

# DISEÑO SISMORRESISTENTE EN LA FRONTERA ENTRE NARIÑO, (9AA – 8AV) Y ESMERALDAS, (ZONA VI)

## Seismic-Resistant Design at the Border between Nariño (9Aa–8Av) and Esmeraldas (Zone VI)

Cisneros Córdova Iñaki Moisés <sup>1</sup>	inaki.cisneros@epn.edu.ec
Correa Vallejo María Belén <sup>2</sup>	maria.corream@epn.edu.ec
Machado Salazar Luis Alejandro <sup>3</sup>	lamachado@uce.edu.ec

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Universidad Central del Ecuador Quito, Ecuador.

### RESUMEN

Se investigará la amenaza sísmica en la frontera de Esmeraldas-Ecuador y Nariño-Colombia bajo las normativas de construcción NEC-15 y NSR-10, respectivamente, considerando una edificación de características similares implantada en las zonas de estudio. Se abordarán aspectos del diseño sismorresistente, incluyendo caracterización sísmica, materiales, cargas, modelación, diseño estructural y detalles de refuerzo. Se evaluará minuciosamente las normativas, comparando requisitos técnicos relevantes y el comportamiento estructural ante sismos. También se analizarán los costos totales de construcción en ambos países para determinar la eficiencia económica de cada normativa. El estudio pretende ofrecer una visión clara de las consideraciones esenciales al diseñar estructuras en áreas limítrofes, donde el suelo y la actividad sísmica son similares. Se anticipa que los hallazgos revelen mejoras en las regulaciones de construcción y determinen la normativa más eficaz en términos de inversión y seguridad.

**Palabras Clave:** Amenaza Sísmica, Ecuador-Colombia, comparación fronteriza, NEC-15, NSR-10, Esmeraldas-Nariño, edificación sismorresistente

### ABSTRACT

This research proposes to investigate the seismic threat on the Esmeraldas-Ecuador and Nariño-Colombia border under the construction regulations NEC-15 and NSR-10, respectively, considering a building with similar characteristics deployed in the study areas. Aspects of earthquake-resistant design will be addressed, including seismic characterization, materials, loads, modeling, structural design, and reinforcement details. The regulations will be thoroughly evaluated, comparing relevant technical requirements and structural behavior under earthquakes. Total construction costs in both countries will also be analyzed to determine the economic efficiency of each regulation. The study aims to offer a clear understanding of the essential considerations when designing structures in border areas, where soil and seismic activity are similar. It is anticipated that the findings will reveal improvements in construction regulations and determine the most effective regulation in terms of investment and safety.

**Keywords:** Seismic Threat, Ecuador-Colombia, Border Comparison, NEC-15, NSR-10, Esmeraldas-Nariño, Earthquake-Resistant Construction.

## ► I. Introducción

La evaluación de la amenaza sísmica es crucial para el diseño y la construcción de estructuras resilientes en regiones altamente vulnerables. Este estudio se enfoca en proponer dos edificaciones hipotéticas ubicadas estratégicamente en la frontera entre Ecuador y Colombia, específicamente en Esmeraldas y Nariño respectivamente. Estas edificaciones se concebirán conforme a las normativas de construcción vigentes en cada país, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), garantizando así la adecuada respuesta estructural ante eventos sísmicos.

Las zonas seleccionadas para este análisis representan algunas de las áreas más críticas en ambos países en términos de actividad sísmica: la zona VI para Ecuador y la zona ALTA 9Aa - 8Av para Colombia. Se llevará a cabo una exhaustiva comparación que abarca diversos aspectos, desde la caracterización sísmica hasta los costos de construcción de elementos estructurales. Entre los elementos a analizar se incluyen: materiales utilizados, prediseños, cargas aplicadas, modelación computacional, niveles de deriva, diseño estructural, detalles de refuerzo, así como la elaboración de planos y las cantidades de obra.

