

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PERÚ –  
ECUADOR - COLOMBIA**

**COMPARACIÓN EDIFICACIÓN EN ZONA DE PELIGRO SÍSMICO  
ALTA DE COLOMBIA CON EDIFICACIÓN EN ZONA SÍSMICA VI  
ECUADOR**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ALEJANDRO SEBASTIAN LUGO GUEVARA**

[alejandro.lugo@epn.edu.ec](mailto:alejandro.lugo@epn.edu.ec)

**DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.SC.**

[maria.corream@epn.edu.ec](mailto:maria.corream@epn.edu.ec)

**DMQ, agosto 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, ALEJANDRO SEBASTIAN LUGO GUEVARA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**ALEJANDRO SEBASTIAN LUGO GUEVARA**

Certifico que le presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ALEJANDRO SEBASTIAN LUGO GUEVARA, bajo mi supervisión.

---

**ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.SC.**

**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ALEJANDRO SEBASTIAN LUGO GUEVARA

MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico completamente a mi madre y todas las personas que creyeron en mí.

## **AGRADECIMIENTO**

En este apartado quiero dar las gracias a todas las personas que estuvieron a mi lado apoyándome todo el tiempo en mis estudios como mi hermana, mi abuelito Fausto Guevara que ya no está con nosotros, mis tíos, en especial a Manuel Guevara que me apoyó en todo momento y mi familia en general. Sin embargo, nada de esto hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de mi pilar, la mujer que siempre estuvo junto a mí, quien cada día se preocupaba por mí y no hacía que me falte nada. Le agradezco con todo mi corazón Magdalena Guevara por ser lo más importante que tengo, en serio no sé cómo pagar todo lo que hace por mí. Todo lo que soy y lo que llegue a ser se lo debo a usted madre le quiero muchísimo y muchísimas gracias.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Alcance.....	3
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1. América Latina y su peligro sísmico.....	5
1.4.2. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15).....	6
1.4.3. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) ...	12
1.4.3.1 Filosofía de diseño.....	12
1.4.3.2 Zonificación sísmica de Colombia.....	12
1.4.3.3 Método de la fuerza horizontal equivalente.....	13
1.4.3.4 Análisis dinámico espectral .....	15
1.4.4 Método de análisis no lineal estático.....	17
1.4.4.1 Método Push over .....	17
2. Metodología .....	19
2.1 Descripción de la edificación (arquitectónica).....	19
2.1.1 Subsuelos .....	20
2.1.2 Planta baja .....	22
2.1.3 Planta tipo oficinas .....	23
2.1.4 Planta tipo departamentos.....	24
2.2 Ubicación y geología del sitio de implantación .....	24
2.2.1 Ecuador .....	24

2.2.2	Colombia .....	27
2.3	Materiales y sus características .....	28
2.3.1	Hormigón .....	28
2.3.2	Acero .....	29
2.4	Análisis de Cargas .....	29
2.4.1	Carga muerta .....	29
2.4.2	Cargas vivas .....	31
2.4.3	Combinaciones de carga .....	31
2.4.4	Prediseño de elementos estructurales .....	32
2.4.5	Espectro de diseño. ....	34
2.5	Modelación Estructural en ETABS.....	39
2.5.1	Modelación de Edificación en Ecuador .....	39
2.5.2	Modelación de Edificación en Colombia.....	43
2.6	Diseño de elementos estructurales.....	46
2.6.1	Diseño de losas .....	46
2.6.2	Diseño de vigas .....	49
2.6.3	Diseño de columnas .....	55
2.6.4	Diseño de conexiones.....	58
2.7	Análisis no lineal (push over).....	64
2.7.1	Análisis no lineal Ecuador .....	64
2.7.2	Análisis no lineal Colombia.....	68
2.8	Cantidades de material y presupuesto .....	70
2.8.1	Cantidades Ecuador .....	70
2.8.2	Presupuesto Ecuador .....	71
2.8.3	Cantidades Colombia.....	72
2.8.4	Presupuesto Colombia .....	72
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
3.1	Resultados.....	74
3.1.1	Ubicación de edificaciones .....	74
3.1.2	Comparación de cargas .....	74
3.1.3	Losa para edificación.....	75
3.1.4	Control de Derivas .....	75
3.1.5	Espectro de diseño .....	77
3.1.6	Cortante basal.....	78
3.1.7	Cortante y peso de la estructura.....	79
3.1.8	Modos de vibración .....	79

3.1.9	Análisis no lineal .....	80
3.1.10	Cantidades de obra y presupuesto .....	82
3.2	Conclusiones .....	84
3.3	Recomendaciones .....	86
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
5	ANEXOS .....	89
5.1	Anexos I: Planos estructurales Ecuador .....	89
5.2	Anexos II: Planos estructurales Colombia.....	90
5.3	Anexos III: APU's Ecuador .....	91
5.4	Anexos IV: APU's Colombia .....	92
5.5	Anexos V: Hoja de cálculo diseño de viga.....	93
5.6	Anexos VI: Hoja de cálculo diseño de columna .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Placas tectónicas en América Latina .....	12
<b>Figura 1.2:</b> Anillo de Fuego del Pacífico.....	12
<b>Figura 1.3:</b> Valores del factor Z en función de la zona sísmica.....	12
<b>Figura 1.4:</b> Zonas sísmicas del Ecuador.....	13
<b>Figura 1.5:</b> Espectro de diseño elástico de aceleraciones NEC 15 .....	15
<b>Figura 1.6:</b> Coeficientes para el espectro sísmico elástico .....	17
<b>Figura 1.7:</b> Valores de amplificación espectral para las regiones del Ecuador .....	17
<b>Figura 1.8:</b> Valores de coeficientes que dependen del tipo de estructura .....	19
<b>Figura 1.9:</b> Zonificación sísmica de Colombia.....	19
<b>Figura 1.10:</b> Amenaza sísmica según Aa y Av .....	20
<b>Figura 1.11:</b> Coeficientes para el período Ta .....	22
<b>Figura 1.12:</b> Espectro elástico de aceleraciones .....	23
<b>Figura 1.13:</b> Derivas máximas como porcentaje de hpi.....	24
<b>Figura 1.14:</b> Respuesta estructural análisis lineal - no lineal.....	24
<b>Figura 1.15:</b> Comportamiento hysterético del hormigón .....	24
<b>Figura 2.1:</b> Corte de alzado A-A .....	27
<b>Figura 2.2:</b> Planta tipo subsuelo 1.....	28
<b>Figura 2.3:</b> Planta tipo subsuelo 2.....	28
<b>Figura 2.4:</b> Planta tipo subsuelo 3.....	29
<b>Figura 2.5:</b> Planta baja .....	29
<b>Figura 2.6:</b> Planta tipo oficinas .....	29
<b>Figura 2.7:</b> Planta tipo departamentos.....	31
<b>Figura 2.8:</b> Ubicación de implantación edificio en Ecuador .....	31
<b>Figura 2.9:</b> Coeficiente Fa .....	32
<b>Figura 2.10:</b> Coeficiente Fd .....	34
<b>Figura 2.11:</b> Coeficiente Fs .....	39
<b>Figura 2.12:</b> Ubicación implantación en Colombia.....	39
<b>Figura 2.13:</b> Valores para Fa .....	43
<b>Figura 2.14:</b> Valores para Fy .....	46
<b>Figura 2.15:</b> Características de vanos y relación lado largo/lado corto. ....	46
<b>Figura 2.16:</b> Peso y espesor mínimo de losa.....	49
<b>Figura 2.17:</b> Losa Maciza.....	55
<b>Figura 2.18:</b> Losa alivianada.....	58
<b>Figura 2.19:</b> Inercias equivalentes losa maciza - alivianada .....	64
<b>Figura 2.20:</b> Prediseño Ecuador vigas - columnas .....	64
<b>Figura 2.21:</b> Prediseño Colombia vigas - columnas .....	68
<b>Figura 2.22:</b> Factores y coeficientes seleccionados para Ecuador .....	70
<b>Figura 2.23:</b> Espectro elástico e inelástico de Portoviejo .....	70
<b>Figura 2.24:</b> Factores y coeficientes seleccionados (Colombia).....	71
<b>Figura 2.25:</b> Espectro elástico e inelástico de Cali .....	72
<b>Figura 2.26:</b> Secciones en modelo de Ecuador .....	72
<b>Figura 2.27:</b> Elementos de subsuelo modelo Portoviejo .....	74
<b>Figura 2.28:</b> Modelo Portoviejo .....	74
<b>Figura 2.29:</b> Modos de vibración de edificación en Portoviejo .....	74
<b>Figura 2.30:</b> Deriva en dirección X Portoviejo .....	74
<b>Figura 2.31:</b> Deriva en dirección Y Portoviejo.....	75

<b>Figura 2.32:</b> Secciones de elementos estructurales modelo Colombia .....	75
<b>Figura 2.33:</b> Modelo Colombia .....	77
<b>Figura 2.34:</b> Modos de vibración Cali .....	78
<b>Figura 2.35:</b> Deriva inelástica en dirección X Cali .....	79
<b>Figura 2.36:</b> Deriva inelástica en dirección Y Cali .....	79
<b>Figura 2.37:</b> Armados de losa pisos superiores. ....	80
<b>Figura 2.38:</b> Armado de losa pisos superiores Colombia .....	82
<b>Figura 2.39:</b> Armado de losa pisos inferiores Colombia .....	84
<b>Figura 2.40:</b> Pisos tipo para vigas Ecuador .....	86
<b>Figura 2.41:</b> Diagrama de envolventes del último nivel .....	87
<b>Figura 2.42:</b> Cuadro de Vigas Ecuador .....	89
<b>Figura 2.43:</b> Refuerzo longitudinal vigas Ecuador vanos 7m .....	89
<b>Figura 2.44:</b> Refuerzo longitudinal vigas Ecuador vanos 6.2m .....	90
<b>Figura 2.45:</b> Refuerzo transversal vigas Ecuador vanos 7m .....	91
<b>Figura 2.46:</b> Refuerzo transversal vigas Ecuador vanos 6.2m .....	92
<b>Figura 2.47:</b> Vigas tipo Colombia .....	93
<b>Figura 2.48:</b> Cuadro de vigas Colombia .....	94
<b>Figura 2.49:</b> Refuerzo longitudinal vigas Colombia vanos 7m.....	54
<b>Figura 2.50:</b> Refuerzo longitudinal vigas Colombia vanos 6.2m.....	54
<b>Figura 2.51:</b> Refuerzo transversal en vigas Colombia vanos 7m .....	54
<b>Figura 2.52:</b> Refuerzo transversal en vigas Colombia vanos 7m .....	55
<b>Figura 2.53:</b> Columna tipo para Ecuador.....	55
<b>Figura 2.54:</b> Refuerzo transversal columna Ecuador.....	55
<b>Figura 2.55:</b> Diagrama de interacción carga-momento de columna central Ecuador .....	56
<b>Figura 2.56:</b> Columna tipo para Colombia .....	57
<b>Figura 2.57:</b> Refuerzo transversal columna Colombia .....	57
<b>Figura 2.58:</b> Diagrama de interacción carga-momento columna central Colombia .....	57
<b>Figura 2.59:</b> Sección y armado de columna para conexión Ecuador.....	58
<b>Figura 2.60:</b> Armado y sección de viga horizontal Ecuador.....	58
<b>Figura 2.61:</b> Armado y sección de viga vertical Ecuador.....	58
<b>Figura 2.62:</b> Cálculo de momentos y cortante de columna y nodo en dirección X Ecuador .....	59
<b>Figura 2.63:</b> Área de nodo conexión en dirección X Ecuador .....	59
<b>Figura 2.64:</b> Comprobación capacidad de nodo en dirección X Ecuador .....	59
<b>Figura 2.65:</b> Cálculo de momentos y cortante de columna y nodo en dirección Y Ecuador .....	60
<b>Figura 2.66:</b> Área de nodo conexión en dirección Y Ecuador .....	60
<b>Figura 2.67:</b> Comprobación capacidad de nodo en dirección Y Ecuador .....	60
<b>Figura 2.68:</b> Confinamiento para nodo Ecuador .....	61
<b>Figura 2.69:</b> Espaciamiento de estribos Ecuador .....	61
<b>Figura 2.70:</b> Cantidad de ramales para nodo Ecuador .....	61
<b>Figura 2.71:</b> Verificación de adherencia Ecuador .....	62
<b>Figura 2.72:</b> Verificación columna fuerte – viga débil Ecuador.....	62
<b>Figura 2.73:</b> Sección y armado de columna para conexión Colombia.....	63
<b>Figura 2.74:</b> Armado y sección de viga horizontal Colombia .....	63
<b>Figura 2.75:</b> Armado y sección de viga vertical Colombia .....	63
<b>Figura 2.76:</b> Cantidad de ramales para nodo Colombia .....	63
<b>Figura 2.77:</b> Verificación columna fuerte – viga débil Colombia .....	64

<b>Figura 2.78:</b> Estados límites de daño .....	64
<b>Figura 2.79:</b> Niveles de desempeño en función del nivel de terremoto .....	65
<b>Figura 2.80:</b> Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección X Ecuador.....	65
<b>Figura 2.81:</b> Espectro de diseño para Ecuador sismos de 20%, 10% y 2% de excedencia	66
<b>Figura 2.82:</b> Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección Y Ecuador.....	66
<b>Figura 2.83:</b> Fuerza inelástica – curva de deformación .....	67
<b>Figura 2.84:</b> Cálculo del R real en dirección X para Ecuador .....	67
<b>Figura 2.85:</b> Cálculo del R real en dirección Y para Ecuador .....	68
<b>Figura 2.86:</b> Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección X Colombia .....	68
<b>Figura 2.87:</b> Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección Y Colombia .....	69
<b>Figura 2.88:</b> Espectro de diseño para Colombia sismos de 20%, 10% y 2% de excedencia .....	69
<b>Figura 2.89:</b> Cálculo del R real en dirección X para Colombia .....	70
<b>Figura 2.90:</b> Cálculo del R real en dirección Y para Colombia .....	70
<b>Figura 2.91:</b> Cantidades de obra Ecuador .....	70
<b>Figura 2.92:</b> Cantidad de acero por elemento Ecuador.....	71
<b>Figura 2.93:</b> Cantidades de obra Colombia.....	72
<b>Figura 2.94:</b> Cantidad de acero por elemento Colombia.....	72
<b>Figura 3.1:</b> Comparativa de sitios de implantación.....	74
<b>Figura 3.2:</b> Deriva inelástica en dirección Y para Ecuador - Colombia .....	76
<b>Figura 3.3:</b> Deriva inelástica en dirección X para Ecuador - Colombia .....	76
<b>Figura 3.4:</b> Espectro de diseño elástico Ecuador - Colombia .....	77
<b>Figura 3.5:</b> Espectro de diseño inelástico Ecuador - Colombia .....	77
<b>Figura 3.6:</b> Coeficientes para cálculo de cortante Ecuador.....	78
<b>Figura 3.7:</b> Coeficientes para cálculo de cortante Colombia .....	78
<b>Figura 3.8:</b> Corte basal vs desplazamiento en direcciones X e Y para Ecuador – Colombia .....	80
<b>Figura 3.9:</b> Desplazamientos en estructura para sismo de diseño Ecuador - Colombia...	81

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Peso por m <sup>2</sup> de mampostería en Ecuador. ....	29
<b>Tabla 2.2:</b> Peso por m <sup>2</sup> de mampostería en Colombia.....	29
<b>Tabla 2.3:</b> Pesos por planta y acabados de Ecuador. ....	29
<b>Tabla 2.4:</b> Pesos por planta y acabados de Colombia.....	30
<b>Tabla 2.5:</b> Adicional cargas permanentes. ....	30
<b>Tabla 2.6:</b> Adicional cargas permanentes. ....	31
<b>Tabla 2.7:</b> Cargas vivas Ecuador. ....	31
<b>Tabla 2.8:</b> Cargas vivas Colombia.....	31
<b>Tabla 2.9:</b> Costo por cantidad de volumen de hormigón Ecuador.....	71
<b>Tabla 2.10:</b> Costo por cantidad de acero de refuerzo Ecuador .....	71
<b>Tabla 2.11:</b> Costo por cantidad de volumen de hormigón Colombia .....	73
<b>Tabla 2.12:</b> Costo por cantidad de acero de refuerzo Ecuador .....	73
<b>Tabla 3.1:</b> Comparativa de cargas vivas .....	74
<b>Tabla 3.2:</b> Comparativa cargas muertas.....	75
<b>Tabla 3.3:</b> Comparativa cortante en la base Ecuador – Colombia.....	79
<b>Tabla 3.4:</b> Comparativa peso de estructura Ecuador – Colombia .....	79
<b>Tabla 3.5:</b> Modos de vibración Ecuador - Colombia.....	79
<b>Tabla 3.6:</b> Comparativa análisis no lineal, estados límites y R real Ecuador – Colombia..	80
<b>Tabla 3.7:</b> Comparativa de cantidad por elemento de acero de refuerzo Ecuador – Colombia .....	82
<b>Tabla 3.8:</b> Comparativa de cantidad por elemento de hormigón Ecuador – Colombia.....	82
<b>Tabla 3.9:</b> Comparativa de costos por elemento de hormigón Ecuador – Colombia .....	83
<b>Tabla 3.10:</b> Comparativa de costos por elemento de acero de refuerzo Ecuador – Colombia .....	83

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.1:</b> Cortante basal NEC - 15.....	9
<b>Ecuación 1.2:</b> Espectro de diseño elástico de aceleraciones (T entre 0 y Tc) NEC - 15 ....	10
<b>Ecuación 1.3:</b> Espectro de diseño elástico de aceleraciones (T mayor que Tc) NEC - 15 .	10
<b>Ecuación 1.4:</b> Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico .....	11
<b>Ecuación 1.5:</b> Período límite de vibración en desplazamientos.....	11
<b>Ecuación 1.6:</b> Espectro de diseño elástico de aceleraciones para análisis dinámico .....	11
<b>Ecuación 1.7:</b> Período de vibración en sismo de diseño .....	11
<b>Ecuación 1.8:</b> Período de vibración .....	11
<b>Ecuación 1.9:</b> Período fundamental de la estructura.....	14
<b>Ecuación 1.10:</b> Período aproximado de la estructura .....	14
<b>Ecuación 1.11:</b> Factor $C_u$ .....	14
<b>Ecuación 1.12:</b> Período de vibración aproximado.....	15
<b>Ecuación 1.13:</b> Cortante basal NSR - 10.....	15
<b>Ecuación 1.14:</b> Período $T_0$ .....	16
<b>Ecuación 1.15:</b> Período $T_c$ .....	16
<b>Ecuación 1.16:</b> Período $T_L$ .....	16
<b>Ecuación 1.17:</b> Espectro elástico de aceleraciones expresado como fracción de la gravedad .....	16
<b>Ecuación 1.18:</b> Espectro elástico de aceleraciones dependiente de $T_c$ y $T_L$ .....	16
<b>Ecuación 1.19:</b> Espectro elástico de aceleraciones dependiente de $T_L$ .....	16
<b>Ecuación 2.1:</b> Módulo de elasticidad del hormigón.....	29
<b>Ecuación 2.2:</b> Deriva inelástica NEC - 15.....	41

## RESUMEN

El presente proyecto de integración curricular tiene como objetivo la comparativa entre una edificación implantada en Cali (Colombia) y Portoviejo (Ecuador). El motivo de selección de estos lugares fue que ambos se sitúan en una zona sísmica de alta amenaza, siendo Cali (amenaza sísmica alta) y Ecuador (zona VI). Para esto se seguirá la NSR-10 correspondiente a Colombia y la NEC-15 a Ecuador. La edificación planteada para análisis será un diseño arquitectónico que consta de 10 pisos superiores y 3 subsuelos; su uso será variado entre: locales comerciales, oficinas y departamentos.

Partiendo del diseño arquitectónico se calculará las cargas muertas según cada país, ya que los pesos de mampuesto varían. Así se diseñará sus elementos estructurales como vigas, losas y columnas para ver sus diferencias en armados y secciones transversales, además en lo que respecta a costos y presupuestos se calculará el costo directo total en cada uno de los casos y finalmente se realizará un análisis no lineal para ver los criterios de desempeño de cada estructura en circunstancias reales.

El resultado del trabajo será un completo análisis comparativo entre normativas sismorresistentes que en este caso serán la NEC – 15 para Ecuador y NSR – 10 para Colombia. Viendo así cuan diferente resulta su diseño y costo evaluando que las dos se encuentran en una amenaza similar en cuanto se refiere a actividad sísmica.

**PALABRAS CLAVES:** Ecuador-Colombia comparativa, normativa sismorresistente, NSR – 10 y NEC – 15, edificación implantada.

## **ABSTRACT**

The goal of this curricular integration project is to compare a building located in Cali (Colombia) with one in Portoviejo (Ecuador). The reason for selecting these locations is that both are situated in high seismic hazard zones, with Cali facing high seismic hazard and Portoviejo falling into Zone VI. To achieve this, the NSR-10 regulations for Colombia and the NEC-15 regulations for Ecuador will be followed.

The building proposed for analysis will be an architectural design consisting of 10 upper floors and 3 basement levels, with a mixed use including commercial spaces, offices, and apartments. Starting from the architectural design, dead loads will be calculated according to each country, as masonry weights vary. Structural elements such as beams, slabs, and columns will be designed to assess differences in reinforcement and cross-sections. Additionally, costs and budgets will be analyzed to determine the total direct cost in each case. Finally, a non-linear analysis will be conducted to evaluate the performance criteria of each structure under real conditions.

The result of this work will be a comprehensive comparative analysis of seismic design standards, specifically the NEC-15 for Ecuador and the NSR-10 for Colombia. This analysis will reveal the differences in design and cost, considering that both locations are in similar seismic hazard zones.

**KEY WORDS:** Comparative Ecuador-Colombia, earthquake-resistant regulations, NSR – 10 and NEC – 15, implemented buildings.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El aumento poblacional ha fomentado la construcción de edificios más altos y complejos en zonas sísmicas como Colombia y Ecuador. Estos países han implementado normativas para asegurar la resistencia estructural. Este trabajo compara un edificio en Ecuador y otro en Colombia en términos de diseño constructivo y costos.

Para controlar y mitigar las pérdidas económicas, sociales y ambientales que estos eventos naturales causan, cada país desarrolló su normativa sismorresistente [1]. En el caso de Ecuador país localizado en una zona de clasificación de riesgo sísmico alto; el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda realizó un proceso de actualización de la Normativa Técnica referente a la Seguridad Estructural de las Edificaciones [2]; por lo que como respuesta se desarrolló la normativa NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción), mientras que en Colombia como recalca la misma normativa surge como respuesta al evento catastrófico en daños materiales y víctimas que resultó del sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983 [3]; cuya normativa tuvo sus actualizaciones hasta la vigente actualmente siendo el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Ambas normativas contienen sus propios criterios, asunciones y recomendaciones para el diseño sismorresistente. Incluyendo límites, parámetros y factores para seleccionar el espectro y el cortante basal de diseño [4].

Las estructuras se analizarán en Portoviejo, Manabí (Ecuador) y Cali, Valle del Cauca (Colombia), ambas zonas turísticas con alta densidad poblacional. Estos lugares están en el cinturón de fuego del Pacífico, donde interactúan varias placas tectónicas, como la del Pacífico, Nazca y Suramericana. Esto tiene efecto en la sismicidad del territorio, por que como indica Flores en una zona de subducción la porción de litósfera que se hunde es directamente proporcional a la velocidad y desplazamiento y aumenta su intensidad sísmica [5], por ende, cualquier zona sobre estas placas sufrirá la respuesta sísmica. En el proceso de subducción se dan presiones relativamente altas que pueden dar como resultado una mega fractura que origina los terremotos [6]. Debido a la amenaza sísmica en ambos países, se identificó que el diseño a cargas gravitacionales no era suficiente. Por eso, se desarrollaron normativas sismorresistentes para estas zonas con sismos de alta y baja magnitud.

Ecuador se divide en seis zonas sísmicas (I-VI), de menor a mayor peligro. La zona VI, la más peligrosa, incluye las provincias del litoral. En Portoviejo, que se encuentra en la zona VI, también se consideran los tipos de suelo para el análisis sísmico, según datos obtenidos de una microzonificación del lugar se obtuvo que “a los 15 m de profundidad existen suelos limosos-arcillosos (MH) de alta plasticidad y deformabilidad, mientras que

desde ahí hasta los 30 m se encuentran suelos arenosos-limosos (SM) y limosos arcillosos (ML) de baja plasticidad y baja deformabilidad” [7] . En Colombia se divide en tres zonas de peligro sísmico (Alta, Intermedia y Baja) en este caso la zonificación depende de la aceleración y la velocidad horizontal pico efectiva que se presenta al suceder actividad sísmica en el lugar, Cali se encuentra en la zona de alta actividad sísmica, analizando el tipo de suelo en el lugar se obtuvo de la misma manera datos de una microzonificación. En el sector de Navarro que la primera capa es de suelos arcillo-limosos preconsolidados duros, con un espesor que varía entre 2 y 12 m [8], También presenta limos arcillosos de alta y mediana plasticidad, suelo semejante al de la Portoviejo. Sobre mampostería en Colombia frecuente mucho el uso de bloque de hormigón “El hormigón ha sido un pilar en la construcción de mampostería durante décadas” [9], en este trabajo se considerará el bloque de hormigón normal. Así mismo, en Ecuador.

