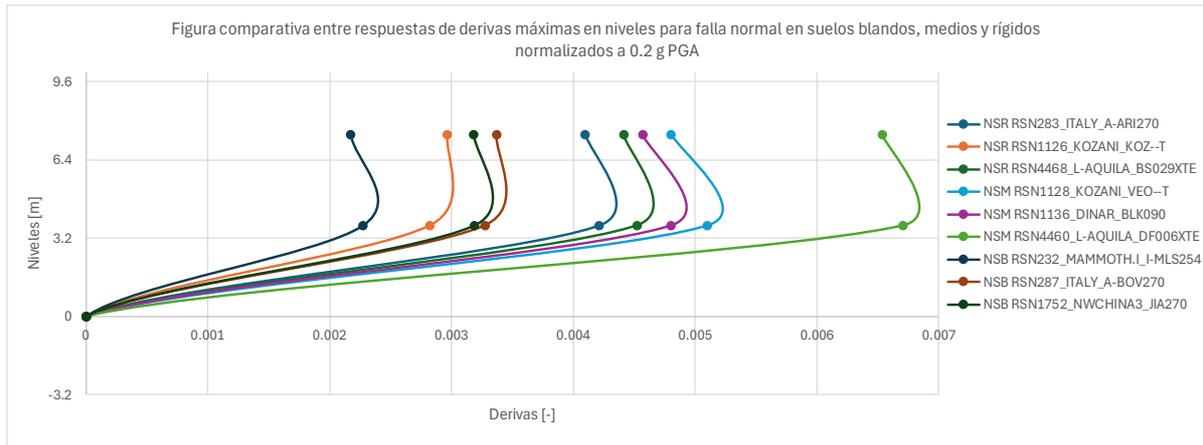


Figura 59: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

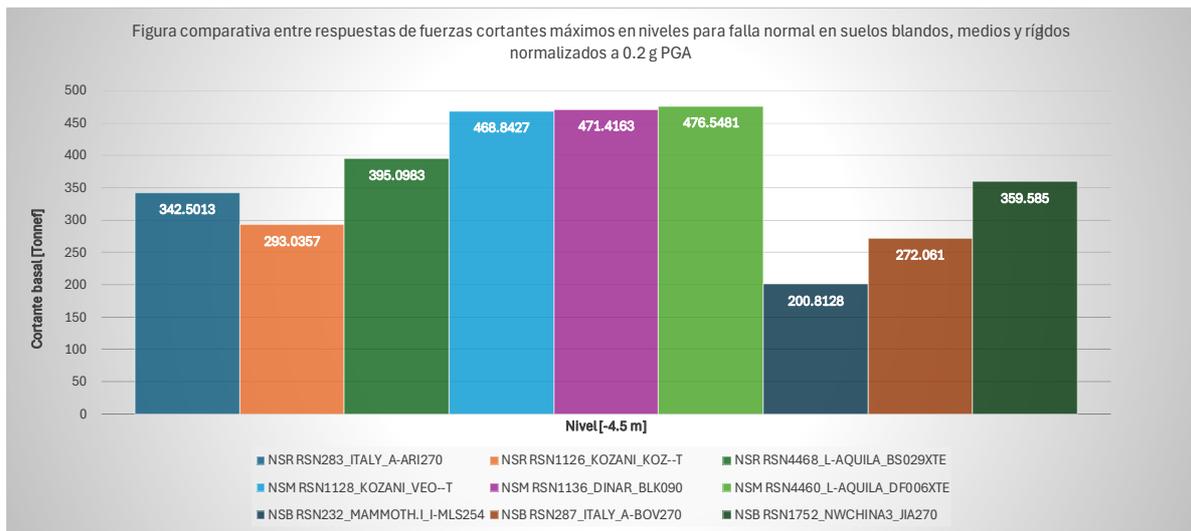


Figura 60: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

## Edificación B a 0.5 g:

### Falla tipo deslizamiento:

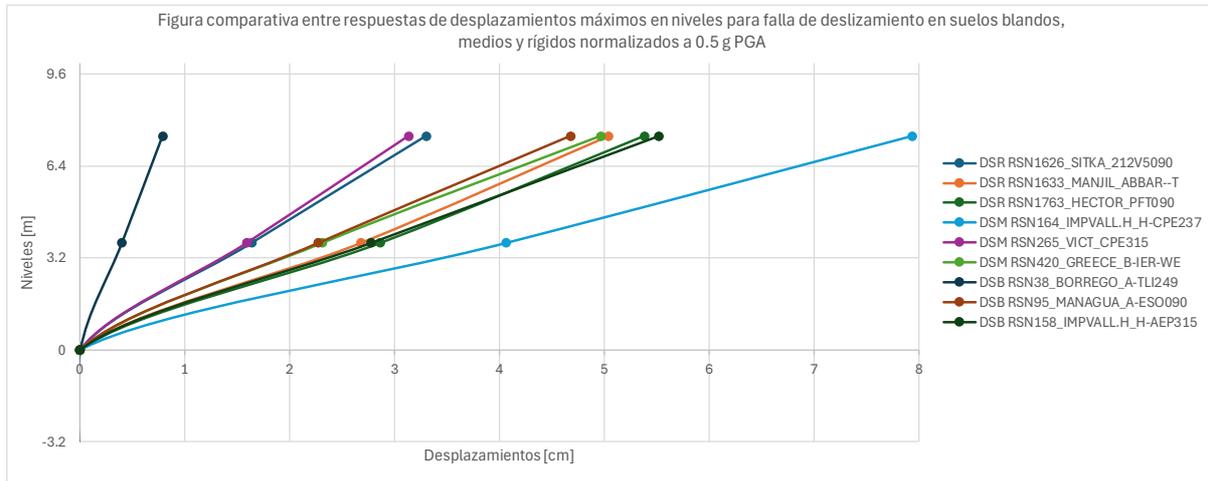


Figura 61: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

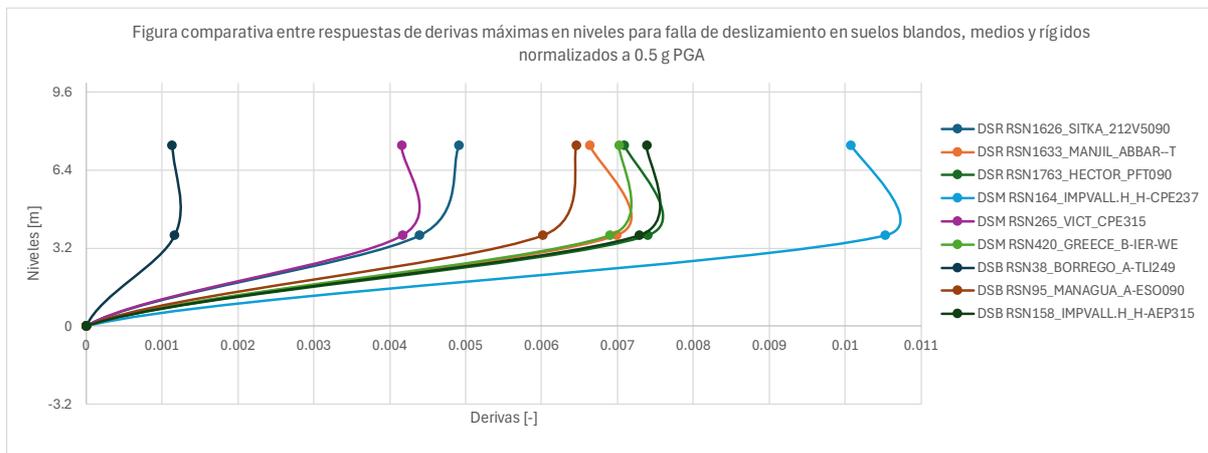


Figura 62: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