Este estudio no solo proporcionará una comprensión profunda de la amenaza sísmica en estas áreas críticas, sino que también ofrecerá directrices claras para el diseño y la construcción de estructuras sismo-resistentes, contribuyendo así a la mitigación del riesgo sísmico en la región fronteriza entre Ecuador y Colombia

## ► II. Marco teórico

### A. Sismicidad en Ecuador

Ecuador se encuentra en el límite de dos placas tectónicas de tipo convergente: la placa de Nazca y la placa Sudamericana. En este proceso, la placa de Nazca se desliza bajo la placa Sudamericana en un fenómeno conocido como subducción. Inicialmente, las placas permanecen en estado de fricción estática hasta que la resistencia de los materiales de la corteza es superada, lo que genera

sismos en el país. [1]

Ecuador está catalogado como un país altamente sísmico, lo que implica que a diario se registran sismos de baja intensidad. Sin embargo, también existe una alta probabilidad de que ocurran sismos de gran magnitud. Algunos de los terremotos más recordados en el país, debido a su intensidad y el impacto destructivo que causaron se presentan en la Tabla I[1].

**Tabla I**  
**SISMOS DE MAYOR IMPORTANCIA EN ECUADOR**

Área Epicentral	Fecha del Sismo	Magnitud
Esmeraldas-Esmeraldas	31 de enero de 1906	8.8 Mw
Riobamba-Chimborazo	4 de febrero de 1797	8.3 Mw
Guayaquil-Guayas	13 de mayo de 1842	7.8 Mw
Esmeraldas-Esmeraldas	12 de diciembre de 1979	8.1 Mw
Pedernales-Manabí	16 de abril de 2016	7.8 Mw

\*Mw: Magnitud de Momento Sísmico

Fuente: Adaptación de [1]

### B. Antecedentes de la construcción sismorresistente en Ecuador

Desde el terremoto de 1541 en Napo, Ecuador ha mantenido un registro de la intensidad sísmica, revelando un promedio de un terremoto destructivo cada 12 años. Inicialmente, la respuesta a estos eventos catastróficos se centró en su estudio e investigación. En 1900, se llevó a cabo la primera gestión para adquirir dos sismógrafos horizontales. Sin embargo, fue el impacto de los fuertes temblores en Azuay, Loja y Guayas en 1913 lo que impulsó la adquisición de dos sismógrafos horizontales de mayor calidad en 1928 como reemplazo [2]

El 5 de agosto de 1949, en Ambato, ocurrió un terremoto catastrófico con una magnitud de 6.8 Mw y un hipocentro ubicado a una profundidad de 15 km [3]. Este sismo provocó la trágica pérdida de alrededor de 6.000 vidas humanas y dejó a 100.000 personas sin hogar, este fue un punto de inflexión significativo con relación a la construcción, al generar un contraste entre la construcción informal y la construcción moderna [4]

Después del terremoto y la devastación en varias ciudades de Ecuador, se publicó de manera urgente el primer Código Nacional de la Construcción.

Galo Plaza Lasso, presidente constitucional en ese momento, decidió constituir una Junta de Reconstrucción para elaborar el Plan Regulador de Ambato y el Plan Regional de Tungurahua. Se designó al Arq. Sixto Durán Ballen, al Ing. Leopoldo Moreno y al Urbanista Wilson Pachano como responsables del proyecto.

El Código de Construcciones se elaboró en las oficinas del Plan Regulador con el apoyo del reconocido Ingeniero Estadounidense Henry J. Brunnier, basándose en disposiciones internacionales de países como Estados Unidos, Chile e Italia. El resultado final fue un código basado en estudios de métodos y sistemas constructivos utilizados generalmente en la "buena práctica constructiva", aunque no siempre se aplicaban en la práctica. [5] El nuevo Código Nacional de la Construcción, promulgado el 12 de febrero de 1951, se convirtió en una norma de uso obligatorio para todo el país en 1952 [2].

Tras la elaboración de este primer Código Nacional de la Construcción, el cual no consideraba la acción de fuerzas horizontales, fue indispensable preparar una nueva norma de construcción para el país, la cual fue denominada como "Código Ecuatoriano de la Construcción" o en sus siglas "CEC", esta norma entró en vigor desde el año de 1977 hasta el año 2001, donde salió una nueva versión del CEC, en esta versión del 2001 ya existió capítulos específicos para el peligro sísmico [2].