El objetivo de este trabajo es comparar un edificio similar ubicado en zonas de alto riesgo sísmico en Ecuador (Portoviejo) y Colombia (Cali). En Ecuador estará en una zona VI y en Colombia en una zona de peligro alta. Se evaluarán las diferencias en el diseño según las normativas de cada país. El proyecto incluirá planos arquitectónicos de un edificio de 10 pisos con tres subsuelos, destinado a uso residencial en pisos altos y comercial/oficinas en los primeros. Además, se analizarán cargas, se prediseñarán elementos estructurales y se modelarán ambas edificaciones en ETABS, programa de modelación estructural cuya funcionalidad la recalca el mismo proveedor “análisis estructural y dimensionamiento de edificios” [10], se verificará que cada modelo cumpla con las normativas locales, se analizarán los costos y se realizará un análisis no lineal de las estructuras. El resultado será una comparación del diseño estructural y los costos de construcción de las edificaciones.

## **1.1 Objetivo general**

Comparar el diseño sismorresistente de una estructura aporticada de hormigón armado de diez pisos y tres subsuelos implantada en las zonas de mayor peligro sísmico, en la zona VI en Ecuador (Portoviejo) y en la zona alta de peligro sísmico en Colombia (Cali), con el fin de realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural, amenaza sísmica, cargas de diseño, diseño final de edificaciones y de costos de construcción al aplicar las respectivas normativas de cada país.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Revisar y aplicar la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).
- Modelar la edificación planteada en el software ETABS de acuerdo con la normativa sismorresistente de cada país.
- Comprobar que cada modelo cumpla con los requerimientos sismorresistentes conforme a su norma.
- Diseñar los elementos estructurales en base a la norma ACI 318-19.
- Plantear los costos de construcción de ambas edificaciones, basándose en los precios unitarios de cada país.
- Realizar el análisis no lineal de los modelos de edificios ubicados en Portoviejo y Cali.

## **1.3 Alcance**

El objetivo principal de esta investigación para el trabajo de integración curricular es realizar un análisis comparativo de una estructura ubicada en áreas de alto riesgo sísmico en Ecuador en la ciudad de Portoviejo y Colombia en Cali. Este análisis se llevará a cabo mediante la comparación de dos enfoques: uno lineal y otro no lineal, tanto en términos de la capacidad estructural como de los costos asociados con la construcción de cada una de las estructuras, enfocando el diseño de elementos estructurales en base a la normativa de cada país y el ACI 318-19.

Este trabajo se dividirá en ocho etapas: Una primera etapa de reconocimiento del proyecto, segunda correspondiente a estimación de cargas y definición de propiedades mecánicas de los materiales, su tercera será el prediseño de los elementos estructurales, en la cuarta estará la modelación estructural y lo correspondiente al análisis sísmico, para la quinta se realizará el diseño de los elementos estructurales de acuerdo a cada normativa, una sexta con el análisis no lineal de la estructura, la séptima corresponderá al análisis de costos y, por último, en la octava se contemplará la comparación de resultados.

En la etapa inicial de este proyecto, se llevará a cabo un estudio exhaustivo del tema mediante una revisión bibliográfica detallada, así como un análisis de las normativas pertinentes en cada país que son aplicables a nuestra estructura específica. Se reconoce y examina minuciosamente la configuración arquitectónica de la estructura en

cuestión. Para ello, se estudiarán las regulaciones colombianas (NSR-10) y ecuatorianas (NEC-15) pertinentes al diseño y construcción de estructuras sismorresistentes.

En la segunda etapa, se presentará la evaluación de las características mecánicas de los materiales utilizados; así como la estimación de las cargas que afectan la estructura y todo ello basado en los criterios establecidos por las normativas locales. Es de valiosa importancia tener en cuenta que estas estimaciones también considerarán las prácticas y costumbres constructivas específicas de cada país.

Para una tercera etapa se deberá realizar un prediseño de los elementos estructurales, utilizando como referencia los requisitos y sugerencias establecidos en las normativas pertinentes de cada país. Para llevar a cabo este proceso, se utilizarán hojas de cálculo previamente desarrolladas. Este prediseño proporcionará una aproximación inicial de las secciones reales de la estructura que será modelada en el software de análisis estructural.

La cuarta etapa se refiere a la modelación estructural utilizando el software ETABS, integrando las propiedades mecánicas de los materiales y las cargas previamente estimadas para cada país. Además, se realizará un análisis sísmico exhaustivo para verificar que nuestro modelo cumpla con las especificaciones establecidas en las normativas respectivas.

En la quinta etapa, se procederá al diseño detallado de los elementos estructurales, lo que permitirá la posterior elaboración de los planos estructurales.

En la sexta etapa se llevará a cabo el análisis no lineal de cada estructura de forma individual, con el objetivo de examinar su respuesta más allá del rango elástico. Este análisis comprenderá la evaluación de la curva de capacidad, el espectro de demandas y el punto de desempeño de la estructura, entre otros aspectos relevantes.

En la séptima etapa se realiza la estimación del presupuesto mediante el Análisis de Precios Unitarios para cada estructura refiriéndonos a APU's de cada país.

Para culminar con el trabajo de integración curricular con la octava etapa, donde se llevará a cabo una comparación minuciosa del comportamiento estructural tanto en condiciones lineales como no lineales, además de analizar los costos asociados con ambas estructuras al aplicar distintas normativas de diseño sismorresistente, esta además mencionar que de la misma manera compararemos las cargas de diseño, amenaza sísmica y diseño de elementos estructurales de cada uno.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1. América Latina y su peligro sísmico

Los desastres naturales son acontecimientos imposibles de evitar, gran parte de estos son cíclicos, sin embargo, con frecuencia los que causan mayor daño y perjudican a las poblaciones son aquellos que llegan de manera repentina como inundaciones, huracanes o en especial en nuestra zona de América Latina los terremotos.

La definición de un terremoto nace de movimientos violentos de la corteza terrestre. El origen de la palabra proviene del latín “terra”, tierra y “motu”, movimiento [11]. Pero todo este movimiento se da por el desplazamiento de placas tectónicas ubicadas en la corteza terrestre, estas corresponden a fragmentos de la litosfera que consisten en la parte superior del manto superior y la corteza terrestre, actuando como una capa sólida, fría y resistente [12]. Al desplazarse estas placas pueden causar actividad volcánica, creación de nuevas montañas y lo principal actividad sísmica importante [12]. Las placas existentes en el planeta son: la Norteamericana, la Sudamericana, la del Pacífico, la Africana, la Euroasiática, la Australiana y la Antártica como principales, por otro lado, la Caribeña, la de Cocos, la de Nazca, la Filipina, la Arábica, la de Caribe, la de Cocos, etc [12]. Las poblaciones donde se encuentren estas placas están sujetas a peligro sísmico, en este caso se enfocará el peligro sísmico en la zona de América Latina.

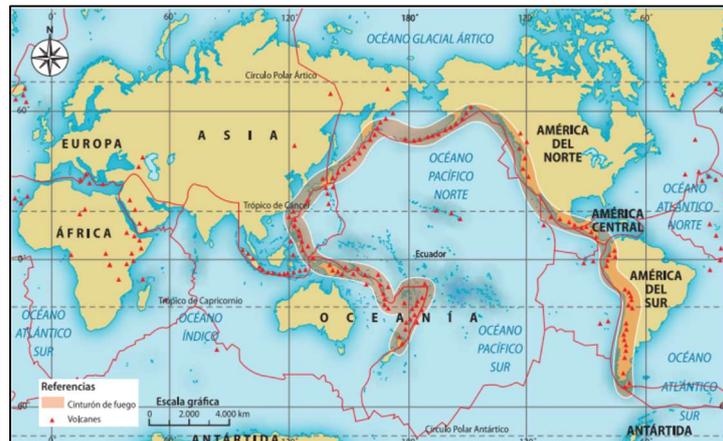


Figura 1.1: Placas tectónicas en América Latina

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Placa\\_sudamericana](https://es.wikipedia.org/wiki/Placa_sudamericana)

Las placas que tienen mayor influencia en América Latina son la Sudamericana, la de Nazca, Cocos y el Caribe. Además, pertenece al cinturón de fuego del Pacífico, que consta de 40.000 kilómetros de extensión en donde diversas placas oceánicas están

solapándose por debajo de Asia y América en cuanto ambos continentes se aproximan. Esto conlleva que la actividad sísmica y volcánica generada es potencialmente peligrosa para miles de millones de habitantes a lo largo de todo este sector que conforman alrededor de 40 países distintos [13]. Esto provoca que cada vez más personas se encuentren en un peligro latente.



**Figura 1.2:** Anillo de Fuego del Pacífico

**Fuente:** <https://catedrauno.com/el-cinturon-de-fuego-del-pacifico-3659/>

Ecuador y Colombia se encuentran en la zona del anillo de fuego, lo que afirma que es una zona de alta sismicidad. Los dos países nombrados anteriormente han tenido eventos sísmicos que han marcado en su historia y de la misma manera en su normativa constructiva. Para Ecuador un evento catastrófico fue el sismo de Pedernales en la provincia de Manabí, hubo un total de 602 personas fallecidas y la magnitud del terremoto fue de 7.8 [14]. Hablando de la normativa sismorresistente ecuatoriana la razón fue que el país está situado en una zona clasificada de alto riesgo sísmico, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda llevó a cabo un proceso de actualización de la Normativa Técnica referente a la Seguridad Estructural de las Edificaciones, no obstante, con antecedentes de terremotos de altas magnitudes ya se había desarrollado [2]. Para Colombia de la misma manera se produjo un sismo de alta magnitud en la ciudad de Popayán el 31 de marzo de 1983, lo que dio como resultado la creación de la normativa sismorresistente colombiana [15].

#### **1.4.2. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)**

La normativa ecuatoriana de la construcción menciona ciertos criterios y recomendaciones a tomar para el diseño de estructuras sismorresistentes.

### **1.4.2.1 Método de diseño basado en fuerzas (DBF)**

Para la implementación de este método de diseño existen condiciones generales como: los métodos estático lineal y pseudo-dinámico son netamente obligatorios para todas las estructuras, a menos que se considere una estructura regular en su totalidad [2]

El método DBF tiene como objetivo diseñar estructuras que sean capaces de resistir fuerzas sísmicas.

El método DBF tiene ciertas sollicitaciones mecánicas, para cumplir las mismas los resultados del análisis deberán contar con la verificación de: deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos y elementos, momentos, cortante de piso y cortante en la base [2].

### **1.4.2.2 Filosofía de diseño sismo resistente.**

#### **1.4.2.2.1 Generalidades y Características**

En lo que respecta a la filosofía de diseño para resistir sismos, se evalúa la seguridad de vida mediante el diseño estructural orientado al sismo de diseño, un evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser superado en un período de 50 años, lo que equivale a un periodo de retorno de 475 años. [2]

El análisis de peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura sirve para determinar el sismo de diseño, existen efectos dinámicos del sismo de diseño, estos mismos pueden modelarse por un espectro de diseño, finalmente se puede ocupar acelerogramas con propiedades dinámicas [2].

#### **1.4.2.2.2 Requisitos Mínimos**

Son tres objetivos del diseño sismo resistente, los cuales se presentan a continuación:

- “Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura [2]”.
- “Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura [2]”.
- “Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes [2]”.

En lo que respecta a derivas de piso, la normativa señala que se trabajará con la deriva inelástica, en el análisis hay que garantizar que la estructura no supere el valor máximo

admisible del 2% de la altura de piso correspondiente a edificios de hormigón armado, estructuras metálicas y de madera [2].

Para terminar con los requisitos de diseño sismo resistente se deberá verificar que todas las estructuras y su cimentación tengan valores menores a los estados límite de falla [2].

### 1.4.2.3 Métodos de análisis

Existen 3 métodos de análisis que son admitidos por la normativa ecuatoriana en la **NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico**: Estático, análisis dinámico espectral y análisis dinámico paso a paso en el tiempo.

#### 1.4.2.3.1 Método estático

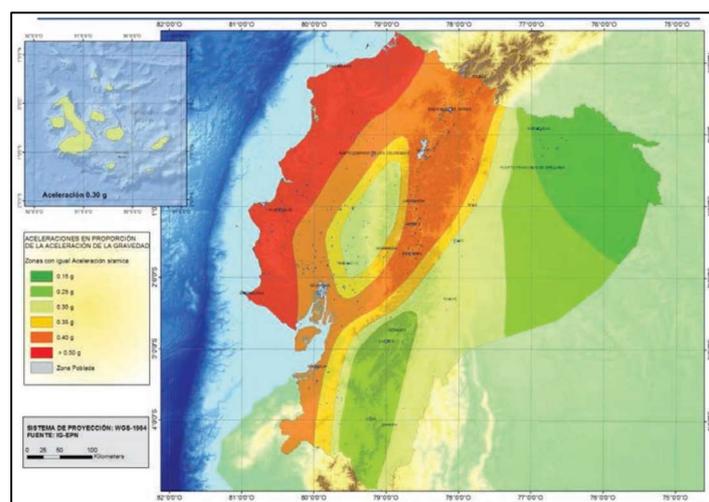
Este método se aplicará como mínimo para todo tipo de estructura, consiste en encontrar un coeficiente Z a partir de la zonificación sísmica del territorio ecuatoriano, los valores de Z se muestran en la tabla a continuación [2].

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

**Figura 1.3:** Valores del factor Z en función de la zona sísmica

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

Ahora se muestra las zonas sísmicas del Ecuador, que son en total seis, numeradas desde la I (menor amenaza sísmica) hasta VI (mayor amenaza sísmica) [2].



**Figura 1.4:** Zonas sísmicas del Ecuador

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

Lo que la figura 1.4 muestra es la aceleración en proporción de la aceleración de la gravedad. Con esto podemos encontrar el cortante basal mediante la siguiente ecuación:

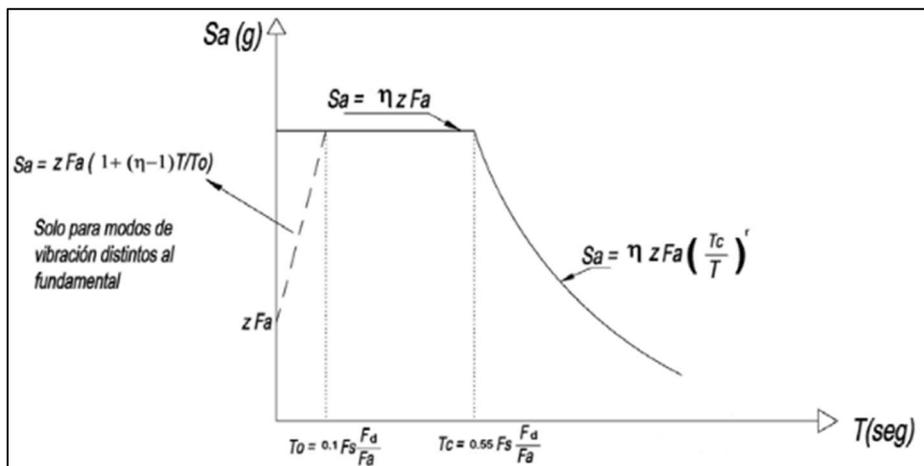
$$V = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * \phi_p * \phi_E} W$$

**Ecuación 1.1:** Cortante basal NEC - 15

En la ecuación anterior el valor de **I** corresponde a un factor de importancia dependiente del uso de la edificación, los factores  $\phi_p \phi_E$  intervienen debido a irregularidades en planta y en elevación, **R** es un factor de reducción de resistencia ante eventos sísmicos, **T<sub>a</sub>** es el periodo de vibración de la edificación, **W** es su peso ya que el valor del cortante basal está en función del peso de la estructura, **V** refiere al cortante basal para el diseño y **S<sub>a</sub> (T<sub>a</sub>)** es el espectro de aceleraciones para el sismo de diseño [2]. En el caso del periodo dinámico deberá ser menor al 80% del obtenido en el método estático (periodo estático) para estructuras regulares y menor al 85% para estructuras irregulares.

#### 1.4.2.3.2 Análisis dinámico espectral

Para el análisis espectral se necesita el factor **Z**, identificar el tipo de suelo donde se construirá la estructura y la consideración de los valores de coeficientes de amplificación de suelo **F<sub>a</sub>**, **F<sub>d</sub>** y **F<sub>s</sub>** [2].



**Figura 1.5:** Espectro de diseño elástico de aceleraciones NEC 15

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

La figura 1.5 muestra el espectro de diseño de aceleraciones que obedece una fracción de amortiguamiento crítico de 5%, con el que se obtienen valores de **S<sub>a</sub>** según el periodo de vibración [2]. Ahora se explicará en base a la normativa NEC 15 los términos en cada una de las ecuaciones de la figura 1.5.

Dónde:	
$\eta$	Razón entre la aceleración espectral $S_a$ ( $T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
$F_a$	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
$F_d$	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
$F_s$	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
$S_a$	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad $g$ ). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
$T$	Periodo fundamental de vibración de la estructura
$T_0$	Periodo limite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
$T_c$	Periodo limite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
$Z$	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad $g$

**Figura 1.6:** Coeficientes para el espectro sísmico elástico

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

Como se observó en la figura 1.6, existen diferentes maneras para el cálculo de  $S_a$  según el espectro sísmico.

$$S_a = \eta * Z * F_a ; \text{siempre que } 0 \leq T \leq T_c$$

**Ecuación 1.2:** Espectro de diseño elástico de aceleraciones ( $T$  entre 0 y  $T_c$ ) NEC - 15

$$S_a = \eta * Z * F_a * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r ; \text{siempre que } T > T_c$$

**Ecuación 1.3:** Espectro de diseño elástico de aceleraciones ( $T$  mayor que  $T_c$ ) NEC - 15

Para estos casos el valor de la razón de aceleración espectral y el PGA son los siguientes:

- $\eta = 1.80$  : Provincias de la Costa ( excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$  : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$  : Provincias del Oriente

**Figura 1.7:** Valores de amplificación espectral para las regiones del Ecuador

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

Para el valor de  $r$  es 1 para todos los tipos de suelo clasificados en la normativa excepto el tipo E, en ese caso tomará un valor de 1.5 [2].

La normativa plantea unos valores límites para el periodo de vibración  $T_c$  y  $T_L$ :

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

**Ecuación 1.4:** Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico

$$T_L = 2.4 * F_d$$

**Ecuación 1.5:** Período límite de vibración en desplazamientos

Donde  $T_c$  es el periodo de vibración en el espectro elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño,  $T_L$  el periodo límite de vibración,  $F_s$  corresponde al coeficiente de amplificación de suelo considerando el comportamiento no lineal de los suelos,  $F_d$  siguiente coeficiente de amplificación de suelo, en este caso amplifica las ordenadas del espectro elástico de diseño de desplazamientos, finalmente el coeficiente  $F_a$  es el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto [2].

En el caso de tener periodos de vibración menores a  $T_0$ , para el análisis dinámico y únicamente con el fin de evaluar la respuesta de modos de vibración diferentes al fundamental [2], el valor de  $S_a$  se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$S_a = Z * F_a * \left[ 1 + (\eta - 1) * \frac{T}{T_0} \right]; \text{ Para } T \leq T_0$$

**Ecuación 1.6:** Espectro de diseño elástico de aceleraciones para análisis dinámico

$$T_0 = 0.10 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

**Ecuación 1.7:** Período de vibración en sismo de diseño

En este caso lo único que es nuevo es el termino  $T_0$  que es el periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones [2].

Para la obtención del periodo de vibración aproximado de la estructura, la norma indica que se puede calcular mediante dos metodologías, no obstante, la más utilizada será la del método 1:

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

**Ecuación 1.8:** Período de vibración

Donde  $T$  es el periodo de vibración calculado,  $C_t$  es el coeficiente que depende del tipo de edificio,  $h_n$  corresponde a la altura máxima de la edificación de  $n$  pisos, medida desde la base de la estructura [2].

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

**Figura 1.8:** Valores de coeficientes que dependen del tipo de estructura

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

La figura 1.8 muestra los valores respectivos para el tipo de estructura a construir de acuerdo con la normativa ecuatoriana.

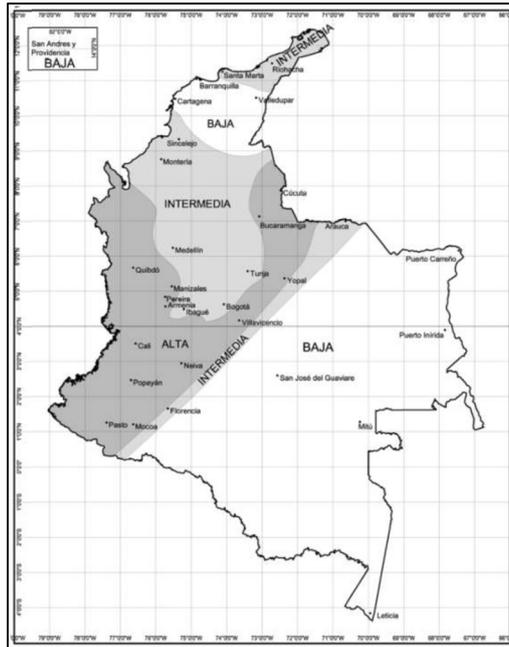
### **1.4.3. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)**

#### **1.4.3.1 Filosofía de diseño**

Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de la normativa que regulen las construcciones Sismo Resistentes, debe ser capaz de resistir fuerzas de uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero existe la posibilidad de que se produzcan daños en componentes no esenciales y un movimiento telúrico intenso que cause daños tanto en elementos estructurales como no estructurales, pero se previene el colapso total. [15].

#### **1.4.3.2 Zonificación sísmica de Colombia**

La normativa colombiana divide al país en tres zonas de peligro sísmico, siendo estas: baja, intermedia y alta [15].



**Figura 1.9:** Zonificación sísmica de Colombia

**Fuente:** NSR-10

En la normativa colombiana sísmo resistente, existen los valores de  $A_a$  y  $A_v$  de los cuales se obtienen con la zonificación sísmica, como muestra la tabla a continuación:

Mayor valor entre $A_a$ y $A_v$	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

**Figura 1.10:** Amenaza sísmica según  $A_a$  y  $A_v$

**Fuente:** NSR-10

Cabe mencionar que con estos valores de  $A_a$  y  $A_v$  y el tipo de suelo, se logran encontrar los valores de los coeficientes de amplificación  $F_a$  que es el coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos,  $F_v$  es el coeficiente de amplificación que afecta a la aceleración en la zona de periodos intermedios [15].

### 1.4.3.3 Método de la fuerza horizontal equivalente

Las condiciones de uso para este método son las siguientes:

- Se usará para estructuras pertenecientes al grupo de uso I, en zonas intermedias [3].

- Para edificaciones regulares e irregulares, en zonas de baja sismicidad [3].
- Edificaciones regulares de 20 niveles o menos, además 60 m de altura o menos medidos desde la base en cualquier zona sísmica, obviando los suelos tipo D, E o F [3].
- Para construcciones irregulares de máximo 6 niveles o máxima altura de 18 metros desde la base [3].

Para el periodo fundamental de la estructura tenemos la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i^2)}}$$

**Ecuación 1.9:** Período fundamental de la estructura

Donde **T** es el periodo que en este caso no debe exceder **C<sub>u</sub>T<sub>a</sub>**, **f<sub>i</sub>** equivalen a fuerzas horizontales distribuidas aproximadas **δ<sub>i</sub>** las deflexiones horizontales [15]. Para calcular el **T<sub>a</sub>** que es el periodo aproximado de la estructura, ocupamos la siguiente ecuación.

$$T_a = C_t * h^\alpha$$

**Ecuación 1.10:** Período aproximado de la estructura

Donde **C<sub>t</sub>** y **α** dependen del sistema estructural de resistencia sísmica.

Sistema estructural de resistencia sísmica	C <sub>t</sub>	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C <sub>t</sub> y α, donde C <sub>w</sub> se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

**Figura 1.11:** Coeficientes para el período Ta

**Fuente:** NSR-10

Para el cálculo de **C<sub>u</sub>** se emplea la siguiente ecuación:

$$C_u = 1.75 - 1.2 * A_v * F_v$$

**Ecuación 1.11:** Factor C<sub>u</sub>

Para edificaciones de 12 pisos o inferiores con alturas de piso no mayor a 3 metros se puede determinar el periodo equivalente mediante la siguiente ecuación [15]:

$$T = 0.1N$$

**Ecuación 1.12:** Período de vibración aproximado

Donde **N** es el número de pisos del edificio.

#### **1.4.3.3.1 Fuerzas sísmicas horizontales equivalentes (Cortante Basal)**

El cortante sísmico en la base  $V_s$ , equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño [15].

$$V_s = S_a * g * M$$

**Ecuación 1.13:** Cortante basal NSR - 10

Según la ecuación anterior  $S_a$  corresponde al valor de la aceleración como fracción de la gravedad  $g$  es la gravedad y  $M$  la masa del edificio [15].

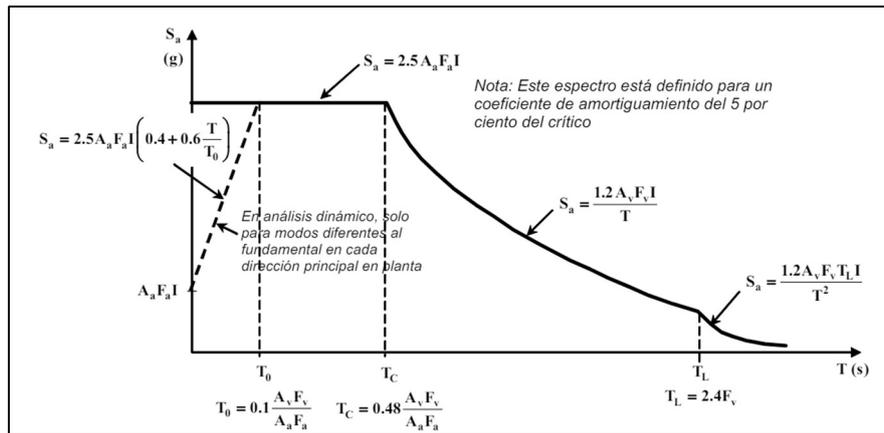
#### **1.4.3.4 Análisis dinámico espectral**

Se requiere tomar en cuenta los siguientes requisitos para implementación de este análisis.