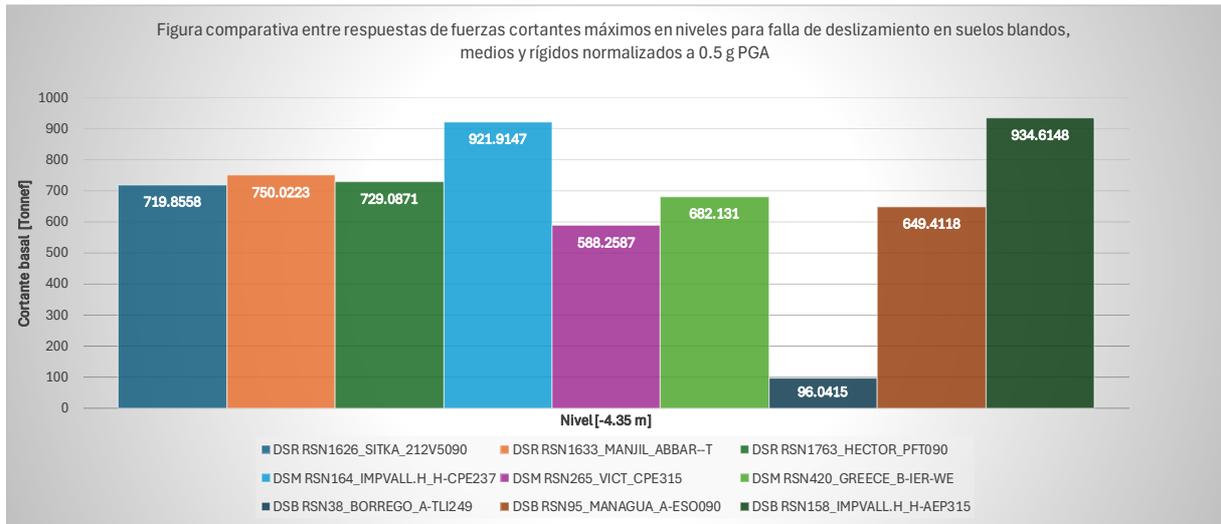


Figura 63: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

### Falla tipo inversa:

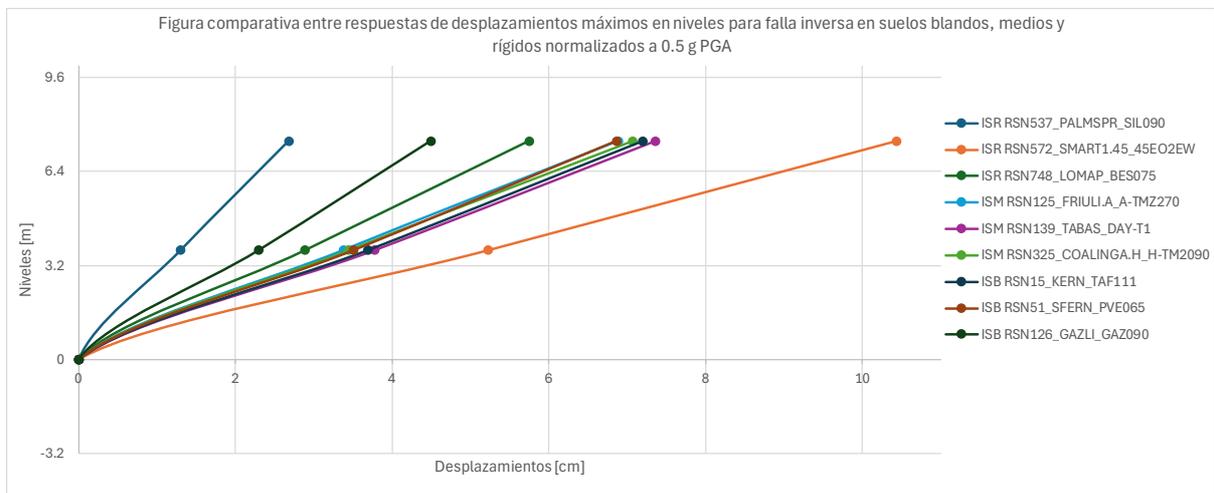


Figura 64: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

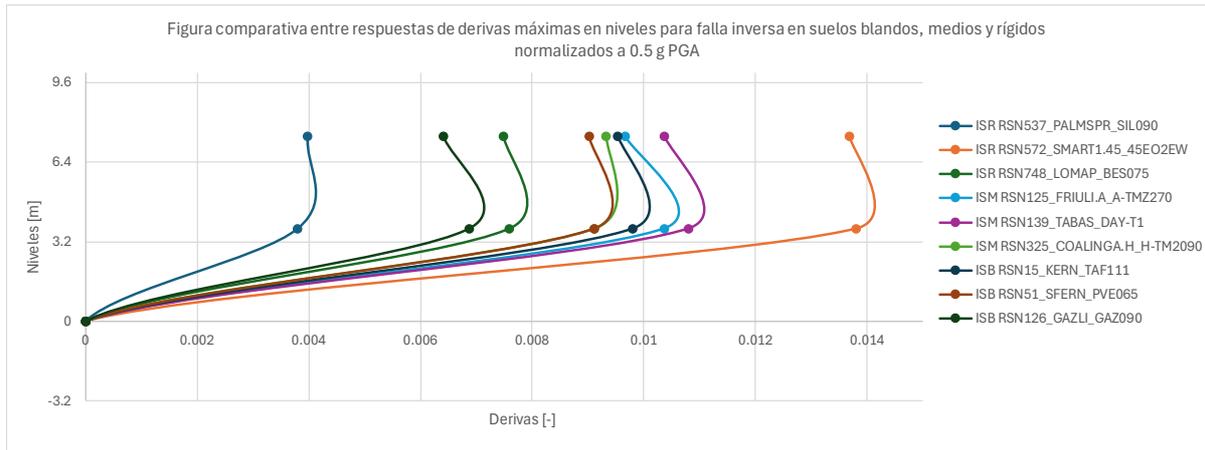


Figura 65: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

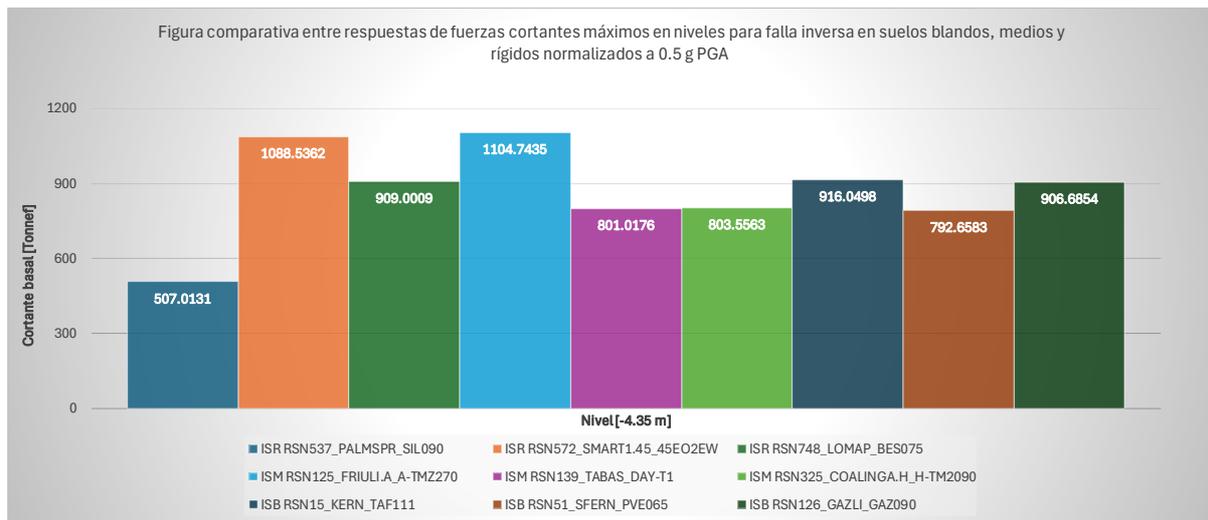


Figura 66: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla inversa en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