- Obtención de los modos de vibración
- Respuesta espectral modal
- Respuesta total
- Ajustes de los resultados
- Evaluación de las derivas
- Fuerzas de diseño en los elementos
- Diseño de los elementos estructurales

En este caso para las estructuras regulares el cortante dinámico no debe ser mayor que el 80% del estático, mientras que para estructuras irregulares no debe superar el 90% [15].

Para el espectro de aceleraciones la normativa muestra el siguiente gráfico.



**Figura 1.12:** Espectro elástico de aceleraciones

**Fuente:** NSR-10

Se puede observar que los valores de  $S_a$  dependen de los periodos de vibración de la estructura y además de los coeficientes de amplificación ya nombrados anteriormente. Otras ecuaciones que podrían ser de utilidad son [15]:

$$T_0 = 0.1 * \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

**Ecuación 1.14:** Período  $T_0$

$$T_c = 0.48 * \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

**Ecuación 1.15:** Período  $T_c$

$$T_L = 2.4 * F_v$$

**Ecuación 1.16:** Período  $T_L$

$$S_a = 2.5 * A_a * F_a * I : \text{Para } T \leq T_c$$

**Ecuación 1.17:** Espectro elástico de aceleraciones expresado como fracción de la gravedad

$$S_a = \frac{1.2 A_v * F_v * I}{T} : \text{siempre que } T_c \leq T \leq T_L$$

**Ecuación 1.18:** Espectro elástico de aceleraciones dependiente de  $T_c$  y  $T_L$

$$S_a = \frac{1.2 A_v * F_v * T_L * I}{T^2} : \text{siempre que } T_L \leq T$$

**Ecuación 1.19:** Espectro elástico de aceleraciones dependiente de  $T_L$

La normativa NSR-10 impone un control de derivas máximas, como muestra la siguiente tabla:

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ( $\Delta_{\max}^i \leq 0.010 h_{pi}$ )
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ( $\Delta_{\max}^i \leq 0.005 h_{pi}$ )

**Figura 1.13:** Derivas máximas como porcentaje de h<sub>pi</sub>

**Fuente:** NSR-10

Para un análisis inelástico se puede multiplicar las derivas obtenidas por 0.7, siempre y cuando el diseñador quiera considerarlo, de lo contrario, se tomará la deriva elástica como inelástica sin reducir por ningún factor [15].

#### 1.4.4 Método de análisis no lineal estático

En este método se procederá a analizar a la estructura de una manera más acertada a la realidad mediante un proceso no lineal basado en el desempeño de la estructura y parámetros de daño aceptable.



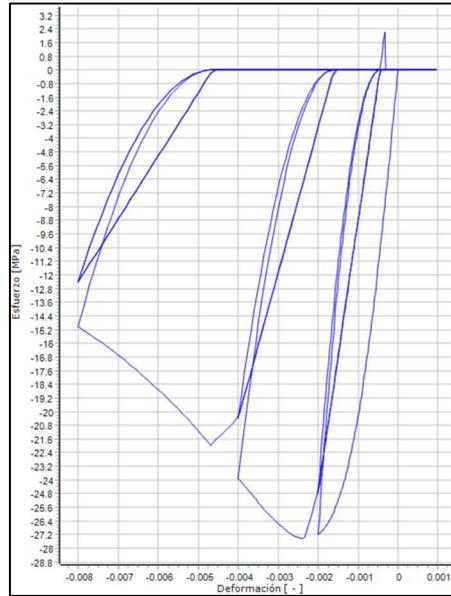
**Figura 1.14:** Respuesta estructural análisis lineal - no lineal

**Fuente:** <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10782>

Como se puede ver el análisis no lineal da una respuesta más real a como se comportará la estructura ante un evento sísmico.

##### 1.4.4.1 Método Push over

También llamado método estático no lineal de plastificación progresiva, se da lugar en aquellos casos donde el diseñador “ingeniero” quiera evaluar la capacidad de disipación de energía real en el rango inelástico de la estructura, consiste en un método de carga y descarga para evaluar el desempeño de la estructura [3].



**Figura 1.15:** Comportamiento histerético del hormigón

**Fuente:** Software SeismoStruct

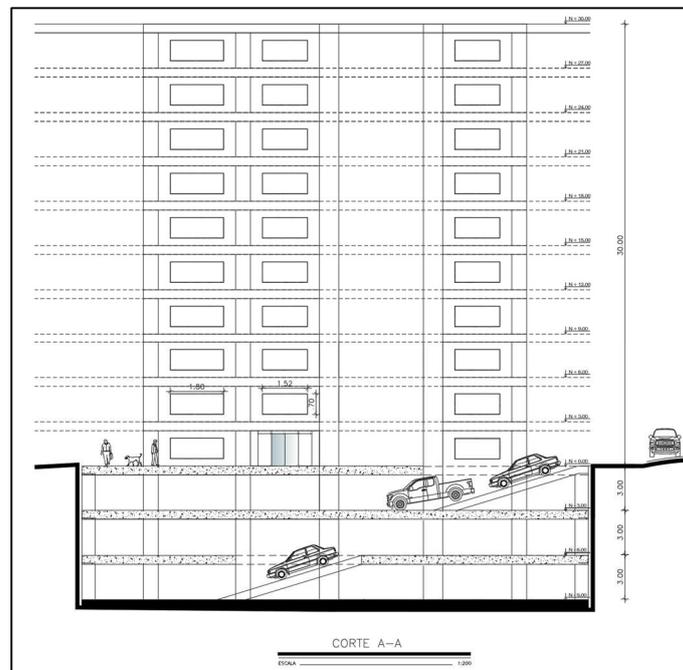
Como se muestra en la figura anterior ese es el proceso de carga y descarga en el que se basa el análisis push over, específicamente la imagen muestra el comportamiento del hormigón ante dicho proceso.

## 2. Metodología

Esta sección será específicamente para realizar la descripción de la edificación, además de característica como su ubicación y geología en el lugar de implantación de la estructura, se especificará los materiales y sus propiedades, el análisis de cargas muerta y viva, con los cuales se empezará con el prediseño de los elementos estructurales, se realizará el diseño basado en fuerzas correspondiente a la modelación estructural en el software ETABS. El propósito de la modelación es el tener el diseño de los elementos como: losas, vigas y columnas, a flexión y cortante respectivamente. Para finalmente realizar los planos estructurales donde se detallará cada parte de estas, como: conexiones, cambios de secciones, traslapes y longitudes de desarrollo, entre otros datos importantes en el armado de elementos estructurales.

### 2.1 Descripción de la edificación (arquitectónica)

El proyecto se basa en una edificación de 10 pisos superiores y 3 subsuelos, la distribución se observará mejor en la imagen a continuación. La distancia entrepisos es de 3 m. El uso que se le dará al edificio será en su mayoría residencial, la distribución es la siguiente, la planta baja estará destinada a locales comerciales, del piso 1 al 3 serán oficinas y desde el piso 4 en adelante serán departamentos. El área de planta de todos los pisos es de 558.80 m<sup>2</sup>, exceptuando los subsuelos que tendrán un área de construcción de 1020.76 m<sup>2</sup>.



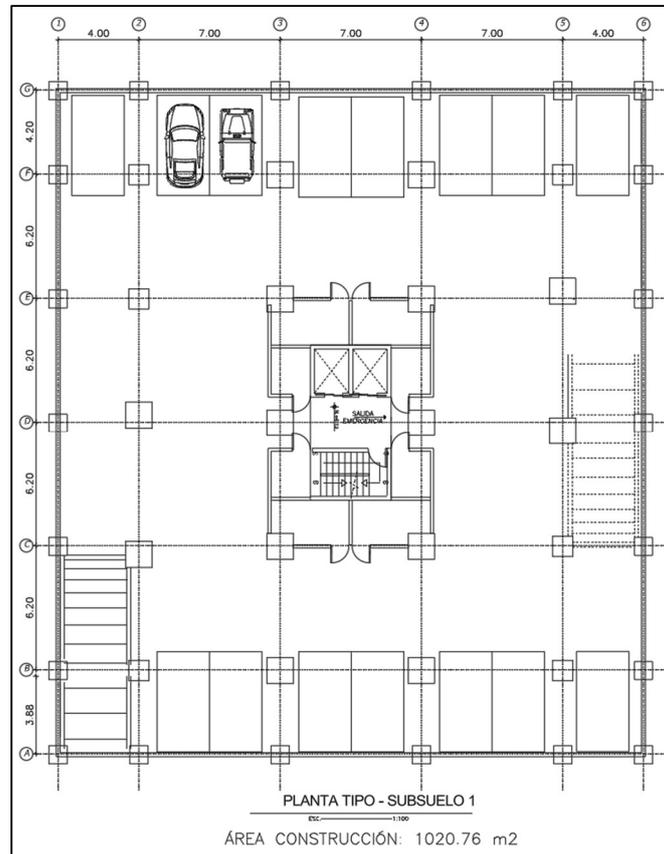
**Figura 2.1:** Corte de alzado A-A

**Fuente:** Planos proporcionados por la directora

## 2.1.1 Subsuelos

### 2.1.1.1 Subsuelo 1

La distribución arquitectónica de la planta de subsuelo consta de tres tipos distintas, ya que la rampa de acceso está ubicada en un lugar distinto dependiendo del subsuelo.



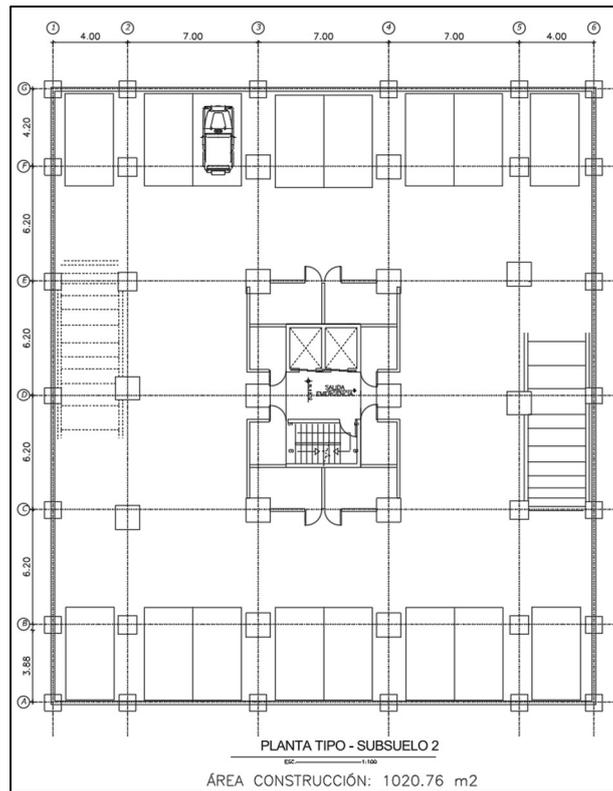
**Figura 2.2:** Planta tipo subsuelo 1

**Fuente:** Planos proporcionados por la directora

La planta tiene una rampa de acceso desde el nivel de la calzada, en el centro está el espacio para gradas y ascensor. Este subsuelo en específico cuenta con 15 parqueaderos para vehículos estándar, a su vez al otro lado se encuentra la rampa de bajada hacia el subsuelo 2.

### 2.1.1.2 Subsuelo 2

Posee la misma área que todos los demás subsuelos, en este caso lo que varía es la posición de las rampas y número de parqueaderos.



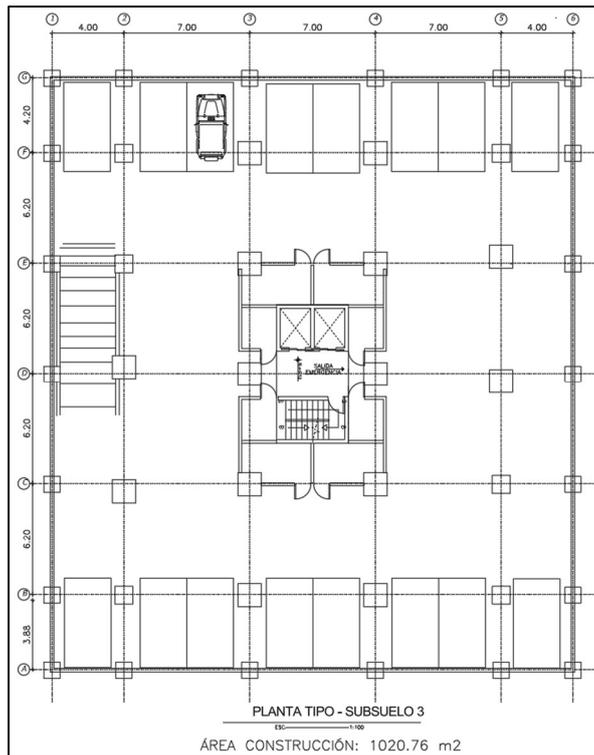
**Figura 2.3:** Planta tipo subsuelo 2

**Fuente:** Planos proporcionados por la directora

Como se puede ver en la figura anterior, la rampa de acceso la del lado izquierdo, mientras que la rampa de bajada hacia el subsuelo 3 corresponde a la del lado derecho, En centro igual se encuentran las gradas y el ascensor, en este caso cuenta con 16 parqueaderos de uso.

### 2.1.1.3 Subsuelo 3

Posee la misma distribución que el subsuelo 2 en este caso solo cuenta con la rampa de acceso ya que es el último de los subsuelos.



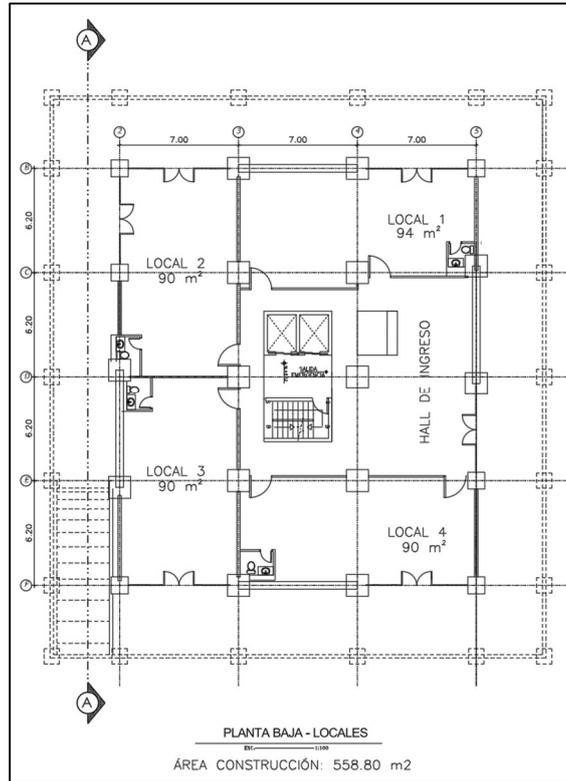
**Figura 2.4:** Planta tipo subsuelo 3

**Fuente:** Planos proporcionados por la directora

La distribución de los parqueaderos, ascensor y gradas sigue siendo la misma que en el subsuelo 2, cuenta con 16 parqueaderos.

### 2.1.2 Planta baja

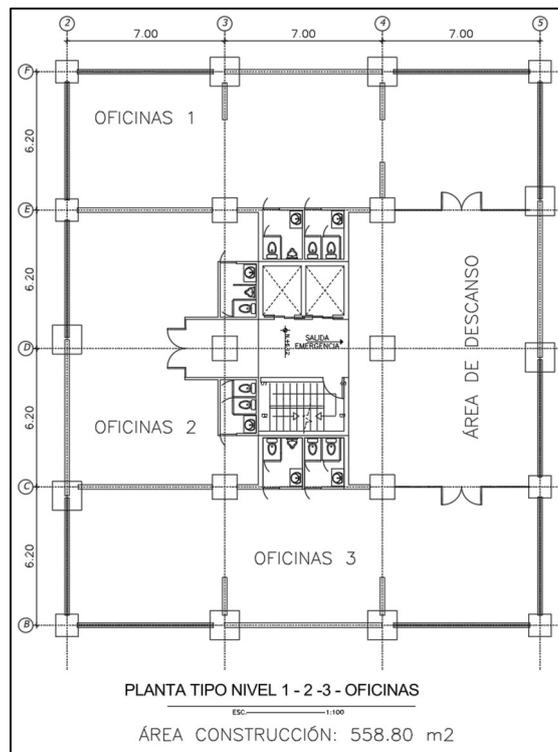
El área de construcción de esta planta es de 558.80 m<sup>2</sup> y cuenta con 4 locales comerciales. Tres de estos locales tienen una superficie de 90 m<sup>2</sup> cada uno, mientras que el cuarto mide 94 m<sup>2</sup>. Cada local dispone de su propio baño. Además, la planta incluye un hall de ingreso comunal.



**Figura 2.5:** Planta baja

Fuente: Planos proporcionados por la directora

### 2.1.3 Planta tipo oficinas



**Figura 2.6:** Planta tipo oficinas

Fuente: Planos proporcionados por la directora

La planta tipo oficinas posee un área constructiva de 558.80 m<sup>2</sup>, la cual se distribuye entre 3 oficinas de aproximadamente 100 m<sup>2</sup> y un área de descanso. La planta posee 6 baños, distribuidos en dos baños por oficina, juntamente con las gradas y el ascensor.

### 2.1.4 Planta tipo departamentos

Este tipo de planta es el que más porcentaje tiene en la distribución de pisos, consta de un área de 558.80 m<sup>2</sup>, posee 4 departamentos por planta, cuyos departamentos constan de una sala y comedor, un cuarto máster, un baño completo, un medio baño, sala de lavado y dos dormitorios pequeños.

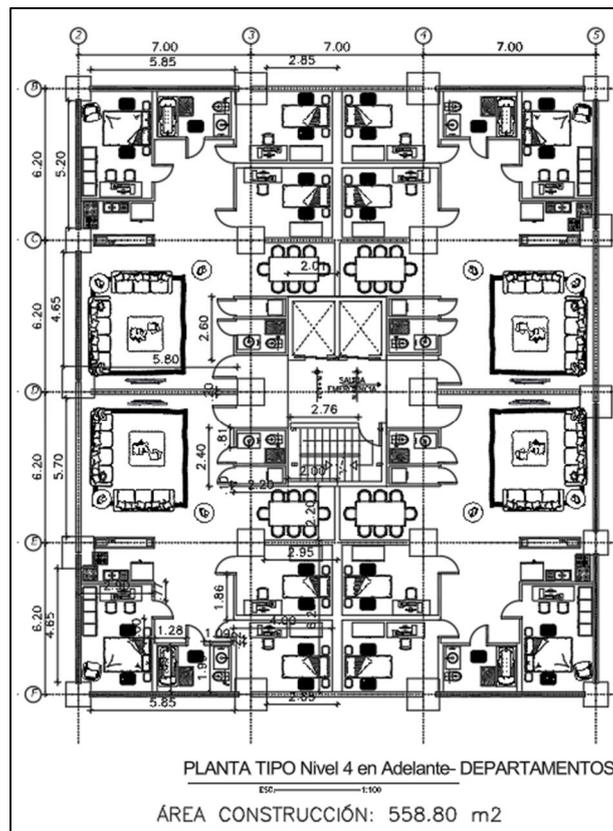


Figura 2.7: Planta tipo departamentos

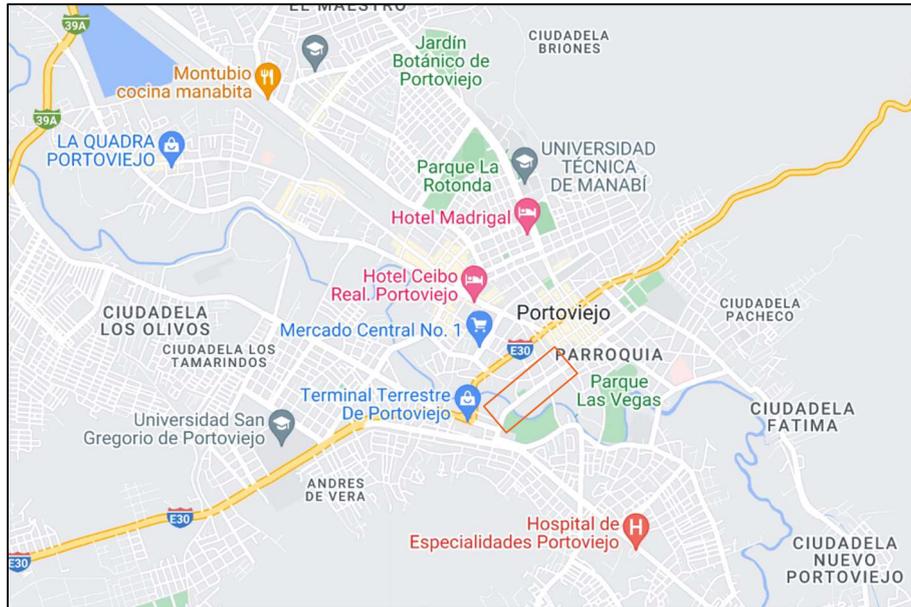
Fuente: Planos proporcionados por la directora

## 2.2 Ubicación y geología del sitio de implantación

### 2.2.1 Ecuador

En Ecuador la edificación se implantará en una zona de amenaza sísmica VI, por lo que se escogió la ciudad de Portoviejo, para dar una localización referencial la ubicaremos en la parte central junto al mercado central.

En Ecuador, la edificación se situará en una zona de amenaza sísmica VI. Por esta razón, se ha seleccionado la ciudad de Portoviejo como ubicación referencial, específicamente junto al mercado central de la ciudad.



**Figura 2.8:** Ubicación de implantación edificio en Ecuador

**Fuente:** Google Maps

En base a un trabajo de titulación de 2021 “Actualización del mapa de microzonificación geotécnica del NW de la ciudad de Portoviejo” En el cual según estudios de velocidad de onda cortante del suelo y estratificaciones mediante ensayos SPT y CPTu, se tiene velocidades de onda cortante mayores a 360 m/s [16], por lo que siguiendo la normativa NEC-15, se llegó a la conclusión de utilizar **un suelo tipo C** [2].

Con este dato de tipo de suelo y además tomando en cuenta la zona de amenaza sísmica VI, se encuentra los siguientes factores de amplificación. Por la zona y tipo de suelo tenemos el valor de  $r = 1$  y un valor de  $\eta = 1.8$  [2].

### **F<sub>a</sub> (Factor de amplificación del suelo en la región de periodos cortos)**

Se muestran los posibles valores para **F<sub>a</sub>** según el coeficiente **Z** y el tipo de perfil de suelo, en este caso se tomó el valor de 1.18.

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

**Figura 2.9: Coeficiente Fa**

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

**F<sub>d</sub> (Factor de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de diseño de desplazamientos para diseño en roca)**

Por el tipo de suelo y zona sísmica antes ya mencionados, se obtuvo un valor de **F<sub>d</sub>** de 1.06 de la figura siguiente.

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

**Figura 2.10: Coeficiente Fd**

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

**F<sub>s</sub> (Comportamiento no lineal de los suelos)**

De la misma manera que los otros dos coeficientes, seleccionamos en este caso un valor de **F<sub>s</sub>** de 1.23 de acuerdo con la figura 2.11.

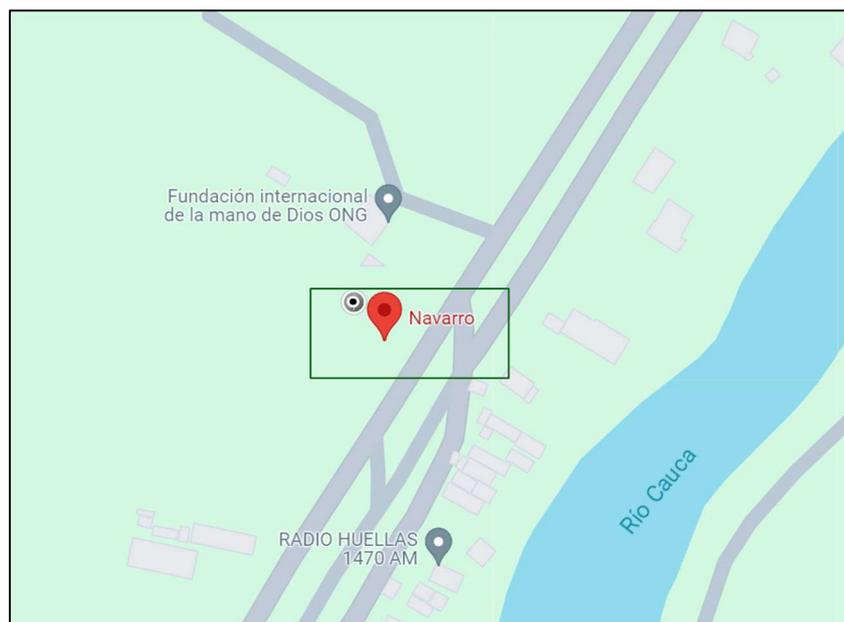
Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación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

**Figura 2.11:** Coeficiente Fs

**Fuente:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

### 2.2.2 Colombia

Para el caso de Colombia, se ubicará la edificación en una zona de alto peligro sísmico, se escogió la ciudad de Cali, para tener una referencia más clara, en Navarro en el Valle del Cauca. La zona de acuerdo con la normativa NSR-10, pertenece a la zona de alto peligro sísmico.