### Falla tipo normal:

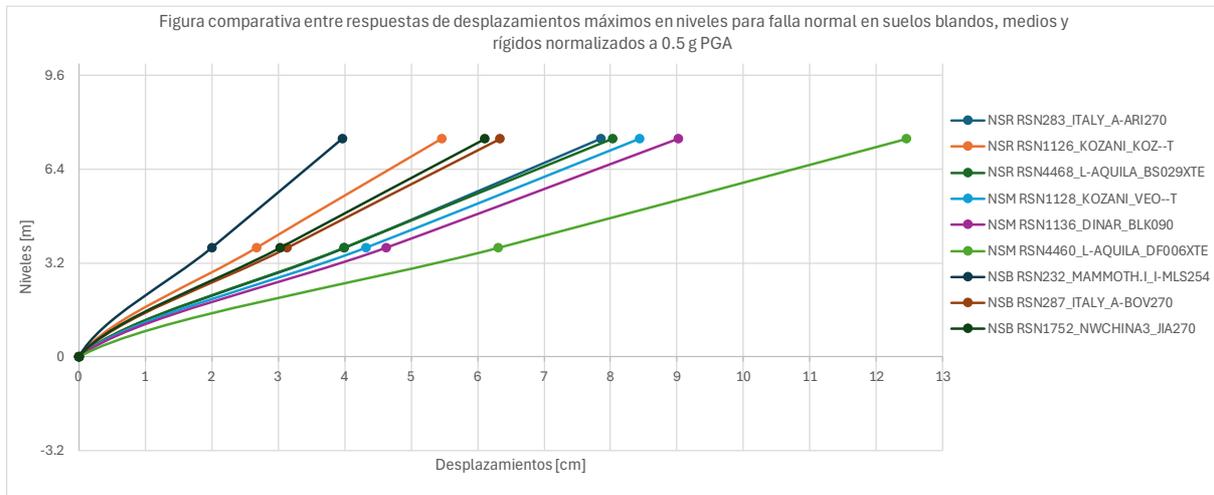


Figura 67: Gráfica comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

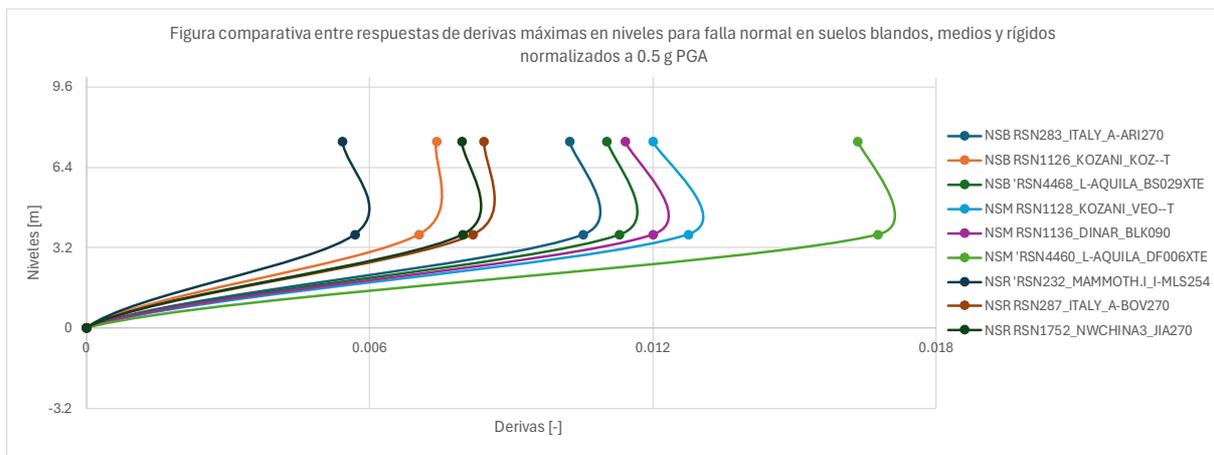


Figura 68: Gráfica comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

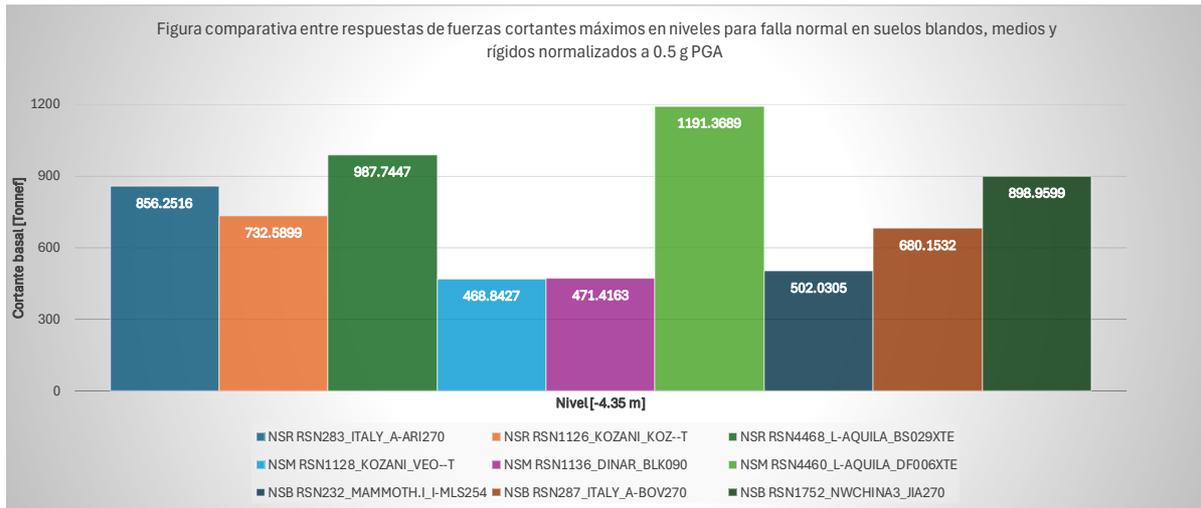
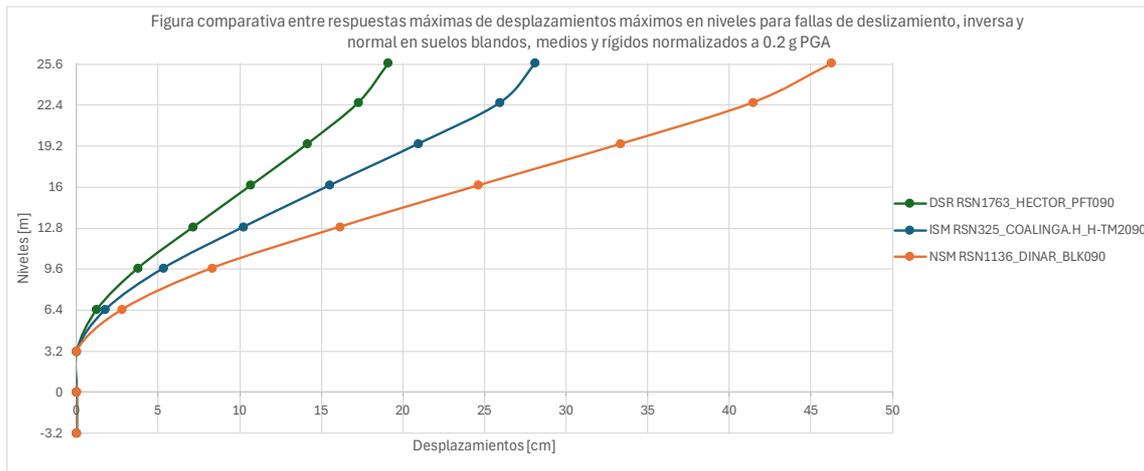


Figura 69: Gráfica comparativa entre respuestas de cortante basal máximo para falla normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

## CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Edificio A a 0.2 g:



*Figura 70: Figura comparativa entre respuestas máximas de desplazamientos máximos en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA*

La figura 70 muestra las curvas de desplazamientos máximos críticos para cada mecanismo focal analizado. En el caso de fallas por deslizamiento, el registro sísmico más crítico corresponde a suelo rígido (DSR: Deslizamiento Suelo Rígido), identificado como RSN1763\_HECTOR\_PFT090. Para fallas inversas, los desplazamientos máximos por nivel están asociados al suelo medio (ISM: Inversa Suelo Medio), representado por el registro RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090. Finalmente, el registro más crítico para fallas normales proviene de suelo medio (NSM: Normal Suelo Medio), correspondiente al acelerograma RSN1136\_DINAR\_BLK090.

Entre las tres curvas, el registro sísmico asociado al mecanismo de falla normal en suelo medio, con velocidades de onda de corte  $400 < V_s < 600$ , presenta el desplazamiento más crítico:

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090** alcanza un desplazamiento máximo de **46.265 cm** en el nivel de **25.7 m**.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090** registra un desplazamiento máximo de **28.105 cm** en el mismo nivel.
- **DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1763\_HECTOR\_PFT090** presenta un desplazamiento máximo de **19.096 cm** en el nivel de **25.7 m**.

Estos resultados permiten concluir que el mecanismo focal de falla normal genera un impacto más crítico en desplazamientos máximos cuando se combina con suelos medios, en comparación con otros mecanismos focales y tipos de suelo. Se podría pensar que, los suelos blandos deberían de provocar la respuesta más crítica, no obstante, esta depende del contenido de frecuencias del registro, y este depende de la distancia epicentral, resaltando la relevancia de estudiar el tipo de mecanismo focal y su interacción con las características del suelo en el comportamiento estructural, y añadir el factor distancia epicentral.