**Figura 2.12:** Ubicación implantación en Colombia

**Fuente:** Google Maps

Con ayuda de un estudio de microzonificación de Cali llamado “Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali” se logró identificar un tipo de suelo para el análisis con una estratificación del suelo se identificó un suelo tipo S1 [17], que de acuerdo con la antigua normativa NSR-98, encaja la descripción con lo que hoy en día en la normativa NSR-10 es un perfil tipo B con velocidades de onda cortante mayor o igual a 750 m/s [15].

Según el tipo de suelo y la amenaza sísmica alta, podemos encontrar los coeficientes de amplificación para el análisis. De acuerdo con la distribución de amenaza y movimientos sísmicos de diseño de la norma NSR-10 se identificó los valores de  $A_a$  y  $A_v$ , siendo 0.25 y 0.25 respectivamente [15].

$F_a$  con respecto a los valores del coeficiente de amplificación para la zona de periodos cortos del espectro.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Figura 2.13: Valores para  $F_a$

Fuente: NSR-10

Se toma el valor de 1, ya que en el caso de no constar con un valor preciso se debe interpolar los valores.

$F_v$  con respecto a los valores del coeficiente de amplificación para la zona de periodos intermedios del espectro.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Figura 2.14: Valores para  $F_y$

Fuente: NSR-10

En este caso el valor de  $F_v$  es 1 al igual que para el coeficiente anterior.

## 2.3 Materiales y sus características

### 2.3.1 Hormigón

En ambos casos, tanto como para Ecuador y Colombia se utilizará un hormigón con la resistencia a compresión  $f'_c$  de **280 kg/cm<sup>2</sup>** o **28 MPa**, Su peso unitario será de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Para el módulo de elasticidad, utilizaremos el que nos da el ACI 318-19 para los dos países.

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ en MPa}$$

**Ecuación 2.1:** Módulo de elasticidad del hormigón

$$E_c = 4700 * \sqrt{28}$$

$$E_c = 24870.06 \text{ MPa}; 248700.6 \text{ kg/cm}^2$$

### 2.3.2 Acero

El acero será el corrugado con su **fy = 420 MPa o 4200 kg/cm<sup>2</sup>**, su módulo de elasticidad será **Es = 200000 MPa**. Estos valores serán en las dos situaciones.

## 2.4 Análisis de Cargas

### 2.4.1 Carga muerta

Revisando la respectiva normativa NSR-10 para Colombia y NEC-15 para Ecuador, se obtuvo alguna de las cargas muertas de servicio para el cálculo. No obstante, se desarrolló una hoja de cálculo en Excel para el cálculo de peso por m<sup>2</sup> de mampostería, ya que, la edificación contará con paredes de 20 y 10 cm.

#### 2.4.1.1 Ecuador

**Tabla 2.1:** Peso por m<sup>2</sup> de mampostería en Ecuador.

Ecuador		
Peso del bloque (kg)	Ancho del bloque (cm)	Peso por m <sup>2</sup>
13.2	20	233.57
7	10	130.9

**Fuente:** Elaboración propia

Estos valores dieron como resultado tras analizar un catálogo de bloques de cada país y realizar el cálculo para un metro cuadrado, Excel de cálculo se encuentra en anexos.

**Tabla 2.2:** Peso por m<sup>2</sup> de mampostería en Colombia

Colombia		
Peso del bloque (kg)	Ancho del bloque (cm)	Peso por m <sup>2</sup>
17	20	274.05
9.6	10	158.84

**Fuente:** Elaboración propia

Ahora se realizó la medición de las paredes por planta para obtener el peso por planta de cada tipo de planta y añadirle los acabados.

**Tabla 2.3:** Pesos por planta y acabados de Ecuador.

<b>ECUADOR</b>	<b>Por planta [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Número de plantas</b>	<b>Planta + acabados [kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Subsuelo</b>	73.25	3.00	93.25
<b>Locales comerciales</b>	91.37	1.00	192.97
<b>Oficinas</b>	142.85	3.00	244.45
<b>Departamentos</b>	215.79	6.00	317.39

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.1.2 Colombia

Para el caso de Colombia tenemos la siguiente tabla:

**Tabla 2.4:** Pesos por planta y acabados de Colombia.

<b>COLOMBIA</b>	<b>Por planta [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Número de plantas</b>	<b>Planta + acabados [kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Subsuelo</b>	86.54	3.00	106.54
<b>Locales comerciales</b>	107.63	1.00	287.63
<b>Oficinas</b>	168.47	3.00	348.47
<b>Departamentos</b>	254.94	6.00	434.94

Fuente: Elaboración propia

Para cada caso se utilizó las respectivas cargas permanentes:

**Tabla 2.5:** Adicional cargas permanentes.

<b>Adicional para carga permanente</b>		
<b>Cielo raso de yeso sobre listones de madera</b>	20.40	[kg/m <sup>2</sup> ]
<b>Instalaciones</b>	20.00	[kg/m <sup>2</sup> ]
<b>Baldosa cerámica con mortero</b>	61.20	[kg/m <sup>2</sup> ]

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

Nota: Cabe mencionar que solo las cargas que están marcadas con celestes son las que se encontraban en la normativa señalada. Las otras fueron obtenidas de catálogos.

**Tabla 2.6:** Adicional cargas permanentes.

<b>Adicional para carga permanente</b>		
<b>Entramado metálico suspendido afinado en yeso</b>	50.00	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Instalaciones</b>	20.00	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Baldosa cerámica (20 mm) con mortero 25 mm</b>	110.00	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>

Fuente: NSR-10

## 2.4.2 Cargas vivas

### 2.4.2.1 Cargas vivas para Ecuador

Para el análisis de cargas vivas se obtuvo de la normativa de cada país las cargas vivas para su funcionalidad.

**Tabla 2.7:** Cargas vivas Ecuador.

<b>CARGA NO SÍSMICA (VIVA) ECUADOR</b>		
<b>Oficina</b>	240	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Departamentos</b>	200	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Almacenes (Considerando locales en el primer piso)</b>	480	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Escaleras</b>	300	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Garaje</b>	200	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

### 2.4.2.2 Cargas vivas para Colombia

Para la normativa colombiana hay ciertas diferencias que se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla 2.8:** Cargas vivas Colombia.

<b>CARGA NO SÍSMICA (VIVA) COLOMBIA</b>		
<b>Oficina</b>	200	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Departamentos</b>	180	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Almacenes (Considerando locales en el primer piso)</b>	480	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Escaleras y rutas de escape</b>	300	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Garaje (Automóviles)</b>	250	<b>[kg/m<sup>2</sup>]</b>

Fuente: NSR-10

## 2.4.3 Combinaciones de carga

Para las combinaciones de carga se utilizarán las expuestas en la normativa ecuatoriana de la construcción, para ambos casos, ya que en ambas normativas se encuentran las mismas combinaciones considerando el sismo.

## 2.4.4 Prediseño de elementos estructurales

### 2.4.4.1 Losa (Colombia y Ecuador)

Para el prediseño de losa se ha realizado una hoja de cálculo, se verificó que la losa trabajaría en dos direcciones. En este caso para el prediseño de losa solo se necesita los vanos y el tipo de losa a construir, por lo que será la misma en los dos países. Se plantea una losa sobre vigas con alivianamientos:

PREDISEÑO DE LOSA			
Relación		Autor: Alejandro Lugo	
Ll	7.00	m	
Lc	6.20	m	
$\beta$	1.13	Seleccionamos el B mas pequeño	
		Dos direcciones	
Ln	=	7.00	m
fy	=	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
Yho	=	2400.00	kg/m <sup>3</sup>

**Figura 2.15:** Características de vanos y relación lado largo/lado corto.

**Fuente:** Elaboración propia

Ahora se determina un espesor mínimo de losa maciza, para luego buscar una losa alivianada que tenga la inercia similar.

Espesor min			
hmin	0.17	[m]	
hmin	0.17	[m]	
Peso losa maciza			
PL	=	hl*Yhormigon	
Peso L Mac.	=	408.00	[kg/m <sup>2</sup> ]

**Figura 2.16:** Peso y espesor mínimo de losa.

**Fuente:** Elaboración propia

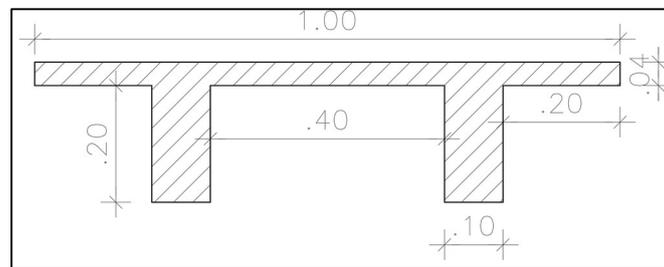
En esta parte se mostrarán las características físicas de la losa prediseñada:

Losa maciza		
<b>B</b>	1.00	[m]
<b>h</b>	0.17	[m]
<b>I</b>	0.00041	[m <sup>4</sup> ]
	40941.67	[cm <sup>4</sup> ]
<b>A</b>	1700	[cm <sup>2</sup> ]
<b>peso/m</b>	408	[kg/m <sup>2</sup> ]

**Figura 2.17:** Losa Maciza.

**Fuente:** Elaboración propia

Se toma un metro de losa alivianada para la comparación de inercias, como muestra la imagen siguiente:



**Figura 2.18:** Losa alivianada.

**Fuente:** Elaboración propia

Las dimensiones de losa alivianada seleccionada fueron las mostradas en la figura 2.19.

Igualdad inercias		
<b>I<sub>lm</sub> [cm<sup>4</sup>]</b>	<b>&lt;=</b>	<b>I<sub>la</sub> [cm<sup>4</sup>]</b>
40941.67	<b>Cumple</b>	42666.67

**Figura 2.19:** Inercias equivalentes losa maciza - alivianada

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar la losa alivianada tiene mayor inercia que la maciza por lo que cumple con el prediseño, y las medidas de losa alivianada son las mostradas anteriormente.

#### **2.4.4.2 Prediseño vigas y columnas para Ecuador.**

Para el prediseño de los demás elementos estructurales se realizó las respectivas hojas de cálculo de acuerdo con la normativa ACI 318-19. Se presenta el cuadro resumen de las dimensiones de los elementos prediseñados:

Prediseño vigas-columnas Ecuador					
Vigas			Columnas		
Viga tipo 1			Columna tipo 1		
B	0.35	[m]	B	0.90	[m]
H	0.40	[m]	H	0.90	[m]
Viga tipo 2					
B	0.35	[m]			
H	0.45	[m]			

**Figura 2.20:** Prediseño Ecuador vigas - columnas

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso se colocarán 2 tipos de vigas, en el eje con los vanos de 7 metros, irá la viga tipo 2, mientras que para el otro eje el tipo 1, columnas solo se colocarán de un solo tipo siendo de las dimensiones ya antes mostradas.

### 2.4.4.3 Prediseño vigas y columnas para Colombia.

De la misma manera se siguió el mismo procedimiento que para Ecuador.

Prediseño vigas-columnas Colombia					
Vigas			Columnas		
Viga tipo 1			Columna tipo 1		
B	0.35	[m]	B	0.95	[m]
H	0.45	[m]	H	0.95	[m]
Viga tipo 2					
B	0.35	[m]			
H	0.50	[m]			

**Figura 2.21:** Prediseño Colombia vigas - columnas

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 2.21 muestra el resumen del prediseño de los elementos estructurales a ocupar en Colombia, en el eje de vanos de 7 metros se colocará la viga tipo 2, mientras que para el otro el tipo 1, columnas de un solo tipo como muestra la tabla anterior.

### 2.4.5 Espectro de diseño.

#### 2.4.5.1 Espectro de diseño y cortante basal para Ecuador.

Para el cálculo del espectro de diseño en este caso se debe centrar en la normativa ecuatoriana de la construcción [2].

Se muestra a continuación la tabla resumen de todos los factores seleccionados para el respectivo cálculo:

Factores y coeficientes seleccionados (Ecuador)	
Z	0.5
$\eta$	1.8
$F_d$	1.06
$F_s$	1.23
$F_a$	1.18
Tipo de suelo	C
I	1
R	7
Ct	0.055
$\alpha$	0.9
h	30
$\emptyset E_i$	1
$\emptyset P_i$	1
r	1

**Figura 2.22:** Factores y coeficientes seleccionados para Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Todos los valores de coeficientes y factores antes mostrados fueron obtenidos de la normativa ecuatoriana, dependiendo del sitio de implantación y tipo de estructura a construir, en este caso todos los valores fueron obtenidos de la NEC-15, no obstante, el valor de **R** según la normativa debía ser 8, sin embargo, se tomó el valor de 7 siendo un poco más conservador.

Con estos datos, se procede a elaborar el espectro de diseño y a calcular los parámetros necesarios para el cortante basal de diseño que se utilizará.

Utilizando la ecuación número 1.7 se tiene:

$$T_0 = 0.10 * 1.23 * \frac{1.06}{1.18}$$

$$T_0 = 0.11 \text{ s}$$

Ahora con la ecuación número 1.4:

$$T_C = 0.55 * 1.23 * \frac{1.06}{1.18}$$

$$T_C = 0.608 \text{ s}$$

Estos valores servirán para el cálculo de la  $S_a$  (g), se tomará como ejemplo de cálculo las ecuaciones 1.2 y 1.3 respectivamente, con un periodo  $T = 0.6$  s:

$$S_a = 1.8 * 0.5 * 1.18; \text{ como } 0 \leq T \leq T_C$$

$$S_a = 1.062$$

Ahora para la ecuación 1.3, se tomará un  $T = 0.7$  s:

$$S_a = 1.8 * 0.5 * 1.18 * \left(\frac{0.608}{0.700}\right)^1 ; \text{ como } T > T_c$$

$$S_a = 0.922$$

Finalmente, para completar las zonas del espectro se tiene con la ecuación 1.6, con un  $T = 0.05$  s:

$$S_a = 0.5 * 1.18 * \left[1 + (1.8 - 1) * \frac{0.050}{0.110}\right]; \text{ Como } T \leq T_0$$

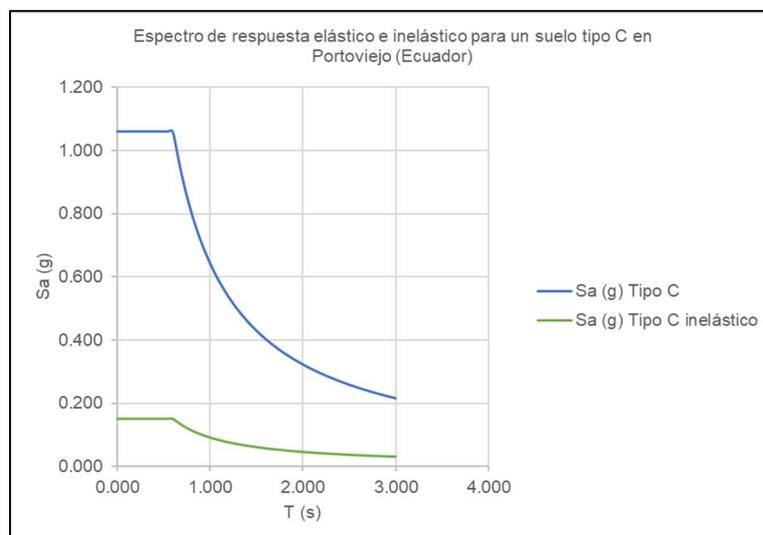
$$S_a = 1.062$$

Además, se calcula un periodo aproximado de la estructura, mediante la ecuación 1.8 y los valores obtenidos de la normativa escritos en la figura 2.22:

$$T = 0.055 * 30^{0.9}$$

$$T = 1.17 \text{ s}$$

Con este valor se puede estimar el cortante basal de diseño para la estructura, simultáneamente se obtuvo el espectro completo de diseño elástico e inelástico.



**Figura 2.23:** Espectro elástico e inelástico de Portoviejo

**Fuente:** Elaboración propia

Para el cortante basal de diseño se ocupó la ecuación 1.1, además de los coeficientes de la figura 2.23:

$$V = \frac{1 * 0.550}{7 * 1 * 1} W$$

$$V = 7.85\%$$

Lo que quiere decir que el sismo participará con el 7.85% del peso de la estructura. Los demás cálculos para el espectro de diseño se adjuntan en anexos.

### 2.4.5.2 Espectro de diseño para Colombia.

Para proceder con el espectro y cortante basal de diseño nos regimos a la normativa sismo resistente colombiana NSR-10. De la cual se obtuvo los siguientes valores de coeficientes y factores [15].

Factores y coeficientes seleccionados (Colombia)	
$A_a$	0.25
$A_v$	0.25
$A_c$	0.15
$A_d$	0.09
Grupo de uso	1
$F_v$	1
$F_a$	1
Tipo de suelo	B
I	1
R0	7
Ct	0.047
$\alpha$	0.9
h	30
$\emptyset_a$	1
$\emptyset_p$	1
$\emptyset_r$	1
R	7

**Figura 2.24:** Factores y coeficientes seleccionados (Colombia)

**Fuente:** Elaboración propia

Con estos valores y las ecuaciones en el apartado de marco teórico, se puede calcular algunos parámetros que servirán para el espectro y cortante basal de diseño. Con la ecuación 1.15 se obtiene lo siguiente:

$$T_c = 0.48 * \frac{0.25 * 1}{0.25 * 1}$$

$$T_c = 0.48 \text{ s}$$

Ahora con la ecuación 1.16:

$$T_L = 2.4 * 1$$

$$T_L = 2.4 \text{ s}$$

Con estos dos periodos calculados ya se logrará dibujar el espectro de diseño para la zona de implantación del edificio en Cali. Tomando la ecuación número 1.17 y un  $T = 0.25 \text{ s}$ :

$$S_a = 2.5 * 0.25 * 1 * 1 : \text{Para } T \leq T_c$$

$$S_a = 0.625$$

Ahora con la ecuación 1.18 y un  $T = 1$  s:

$$S_a = \frac{1.2 * 0.25 * 1 * 1}{1} : \text{como } T_c \leq T \leq T_L$$

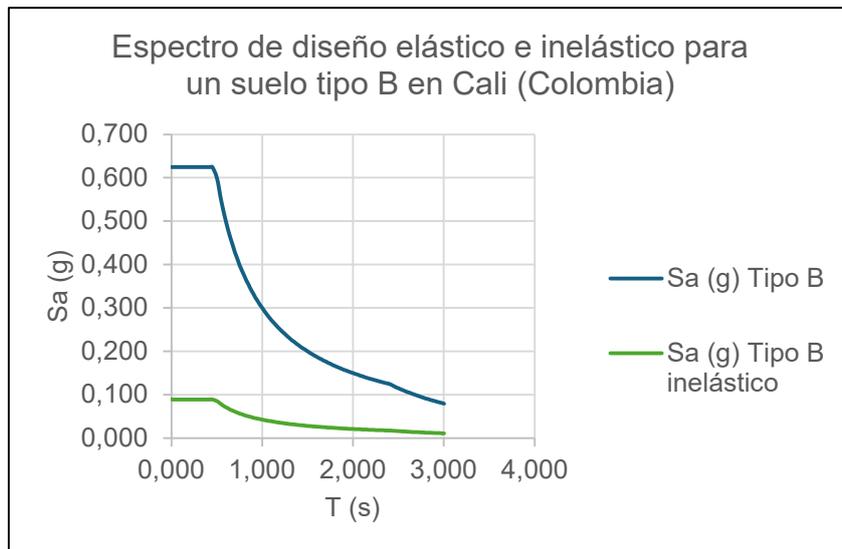
$$S_a = 0.30$$

Finalmente, para un  $T = 3$  s y con la ecuación 1.19:

$$S_a = \frac{1.2 * 0.25 * 1 * 2.4 * 1}{3^2} : \text{como } T_L \leq T$$

$$S_a = 0.08$$

Con estos cálculos como ejemplos y los demás en anexos, se obtuvo el espectro de diseño:



**Figura 2.25:** Espectro elástico e inelástico de Cali

**Fuente:** Elaboración propia

Para el cálculo del periodo aproximado de la estructura se ocupó la siguiente ecuación 1.10.

$$T_a = 0.047 * 30^{0.9}$$

$$T_a = 1.00 \text{ s}$$

Con el periodo aproximado anterior, ahora se podrá proceder con el cálculo del cortante basal para lo cual, se utiliza la ecuación número 1.13:

$$V_s = 0.3 * W$$

$$V_s = 30\%$$

Con esto se obtuvo el cortante basal según la normativa colombiana NSR-10, para poder compararlo con el caso de Ecuador, se procede a dividir para el **R** el cortante basal para que sea el cortante basal de diseño [15].

$$V_s = \frac{30\%}{7}$$

$$V_s = 4.29\%$$

Este resultado ya es comparable con Ecuador.

## 2.5 Modelación Estructural en ETABS

En este apartado se procede a realizar los modelos en el software ETABS, para su respectivo análisis.

### 2.5.1 Modelación de Edificación en Ecuador

En una primera instancia se ingresó en el software las dimensiones de elementos estructurales obtenidas en el prediseño. No obstante tras realizar las respectivas revisiones del modelo, se llegó a las siguientes secciones:

Secciones de elementos estructurales en el modelo Ecuador					
Vigas tipo 1			Vigas tipo 2		
B	0.40	[m]	B	0.40	[m]
H	0.55	[m]	H	0.60	[m]
Columnas tipo 1					
B	0.9	[m]			
H	0.9	[m]			

**Figura 2.26:** Secciones en modelo de Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

En la parte del subsuelo, se utilizaron columnas de diferente sección para los extremos de igual manera para las vigas que unen estas columnas, las secciones son:

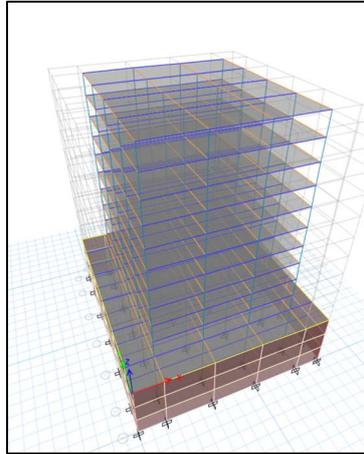
Columnas y vigas de subsuelo					
Vigas tipo 3			Columnas tipo 2		
B	0.25	[m]	B	0.4	[m]
H	0.35	[m]	H	0.4	[m]

**Figura 2.27:** Elementos de subsuelo modelo Portoviejo

**Fuente:** Elaboración propia

Para la losa se utilizó la misma del prediseño, las dimensiones se señalan en la figura 2.27. Para el muro de subsuelo se colocó uno de 0.2 metros de espesor.

Cabe mencionar que para todos los elementos se ocupó un hormigón de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y un acero de refuerzo de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . A continuación, se presenta el modelo en ETABS:



**Figura 2.28:** Modelo Portoviejo

**Fuente:** Software ETABS

### 2.5.1.1 Modos de vibración Portoviejo

Los datos que dio el modelo en el caso del periodo de la estructura y modos de vibración fue el siguiente:

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	1.501	0	0.53	0
Modal	2	1.476	0.5315	0	0.0002
Modal	3	1.23	0.0002	0	0.4258

**Figura 2.29:** Modos de vibración de edificación en Portoviejo

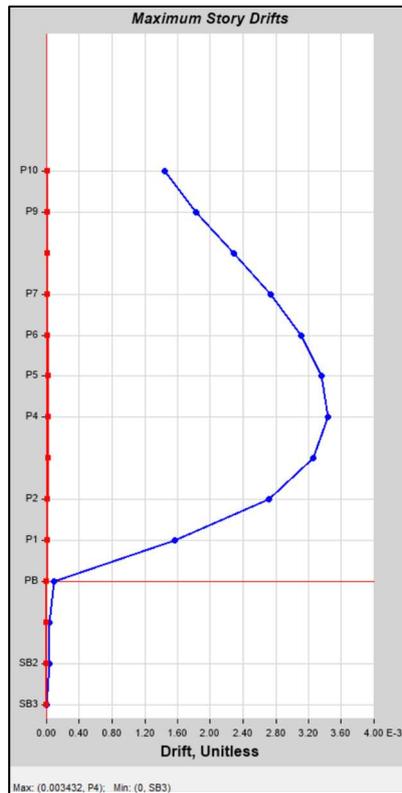
**Fuente:** Software ETABS

Con esto se verifica que la edificación no presente torsión en los dos primeros modos de vibración.

### 2.5.1.2 Control de derivas Portoviejo

En este caso el programa nos da el gráfico de la deriva elástica tanto en dirección X como en dirección Y.

La deriva en dirección X es la siguiente:



**Figura 2.30:** Deriva en dirección X Portoviejo

**Fuente:** Software ETABS

Para el cálculo de la deriva inelástica ocupamos la siguiente ecuación:

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

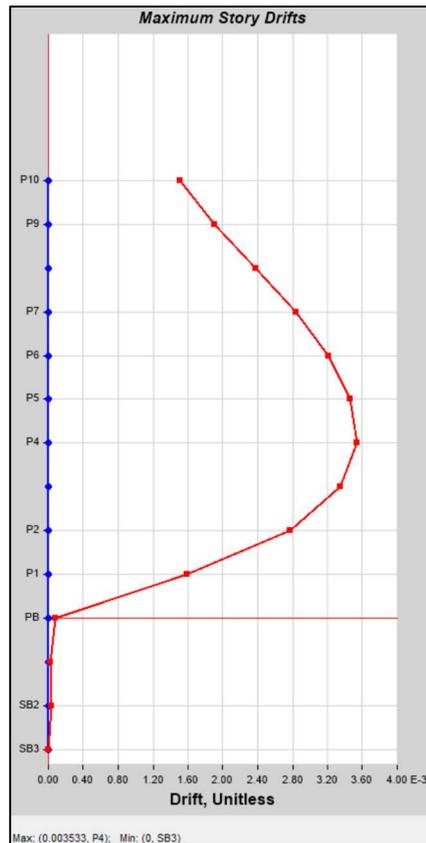
**Ecuación 2.2:** Deriva inelástica NEC - 15

Ocupando la ecuación 2.2 se tiene:

$$\Delta_M = 0.75 * 7 * 0.0034$$

$$\Delta_M = 0.018 < 0.02$$

Ahora se evalúa la deriva en dirección Y:



**Figura 2.31:** Deriva en dirección Y Portoviejo

**Fuente:** Software ETABS

De la misma manera con la ecuación 2.2, calculamos la deriva inelástica:

$$\Delta_M = 0.75 * 7 * 0.0035$$

$$\Delta_M = 0.0185 < 0.02$$

### 2.5.1.3 Periodo de vibración Portoviejo

Según la NEC-15, el periodo de la estructura no debe superar lo siguiente:

$$T_{ETABS} \leq 1.3 * T_a$$

Entonces se tiene:

$$1.5 \leq 1.3 * 1.17$$

$$1.5 \leq 1.53$$

Por ende, según la normativa sismo resistente ecuatoriana, cumple dicho requerimiento.

## 2.5.2 Modelación de Edificación en Colombia

Equivalentemente al caso de Ecuador, las primeras secciones ingresadas en el modelo fueron las del prediseño ya mostradas un apartado anterior, la resistencia del hormigón y acero de refuerzo son las mismas que en el caso de Ecuador.

Las secciones con las que el modelo cumplió los requerimientos son las siguientes:

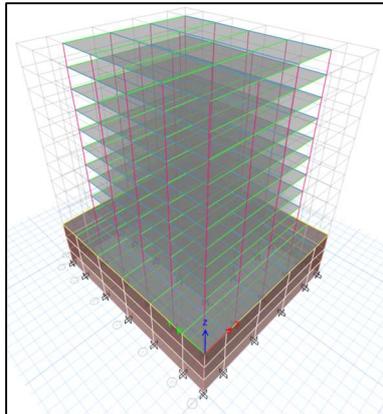
Secciones de elementos estructurales en el modelo Colombia					
Vigas tipo 1			Vigas tipo 2		
B	0.45	[m]	B	0.45	[m]
H	0.65	[m]	H	0.70	[m]
Columnas tipo 1					
B	0.95	[m]			
H	0.95	[m]			

**Figura 2.32:** Secciones de elementos estructurales modelo Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso solo difieren las secciones mostradas en la tabla anterior del modelo con Ecuador, las secciones para subsuelo, muro y losa son las mismas.

El modelo en el software queda de la siguiente manera:



**Figura 2.33:** Modelo Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.5.2.1 Modos de vibración Cali

Los modos de vibración que presenta la estructura son los siguientes:

Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	1.258	0	0.5545	0
Modal	2	1.257	0.5553	0	0.0002
Modal	3	1.05	0.0002	0	0.4529

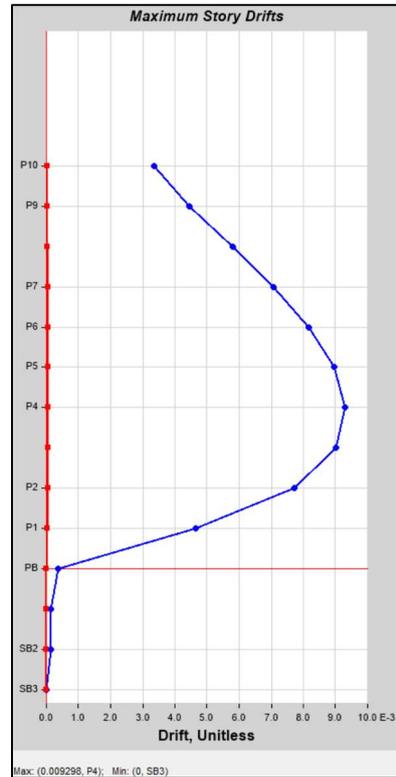
**Figura 2.34:** Modos de vibración Cali

**Fuente:** Elaboración propia

Como se ve la estructura no muestra torsión en ninguno de los dos primeros modos de vibración.

### 2.5.2.2 Control de derivas Cali

El modelo da la siguiente deriva elástica en dirección X e Y.



**Figura 2.35:** Deriva inelástica en dirección X Cali

**Fuente:** Elaboración propia

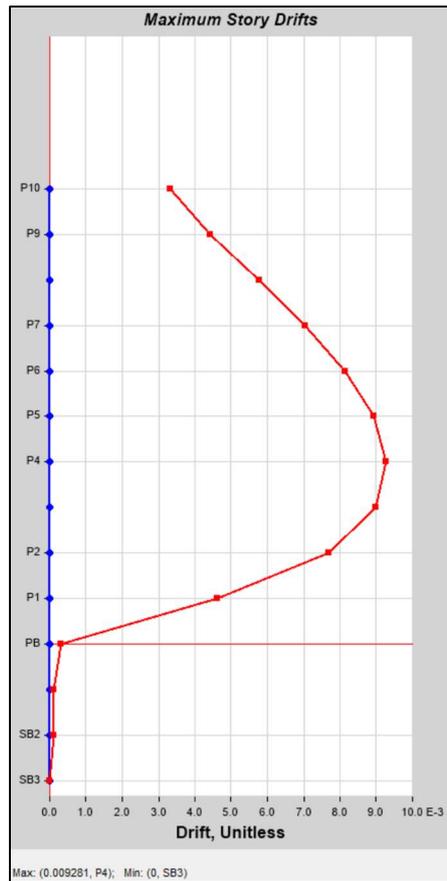
En este caso para la comparación se tomará la deriva elástica como la inelástica, para compararla con el 0.01 [15].

Por ende, se tiene:

$$\Delta_{max} = 0.00929 < 0.01$$

Entonces pasa los requerimientos en dirección X.

Para la dirección Y se tiene lo siguiente:



**Figura 2.36:** Deriva inelástica en dirección Y Cali

**Fuente:** Elaboración propia

Para comparar con lo que dice la normativa NSR-10 se tiene que:

$$\Delta_{max} = 0.00928 < 0.01$$

Por consiguiente, cumple con los requerimientos de no superar el 1% como deriva máxima [15].

### 2.5.2.3 Periodo de vibración Cali

Según la NSR-10, el periodo de la estructura no debe superar lo presente a continuación:

$$T_{ETABS} \leq C_u * T_a$$

Donde  $C_u$  se calcula con la ecuación 1.11:

$$C_u = 1.75 - 1.2 * 0.25 * 1$$

$$C_u = 1.45$$

Entonces:

$$1.258 \leq 1.45 * 1$$

$$1.258 \leq 1.45$$

Como se observa, cumple con la revisión anterior.

## **2.6 Diseño de elementos estructurales**

Tras haber realizado la modelación y controles respectivos para que la estructura sea sismorresistente, se procede a el diseño de estas según la normativa sismorresistente ACI 318-19.

### **2.6.1 Diseño de losas**

Para el diseño de losa de cada país se utilizará la misma sección señalada en el prediseño, lo que se verificará es el armado de esta. Ahora se empezará con el diseño de la losa para Ecuador y después para Colombia.

#### **2.6.1.1 Diseño losa para Ecuador**

En este caso se realizó el diseño en una hoja de cálculo en Excel. Y se presentará un resumen de la metodología empleada para el respectivo diseño.

El método de diseño será el método de los coeficientes, con el cual se obtuvo cuatro franjas de diseño distintas para cada tipo de losa, los tipos de losa serán una para subsuelo, planta tipo locales comerciales, oficinas, departamento y terraza.

Entonces tras realizar el respectivo análisis, se tomó la decisión de utilizar malla electrosoldada de 3.5 mm cada 15 cm, para menorar el acero de refuerzo, por esto los armados para las plantas: Terraza, departamento y oficina son las siguientes.

CUADRO RESUMEN DE ARMADO DE LOSA ECUADOR				
[mm]				
PLANTA TIPO TERRAZA				
Fx1	10	10	10	10
	7m	7m	7m	
	10	10	10	
Fx2	10	10	10	10
	7m	7m	7m	
	10	10	10	
Fy1	10	10	10	10
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m
	10	10	10	10
Fy2	10	10	10	10
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m
	10	10	10	10
PLANTA TIPO DEPARTAMENTO				
Fx1	10	10	10	10
	7m	7m	7m	
	10	12	10	
Fx2	10	10	10	10
	7m	7m	7m	
	10	10	10	
Fy1	10	10	10	10
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m
	10	12	12	10
Fy2	10	10	10	10
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m
	10	10	10	10
PLANTA TIPO OFICINA				
Fx1	10	10	10	10
	7m	7m	7m	
	10	10	10	
Fx2	10	10	10	10
	7m	7m	7m	
	10	10	10	
Fy1	10	10	10	10
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m
	10	10	10	10
Fy2	10	10	10	10
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m
	10	10	10	10

**Figura 2.37:** Armados de losa pisos superiores.

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso la longitud de cada vano se encuentra en el centro y en la parte superior e inferior el acero colocado en mm.

### 2.6.1.2 Diseño losa para Colombia

En este caso las franjas de diseño por el método de coeficientes serán las mismas que para Ecuador, por eso se muestran los cuadros resumen de armados, en el diseño para Colombia se utilizó la misma malla electrosoldada de 3.5 mm cada 15 cm.

CUADRO RESUMEN DE ARMADO DE LOSA COLOMBIA [mm]							
PLANTA TIPO TERRAZA							
Fx1	10	10	10	10			
	7m	7m	7m				
	10	10	10				
Fx2	10	10	10	10			
	7m	7m	7m				
	10	10	10				
Fy1	10	10	10	10	10	10	
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	
	10	10	10	10	10	10	
Fy2	10	10	10	10	10	10	
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	
	10	10	10	10	10	10	
PLANTA TIPO DEPARTAMENTO							
Fx1	10	10	10	10			
	7m	7m	7m				
	10	12	10				
Fx2	10	10	10	10			
	7m	7m	7m				
	10	12	10				
Fy1	10	10	10	10	10	10	
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	
	12	12	12	10			
Fy2	10	10	10	10	10	10	
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	
	10	10	10	10	10	10	
PLANTA TIPO OFICINA							
Fx1	10	10	10	10			
	7m	7m	7m				
	10	12	10				
Fx2	10	10	10	10			
	7m	7m	7m				
	10	10	10				
Fy1	10	10	10	10	10	10	
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	
	10	12	12	10			
Fy2	10	10	10	10	10	10	
	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	
	10	10	10	10	10	10	

Figura 2.38: Armado de losa pisos superiores Colombia

Fuente: Elaboración propia

Para los pisos inferiores tipo subsuelo y locales comerciales será:

CUADRO RESUMEN DE ARMADO DE LOSA COLOMBIA [mm]							
PLANTA TIPO SUBSUELO							
Fx1.1	10	10	10	10	10	10	
	4m	7m	7m	7m	7m	4m	
	10	12	10	10	10	10	
Fx1.2	10	10	10	10	10	10	
	4m	7m	7m	7m	7m	4m	
	10	10	10	10	10	10	
Fy1.1	10	10	10	10	10	10	10
	4.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	3.88m
	10	10	10	10	10	10	10
Fy1.2	10	10	10	10	10	10	10
	4.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	3.88m
	10	10	10	10	10	10	10
PLANTA TIPO LOCALES COMERCIALES							
Fx1.3	10	10	10	10	10	10	
	4m	7m	7m	7m	7m	4m	
	10	12	10	10	10	10	
Fx1.4	10	10	10	10	10	10	
	4m	7m	7m	7m	7m	4m	
	10	12	12	12	12	10	
Fy1.3	10	12	12	12	12	12	10
	4.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	3.88m
	10	14	14	14	14	14	10
Fy1.4	10	12	12	12	12	12	10
	4.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m	3.88m
	10	12	12	12	12	10	

Figura 2.39: Armado de losa pisos inferiores Colombia

Fuente: Elaboración propia

Detalles se adjuntan en planos del proyecto.

## 2.6.2 Diseño de vigas

Para el diseño sismorresistente de pórticos especiales a momento de la misma manera el ACI 318-19 contempla la normativa y método de diseño necesario para aquello, el procedimiento completo se encuentra detallado en la hoja de cálculo adjuntada.

### 2.6.2.1 Diseño de vigas para Ecuador

Para el diseño se empieza analizando el diagrama de momentos en el modelo computacional en ETABS, el cual tras analizar con la combinación de envolvente que contiene todas las combinaciones de normativa, se obtuvo los pisos que contienen mayor momento y parecidos a algunos otros para así tener pisos tipo para el diseño de vigas, los cuales se muestran a continuación:

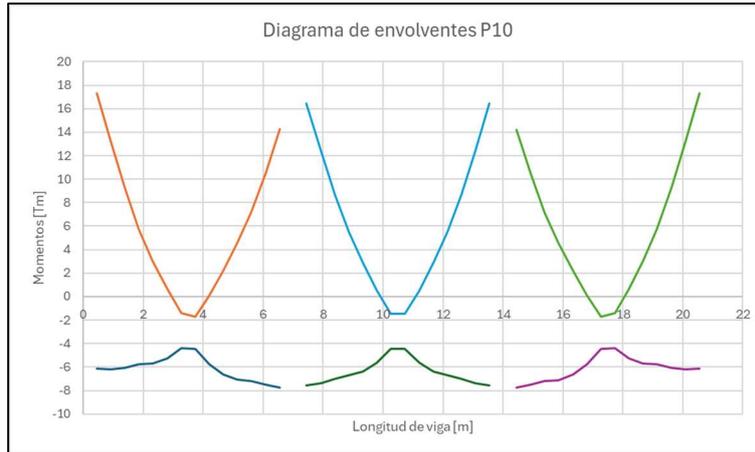
ECUADOR																															
<b>Eje 4 y D</b>																															
<b>PB</b>																															
SB1																															
Sb2																															
P2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ECUADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2"><b>Eje B-E y 2-6</b></td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td rowspan="6"> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>P2</td> </tr> <tr> <td>P3</td> </tr> <tr> <td><b>P4</b></td> </tr> <tr> <td>P5</td> </tr> <tr> <td>P6</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P7</b></td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P10</b></td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P1</b></td> </tr> <tr> <td>P8</td> </tr> <tr> <td>P9</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td>P3</td> </tr> <tr> <td><b>P4</b></td> </tr> <tr> <td>P5</td> </tr> <tr> <td>P6</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P1</b></td> </tr> <tr> <td>P8</td> </tr> <tr> <td>P9</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P10</b></td> </tr> </tbody> </table>	ECUADOR		<b>Eje B-E y 2-6</b>		P2	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>P2</td> </tr> <tr> <td>P3</td> </tr> <tr> <td><b>P4</b></td> </tr> <tr> <td>P5</td> </tr> <tr> <td>P6</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P7</b></td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P10</b></td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P1</b></td> </tr> <tr> <td>P8</td> </tr> <tr> <td>P9</td> </tr> </tbody> </table>	P2	P3	<b>P4</b>	P5	P6		<b>P7</b>		<b>P10</b>		<b>P1</b>	P8	P9	P3	<b>P4</b>	P5	P6			<b>P1</b>	P8	P9		<b>P10</b>
ECUADOR																															
<b>Eje B-E y 2-6</b>																															
P2		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>P2</td> </tr> <tr> <td>P3</td> </tr> <tr> <td><b>P4</b></td> </tr> <tr> <td>P5</td> </tr> <tr> <td>P6</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P7</b></td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P10</b></td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td><b>P1</b></td> </tr> <tr> <td>P8</td> </tr> <tr> <td>P9</td> </tr> </tbody> </table>	P2	P3	<b>P4</b>	P5		P6		<b>P7</b>		<b>P10</b>		<b>P1</b>	P8	P9															
P2																															
P3																															
<b>P4</b>																															
P5																															
P6																															
<b>P7</b>																															
<b>P10</b>																															
<b>P1</b>																															
P8																															
P9																															
P3																															
<b>P4</b>																															
P5																															
P6																															
<b>P1</b>																															
P8																															
P9																															
<b>P10</b>																															

**Figura 2.40:** Pisos tipo para vigas Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Para vigas de extremos se tiene la tabla anterior de la derecha y para las internas la tabla de la izquierda. Cabe mencionar que los ejes señalados son con respecto al modelo de ETABS, los pisos marcados con negrilla son los pisos de los cuales se sacarán los momentos para el diseño.

Después se obtienen los diagramas de envolvente como el siguiente.



**Figura 2.41:** Diagrama de envolventes del último nivel

**Fuente:** Elaboración propia

Con estos datos de momentos y cortantes, se ingresan en la hoja de cálculo, y se obtuvieron los siguientes resultados de armado longitudinal y transversal.

CUADRO DE VIGAS ECUADOR							
Tipo de viga	Dimensiones [m]		Armado [mm]				Nivel
	B	H	N°	Sup	N°	Inf	
<b>Extremo eje 2-6</b>							
V1	0.4	0.6	5	16	5	14	P10
V2	0.4	0.6	5	20	5	16	P7
V3	0.4	0.6	5	22	5	20	P4
V4	0.4	0.6	4	22	4	18	P1
<b>Extremo eje B-E</b>							
V5	0.4	0.55	4	18	4	16	P10
V6	0.4	0.55	5	18	5	16	P7
V7	0.4	0.55	5	22	5	20	P4
V8	0.4	0.55	4	22	4	18	P1
<b>Central eje 4</b>							
V9	0.4	0.6	4	18	4	16	P10
V10	0.4	0.6	5	22	5	18	P4
V11	0.4	0.6	4	22	4	18	P1
V12	0.4	0.6	4	18	4	16	PB
<b>Central eje D</b>							
V13	0.4	0.55	4	18	4	16	P10
V14	0.4	0.55	5	22	5	20	P4
V15	0.4	0.55	4	20	4	16	P1
V16	0.4	0.55	4	18	4	16	PB

**Figura 2.42:** Cuadro de Vigas Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Se obtuvo un total de 16 tipos de viga para todo el edificio, cabe mencionar que en este proyecto no se diseñarán las vigas y columnas de confinamientos del muro de subsuelo. También se tiene el refuerzo extra longitudinal para cada viga en la tabla siguiente.

CUADRO DE REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS ECUADOR							
Extremo eje 2-6							
V1	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo
V2	1 $\phi$ 16	7m	1 $\phi$ 16	7m	1 $\phi$ 16	7m	1 $\phi$ 16
V3	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18
V4	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo
Central eje 4							
V9	1 $\phi$ 16	7m	1 $\phi$ 16	7m	1 $\phi$ 16	7m	1 $\phi$ 16
V10	1 $\phi$ 25	7m	1 $\phi$ 25	7m	1 $\phi$ 25	7m	1 $\phi$ 25
V11	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18

**Figura 2.43:** Refuerzo longitudinal vigas Ecuador vanos 7m

**Fuente:** Elaboración propia

CUADRO DE REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS ECUADOR							
Extremo eje B-E							
V5	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo
V6	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20
V7	1 $\phi$ 18	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	1 $\phi$ 18
V8	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo
Central eje D							
V13	1 $\phi$ 16	6.2 m	1 $\phi$ 16	6.2 m	1 $\phi$ 16	Sin refuerzo	1 $\phi$ 16
V14	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20
V15	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20	6.2 m	1 $\phi$ 20

**Figura 2.44:** Refuerzo longitudinal vigas Ecuador vanos 6.2m

**Fuente:** Elaboración propia

En las tablas anteriores se muestran las vigas agrupadas por secciones iguales, donde se representa cada vano correspondiente a la estructura y tipo de viga. También se obtuvo el armado transversal de cada viga, el cual se muestra en la tabla siguiente.

CUADRO DE REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS ECUADOR						
Extremo eje 2-6						
V1	1φ10@8cm 7m	1φ10@16.5cm 7m	1φ10@8cm 7m	1φ10@16.5cm 7m	1φ10@8cm 7m	1φ10@16.5cm 7m
V2	1φ10@9.5cm 7m	1φ10@19cm 7m	1φ10@9.5cm 7m	1φ10@19cm 7m	1φ10@9.5cm 7m	1φ10@19cm 7m
V3	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m
V4	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m
Central eje 4						
V9	1φ12@9.5cm 7m	1φ12@19cm 7m	1φ12@9.5cm 7m	1φ12@19cm 7m	1φ12@9.5cm 7m	1φ12@19cm 7m
V10	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m	1φ12@10.5cm 7m	1φ12@21.5cm 7m
V11	1φ10@10.5cm 7m	1φ10@21.5cm 7m	1φ10@10.5cm 7m	1φ10@21.5cm 7m	1φ10@10.5cm 7m	1φ10@21.5cm 7m

Figura 2.45: Refuerzo transversal vigas Ecuador vanos 7m

Fuente: Elaboración propia

CUADRO DE REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS ECUADOR							
Extremo eje B-E							
V5	1φ10@7cm 6.2 m	1φ10@14cm 6.2 m	1φ10@7cm 6.2 m	1φ10@14cm 6.2 m	1φ10@7cm 6.2 m	1φ10@14cm 6.2 m	1φ10@7cm 6.2 m
V6	1φ12@9.5cm 6.2 m	1φ12@19cm 6.2 m	1φ12@9.5cm 6.2 m	1φ12@19cm 6.2 m	1φ12@9.5cm 6.2 m	1φ12@19cm 6.2 m	1φ12@9.5cm 6.2 m
V7	2φ12@10.5cm 6.2 m	2φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	2φ12@10.5cm 6.2 m
V8	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m
Central eje D							
V13	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm 6.2 m	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm 6.2 m	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm 6.2 m	1φ10@9.5cm 6.2 m
V14	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m	1φ12@21.5cm 6.2 m	1φ12@10.5cm 6.2 m
V15	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm 6.2 m	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm 6.2 m	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm 6.2 m	1φ10@9.5cm 6.2 m

Figura 2.46: Refuerzo transversal vigas Ecuador vanos 6.2m

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores está el diseño completo sismorresistente de todas las vigas que se utilizarán en el edificio localizado en Portoviejo.

### 2.6.2.2 Diseño de vigas para Colombia

Siguiendo el mismo proceso que para Ecuador, se anexa la hoja de cálculo con todos los datos y procedimientos que validan lo colocado en las tablas de este documento. Las vigas para la edificación localizada en Cali serán las siguientes.

<b>COLOMBIA</b>	
<b>Eje 4 y D</b>	
<b>P1</b>	
P8	<b>COLOMBIA</b>
P9	<b>Eje B-E y 2-6</b>
	P2
<b>PB</b>	P3
SB1	<b>P4</b>
Sb2	P5
	P6
P2	
P3	<b>P7</b>
<b>P4</b>	P1
P5	
P6	<b>P8</b>
P7	P9
<b>P10</b>	<b>P10</b>

**Figura 2.47:** Vigas tipo Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso como muestra la tabla algunos pisos tipo para vigas cambian con respecto a Ecuador, lo cual cambiaría la distribución de vigas.

CUADRO DE VIGAS COLOMBIA							
Tipo de viga	Dimensiones [m]		Armado [mm]			Nivel	
	B	H	N°	Sup	N°		Inf
<b>Extremo eje 2-6</b>							
V1	0.45	0.7	4	18	4	18	P10
V2	0.45	0.7	4	18	4	18	P8
V3	0.45	0.7	4	20	4	18	P7
V4	0.45	0.7	5	20	5	16	P4
<b>Extremo eje B-E</b>							
V5	0.45	0.65	4	18	4	18	P10
V6	0.45	0.65	4	18	4	18	P8
V7	0.45	0.65	4	18	4	18	P7
V8	0.45	0.65	5	18	5	16	P4
<b>Central eje 4</b>							
V9	0.45	0.7	4	18	4	16	P10
V10	0.45	0.7	5	20	5	16	P4
V11	0.45	0.7	4	20	4	18	P1
V12	0.45	0.7	4	18	4	18	PB
<b>Central eje D</b>							
V13	0.45	0.65	4	18	4	18	P10
V14	0.45	0.65	5	20	5	16	P4
V15	0.45	0.65	4	20	4	18	P1
V16	0.45	0.65	4	18	4	18	PB

**Figura 2.48:** Cuadro de vigas Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso, se generaron 16 tipos de vigas; sin embargo, dos de ellas son iguales. Por lo tanto, el número final de vigas para esta edificación será de 14. Las vigas V1 y V9 tienen la misma geometría y armado, tanto longitudinal como transversal, al igual que las vigas V5 y V13. No obstante, se incluyen en las tablas para mayor comprensión. Los detalles se mostrarán en los planos.