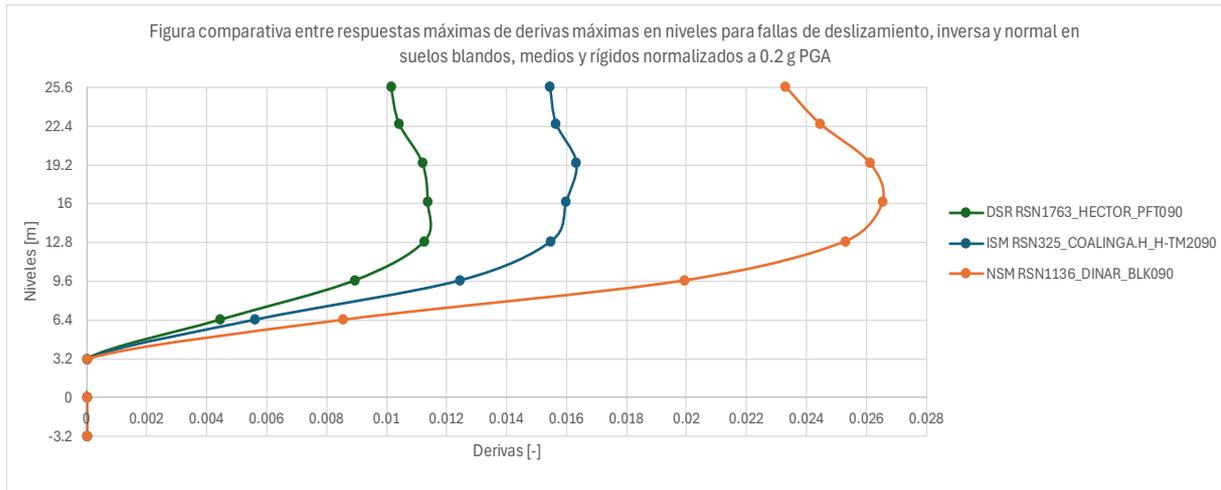


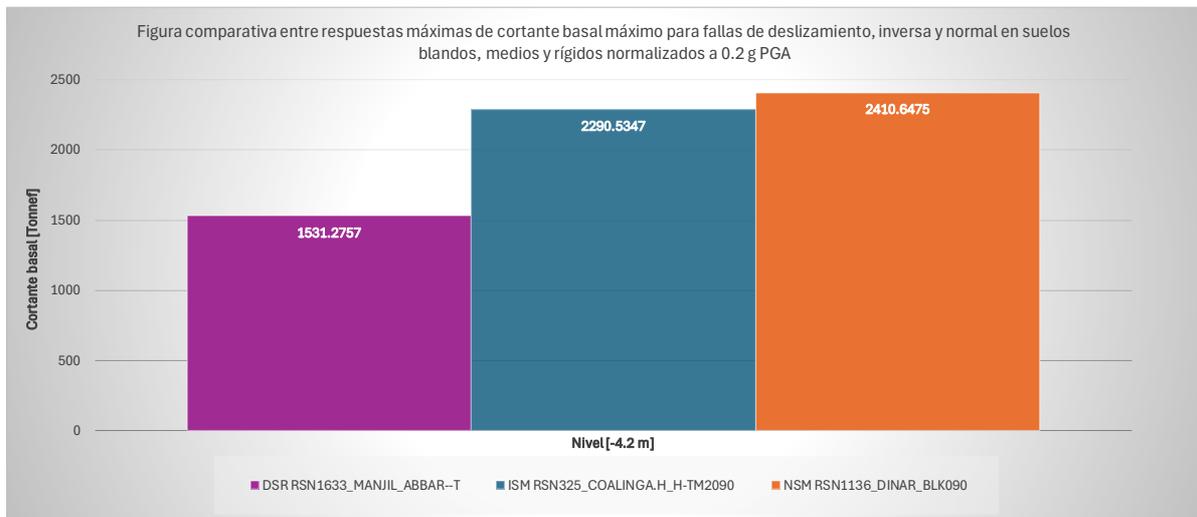
Figura 71: Figura comparativa entre respuestas máximas de derivas máximas en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

La figura 71 presenta las curvas de las derivas máximas críticas asociadas a cada mecanismo focal evaluado. En el caso de fallas por deslizamiento, el registro sísmico más crítico corresponde a suelo rígido (DSR: Deslizamiento Suelo Rígido), identificado como RSN1763\_HECTOR\_PFT090. Para fallas inversas, la curva de desplazamientos máximos por niveles está asociada al suelo medio (ISM: Inversa Suelo Medio), con el registro RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090. Por último, el registro más crítico para fallas normales proviene de suelo medio (NSM: Normal Suelo Medio), correspondiente al acelerograma RSN1136\_DINAR\_BLK090.

Entre las tres curvas, el registro sísmico de falla normal en suelo medio, con velocidades de onda de corte  $400 < V_s < 600$ , resulta ser el más crítico en términos de derivas máximas por nivel. En particular:

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090** alcanza una deriva máxima de **0.26544** en el nivel de **16.16 m**.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090** presenta una deriva máxima de **0.016316** en el nivel de **19.4 m**.
- **DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1763\_HECTOR\_PFT090** registra una deriva máxima de **0.011375** en el nivel de **16.16 m**.

Estos resultados permiten inferir que el mecanismo focal de falla normal tiene un impacto más crítico en suelos medios sobre la respuesta estructural, en comparación con otros mecanismos focales y tipos de suelo.



*Figura 72: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.*

La figura 72 presenta las curvas de las derivas máximas críticas asociadas a cada mecanismo focal. En el caso de fallas por deslizamiento, el registro sísmico más crítico se

encuentra en suelo rígido, identificado como DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1633\_MANJIL\_ABBAR--T. Para las fallas inversas, la curva de desplazamientos máximos corresponde al suelo medio, representado por el registro ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090. Finalmente, el registro sísmico más crítico para fallas normales también está asociado a suelo medio, identificado como NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090.

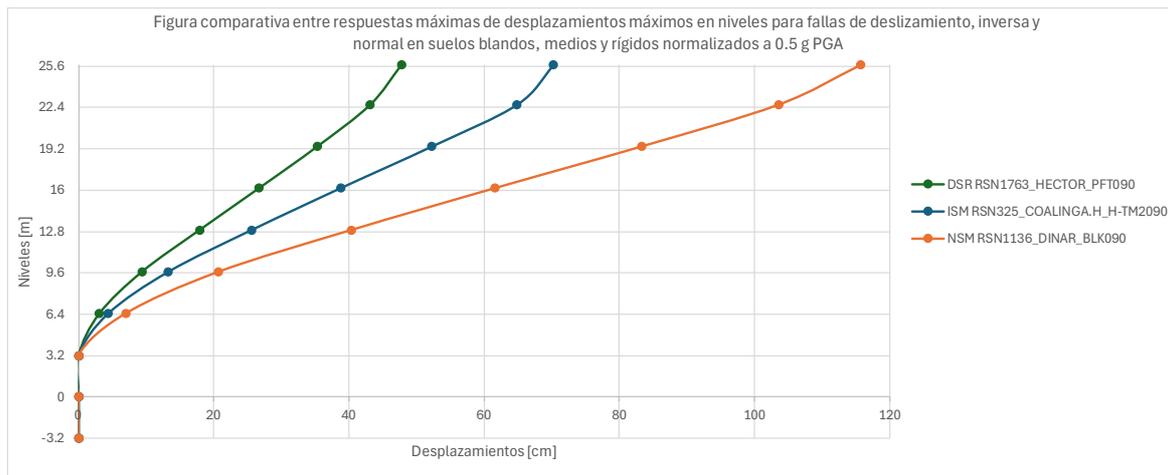
Comparando estas tres curvas, el registro sísmico del mecanismo focal de falla normal en suelo medio ( $400 < V_s < 600$ ) muestra el mayor impacto en términos de cortante basal máximo:

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090** alcanza un cortante basal máximo de **2410.6475 toneladas fuerza** en el nivel de la base.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090** registra un cortante basal de **2290.5347 toneladas fuerza** en el nivel de la base.
- **DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1633\_MANJIL\_ABBAR--T** presenta un cortante basal máximo de **1531.2757 toneladas fuerza** en el mismo nivel.

Estos resultados subrayan la capacidad de los suelos medios, combinados con mecanismos de falla normal, para generar mayores demandas sísmicas en estructuras de varios niveles. Esto evidencia que incluso configuraciones consideradas menos críticas, como suelos medios y rígidos, pueden generar respuestas significativas dependiendo del mecanismo focal asociado. Está claro que se ha dejado de lado el estudio del contenido frecuencial de la señal,

dependiente de la distancia epicentral, lo cual es un factor clave a considerar porque tiene una incidencia directa en la respuesta dinámica de las estructuras.

### Edificio A a 0.5 g:



*Figura 73: Figura comparativa entre respuestas máximas de desplazamientos máximos en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.*

La figura 73 muestra las curvas de los desplazamientos máximos críticos asociados a cada mecanismo focal. Para las fallas por deslizamiento, el registro sísmico más crítico se encuentra en suelo rígido, identificado como DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1763\_HECTOR\_PFT090. En el caso de las fallas inversas, los desplazamientos máximos corresponden al suelo medio, representado por el registro ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090. Por último, el registro sísmico más crítico asociado a fallas normales también está relacionado con suelos medios, bajo el identificador NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090.

Comparando estas curvas, se observa que el registro sísmico del mecanismo focal de falla normal en suelos medios ( $400 < V_s < 600$ ) genera los desplazamientos más significativos en los niveles de piso:

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090** alcanza un desplazamiento máximo de **115.662 cm** en el nivel **25.7 m**.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090** registra un desplazamiento de **70.262 cm** en el mismo nivel.
- **DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1763\_HECTOR\_PFT090** presenta un desplazamiento máximo de **47.74 cm** en el nivel **25.7 m**.

Este análisis pone en evidencia que el mecanismo focal de falla normal tiene un impacto más significativo en estructuras ubicadas en suelos medios en términos de desplazamientos máximos. Este hallazgo resalta la importancia de los efectos combinados de las propiedades del suelo y el mecanismo focal en la respuesta dinámica de las edificaciones, proporcionando información clave para comprender las variaciones en el comportamiento estructural frente a diferentes escenarios sísmicos. Además, se refuerza la necesidad de estudios comparativos que permitan caracterizar con mayor detalle cómo estas variables influyen en el desempeño estructural bajo condiciones sísmicas específicas.