CUADRO DE REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS COLOMBIA							
Extremo eje 2-6							
V1	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo
V2	1 $\phi$ 14	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	1 $\phi$ 14
V3	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo
V4	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo
Central eje 4							
V9	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo	7m	Sin refuerzo
V10	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18
V11	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18	7m	1 $\phi$ 18

Figura 2.49: Refuerzo longitudinal vigas Colombia vanos 7m

Fuente: Elaboración propia

CUADRO DE REFUERZO LONGITUDINAL VIGAS COLOMBIA							
Extremo eje B-E							
V5	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo
V6	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo
V7	1 $\phi$ 14	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	1 $\phi$ 14
V8	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo
Central eje D							
V13	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo
V14	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo
V15	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo	6.2 m	Sin refuerzo

Figura 2.50: Refuerzo longitudinal vigas Colombia vanos 6.2m

Fuente: Elaboración propia

En el caso del refuerzo transversal fue el siguiente para cada tipo de vigas:

CUADRO DE REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS COLOMBIA							
Extremo eje 2-6							
V1	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm	7m	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm
V2	1 $\phi$ 10@8cm	7m	1 $\phi$ 10@16.5cm	7m	1 $\phi$ 10@8cm	7m	1 $\phi$ 10@16.5cm
V3	1 $\phi$ 10@10.5cm	7m	1 $\phi$ 10@21.5cm	7m	1 $\phi$ 10@10.5cm	7m	1 $\phi$ 10@21.5cm
V4	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm	7m	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm
Central eje 4							
V9	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm	7m	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm
V10	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm	7m	1 $\phi$ 10@9.5cm	7m	1 $\phi$ 10@19cm
V11	1 $\phi$ 10@10.5cm	7m	1 $\phi$ 10@21.5cm	7m	1 $\phi$ 10@10.5cm	7m	1 $\phi$ 10@21.5cm

Figura 2.51: Refuerzo transversal en vigas Colombia vanos 7m

Fuente: Elaboración propia

CUADRO DE REFUERZO TRANSVERSAL VIGAS COLOMBIA								
Extremo eje B-E								
V5	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm						
V6	1φ10@10.5cm 6.2 m	1φ10@21.5cm						
V7	1φ10@8cm 6.2 m	1φ10@16.5cm						
V8	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm						
Central eje D								
V13	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm						
V14	1φ10@9.5cm 6.2 m	1φ10@19cm						
V15	1φ10@10.5cm 6.2 m	1φ10@21.5cm						

**Figura 2.52:** Refuerzo transversal en vigas Colombia vanos 7m

**Fuente:** Elaboración propia

Con todos estos datos estarían diseñadas las vigas para la edificación en Colombia, cuyos detalles completos estarán en los anexos de planos.

## 2.6.3 Diseño de columnas

Para el diseño sismorresistente de columnas se diseñarán 3 columnas para toda la edificación, en este caso se diseñará para Ecuador y Colombia una columna esquinera, perimetral y central. Esto dependerá de la cuantía de acero que estará en cada columna según los modelos respectivos.

### 2.6.3.1 Diseño de columnas para Ecuador

En este caso las columnas serán de una misma sección y un mismo armado, esto ya que en la modelación el diseño dio una cuantía de acero del 1% en todas las columnas, en la figura a continuación se muestra el tipo de columna y su respectivo refuerzo.

REFUERZO LONGITUDINAL ECUADOR				
Tipo	B [mm]	H [mm]	N°	φ [mm]
C1	0.9	0.9	26	20

**Figura 2.53:** Columna tipo para Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Para el refuerzo transversal se obtuvo la siguiente distribución:

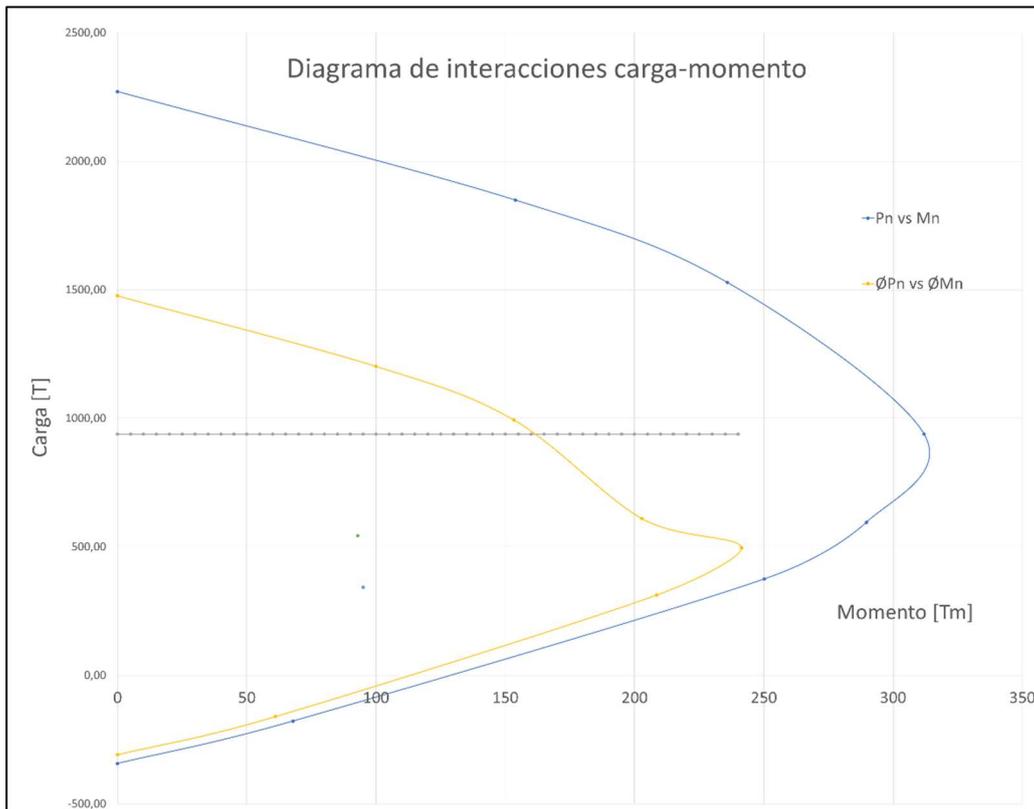
REFUERZO TRANSVERSAL ECUADOR					
Tipo	Ramales		Zona confinada [m]	Zona no confinada [m]	φ [mm]
	Largos	Cortos			
C1	6	6	0.1 / 0.9	0.1 / 1.2	12

**Figura 2.54:** Refuerzo transversal columna Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura anterior especifica el refuerzo transversal de 6 ramales en cada dirección larga y corta, en la zona confinada se tendrá un estribo de 12 mm cada 0.1 m a lo largo de toda la columna. Los detalles se colocarán en anexos en el apartado de planos.

Se obtuvo del modelo en ETABS, las fuerzas de diseño para cada una de las columnas, con esto se mostrarán los respectivos diagramas de interacción para cada caso: central, esquinera y perimetral respectivamente.



**Figura 2.55:** Diagrama de interacción carga-momento de columna central Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso solo se mostrará el diagrama de la columna central, ya que los demás se encontrarán en las hojas de cálculo de anexos, en este caso los dos puntos de esfuerzo máximo y mínimo caen dentro de la falla dúctil.

### 2.6.3.2 Diseño de columnas para Colombia

Así mismo para este caso solo se diseñó un tipo de columna, ya que la cuantía de acero para todas fue de 1% de solicitación, por ende, la sección y armado de columna es la siguiente.

REFUERZO LONGITUDINAL COLOMBIA				
Tipo	B [mm]	H [mm]	N°	$\phi$ [mm]
C1	0.95	0.95	24	22

**Figura 2.56:** Columna tipo para Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Con esta sección y armado longitudinal se cumple la cuantía de 1% y el armado transversal resulta el siguiente.

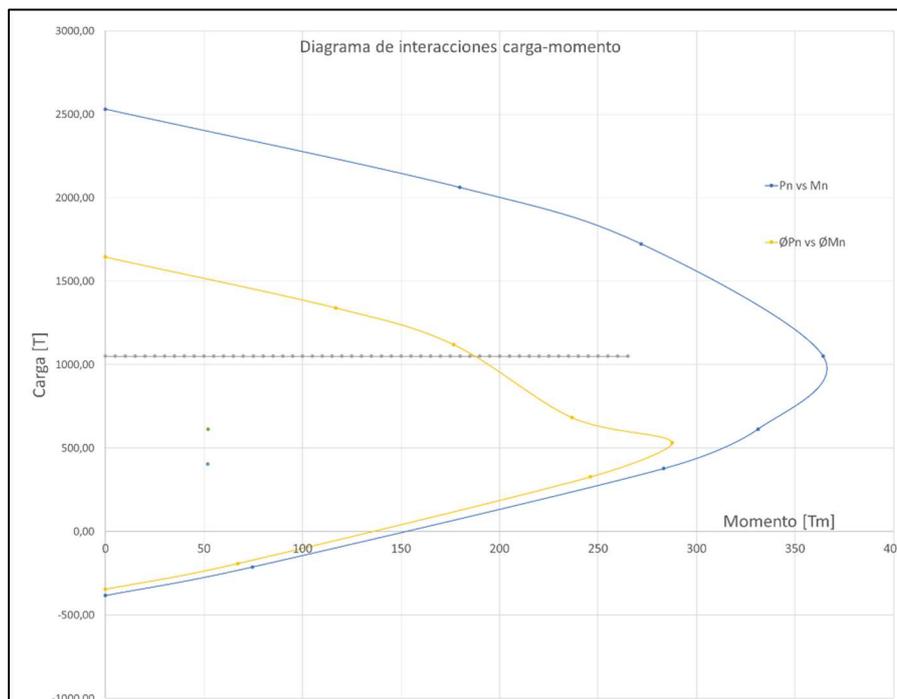
REFUERZO TRANSVERSAL COLOMBIA					
Tipo	Ramales		Zona confinada [m]	Zona no confinada [m]	$\phi$ [mm]
	Largos	Cortos			
C1	6	6	0.1 / 0.95	0.10 / 1.1	12

**Figura 2.57:** Refuerzo transversal columna Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso se distribuirá un estribo de 12 mm cada 0.1 m en toda la longitud de la columna, siendo similar al de Ecuador.

De la misma manera se dará un ejemplo del diagrama de interacciones con los datos sacados de ETABS, la columna central en este caso muestra el siguiente diagrama.



**Figura 2.58:** Diagrama de interacción carga-momento columna central Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede observar en la figura anterior que los puntos de esfuerzo máximo y mínimo igual caen dentro de la zona de falla dúctil, por ende, el diseño sismorresistente se encuentra correcto. Todos los detalles se presentarán en planos.

## 2.6.4 Diseño de conexiones

Para el diseño de conexiones se analizará una conexión central, esquinera y perimetral, para esto se seleccionará la viga más armada para realizar las comprobaciones de estribos por confinamiento, adherencia y/o anclaje de ser el caso y columna fuerte – viga débil.

### 2.6.4.1 Diseño de conexiones Ecuador

Los datos necesarios para el análisis incluyen las vigas que llegan a la columna de análisis, así como sus dimensiones y armados, además del armado de la propia columna. Se realizó la comprobación con una columna central, una esquinera y una perimetral para verificar la resistencia. En este caso, el análisis se centrará en una columna central.

COLUMNA		
<b>B</b>	0.9	m
<b>H</b>	0.9	m
<b>Cuantía</b>	0.01	-
<b>Asnecesario</b>	81.00	cm2
Ascolocado		
<b>N°varrillas</b>	26	-
<b>Ø<sub>v</sub></b>	20	mm
<b>Ascolocado</b>	81.68	cm2

**Figura 2.59:** Sección y armado de columna para conexión Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Para la viga serán la V10 (horizontal) y V14 (vertical), ya antes mencionadas cuyos armados están en los anexos.

V1 Horizontal V10											
<b>B</b>	0.4	m									
<b>H</b>	0.6	m									
<b>As-</b>	23.915	cm2	<b>N°varrillas</b>	5	<b>Ø<sub>v</sub></b>	22	mm	1	<b>Ø<sub>v</sub></b>	25	mm
<b>As+</b>	12.723	cm2	<b>N°varrillas</b>	5	<b>Ø<sub>v</sub></b>	18	mm		<b>Ø<sub>v</sub></b>		mm

**Figura 2.60:** Armado y sección de viga horizontal Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

V2 Vertical V14											
<b>B</b>	0.4	m									
<b>H</b>	0.55	m									
<b>As-</b>	22.148	cm2	<b>N°varrillas</b>	5	<b>Ø<sub>v</sub></b>	22	mm	1	<b>Ø<sub>v</sub></b>	20	mm
<b>As+</b>	15.708	cm2	<b>N°varrillas</b>	5	<b>Ø<sub>v</sub></b>	20	mm		<b>Ø<sub>v</sub></b>		mm

**Figura 2.61:** Armado y sección de viga vertical Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Primero se calcula en dirección X:

CORTE X		
T1	140.62	T
T2	74.81	T
M1	65.41	Tm
M2	37.39	Tm
Vcol	34.26	T
Vj	181.17	T

**Figura 2.62:** Cálculo de momentos y cortante de columna y nodo en dirección X Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Del proceso anterior se obtiene el cortante que soporta el nodo, siendo **Vj = 181.17 T**

$\phi V_n = \phi \gamma A (f_c)^{0.5} b_j h_c$

$b_v < 0.75 b_c$   
 0.4 < 0.675  
Cumple

X1	25	cm
X2	25	cm
hc	90	cm

γ = 4

$b_j = b_v + h_c = 130 \text{ cm}$   
 $b_j = b_v + 2x = 90 \text{ cm}$

bj	90	cm
----	----	----

$\phi V_n = 460.83 \text{ T}$

**Figura 2.63:** Área de nodo conexión en dirección X Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Con esto también se tiene el cortante último para la conexión, siendo  **$\phi V_n = 460.83 \text{ T}$** , con esto se hace la comprobación con el cortante del nodo:

COMPROBACIÓN		
460.83	>	181.17
CUMPLE		

**Figura 2.64:** Comprobación capacidad de nodo en dirección X Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

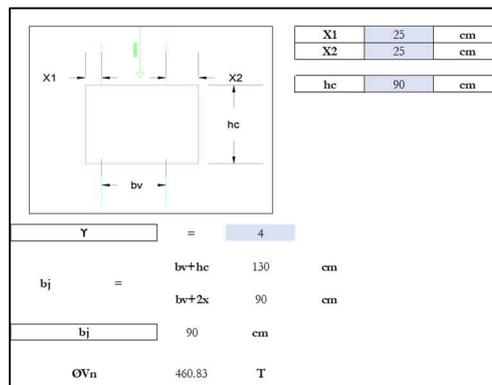
Con la conexión del eje X verificada se procede a verificar el eje Y.

CORTE Y		
T1	130.2	T
T2	92.4	T
M1	54.8	Tm
M2	40.7	Tm
Vcol	31.82	T
Vj	190.77	T
$\phi V_n = \phi \gamma \lambda (f_c)^{0.5} b_j h_c$		
bv	<	0.75bc
0.4	Cumple	0.675

**Figura 2.65:** Cálculo de momentos y cortante de columna y nodo en dirección Y Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso el cortante Vj fue 190.77 T.



**Figura 2.66:** Área de nodo conexión en dirección Y Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

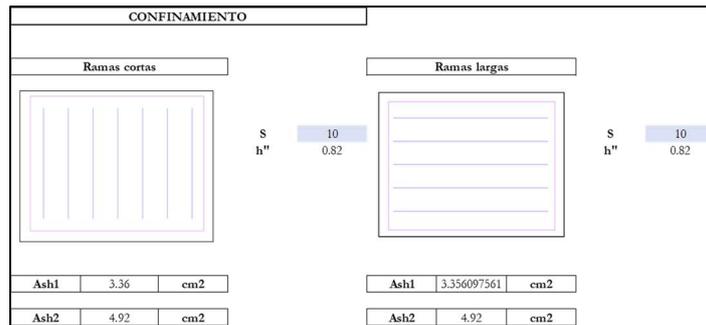
Entonces se realiza la misma comprobación y se tiene:

COMPROBACIÓN		
460.83	>	190.77
CUMPLE		

**Figura 2.67:** Comprobación capacidad de nodo en dirección Y Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Con esto se comprueba que la conexión cumple a corte, ahora se analizará para confinamiento.



**Figura 2.68:** Confinamiento para nodo Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Como la base de la viga es menor que 0.75 veces la base de la columna, entonces la separación será de 10 cm en la zona confinada.

			22.5	cm
			22.5	cm
S	=	min	12	cm
			10	cm

**Figura 2.69:** Espaciamiento de estribos Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

El número de ramales para este caso se calcularán a continuación:

RAMALES					
Ash escogido			Ash escogido		
Ash	4.92	cm <sup>2</sup>	Ash	4.92	cm <sup>2</sup>
Ramales			Ramales		
∅	12	mm	∅	12	mm
N°	4.35	-	N°	4.35	-
N°	5	-	N°	5	-

**Figura 2.70:** Cantidad de ramales para nodo Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

En este caso, el número de ramales largos y cortos es el mismo, por lo que se ha optado por un diámetro de 12 mm. Dado que el nodo central tiene continuidad en ambos sentidos, se analiza la adherencia. Sin embargo, el anclaje no se analizará en esta ocasión, ya que no es necesario para una conexión central

ADHERENCIA									
Adherencia en x					Adherencia en y				
Hcol	=	90	cm		Hcol	=	90	cm	
Hv	=	60	cm		Hv	=	55	cm	
Øv	=	2.2	cm		Øv	=	2.2	cm	
hcol >= 20Øv					hcol >= 20Øv				
Cumple					Cumple				
hv >= 20Øc					hv >= 20Øc				
Cumple					Cumple				

**Figura 2.71:** Verificación de adherencia Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se evaluará la relación columna fuerte-viga débil, buscando que los momentos generados en la columna sean mayores que los impuestos por las vigas que llegan a la columna.

COLUMNA FUERTE-VIGA DEBIL									
Sentido en x					Sentido en y				
Mo		130	Tm		Mo		130	Tm	
As+		12.72	cm2		As+		15.71	cm2	
As-		23.92	cm2		As-		22.15	cm2	
d		54	cm		d		48.9	cm	
bv		40	cm		bv		40	cm	
Mn+		27.35	Tm		Mn+		29.98	Tm	
Mn-		48.95	Tm		Mn-		40.95	Tm	
Comprobación					Comprobación				
ΣMviga		76.30	Tm		ΣMviga		70.92	Tm	
ΣMcolumn		260	Tm		ΣMcolumn		260	Tm	
ΣMcolumn >= 1.2ΣMviga					ΣMcolumn >= 1.2ΣMviga				
Cumple					Cumple				
ΣMcolumn >= 1.4ΣMviga					ΣMcolumn >= 1.4ΣMviga				
Cumple					Cumple				

**Figura 2.72:** Verificación columna fuerte – viga débil Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Con esto se verifica que la conexión esta correctamente diseñada como sismorresistente, incluso con la verificación de 1.4 la sumatoria de los momentos en viga que fue recomendación de la ingeniera coordinadora a cargo [18].

#### 2.6.4.2 Diseño de conexiones Colombia

Para el caso de Colombia, se siguió el mismo análisis. Sin embargo, como se mencionó en apartados anteriores, la estructura tiene diferentes secciones de vigas y columnas en comparación con la implantada en Ecuador.

Como el procedimiento es el mismo, solo se colocarán las secciones, número de ramales y verificación conexión columna fuerte-viga débil de una conexión central.

COLUMNA		
B	0.95	m
H	0.95	m
Cuantía	0.01	-
Asnecesario	90.25	cm2
Ascolocado		
N°varrillas	24	-
Ø <sub>v</sub>	22	mm
Ascolocado	91.23	cm2

**Figura 2.73:** Sección y armado de columna para conexión Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Para las vigas que llegaban a la columna se tiene el siguiente armado y secciones.

V1 Horizontal V10											
B	0.45	m									
H	0.7	m									
As-	18.253	cm2	N°varrillas	5	Ø <sub>v</sub>	20	mm	1	Ø <sub>v</sub>	18	mm
As+	10.053	cm2	N°varrillas	5	Ø <sub>v</sub>	16	mm		Ø <sub>v</sub>		mm

**Figura 2.74:** Armado y sección de viga horizontal Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

V2 Vertical V14											
B	0.45	m									
H	0.65	m									
As-	15.708	cm2	N°varrillas	5	Ø <sub>v</sub>	20	mm	0	Ø <sub>v</sub>	20	mm
As+	10.053	cm2	N°varrillas	5	Ø <sub>v</sub>	16	mm		Ø <sub>v</sub>		mm

**Figura 2.75:** Armado y sección de viga vertical Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Con estos datos se obtuvo el número de ramales largo y cortos:

RAMALES					
Ash escogido			Ash escogido		
Ash	5.22	cm2	Ash	5.22	cm2
Ramales			Ramales		
Ø	12	mm	Ø	12	mm
N°	4.62	-	N°	4.62	-
N°	5	-	N°	5	-

**Figura 2.76:** Cantidad de ramales para nodo Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Que de la misma manera son 5 ramales de 12 mm. Para concluir el análisis de viga débil-columna fuerte fue el siguiente.

COLUMNA FUERTE-VIGA DEBIL					
Sentido en x			Sentido en y		
Mo	155	Tm	Mo	155	Tm
As+	10.05	cm2	As+	10.05	cm2
As-	18.25	cm2	As-	15.71	cm2
d	64	cm	d	59	cm
bv	45	cm	bv	45	cm
Mn+	26.18	Tm	Mn+	24.07	Tm
Mn-	46.31	Tm	Mn-	36.90	Tm
Comprobación			Comprobación		
$\Sigma M_{viga}$	72.50	Tm	$\Sigma M_{viga}$	60.97	Tm
$\Sigma M_{column}$	310	Tm	$\Sigma M_{column}$	310	Tm
$\Sigma M_{column} \geq 1.2 \Sigma M_{viga}$ Cumple			$\Sigma M_{column} \geq 1.2 \Sigma M_{viga}$ Cumple		
$\Sigma M_{column} \geq 1.4 \Sigma M_{viga}$ Cumple			$\Sigma M_{column} \geq 1.4 \Sigma M_{viga}$ Cumple		

**Figura 2.77:** Verificación columna fuerte – viga débil Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Por lo que se puede decir que las conexiones en cada caso están correctamente diseñadas, el valor de Mo se obtuvo de los respectivos diagramas de interacción carga-momento de las columnas a analizar. Para mayor comodidad constructiva se colocará el mismo armado de confinamiento de las columnas en los nodos, siendo este 6 ramales de 12 mm en la conexión.

## 2.7 Análisis no lineal (push over).

### 2.7.1 Análisis no lineal Ecuador

Para este punto, se utilizó el programa SeismoStruct, especializado en el análisis no lineal de estructuras basándose en su nivel de desempeño. En este programa, se ingresaron los armados reales y las secciones previamente diseñadas según el análisis lineal anterior.

Estados Límite		Seleccione uno o más estados límite para usar en las revisiones	
<input checked="" type="checkbox"/>	Estado Límite de Daño Límitado	(DL)	Probabilidad de Excedencia 20% / 50 años - Periodo de Retorno 225 años La estructura solo presenta daño ligero con elementos estructurales reteniendo su resistencia y rigidez. La estructura solo presenta daño ligero con elementos estructurales reteniendo su resistencia y rigidez.
<input checked="" type="checkbox"/>	Estado Límite de Daño Significativo	(SD)	Probabilidad de Excedencia 10% / 50 años - Periodo de Retorno 475 años La estructura está dañada significativamente con cierta resistencia y rigidez lateral residual. Varios componentes no estructurales están dañados. Hay derivas residuales moderadas.
<input checked="" type="checkbox"/>	Estado Límite de Cerca del Colapso	(NC)	Probabilidad de Excedencia 2% / 50 años - Periodo de Retorno 2475 años La estructura está altamente dañada con baja resistencia y rigidez lateral residual. La mayoría de los componentes no estructurales han colapsado. Hay derivas residuales grandes.

**Figura 2.78:** Estados límites de daño

**Fuente:** Software SeismoStruct

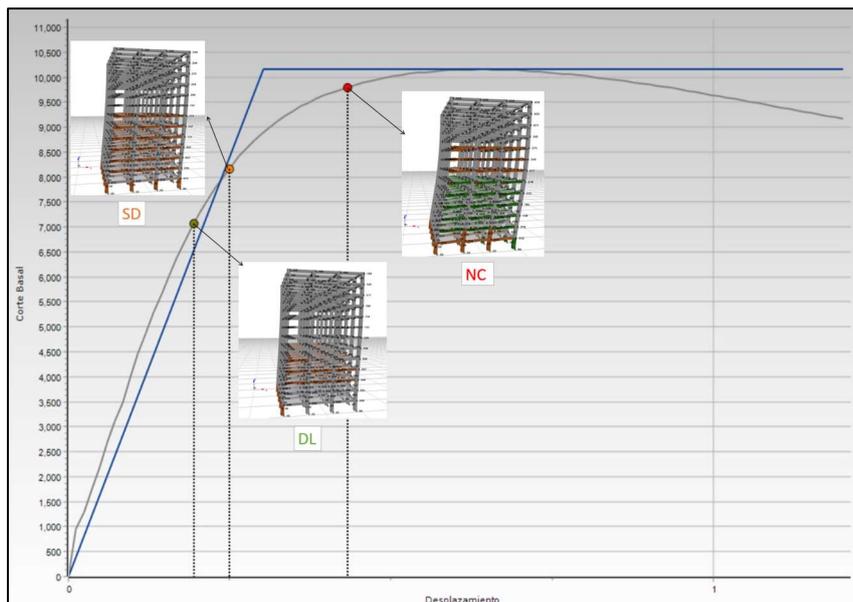
El programa analiza las estructuras de acuerdo con las clasificaciones anteriores, como estado límite de daño, daño significativo y cerca del colapso. Según la normativa ecuatoriana procuraremos que la estructura diseñada cumpla al menos los siguientes parámetros.

		Niveles de Desempeño Esperados en el Edificio			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)
NIVEL DE TERREMOTO	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

**Figura 2.79:** Niveles de desempeño en función del nivel de terremoto

**Fuente:** Elaboración propia

Dicha estructura deberá cumplir como mínimo las condiciones k y p que consisten en tener un objetivo básico de seguridad. En el gráfico que se mostrará a continuación el corte basal está en kN y el desplazamiento en metros.

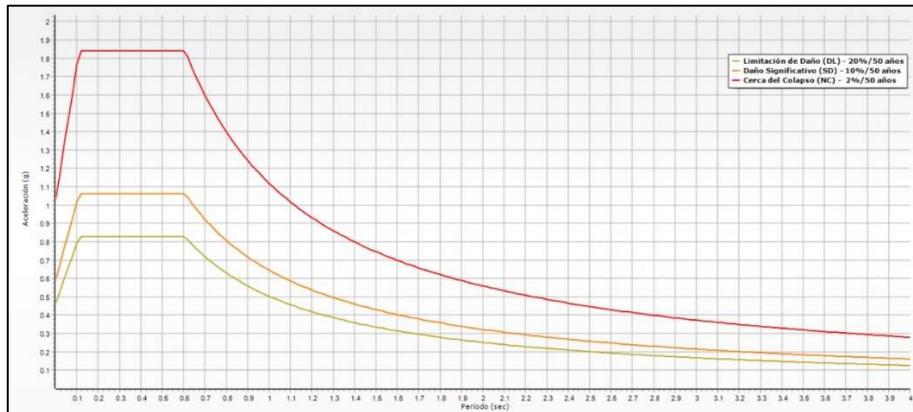


**Figura 2.80:** Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección X Ecuador

**Fuente:** Software SeismoStruct

El objetivo del análisis es que la estructura cumpla con los niveles de seguridad, garantizando así su no colapso. Como se observa en la figura anterior, la estructura muestra fluencia en los pisos en el estado de SD, lo que indica que podría soportar el sismo de diseño. En el caso de NC, se observan vigas de color verde, lo que representa aplastamiento en la zona no confinada. No obstante, este sismo tiene una probabilidad

del 2% cada 50 años, y con el aplastamiento de la zona no confinada en ese punto, se garantiza el no colapso de la estructura.

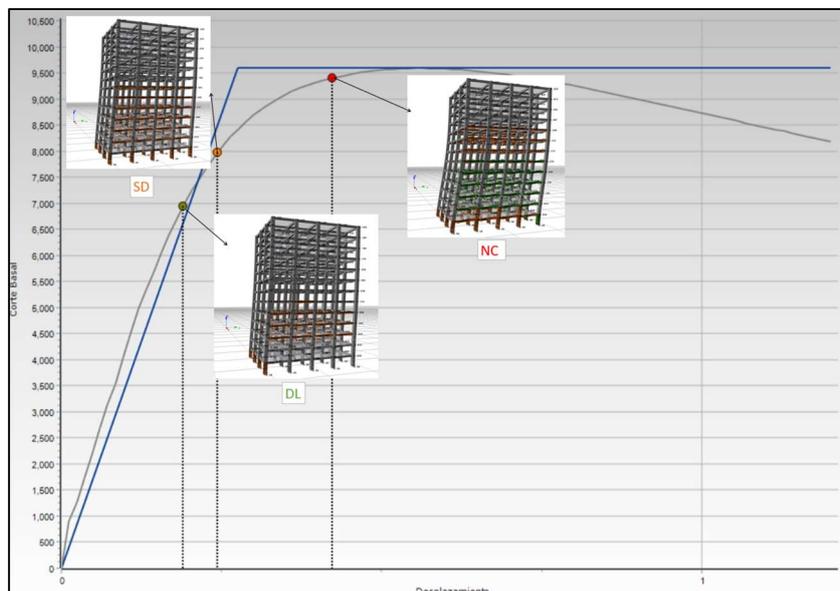


**Figura 2.81:** Espectro de diseño para Ecuador sismos de 20%, 10% y 2% de excedencia

**Fuente:** Software SeismoStruct

La imagen anterior muestra los espectros de diseño según cada tipo de sismo.

Se realizó el mismo análisis para la estructura en dirección Y.



**Figura 2.82:** Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección Y Ecuador

**Fuente:** Software SeismoStruct

En este caso se vio que la estructura al momento de recibir el sismo por este eje es más afectada, además se evidencia al tener un mayor corte basal que se puede ver en la gráfica al igual que sus deformadas en los gráficos, no obstante, aun cumple con el no colapso en el peor de los casos.

En lo que respecta al periodo y modos de vibración, no se vio muy diferenciado con lo calculado.

### 2.7.1.1 Reajuste del coeficiente R Ecuador

Como ya es de conocimiento general el coeficiente que refleja la ductilidad de la estructura R es usado usualmente a lo que manda la normativa ecuatoriana de 8, en este caso de 7 [2]. Pero con el análisis no lineal y la curva de capacidad se puede obtener un R más aproximado al comportamiento dúctil de la estructura.

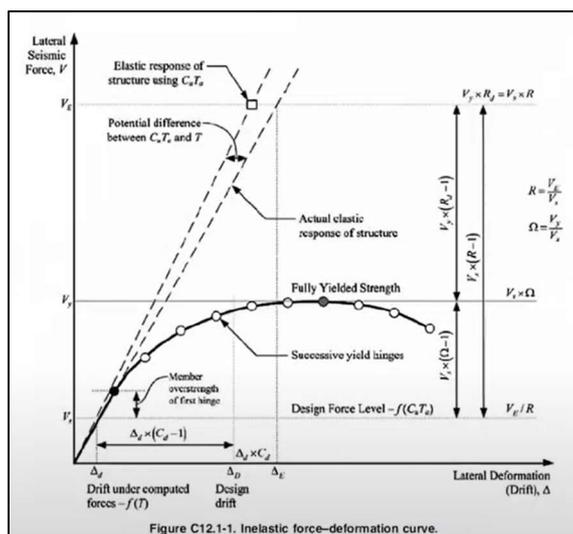


Figura 2.83: Fuerza inelástica – curva de deformación

Fuente: ASCE 7-22

Para el reajuste del R, se utilizará el procedimiento de la ASCE 7-22. Primero se calculará en dirección X.

CÁLCULO DEL R REAL		
<b>R</b>	7.00	-
<b>Vs</b>	397.03	<b>T</b>
<b>Ve</b>	2779.21	<b>T</b>
<b>Vy</b>	1034.87	<b>T</b>
<b>Ω</b>	2.61	-
<b>Rd</b>	2.69	-
<b>Rr</b>	5.29	-

Figura 2.84: Cálculo del R real en dirección X para Ecuador

Fuente: Elaboración propia

Donde **Vs** es el cortante obtenido en ETABS, **Ve** el cortante elástico y **Vy** el cortante máximo del análisis no lineal, máximo de la curva de capacidad. Para la dirección Y fue el siguiente resultado.

CÁLCULO DEL R REAL		
<b>R</b>	7.00	-
<b>Vs</b>	397.03	<b>T</b>
<b>Ve</b>	2779.21	<b>T</b>
<b>Vy</b>	977.48	<b>T</b>
<b><math>\Omega</math></b>	2.46	-
<b>Rd</b>	2.84	-
<b>Rr</b>	5.31	-

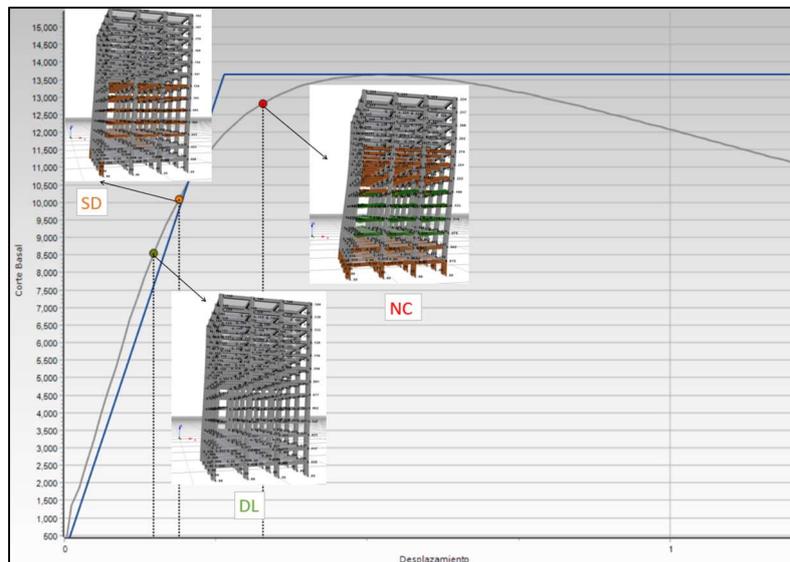
**Figura 2.85:** Cálculo del R real en dirección Y para Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Entonces el **R** real calculado sería un promedio de los dos, siendo  $R_{real} = 5.3$ .

### 2.7.2 Análisis no lineal Colombia

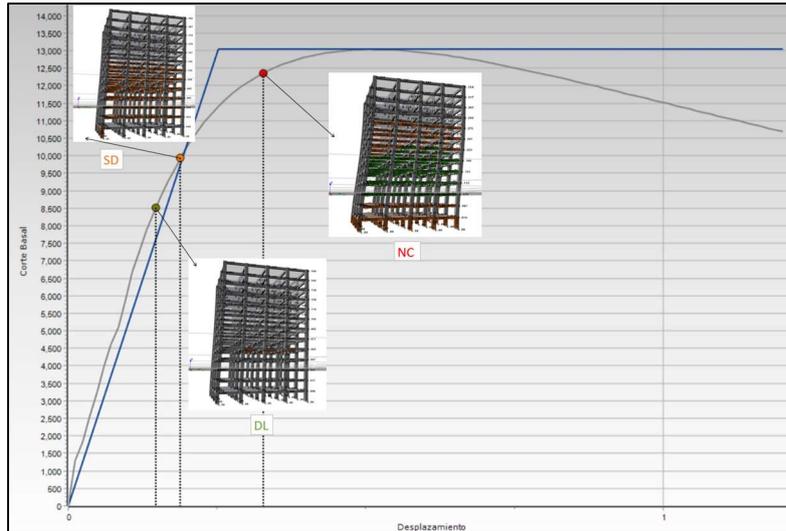
En este caso se aplicará el mismo software y análisis para los cálculos. Las gráficas en dirección X e Y con las deformaciones paso a paso de la estructura son las siguientes:



**Figura 2.86:** Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección X Colombia

**Fuente:** Software SeismoStruct

Ahora en dirección Y.



**Figura 2.87:** Corte basal – desplazamiento y estructura en estados límite en dirección Y Colombia

**Fuente:** Software SeismoStruct

De la misma manera el espectro de aceleraciones para el análisis fue el siguiente



**Figura 2.88:** Espectro de diseño para Colombia sismos de 20%, 10% y 2% de excedencia

**Fuente:** Software SeismoStruct

La figura anterior muestra en color rojo el espectro para cerca del colapso con 2% de excedencia, de color amarillo el caso de daño significativo con un 10% y finalmente el color verde claro que representa el límite de daño con 20% de excedencia.

El periodo con respecto al calculado en este caso fue similar, ya que el análisis no lineal dio como resultado un periodo de 1.08 s, muy cerca del calculado.

### 2.7.2.1 Reajuste del coeficiente R Colombia

Siguiendo la metodología de la ASCE 7-22 [19]. Se obtuvieron los siguientes R del análisis no lineal. En este caso igual se había seleccionado un R correspondiente a la normativa colombiana siendo **R=7** [15].

CÁLCULO DEL R REAL		
R	7.00	-
Vs	256.98	T
Ve	1798.86	T
Vy	1390.43	T
$\Omega$	5.41	-
Rd	1.29	-
Rr	6.70	-

**Figura 2.89:** Cálculo del R real en dirección X para Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Ahora en dirección Y.

CÁLCULO DEL R REAL		
R	7.00	-
Vs	256.98	T
Ve	1798.86	T
Vy	1328.74	T
$\Omega$	5.17	-
Rd	1.35	-
Rr	6.52	-

**Figura 2.90:** Cálculo del R real en dirección Y para Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Con lo que se obtuvo un R real de 6.61.

## 2.8 Cantidades de material y presupuesto

En este apartado se calculó los volúmenes y cantidades de acero y hormigón los cuales se presupuestarán para realizar la comparación económica entre las dos estructuras.

### 2.8.1 Cantidades Ecuador

Empezando por las cantidades de hormigón, se presentará la figura de la hoja de Excel donde se calculó las cantidades totales de hormigón de resistencia  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe recalcar que las cantidades específicas de hormigón para vigas, losas y columnas se encuentran divididas en láminas en los anexos de planos.

Cantidades de hormigón $f'c$ 280 (kg/cm <sup>2</sup> )									
VIGAS									
V 40x60					V 40x60 SUB				
N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )	N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )
195	0.4	0.60	6.10	285.48	30.00	0.40	0.60	4.00	28.80
V 40x55					V 40x55 SUB				
N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )	N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )
208	0.4	0.55	5.30	242.53	12.00	0.40	0.55	6.80	17.95
COLUMNAS					LOSA				
N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )	Elco (m)	Área losa (m <sup>2</sup> )	Área nervio (m <sup>2</sup> )	Lt (m)	V (m <sup>3</sup> )
20	0.9	0.90	30.00	486.00	0.04	7043.18	0.02	29768.52	877.10

**Figura 2.91:** Cantidades de obra Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Con lo que el volumen total de hormigón para la edificación en Portoviejo fue de 1937.86 m<sup>3</sup>.

<b>Ecuador</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Acero (kg)</b>
<b>Losas</b>	55110
<b>Vigas</b>	120780
<b>Columnas</b>	192962
<b>Total</b>	368852

**Figura 2.92:** Cantidad de acero por elemento Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

Para el acero, las cantidades se encuentran en los planos en las planillas, con lo que se tiene una cantidad total de **368852 kg** de acero.

### 2.8.2 Presupuesto Ecuador

Para conseguir los APU's para el cálculo de presupuesto, se tomó los calculados en la asignatura de Costos en la construcción. Los cuales fueron los que están en anexos.

Los resultados del costo de hormigón total por vigas, losa y columnas fueron los siguientes:

**Tabla 2.9:** Costo por cantidad de volumen de hormigón Ecuador

<b>ECUADOR</b>		
<b>Hormigón f'c 280 kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>Especificación</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Costo (\$)</b>
<b>Losas y vigas</b>	1451.86	146,622.61
<b>Columnas</b>	486	61,143.56
<b>TOTAL</b>		207,766.17

**Fuente:** Elaboración propia

Además, los kg totales de acero y su costo son descritos en la siguiente tabla.

**Tabla 2.10:** Costo por cantidad de acero de refuerzo Ecuador

<b>ECUADOR</b>		
<b>ACERO DE REFUERZO fy 4200 kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>Especificación</b>	<b>kg</b>	<b>Costo (\$)</b>
<b>Losas</b>	55110	97,838.22
<b>Vigas</b>	120780	214,423.87
<b>Columnas</b>	192962	342,570.46
<b>TOTAL</b>		654,832.55

**Fuente:** Elaboración propia

Cabe mencionar que solo se considerará costos directos para el presupuesto y sin IVA, con esto dio un total de \$ **862,598.72 (dólares estadounidenses) (Ochocientos sesenta y dos mil quinientos noventa y ocho dólares con setenta y dos centavos).**

### 2.8.3 Cantidades Colombia

Siguiendo el mismo procedimiento anterior se obtuvo:

Cantidades de hormigón f'c 280 (kg/cm <sup>2</sup> )									
VIGAS									
V 45x70					V 45x70 SUB				
N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )	N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )
195	0.45	0.7	6.05	371.62125	30	0.45	0.7	4	37.8
V 45x65					V 45x65 SUB				
N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )	N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )
208	0.45	0.65	5.25	319.41	12	0.45	0.7	6.7	25.326
COLUMNAS					LOSA				
N°	b (m)	h (m)	L (m)	V (m <sup>3</sup> )	Elco (m)	Área losa (m <sup>2</sup> )	Área nervio (m <sup>2</sup> )	Lt (m)	V (m <sup>3</sup> )
20	0.95	0.95	30	541.5	0.04	6921.84	0.02	29157.42	860.022

**Figura 2.93:** Cantidades de obra Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Y un total de **2155.68 m<sup>3</sup>** de hormigón.

Para el acero se tiene que:

Colombia	
Clasificación	Acero (kg)
Losas	62488
Vigas	110167
Columnas	208566
<b>Total</b>	<b>381221</b>

**Figura 2.94:** Cantidad de acero por elemento Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Presupuesto Así mismo las cantidades se encuentran distribuidas por planillas, pero en total se obtuvo **381221 kg** de acero.

### 2.8.4 Presupuesto Colombia

Para este caso se investigó los salarios y precios de alquiler de las diferentes distribuidoras de Colombia, como Cemex.

Los valores se reflejarán en pesos colombianos, ya que cada material, mano de obra y herramienta se encuentra en el sitio de implantación.

Los valores correspondientes a hormigón fueron:

**Tabla 2.11:** Costo por cantidad de volumen de hormigón Colombia

<b>COLOMBIA</b>		
<b>Hormigón f'c 280 kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>Especificación</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Costo (\$)</b>
<b>Losas y vigas</b>	1614.1792	852,598,384
<b>Columnas</b>	541.5	298,064,962
<b>TOTAL</b>		<b>1,150,663,345</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el acero de refuerzo igual se obtuvo los precios respectivos:

**Tabla 2.12:** Costo por cantidad de acero de refuerzo Ecuador

<b>COLOMBIA</b>		
<b>ACERO DE REFUERZO fy 4200 kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>Especificación</b>	<b>kg</b>	<b>Costo (\$)</b>
<b>Losas</b>	62488	398,600,170
<b>Vigas</b>	110167	702,736,284
<b>Columnas</b>	208566	1,330,406,526
<b>TOTAL</b>		<b>2,431,742,979</b>

Fuente: Elaboración propia

Con todos estos cálculos el presupuesto referencial de costos directos para la obra es el siguiente: **\$3,582,406,324.54 (pesos colombianos) (Tres mil quinientos ochenta y dos millones cuatrocientos seis mil trescientos veinticuatro con cincuenta y cuatro pesos).**

### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 Ubicación de edificaciones

La principal diferencia es su localización, la edificación en Colombia se encuentra en Navarro Cali, mientras que en Ecuador está en Portoviejo, ambas de zona sísmica alta.



**Figura 3.1:** Comparativa de sitios de implantación

**Fuente:** Google Maps

Cada una de las ciudades donde se implantará la edificación es la más desfavorable en cuanto a amenaza sísmica; Portoviejo pertenece a la zona sísmica VI, mientras que Navarro a Zona sísmica alta.

##### 3.1.2 Comparación de cargas

###### 3.1.2.1 Cargas vivas

En este apartado analizaremos la variación entre cargas vivas según cada normativa.

**Tabla 3.1:** Comparativa de cargas vivas

CARGA NO SÍSMICA (VIVA)			
Tipo	Colombia	Ecuador	Unidad
Oficina	200	240	[kg/m <sup>2</sup> ]
Departamentos	180	200	[kg/m <sup>2</sup> ]
Almacenes (Considerando locales en el primer piso)	480	480	[kg/m <sup>2</sup> ]
Escaleras y rutas de escape	300	300	[kg/m <sup>2</sup> ]
Garaje (Automóviles)	250	200	[kg/m <sup>2</sup> ]

**Fuente:** NEC – 15 y NSR – 10

Como se puede ver solo cambia la designación de carga para la ocupación tipo oficina, departamentos y garaje. Manteniendo similitud en las demás, en el caso de los valores que cambian son oficina en un 20% más en Ecuador con respecto a Colombia, en un 11.11% en departamentos, mientras que en la carga de garaje un 20% más, pero de Colombia en relación con Ecuador. En su mayoría los valores para Ecuador son

mayores en cuanto a cargas vivas ante los impuestos para Colombia según sus normativas.

### 3.1.2.2 Cargas muertas

Las diferencias de carga muerta radican en que la mampostería de Colombia es más pesada que la de Ecuador, por lo que tenemos la siguiente tabla:

**Tabla 3.2:** Comparativa cargas muertas

Planta	Colombia		Ecuador	
	Por planta [kg/m <sup>2</sup> ]	Planta + acabados [kg/m <sup>2</sup> ]	Por planta [kg/m <sup>2</sup> ]	Planta + acabados [kg/m <sup>2</sup> ]
Subsuelo	86.54	106.54	73.25	93.25
Locales comerciales	107.63	287.63	91.37	192.97
Oficinas	168.47	348.47	142.85	244.45
Departamentos	254.94	434.94	215.79	317.39

**Fuente:** NEC – 15 y NSR – 10

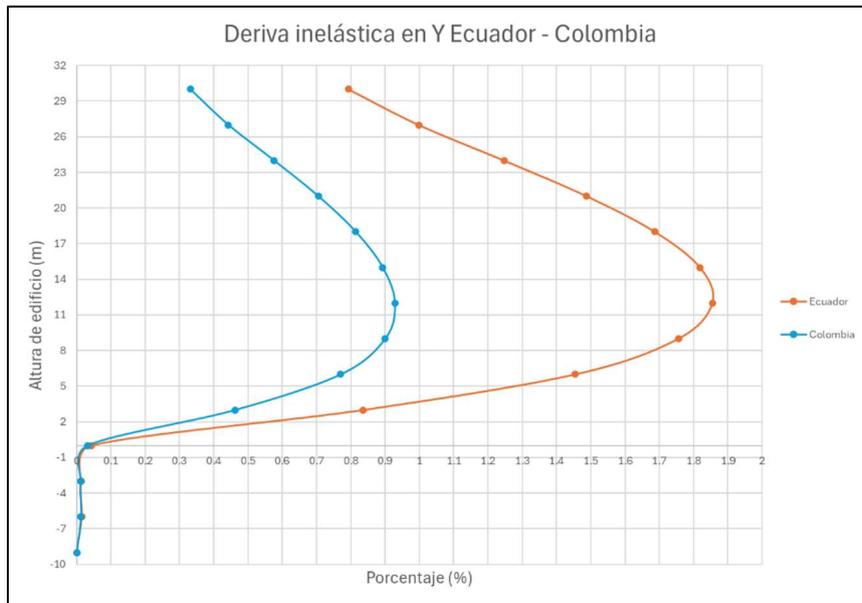
Esto evidenció que, debido a las cargas del bloque de mampostería, la edificación en Colombia tendrá una carga permanente mayor. La razón principal de esta diferencia es que el distribuidor de bloques en Colombia ofrece elementos más pesados que los disponibles en Ecuador.

### 3.1.3 Losa para edificación

En este caso la losa fue la misma para las dos edificaciones, en apartados anteriores de prediseño se mostró un esquema de cómo es, en si tiene una loseta de compresión de 0.04 m y casetones para los alivianamientos removibles que se usarán en toda la edificación cuyas dimensiones son 40x40x20. Además de ciertas adaptaciones en partes específicas de la losa.

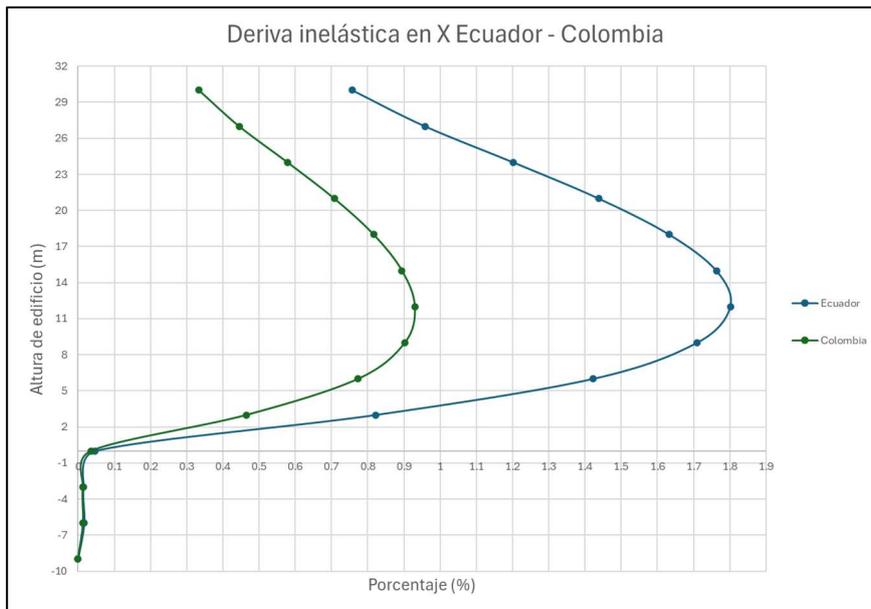
### 3.1.4 Control de Derivas

Los modelos de ETABS propiciaron el respectivo control de derivas de cada edificación, lo que en este caso se hará es comparar las derivas de los dos edificios tanto en X como Y.



**Figura 3.2:** Deriva inelástica en dirección Y para Ecuador - Colombia

**Fuente:** Elaboración propia



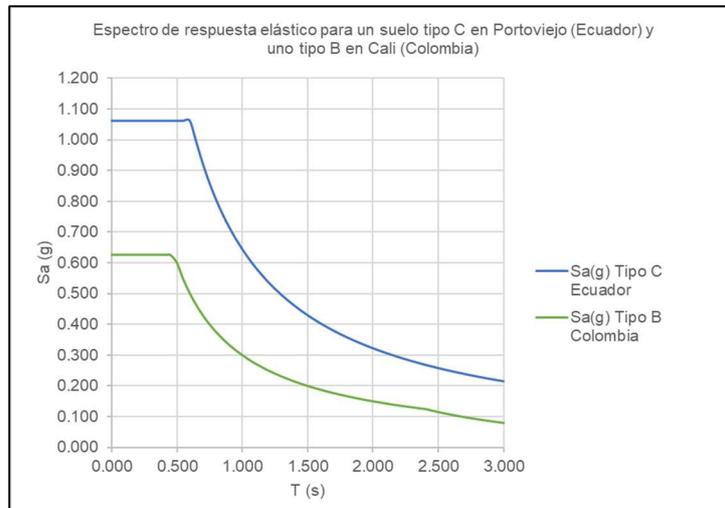
**Figura 3.3:** Deriva inelástica en dirección X para Ecuador - Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede ver ambas edificaciones están en norma con sus respectivas normativas, la colombiana menor al 1% y la ecuatoriana menor al 2%. Sin embargo, el criterio de comodidad de vida del ocupante ante un sismo entra en juego, ya que la mayoría de las personas se sentirían más seguras viviendo en una edificación que no se desplazara mucho ante un evento sísmico. La edificación en Colombia es la que presenta menos desplazamientos por restricción de la normativa, entonces la seguridad de las personas que lo habitarán en comparación a las que estarán en Ecuador será mucho mayor.