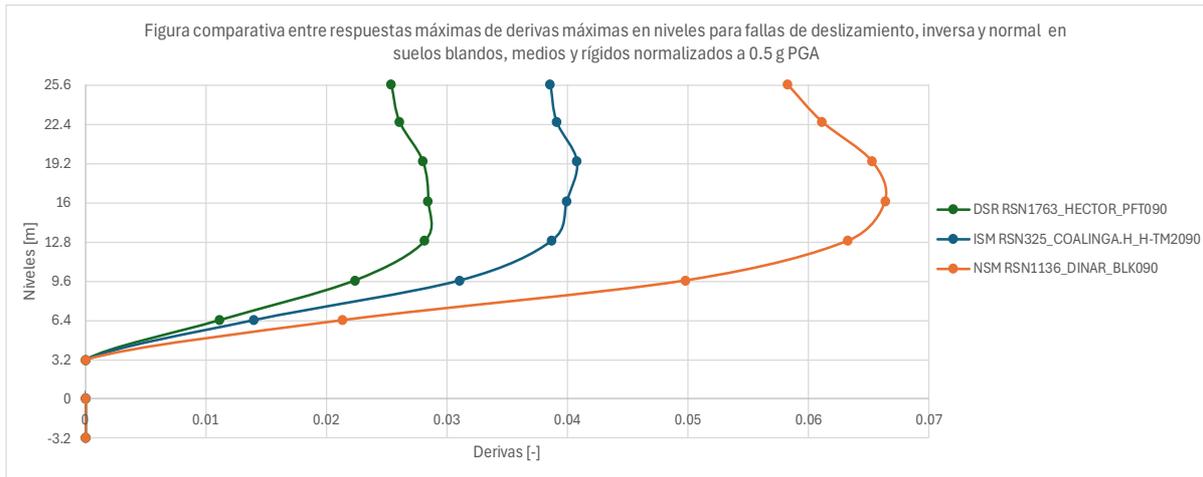


Figura 74: Figura comparativa entre respuestas máximas de derivas máximas en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA

La figura 74 ilustra las curvas que representan las derivas máximas críticas asociadas a cada mecanismo focal, ofreciendo una visión comparativa del impacto sísmico según el tipo de suelo y mecanismo de falla. En el caso de las fallas por deslizamiento, el registro más crítico se presenta en suelo rígido, identificado como DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1763\_HECTOR\_PFT090. Para fallas inversas, los valores más altos de deriva corresponden a suelo medio, asociados al registro ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090. Por último, el registro sísmico más crítico para fallas normales se relaciona también con suelos medios, bajo el identificador NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090.

Al analizar estas curvas, destaca que el mecanismo focal de falla normal, combinado con suelos medios ( $400 < V_s < 600$ ), genera las derivas más significativas en los niveles de piso:

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090** alcanza una deriva máxima de **0.06636** en el nivel **16.16 m**.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090** registra una deriva máxima de **0.040791** en el nivel **19.4 m**.
- **DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1763\_HECTOR\_PFT090** presenta una deriva máxima de **0.028437** en el nivel **16.16 m**.

Estos resultados resaltan que el mecanismo focal de falla normal ejerce un mayor efecto sobre las derivas en estructuras emplazadas en suelos medios. Esto evidencia la necesidad de evaluar de forma específica los efectos combinados del tipo de suelo y mecanismo focal en el comportamiento dinámico, para obtener una caracterización detallada de las respuestas estructurales ante escenarios sísmicos diversos.

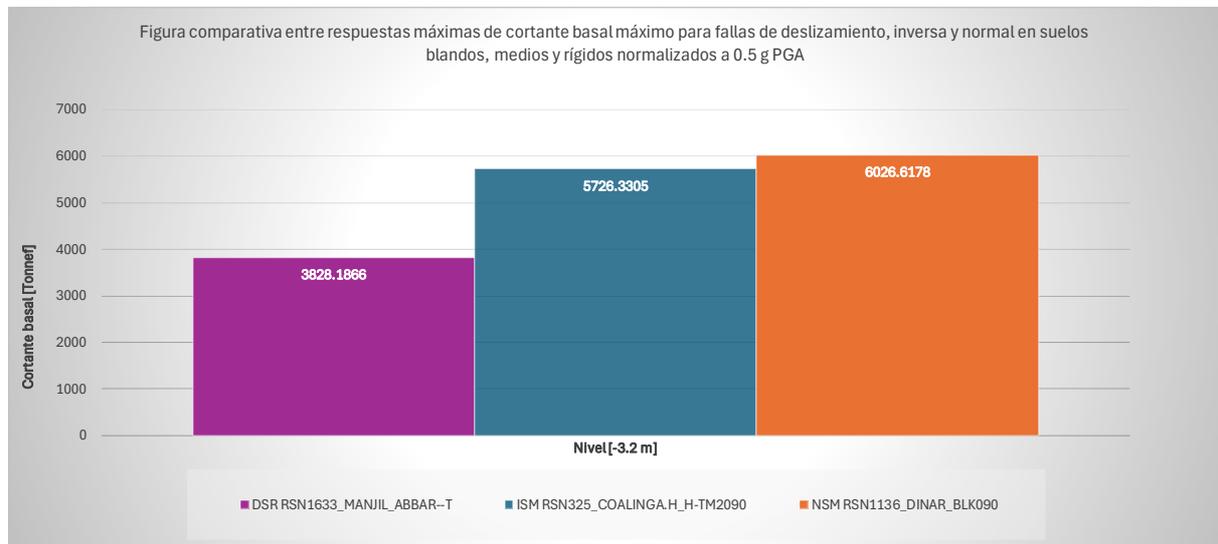


Figura 75: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

La figura 75 presenta una comparación gráfica de las curvas de cortante basal máximo asociado a los diferentes mecanismos focales analizados. Cada curva refleja la respuesta dinámica de la estructura ante registros sísmicos específicos, clasificados por tipo de falla y características del suelo. Para el mecanismo de falla por deslizamiento, el registro más crítico corresponde a suelo rígido y se identifica como DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1633\_MANJIL\_ABBAR--T. En el caso de las fallas inversas, la mayor respuesta se asocia a suelo medio, bajo el registro ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090. Finalmente, para las fallas normales, el registro más crítico también ocurre en suelo medio, identificado como NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090.

El análisis comparativo de las curvas permite identificar que el mecanismo focal de falla normal genera el cortante basal más alto en estructuras construidas sobre suelos medios ( $400 < V_s < 600$ ):

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090** alcanza un cortante basal máximo de **6026.6178 toneladas fuerza** en la base.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN325\_COALINGA.H\_H-TM2090** registra un cortante basal de **5726.3305 toneladas fuerza** en la base.
- **DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN1633\_MANJIL\_ABBAR--T** tiene un cortante basal máximo de **3828.1866 toneladas fuerza** en la base.

Estos resultados subrayan que las estructuras en suelos medios pueden estar sujetas a mayores demandas de cortante basal cuando enfrentan sismos asociados a fallas normales. Este hallazgo es relevante para la comprensión del comportamiento estructural en escenarios sísmicos caracterizados por diferentes mecanismos focales y condiciones de suelo, aportando información valiosa para la interpretación del desempeño dinámico en contextos locales.

### Resumen comparativo del Edificio A:

Respuesta dinámica del Edificio A:		
	0.2 g	0.5 g
Desplazamientos máximos	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_BLK090	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_BLK090
Derivas máximas	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_BLK090	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_BLK090
Cortante basal máximo	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_BLK090	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_BLK090

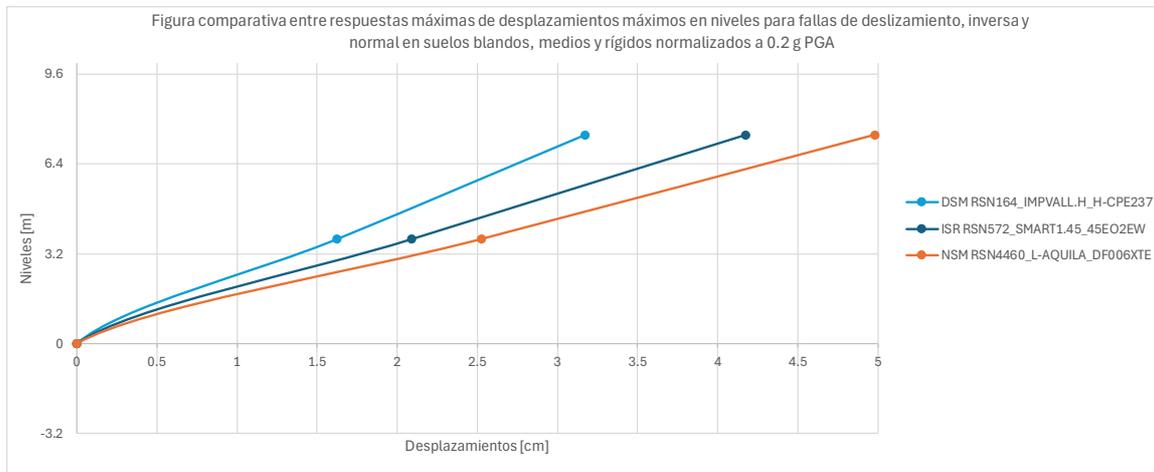
*Tabla 8: Tabla comparativa de valores máximos en la respuesta dinámica del Edificio A escalado en 0.2 g PGA y 0.5 g PGA.*

El registro sísmico de falla normal en suelo medio, identificado como NSM (Normal Suelo Medio) RSN1136\_DINAR\_BLK090, genera la respuesta dinámica más amplificada o con valores más críticos en el edificio A, en comparación con el resto de los registros analizados. Este comportamiento podría explicarse mediante diversas teorías. Una posibilidad es que el periodo de vibración del sismo esté cercano o coincida con el periodo de vibración

de la estructura, lo que daría lugar al fenómeno de resonancia, amplificando la respuesta de la edificación. Otra explicación podría estar relacionada con la naturaleza misma del mecanismo focal de falla tipo normal en suelos medios, que podría inducir efectos amplificados en estructuras de varios niveles, generando mayores demandas dinámicas. Finalmente, cabe también la posibilidad de que el registro RSN1136\_DINAR\_BLK090 en realidad corresponda a un suelo de características más blandas, y que tenga una clasificación errónea en la base de datos utilizada.