### 3.1.5 Espectro de diseño

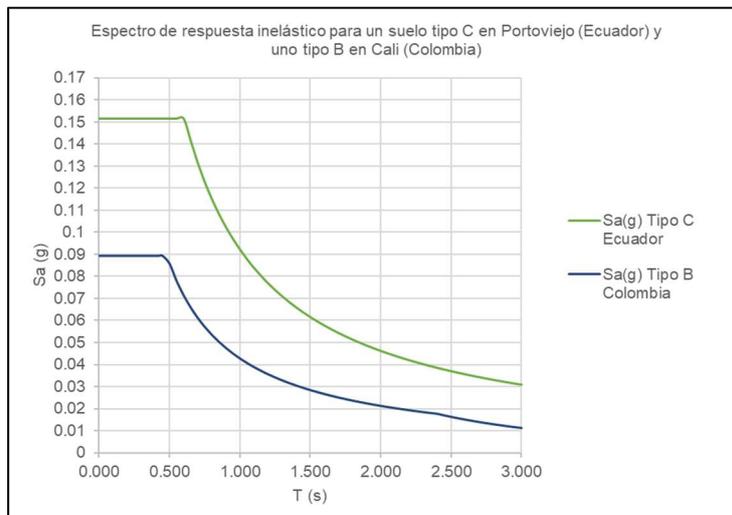
Los espectros de diseño se calcularon de acuerdo con cada normativa, después se obtuvieron los siguientes gráficos.



**Figura 3.4:** Espectro de diseño elástico Ecuador - Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Así también se obtuvo el espectro inelástico con cada condición en cada país.



**Figura 3.5:** Espectro de diseño inelástico Ecuador - Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede ver, es espectro en ambos casos es menor para Colombia, esto ya que la normativa colombiana usa distintos coeficientes y factores que penalizan en el diseño sismorresistente para garantizar que el edificio cumpla la restricción de derivas.

### 3.1.6 Cortante basal

La normativa sismorresistente de cada país da una metodología de cálculo de su cortante basal, como se vio en el apartado de metodología difiere en distintas cosas como se muestra a continuación.

Para Ecuador el cálculo se efectúa con los siguiente coeficientes y valores.

Factores y coeficientes seleccionados (Ecuador)	
Z	0.5
$\eta$	1.8
F <sub>d</sub>	1.06
F <sub>s</sub>	1.23
F <sub>a</sub>	1.18
Tipo de suelo	C
I	1
R	7
Ct	0.055
$\alpha$	0.9
h	30
$\emptyset E_i$	1
$\emptyset P_i$	1
r	1

**Figura 3.6:** Coeficientes para cálculo de cortante Ecuador

**Fuente:** Elaboración propia

$$V = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * \emptyset_p * \emptyset E} W$$

Mientras que para Colombia son los siguientes.

Factores y coeficientes seleccionados (Colombia)	
A <sub>a</sub>	0.25
A <sub>v</sub>	0.25
A <sub>e</sub>	0.15
A <sub>d</sub>	0.09
Grupo de uso	1
F <sub>v</sub>	1
F <sub>a</sub>	1
Tipo de suelo	B
I	1
R0	7
Ct	0.047
$\alpha$	0.9
h	30
$\emptyset a$	1
$\emptyset p$	1
$\emptyset r$	1
R	7

**Figura 3.7:** Coeficientes para cálculo de cortante Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

$$V_s = S_a * g * M$$

Por lo que para poder comparar los cortantes basales se debería dividir el de Colombia para el R, como se realizó en la metodología.

### 3.1.7 Cortante y peso de la estructura

Según lo modelos realizados en ETABS se obtuvo los siguientes pesos y cortantes en la base de cada estructura:

**Tabla 3.3:** Comparativa cortante en la base Ecuador – Colombia

Cortante en base [T]	
Ecuador	Colombia
397.03	256.83

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver el cortante en la base de la edificación implantada en Ecuador es mayor a la de Colombia. Ahora se mostrará el peso de la estructura en cada país.

**Tabla 3.4:** Comparativa peso de estructura Ecuador – Colombia

Peso de estructura [T]	
Ecuador	Colombia
5025.74	5996.11

Fuente: Elaboración propia

El peso de la estructura en Colombia es mayor, esto ya que Colombia tenía mayores secciones de elementos estructurales que Ecuador.

### 3.1.8 Modos de vibración

**Tabla 3.5:** Modos de vibración Ecuador - Colombia

Participación Modal					
Case	Mode	Periodo	UX	UY	RZ
		sec			
<b>ECUADOR</b>					
Modal	1	1.501	0	0.53	0
Modal	2	1.476	0.5315	0	0.0002
Modal	3	1.23	0.0002	0	0.4258
<b>COLOMBIA</b>					
Modal	1	1.258	0	0.5545	0
Modal	2	1.257	0.5553	0	0.0002
Modal	3	1.05	0.0002	0	0.4529

Fuente: Elaboración propia

En este caso ambas estructuras presentan en su primer modo de vibración traslación en dirección X y en el segundo modo presentan traslación en dirección Y. Y

respectivamente su rotación en el modo de vibración 3. Con lo que se diría que el diseño esta adecuadamente realizado.

### 3.1.9 Análisis no lineal

En este apartado se comparará las deformaciones y el factor de incremento, el R real, derivas reales en el sismo de diseño y curvas de capacidad. Empezando por la siguiente tabla.

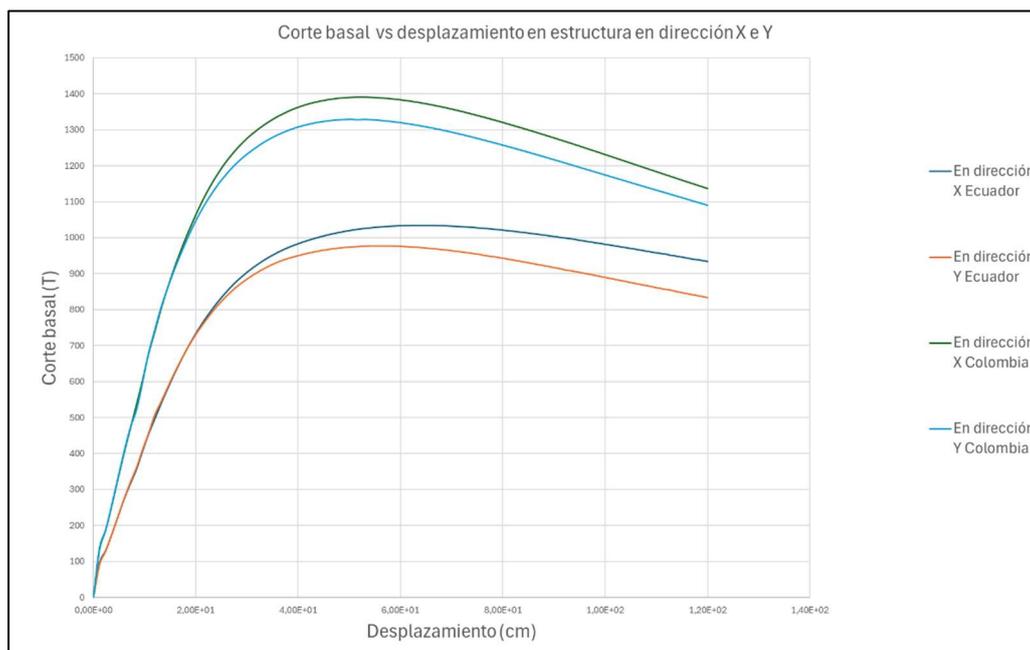
**Tabla 3.6:** Comparativa análisis no lineal, estados límites y R real Ecuador – Colombia

País	Estados límites	Deformación	Factor gamma	R real
Ecuador	DL	0.194	69.63	5.3
	SD	0.249	81.79	
	NC	0.432	97.83	
Colombia	DL	0.147	84.00	6.61
	SD	0.188	101.77	
	NC	0.327	127.9	

**Fuente:** Elaboración propia

El factor gamma que indica la tabla quiere decir cuantas veces se ha incrementado el sismo en cada caso, los estados limites se refieren al tipo de sismo según su porcentaje de excedencia. En la tabla anterior podemos ver que el edificio de Colombia es el que se deforma menos en cada uno de los estados límites, presentando mayor rigidez al igual que un mayor R real.

Ahora se comparará las curvas de corte basal vs deformación de los dos países.

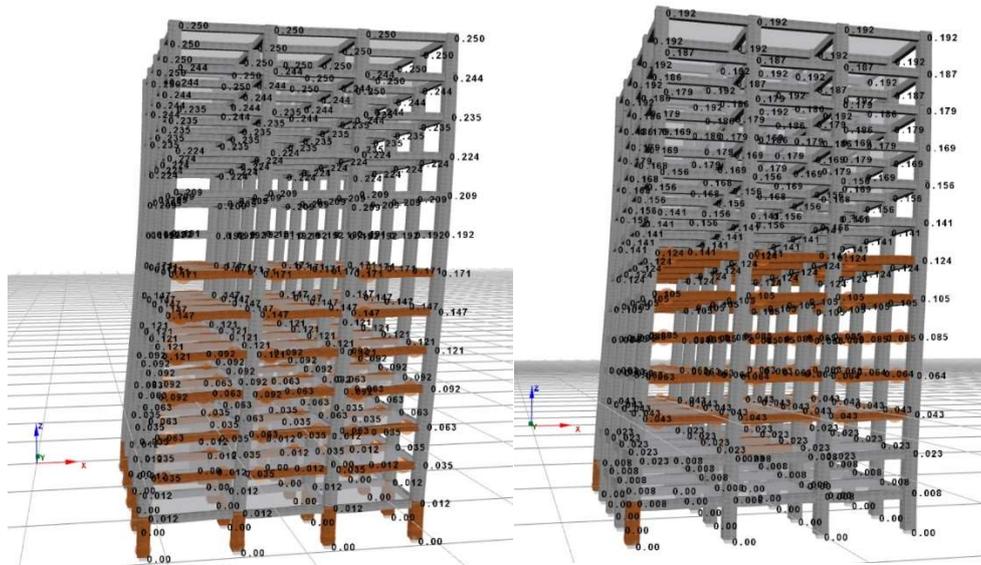


**Figura 3.8:** Corte basal vs desplazamiento en direcciones X e Y para Ecuador – Colombia

**Fuente:** Elaboración propia

Se consideró un desplazamiento máximo tomando la recomendación de ASCE 7-22 que dice que el máximo desplazamiento que podrá tener la estructura es del 4% de la altura total [19]. La figura 3.8 muestra que en el caso de Colombia se presentan mayores valores de corte basal dando una diferencia de aproximadamente 400 T.

Para las derivas se tomará la situación de cada edificación en el sismo de diseño y se evaluarán sus derivas reales.



**Figura 3.9:** Desplazamientos en estructura para sismo de diseño Ecuador - Colombia

**Fuente:** Software SeismoStruct

Las imágenes corresponden a Ecuador y Colombia respectivamente por lo que se tiene para Ecuador.

$$(0.147 - 0.121) * \frac{100}{3} = 0.87\%$$

Con lo que evidenciamos que pasaría el control de derivas para un sismo de diseño estado limite SD ya que es mayor al 2% permitido.

Para Colombia se tiene:

$$(0.105 - 0.085) * \frac{100}{3} = 0.67\%$$

Como es menor al 1% entonces se cumple con los requerimientos de deriva según la NSR-10

Ahora para un sismo de NC, se tuvo los siguientes resultados.

Para Ecuador:

$$(0.278 - 0.233) * \frac{100}{3} = 1.5\%$$

Y para Colombia:

$$(0.189 - 0.153) * \frac{100}{3} = 1.2\%$$

En este caso la deriva de Colombia no pasaría, sin embargo, el modelo del análisis push over nos garantiza que las dos edificaciones son no colapsables ante sismos del 2% de ocurrencia.

### 3.1.10 Cantidades de obra y presupuesto

Los volúmenes de obra fueron los siguientes, para el acero de refuerzo se tuvo:

**Tabla 3.7:** Comparativa de cantidad por elemento de acero de refuerzo Ecuador – Colombia

Acero de refuerzo		
País	Ecuador	Colombia
Clasificación	Acero (kg)	Acero (kg)
Losas	55110	62488
Vigas	120780	110167
Columnas	192962	208566
<b>Total</b>	<b>368852</b>	<b>381221</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el hormigón se tuvo:

**Tabla 3.8:** Comparativa de cantidad por elemento de hormigón Ecuador – Colombia

Hormigón premezclado		
País	Ecuador	Colombia
Clasificación	V (m <sup>3</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
Vigas	574.76	754.15725
Columnas	486.00	541.5
Losas	877.10	860.022
<b>Total</b>	<b>1937.86</b>	<b>2155.68</b>

Fuente: Elaboración propia

Se puede evidenciar que en Colombia existe mayor cantidad de material por el aumento de secciones para que la edificación cumpla con la normativa colombiana, y esto será directamente proporcional al aumento del presupuesto general. En si se necesita un **3.24%** más de acero para Colombia que en Ecuador y en el caso del hormigón un **10.10%** más respectivamente.

Para los costos se los dividirá en vigas, losas y columnas, para acero de refuerzo y hormigón, para la comparación se utilizó un factor de cambio de **3936.95 pesos colombianos = 1 dólar estadounidense (obtenido el 19 de julio de 2024)**.

En la comparación del costo de obra en hormigón y acero de refuerzo es el siguiente:

**Tabla 3.9:** Comparativa de costos por elemento de hormigón Ecuador – Colombia

ECUADOR			COLOMBIA	
Hormigón f'c 280 kg/cm <sup>2</sup>				
Especificación	m3	Costo (\$) Dólares	m3	Costo (\$) Dólares
Losas y vigas	1451.86	146,622.61	1614.1792	216,563.17
Columnas	486	61,143.56	541.5	75,709.61
<b>TOTAL</b>		207,766.17	<b>TOTAL</b>	292,272.79

Fuente: Elaboración propia

Con esto se observa que el costo en hormigón es 1.40 veces mayor en Colombia que en Ecuador. En el caso de acero de refuerzo se tiene la siguiente comparación.

**Tabla 3.10:** Comparativa de costos por elemento de acero de refuerzo Ecuador – Colombia

ECUADOR			COLOMBIA	
ACERO DE REFUERZO fy 4200 kg/cm <sup>2</sup>				
Especificación	kg	Costo (\$) Dólares	kg	Costo (\$) Dólares
Losas	55110	97,838.22	62488	101,245.93
Vigas	120780	214,423.87	110167	178,497.64
Columnas	192962	342,570.46	208566	337,928.23
<b>TOTAL</b>		654,832.55	<b>TOTAL</b>	617,671.80

Fuente: Elaboración propia

Entonces se puede ver que el valor en Ecuador es 1.06 veces mayor que en Colombia en lo que respecta a acero de refuerzo.

## 3.2 Conclusiones

- Aun estando las dos edificaciones implantadas en las mismas circunstancias desfavorables en lo que corresponde a amenaza sísmica, presentan variaciones en sus secciones de elementos estructurales. Esto se debe a las normativas que rigen cada uno de los países, por lo que se diría que la normativa ecuatoriana es más flexible en lo que respecta a diseño sismorresistente, ya que siendo la edificación en Colombia la que se encuentra en un mejor tipo de suelo que Ecuador, esta debe tener mayores secciones que la otra. Demostrando así que la NSR-10 se rige a estructuras más seguras ante amenazas sísmicas.
- Debido al sitio de implantación en Cali en el caso de Colombia y Portoviejo en el caso de Ecuador, el espectro de diseño es distinto, esto debido a varios factores, ya que el tipo de suelo no es el mismo, en Ecuador mediante estudios de zonificación se encontró un tipo de suelo **tipo C**, mientras que en Colombia por las mismas fuentes de un estudio de zonificación el tipo de suelo in situ fue **tipo B**, además que los factores en cada normativa varían, siendo así que la normativa NSR-10 tiene mayor clasificación para sus factores dependiendo de la zona sísmica como es el caso de Cali, que tiene ya definidos sus coeficiente.
- El cortante basal en Ecuador es mayor que en Colombia, dando para Ecuador un valor de **397.03 T**, mientras que para Colombia se obtuvo un valor de **256.83 T**, esto debido a varios factores como el tipo de suelo que difiere y sus coeficientes, además de la manera que cada normativa calcula el cortante para sus respectivos casos.
- Si se habla de las secciones de vigas y columnas implementadas en cada una de las edificaciones de estudio, las secciones de Colombia son mayores a las de Ecuador, esto se debe a la restricción de deriva inelástica, ya que la normativa NEC – 15 permite un 2% admisible como máximo, mientras que la NSR – 10 se reduce a un 1%, por esto que las secciones en Cali debieron ser mayores que en el caso de Portoviejo, así mismo siendo directamente proporcional al peso de la estructura, pesando **5025.74 T** la implantación en Ecuador y **5996.11 T** la otra estructura. Cabe resaltar que este incremento de secciones se vio necesario para cumplir con criterios y normas sismorresistentes de cada locación.
- Al analizar los modos de vibración de cada estructura mediante el software ETABS, se logró evidenciar que con el diseño empleado las estructuras cumplen con el requerimiento de presentar traslación en los primero dos modos

vibratorios, y en el tercer modo de vibración ya existir presencia de torsión, por lo que se concluye que el modelo está en norma de acuerdo con las respectivas normativas. Si se analiza el periodo de cada estructura, se tiene que en la edificación de Portoviejo es **1.5 s**, por otro lado, el de Cali **1.25 s**. La información de los periodos de cada estructura dice que en Cali debido a la normativa respectiva la edificación es más rígida que en Ecuador.

- En los presupuestos referenciales de construcción en obra gris de cada estructura se consideró solo hormigón y acero de refuerzo, en Colombia se evidencio jornales más bajos que en Ecuador, influyendo esto en el cálculo del presupuesto total de costos directos. El valor total de la edificación en Portoviejo fue de **\$ 862,598.72** dólares estadounidenses, mientras que en Colombia el costo directo total fue **de \$ 909,944.59** dólares estadounidenses. La razón por la que el valor es relativamente mayor en Colombia depende en su mayoría de las cantidades, ya que en Colombia se tenía mayores secciones y mayor cantidad de acero de refuerzo.
- En el análisis no lineal se probó el diseño sismorresistente de cada estructura para un nivel de seguridad de vida y nivel de prevención de colapso. En ambos casos las edificaciones cumplen con los requerimientos mínimos solicitados anteriormente, además muestran para sismos de 10% y 2% de excedencia, 475 y 2475 años de periodo de retorno la fluencia en vigas y en el peor de los casos ruptura de la zona no confinada que es un daño no crítico para la estructura.
- Como se calculó el R real para cada estructura se obtuvo para Ecuador un R real de **5.3**, mientras que para Colombia uno de **6.61**. Esto quiere decir que a diferencia del valor de R de 7 que se tomó para la modelación en ETABS no se estaba considerando bien el comportamiento real de la estructura. Para el caso de Colombia está casi en el valor modelado, sin embargo, para Ecuador si marca diferencia. Este valor R nos da referencia de la ductilidad de la estructura y su disipación de energía del sismo, por lo que la edificación implantada en Cali es más dúctil que la de Colombia.
- La comparación entre los periodos calculados y obtenidos en el software Seismostruct evidenciaron que la modelación es válida, representando el mismo edificio. En el caso de Ecuador el periodo calculado fue de **1.17 s**, mientras que el modelo no lineal fue de **1.04 s**. En el caso de Colombia el calculado fue de **1.00 s** y en no lineal de **1.08 s**. Lo que verifica que evaluaremos la estructura en

su comportamiento real, ya que, si resultaban muy variados, se estaría modelando una estructura diferente a la planificada.

- Una vez realizado el análisis no lineal se pudo evaluar las derivas inelásticas reales de la estructura, por lo que se vio que la edificación de Portoviejo cumplió con la deriva máxima del 2% en ambos casos, para límite de daño significativo y límite de cerca del colapso, por otra parte, en Colombia la edificación solo cumplió con la deriva del 1% en el límite de daño significativo, para límite de cerca del colapso la estructura sobrepasó el 1% admisible de acuerdo con la normativa. Cabe mencionar que ambas estructuras no presentan afectaciones graves, ya que como se mencionó anteriormente, ambas cumplen los criterios de desempeño.

### **3.3 Recomendaciones**

- Al momento de diseñar desde cero una estructura se debería interactuar directamente el campo arquitectónico con el ingenieril, ya que si esto no se conjetura se dan las irregularidades en planta y elevación, estas al no ser consideradas en el diseño pueden causar torsión en planta en los primos modos de vibración, lo que es negativo para la estructura.
- Las restricciones de la NEC – 15 deberían ser más rigurosas y penalizar más el diseño de estructuras sismorresistentes, como lo hace la NSR – 10 en restringir la deriva inelástica a 1% que es la mitad de lo admisible en la normativa ecuatoriana. Podría igual restringir la deriva admisible de acuerdo con el método constructivo y así ser más específicos en los diseños. Garantizando que los habitantes no prevelezcan de miedo antes eventos sísmicos donde sus viviendas se desplacen excesivamente.
- Los estudios de suelo son de suma importancia en el diseño de la estructura, ya que el sismo puede afectar de manera muy drástica y diferente dependiendo el tipo de suelo. Por ende, en cada proyecto es necesario el respectivo estudio de suelo previo a cualquier proceso constructivo.
- Garantizar que la estructura no se desplace mucho para evitar daños en mampostería sería una buena opción para así evitar gastos de reconstrucción después de un sismo.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. X. Cabrera Minga, «Diseño sismo resistente del edificio de oficinas con sistema mixto (acero y hormigón),» Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13036>.
- [2] NEC-15, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014.
- [3] NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente, NSR-10, Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.
- [4] M. Ureña y P. Gallegos, «Análisis comparativo del diseño sismo resistente de estructura de hormigón armado basado en normativa ecuatoriana (NEC-SE-DS) y colombiana (NSR-10),» Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34692>.
- [5] J. Flores, S. Alcalde, M. Canales y M. Chwastyk, «National Geographic España,» 16 Enero 2023. [En línea]. Available: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/palpitante-cinturon-fuego\\_15178](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/palpitante-cinturon-fuego_15178).
- [6] Á. Reyes, «CNN Español,» 2 Abril 2024. [En línea]. Available: <https://cnnespanol.cnn.com/2024/04/02/cinturon-fuego-pacifico-explainer-orix/>.
- [7] P. Sotomayor, «ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL NW DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO,» Marzo 2021. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22589>.
- [8] I. C. D. G. Y. M. -. INGEOMINAS, «ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTIAGO DE CALI,» Diciembre 2005. [En línea]. Available: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B7/21003002515005/documento/pdf/210515005120000.pdf>.
- [9] A. L. O. MAESTROS, «INNOVACIONES EN MAMPOSTERÍA: MATERIALES Y MÉTODOS DEL FUTURO,» 2024. [En línea]. Available: <https://maestros.com.co/buenas-practicas/innovaciones-en-mamposteria-materiales-y-metodos-del-futuro/>.
- [10] CSI, «CSI SPAIN,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.csiespana.com/software/5/etabs#>.
- [11] M. Lafuente, J. Grases y C. Genatios, «REVISIÓN DE LA NORMATIVA SÍSMICA EN AMÉRICA LATINA,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Genatios/publication/340439230\\_Revision\\_de\\_Normativa\\_Sismica\\_en\\_America\\_latina/links/5e8921504585150839c0cdef/Revision-de-Normativa-Sismica-en-America-latina.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Genatios/publication/340439230_Revision_de_Normativa_Sismica_en_America_latina/links/5e8921504585150839c0cdef/Revision-de-Normativa-Sismica-en-America-latina.pdf). [Último acceso: Mayo 2024].
- [12] E. Tarbuck y F. Lutgens, Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física, Madrid: Prentice Hall, 2001.

- [13] N. GEOGRAPHIC, «El palpitante Cinturón de Fuego,» 16 Enero 2023. [En línea]. Available: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/palpitante-cinturon-fuego\\_15178](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/palpitante-cinturon-fuego_15178). [Último acceso: 05 Mayo 2024].
- [14] B. Mundo, «BBC Mundo,» 17 abril 2016. [En línea]. Available: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416\\_ecuador\\_terremoto\\_magnitud\\_colombia\\_peru\\_bm](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416_ecuador_terremoto_magnitud_colombia_peru_bm). [Último acceso: 08 mayo 2024].
- [15] NSR10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente, Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.
- [16] P. Sotomayor, «ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL NW DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO,» Marzo 2021. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22589>. [Último acceso: Mayo 2024].
- [17] I. C. D. G. Y. M. INGEOMINAS, «ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTIAGO DE CALI,» Diciembre 2005. [En línea]. Available: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B7/21003002515005/documento/pdf/2105150051120000.pdf>. [Último acceso: Mayo 2024].
- [18] M. B. Correa, «Diseño de proyectos estructurales,» Quito, 2024.
- [19] A. 7-22, «Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures,» American Society of Civil Engineers, 2022. [En línea]. Available: <https://archive.org/details/asce-7-22-minimum-design-loads-and-associated-criteria-for-buildings/page/261/mode/2up>.
- [20] NEC15, «PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE,» 10 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>.