Además, es importante destacar que las gráficas obtenidas para los registros sísmicos escalados a 0.2 g y 0.5 g de su PGA presentan formas muy similares, aunque con diferencias en sus amplitudes. Esto se debe a que la frecuencia del registro permanece constante en ambos casos, mientras que la amplitud se ajusta para cumplir con el nivel de escalamiento. Como resultado, las curvas conservan su forma general, pero muestran variaciones significativas en los valores máximos registrados, lo que permite una comparación más equitativa entre los distintos niveles de excitación sísmica.

### Edificio B a 0.2 g:



*Figura 76: Figura comparativa entre respuestas máximas de desplazamientos máximos en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.*

La figura 76 presenta las curvas de desplazamientos máximos críticos correspondientes a cada mecanismo focal. Para las fallas por deslizamiento, el registro sísmico más crítico se encuentra en suelos medios, identificado como DSM (Deslizamiento Suelo Medio) RSN164\_IMPVALL.H\_H-CPE237. En cuanto a las fallas inversas, el mayor desplazamiento ocurre en suelo rígido, representado por el registro ISR (Inversa Suelo Rígido) RSN572\_SMART1.45\_45EO2EW. Finalmente, las fallas normales también muestran su impacto más crítico en suelos medios, bajo el identificador NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE.

Un análisis comparativo revela que el registro NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE genera los mayores desplazamientos en el nivel 7.44 m:

- **NSM (Normal Suelo Medio):** 4.981 cm.
- **ISR (Inversa Suelo Rígido):** 4.175 cm.
- **DSM (Deslizamiento Suelo Medio):** 3.147 cm.

Estos resultados subrayan el impacto significativo del mecanismo focal de falla normal sobre suelos medios, lo que destaca la interacción entre las propiedades dinámicas del suelo y la naturaleza del evento sísmico. Este comportamiento enfatiza la importancia de analizar las respuestas diferenciadas de las estructuras bajo escenarios sísmicos variados, proporcionando una base sólida para el entendimiento de las vulnerabilidades estructurales en edificaciones ubicadas en zonas de suelos medios.

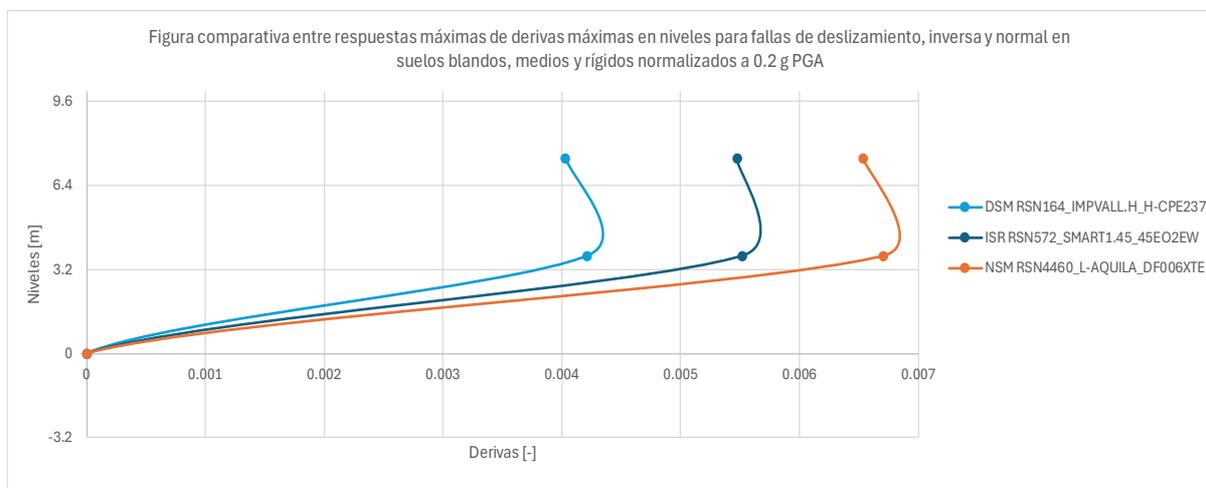


Figura 77: Figura comparativa entre respuestas máximas de derivas máximas en niveles para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

La figura 77 ilustra las curvas correspondientes a las derivas máximas críticas asociadas a los distintos mecanismos focales. Para el caso de fallas por deslizamiento, el registro sísmico

más representativo ocurre en suelos medios, identificado como DSM (Deslizamiento Suelo Medio) RSN164\_IMPVAL.L.H\_H-CPE237. En las fallas inversas, las derivas máximas están asociadas a suelos rígidos, según el registro ISR (Inversa Suelo Rígido) RSN572\_SMART1.45\_45EO2EW. Por último, las fallas normales presentan las derivas más críticas también en suelos medios, bajo el registro NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE.

Los valores comparativos de las derivas en el nivel de 7.44 m son los siguientes:

- **NSM (Normal Suelo Medio):** 0.006535.
- **ISR (Inversa Suelo Rígido):** 0.005474.
- **DSM (Deslizamiento Suelo Medio):** 0.004031.

Estos resultados confirman que el mecanismo focal de falla normal tiene un efecto preponderante en las derivas críticas, particularmente en estructuras ubicadas sobre suelos medios. Esto evidencia la sensibilidad de este tipo de suelo ante ciertas condiciones dinámicas, resultando en respuestas estructurales más amplificadas.

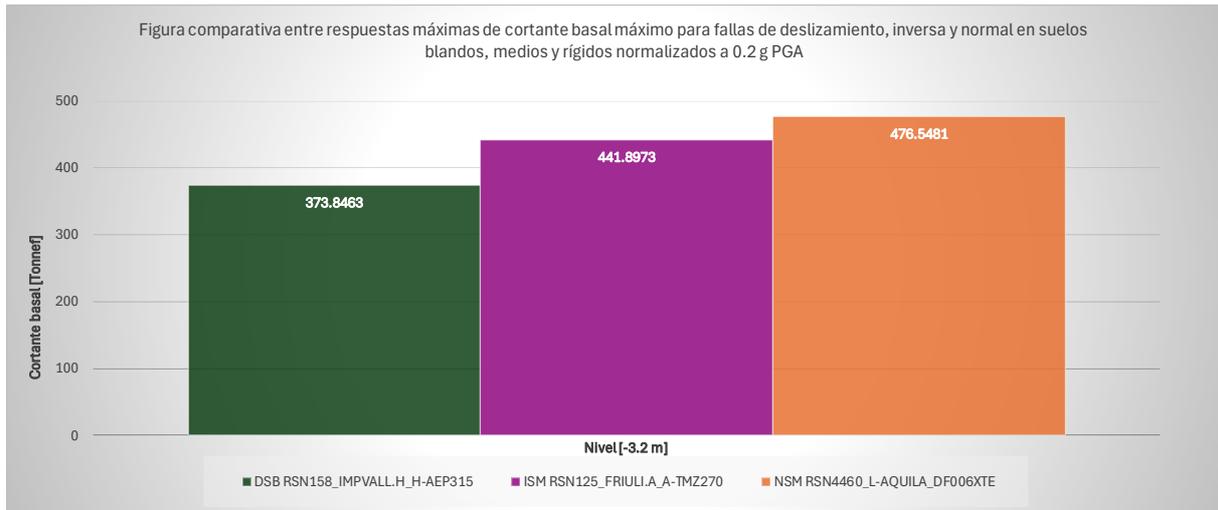


Figura 78: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.2 g PGA.

La figura 78 compara las curvas del cortante basal máximo generadas por los diferentes mecanismos focales, considerando registros sísmicos específicos y las propiedades del suelo. Para fallas por deslizamiento, el registro más crítico se presenta en suelos blandos, identificado como DSB (Deslizamiento Suelo Blando) RSN158\_IMPVAL.L\_H\_H-AEP315. En cuanto a las fallas inversas, el mayor cortante basal se asocia a suelos medios, representado por el registro ISM (Inversa Suelo Medio) RSN125\_FRIULI.A\_A-TMZ270. Por último, las fallas normales muestran los valores más críticos también en suelos medios, bajo el registro NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE.

Desde un punto de vista sismológico, las diferencias en el cortante basal pueden estar influenciadas por la interacción entre las características del mecanismo focal y las propiedades dinámicas del suelo. En particular:

- **NSM (Normal Suelo Medio):** Alcanzó un cortante basal máximo de 476.5481 toneladas fuerza en la base.
- **ISM (Inversa Suelo Medio):** Registró un cortante basal de 441.8973 toneladas fuerza en la base.
- **DSB (Deslizamiento Suelo Blando):** Produjo un cortante basal máximo de 373.8463 toneladas fuerza en la base.

Estos resultados indican que las fallas normales en suelos medios ( $400 < V_s < 600$ ) generan las mayores demandas dinámicas en términos de cortante basal, lo que claramente denota un patrón clave y repetitivo en la respuesta de la estructura, el mecanismo focal de falla normal en suelos medios podría ser un caso de estudio a mayor profundidad.

### Edificio B a 0.5 g:

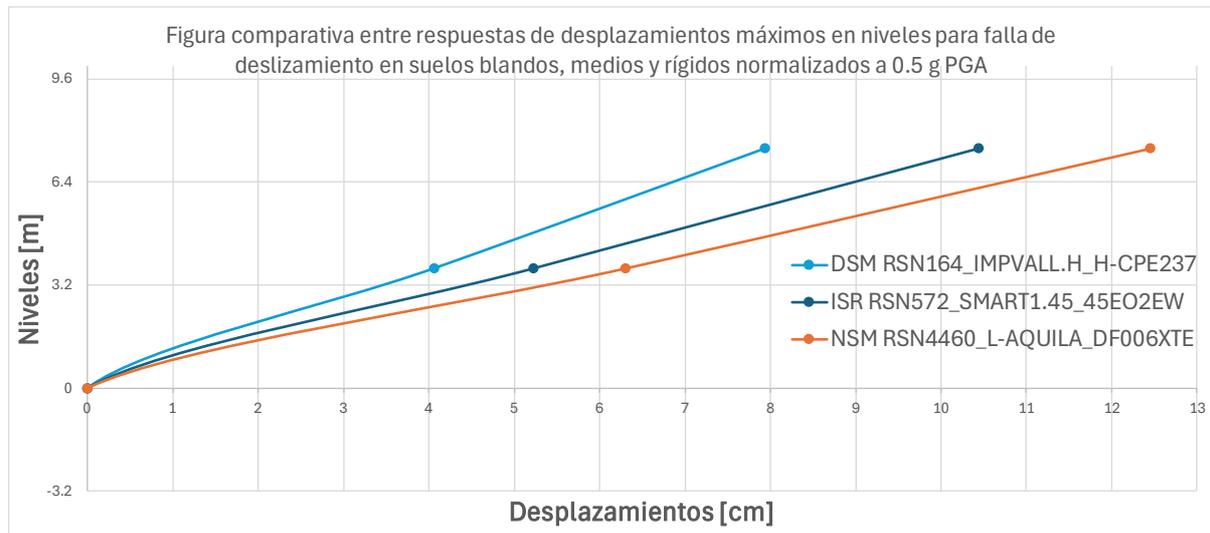


Figura 79: Figura comparativa entre respuestas de desplazamientos máximos en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

La figura 79 presenta la comparación de las curvas de desplazamientos máximos críticos generados por los diferentes mecanismos focales. El registro más crítico para las fallas por deslizamiento se encuentra en suelos medios, identificado como DSM (Deslizamiento Suelo Medio) RSN164\_IMPVALL.H\_H-CPE237. En el caso de las fallas inversas, los desplazamientos máximos corresponden a suelos rígidos, bajo el registro ISR (Inversa Suelo Rígido) RSN572\_SMART1.45\_45EO2EW. Finalmente, para las fallas normales, el registro sísmico más crítico también ocurre en suelos medios, bajo el identificador NSM (Normal Suelo Medio) NSM RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE.

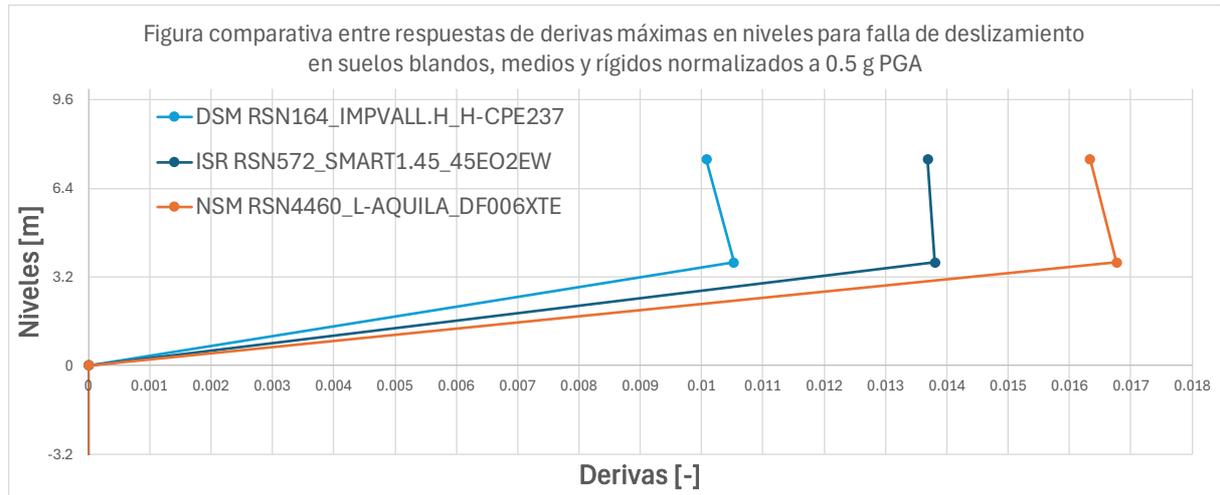
El análisis comparativo revela que el mecanismo de falla normal genera los desplazamientos más elevados en estructuras ubicadas sobre suelos medios ( $400 < V_s < 600$ ).

Específicamente:

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE:** Desplazamiento máximo de 12.453 cm en el nivel 7.44 m.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN572\_SMART1.45\_45EO2EW:** Desplazamiento máximo de 10.437 cm en el nivel 7.44 m.
- **DSM (Deslizamiento Suelo Medio) RSN164\_IMPVAL.L.H\_H-CPE237:** Desplazamiento máximo de 7.936 cm en el nivel 7.44 m.

Este comportamiento resalta el impacto de los suelos medios en las estructuras frente a mecanismos de falla normal, con desplazamientos significativos que indican una mayor amplificación de la respuesta dinámica. Esto subraya la importancia de la interacción entre las propiedades del suelo y el mecanismo focal en la respuesta sísmica de la estructura.

El análisis también pone de manifiesto la necesidad de realizar estudios más detallados que permitan entender cómo las diferentes variables, como el tipo de suelo y el mecanismo de falla, afectan el desempeño estructural bajo diversas condiciones sísmicas. Este tipo de estudios contribuirá a optimizar las estrategias de diseño sísmico y mejorar la resiliencia de las edificaciones en zonas con características geológicas similares.



*Figura 80: Figura comparativa entre respuestas de derivas máximas en niveles para falla de deslizamiento en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.*

La figura 80 muestra la comparación de las curvas de derivas máximas críticas asociadas a los diferentes mecanismos focales. El registro sísmico más crítico para las fallas por deslizamiento corresponde a suelos medios, identificado como DSM (Deslizamiento Suelo Medio) RSN164\_IMPVAL.L.H\_H-CPE237. En el caso de las fallas inversas, las derivas máximas se asocian con suelos rígidos, representado por el registro ISR (Inversa Suelo Rígido) RSN572\_SMART1.45\_45EO2EW. Finalmente, el registro más crítico para las fallas normales también se relaciona con suelos medios, bajo el identificador NSM (Normal Suelo Medio) NSM RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE.

Al comparar estas curvas, se observa que el mecanismo focal de falla normal en suelos medios ( $400 < V_s < 600$ ) genera las mayores derivas máximas en los niveles de piso:

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE:** Deriva máxima de 0.016338 en el nivel de 7.44 m.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN572\_SMART1.45\_45EO2EW:** Deriva máxima de 0.013686 en el nivel de 7.44 m.
- **DSM (Deslizamiento Suelo Medio) RSN164\_IMPVALL.H\_H-CPE237:** Deriva máxima de 0.010078 en el nivel de 7.44 m.

Este análisis resalta que el mecanismo de falla normal en suelos medios tiene un impacto significativo en las derivas máximas de las estructuras. Los resultados muestran que las interacciones entre las características del suelo y el mecanismo focal juegan un papel crucial en la respuesta dinámica de las edificaciones, lo que destaca la necesidad de estudiar más a fondo cómo estos factores afectan el comportamiento estructural bajo diferentes condiciones sísmicas.



Figura 81: Figura comparativa entre respuestas máximas de cortante basal máximo para fallas de deslizamiento, inversa y normal en suelos blandos, medios y rígidos normalizados a 0.5 g PGA.

La figura 81 presenta una comparación gráfica de las curvas de cortante basal máximo para los diferentes mecanismos focales analizados. Cada curva refleja la respuesta dinámica de la estructura a registros sísmicos específicos, clasificados según el tipo de falla y las características del suelo. Para el mecanismo de falla por deslizamiento, el registro más crítico se asocia a suelo rígido y se identifica como DSR (Deslizamiento Suelo Rígido) RSN158\_IMPVALL.H\_H-AEP315. En el caso de las fallas inversas, la mayor respuesta se registra en suelos medios, con el registro ISM (Inversa Suelo Medio) RSN125\_FRIULIA\_A-TMZ270. Finalmente, para las fallas normales, el registro más crítico también corresponde a suelos medios, identificado como NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE.

El análisis comparativo de las curvas muestra que el mecanismo focal de falla normal genera el mayor cortante basal en estructuras ubicadas sobre suelos medios ( $400 < V_s < 600$ ):

- **NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE:** Cortante basal máximo de 1191.3689 toneladas fuerza en la base.
- **ISM (Inversa Suelo Medio) RSN125\_FRIULIA\_A-TMZ270:** Cortante basal de 1104.7435 toneladas fuerza en la base.
- **DSB (Deslizamiento Suelo Blando) RSN158\_IMPVALL.H\_H-AEP315:** Cortante basal máximo de 934.6148 toneladas fuerza en la base.

Estos resultados destacan que las estructuras en suelos medios son más susceptibles a mayores demandas de cortante basal cuando se enfrentan a sismos asociados con fallas normales. Este hallazgo es crucial para comprender el comportamiento estructural bajo

diferentes escenarios sísmicos, considerando tanto los mecanismos focales como las condiciones del suelo. Proporciona información valiosa para interpretar el desempeño dinámico en contextos locales, y resalta la necesidad de estudios adicionales que profundicen en cómo estos factores interactúan y afectan el diseño sísmico de las edificaciones.

### Resumen comparativo del Edificio B:

Respuesta dinámica del Edificio B:		
	0.2 g	0.5 g
Desplazamientos máximos	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE
Derivas máximas	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE
Cortante basal máximo	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006XTE

*Tabla 9: Tabla comparativa de valores máximos en la respuesta dinámica del Edificio B escalado en 0.2 g PGA y 0.5 g PGA.*

El registro sísmico de falla normal en suelo medio, identificado como NSM (Normal Suelo Medio) RSN4460\_L-AQUILA\_DF006XTE, genera la respuesta dinámica más amplificada o con valores más críticos en el edificio B, en comparación con el resto de los registros analizados. Este comportamiento pone en manifiesto que el mecanismo focal de falla normal en suelos medios sigue siendo el más crítico en su respuesta de esta estructura. Vuelvo a recalcar que, siempre existe la posibilidad de que el periodo de vibración del sismo se esté

igualando al periodo de vibración de la estructura, y se esté obteniendo una respuesta amplificada.

### Resumen comparativo de ambas estructuras:

<b>Respuesta dinámica entre estructuras:</b>				
	<b>Edificación A:</b>		<b>Edificación B:</b>	
	<b>0.2 g</b>	<b>0.5 g</b>	<b>0.2 g</b>	<b>0.5 g</b>
<b>Desplazamientos máximos</b>	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_B LK090 46.27 cm; N +25.7 m	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_B LK090 115.66 cm; N +25.7 m	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006 XTE 4.98 cm; N +7.44 m	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006 XTE 12.45 cm; N +7.44 m
<b>Derivas máximas</b>	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_B LK090 0.026544; N +16.16 m	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_B LK090 0.06636; N +16.16 m	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006 XTE 0.006708; N +3.72 m	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-AQUILA_DF006 XTE 0.016769; N +3.72 m
<b>Cortante basal máximo</b>	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_B LK090	Normal Suelo Medio NSM RSN1136_DINAR_B LK090	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-	Normal Suelo Medio NSM RSN4460_L-

	<b>2410.65 Tonnef; Base</b>	<b>6026.62 Tonnef; Base</b>	<b>AQUILA_DF006</b> <b>XTE</b> <b>476.55 Tonnef;</b> <b>Base</b>	<b>AQUILA_DF006</b> <b>XTE</b> <b>1191.37 Tonnef;</b> <b>Base</b>
--	-----------------------------	-----------------------------	---	--

*Tabla 10: Tabla comparativa de valores máximos en la respuesta dinámica del Edificio A y B escalados en 0.2 g PGA y 0.5 g PGA.*

Claramente, los resultados apuntan al mecanismo focal de falla normal en suelos medio el cual resulta provocar una respuesta crítica y amplificada en estas estructuras, con respecto del resto de registros sísmicos. Son dos acelerogramas diferentes, que corresponden al mismo mecanismo focal y tipo de suelo, lo que induce a concluir que la falla normal en suelos medios debe ser caso de futuros estudios con bases de datos más amplias con el objetivo de analizar si este fenómeno se sigue repitiendo para otras estructuras de diferentes características. Por ahora, la falla normal en suelos medios representa un elemento concluyente en este proyecto.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Este proyecto integrador ha sido fundamental para profundizar en la comprensión de la respuesta dinámica de estructuras ante sismos, particularmente en lo que respecta a los efectos de diferentes mecanismos focales y características del suelo. A través de un análisis detallado de las curvas de desplazamientos, derivas y cortantes basales, se ha demostrado cómo los diversos tipos de fallas sísmicas, como las de deslizamiento, inversas y normales, impactan de manera distinta a las estructuras dependiendo del tipo de suelo sobre el que se encuentren. Los resultados obtenidos resaltan la relevancia de estudiar estos mecanismos focales y sus interacciones con las propiedades del suelo para comprender cómo se comportan las edificaciones ante eventos sísmicos, lo que tiene implicaciones directas en la ingeniería estructural y en la seguridad de las construcciones.

El aporte principal de este estudio radica en la identificación de patrones claros entre el tipo de falla sísmica, el suelo y las respuestas dinámicas de las estructuras. En particular, se encontró que las estructuras ubicadas en suelos medios son las más susceptibles a mayores desplazamientos y cortantes basales cuando se exponen a sismos originados por fallas normales para edificios de entre 2 y 6 pisos. Este hallazgo es interesante ya que proporciona información valiosa que puede ser utilizada para mejorar el diseño de estructuras en zonas sísmicas, particularmente en regiones donde predominan suelos de estas características. No obstante, el número de registros utilizados es pequeño como para hacer una afirmación contundente y generalizada. Así mismo, cabe la posibilidad de errores en la clasificación de los tipos de suelo de los registros utilizados.

El trabajo ha proporcionado una visión más profunda sobre cómo la naturaleza de los registros sísmicos influye en las respuestas estructurales, lo que resulta fundamental para mejorar las técnicas de análisis y diseño sísmico. Además, ha subrayado la importancia de realizar estudios comparativos, considerando no solo los mecanismos focales, sino también las propiedades del suelo y su influencia combinada, así como también en un futuro, considerar el contenido de frecuencias de los registros. La investigación también ha demostrado que las diferencias en la respuesta estructural no solo dependen de la magnitud o frecuencia del evento sísmico, sino de la interacción compleja entre el sismo, el suelo y la estructura misma.

La información sobre registros sísmicos específicos y las características de los suelos en determinadas zonas no siempre es accesible o completa, lo que limita la capacidad para realizar comparaciones más amplias y detalladas. Esta falta de datos, junto con las complejidades inherentes a la simulación de la respuesta dinámica de estructuras ante diferentes escenarios sísmicos, representó un reto significativo, pero al mismo tiempo proporcionó una valiosa oportunidad para reconocer la importancia de mejorar las bases de datos sísmicos y de suelo en Ecuador, lo cual sería un beneficio tanto para la investigación académica como para la ingeniería práctica.

En cuanto a las posibles áreas para estudios futuros, es crucial continuar con investigaciones que exploren en mayor profundidad la interacción entre las características del suelo y los mecanismos focales, especialmente en regiones con suelos heterogéneos como los de Ecuador. Sería importante realizar estudios que integren la interacción suelo-estructura, ya que este trabajo no consideró este factor, pero puede tener un impacto significativo en la respuesta dinámica de las estructuras. Además, se sugiere la realización de análisis más

detallados sobre los efectos de los suelos no homogéneos y la variabilidad espacial de los movimientos sísmicos.

La creación de modelos más complejos que incluyan la interacción dinámica entre los diferentes tipos de estructuras y suelos, considerando más parámetros en el análisis, contribuiría a mejorar las normativas y recomendaciones para el diseño sísmico. Adicional a ello, la integración de una base de datos de registros sísmico más amplia y completa, sería de valor significativo para la realización de un estudio más profundo.

En resumen, este trabajo ha sido una experiencia enriquecedora y un aporte significativo al conocimiento y a la formación como ingeniero civil, particularmente en la comprensión de la respuesta dinámica de estructuras en suelos medios. La investigación ha contribuido al conocimiento de cómo los diferentes mecanismos focales afectan a las edificaciones de varios niveles, proporcionando posible información relevante para el diseño sísmico en el contexto ecuatoriano y ampliando el horizonte de investigación en este ámbito a nivel internacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.-*NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf*. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2024, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>

Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrín, P., & Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67-83. <https://doi.org/10.1002/2012TC003224>

*Apuntes geología estructural: Tipos de fallas tectónicas*. (s. f.). Recuperado 27 de octubre de 2024, de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/gestr04a.htm>

Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W. H., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J.-C. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996). *Geophysical Journal International*, 181(3), 1613-1633. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04569.x>

Cajas Guevara, M. I. (2017, noviembre). *Caracterización morfotectónica de la estructura anticlinal del borde oriental de la cuenca de Quito, utilizando evidencia geofísica y geomorfológica*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18946/3/CD-8340.pdf>

*Ecuador Noticias*. (s. f.). Recuperado 27 de octubre de 2024, de <https://ecuadornoticias.com/>

López Hurtado, D. R. (2019, marzo). *Análisis tectono-estratigráfico de la formación San Miguel dentro de la cuenca de Guayllabamba*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20757>

*Mecanismos Focales—Instituto Geofísico—EPN*. (s. f.). Recuperado 29 de septiembre de 2024, de <https://www.igepn.edu.ec/mecanismos-focales>