Tras los sismos suscitados en los países vecinos en la primera década del 2000 se dispuso la elaboración de una nueva norma de construcción para el país, la denominada "Norma ecuatoriana de la construcción" o en sus siglas "NEC", uno de los capítulos implementados a resaltar sería el "Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente", esta norma aprobada en el 2014 y oficializada en el 2015, la cual fue denominada como "NEC-15" y se encuentra vigente hasta la actualidad [6].

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

La NEC-15 busca establecer nuevas pautas de construcción en función de los avances

tecnológicos con el propósito de mejorar los mecanismos de control en la ejecución de proyectos de construcción [7]. Además, se buscó definir principios mínimos para el diseño y la instalación en el lugar de trabajo, garantizar el cumplimiento de los principios fundamentales de habitabilidad, y establecer responsabilidades, obligaciones y derechos de los participantes involucrados en los procesos de construcción.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción busca satisfacer la demanda de la sociedad en términos de mejorar la calidad y seguridad de las edificaciones. Al mismo tiempo, tiene como objetivo proteger a los ciudadanos y fomentar un desarrollo sostenible [8]

Para el análisis sísmico de una estructura, la NEC-15 tiene el capítulo 3 (Peligro sísmico del Ecuador y efectos sísmicos locales) para caracterizar la zona donde se prevé construir una edificación. El fin de caracterizar sísmicamente una zona es encontrar el espectro de diseño al que se verá sometido la estructura [8]

#### D. Sismicidad en Colombia

Colombia es el punto de convergencia de las placas tectónicas Nazca, Sudamericana y del Caribe. La sismicidad que vive Colombia se debe a la subducción ocasionada por las placas de Nazca y Sudamericana. Este efecto de subducción ha ocasionado el fenómeno denominado "Nicho sísmico de Bucaramanga", donde se concentran la mayoría de los sismos registrados en Colombia [9].

Dentro del registro sísmico colombiano se puede identificar los sismos más importantes en el país, presentados en la tabla II.

**Tabla II**  
**SISMOS DE MAYOR IMPORTANCIA EN COLOMBIA**

Área Epicentral	Fecha del Sismo	Magnitud
Costa Pacífica-Pacífico	31 de enero de 1906	8.8 Mw
Costa Pacífica-Pacífico	12 de diciembre de 1979	8.1 Mw
Altamira - Huilca	16 de noviembre de 1827	7.1 Mw
Murindó - Antioquia	18 de octubre de 1992	7.1 Mw
Colombia - Huilca	9 de febrero de 1967	7.0 Mw

\*Mw: Magnitud de Momento Sísmico

Fuente: Adaptación de (IDIGER, 2016)

### *E. Antecedentes de la construcción sismorresistente en Colombia*

La sismología contemporánea en Colombia surge en 1940 con la llegada del padre Jesús Emilio Ramírez al finalizar sus estudios de doctorado en la Universidad de Saint Louis en Estados Unidos. Posteriormente, el padre Ramírez fundó el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, que se vinculó a la Universidad Javeriana. [10] Además, colaboró en diversos eventos relacionados con la ingeniería sísmica. En ese momento, Colombia aún no contaba con una normativa para el diseño sismo resistente en su territorio [2]

En 1974, gracias a los esfuerzos del Ingeniero Alberto Sarria, se estableció la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en la Universidad de los Andes. En 1975, la AIS se convirtió en una entidad externa e independiente. La AIS contribuyó de manera significativa a la ingeniería sísmica en Colombia al traducir y distribuir en español códigos internacionales de resistencia sísmica, como el SEAOC [11]. Ese mismo año coincidió con un importante terremoto de magnitud 7.2 Mw en el centro del país. Estos trabajos y otros adicionales se consideraron fundamentales para el inicio del diseño sismo resistente en Colombia [2]

A través del estudio del documento ATC-3, se comprendió que era posible adaptarlo a las condiciones nacionales, ya que la formulación del riesgo sísmico era aplicable en lugares distintos a California. Después de 1980, la AIS publicó la primera norma sísmica titulada "AIS-100-81. Requisitos Sísmicos para Edificios", aunque no fue de uso obligatorio en el país [2]

El Ministerio de Obras Públicas y Transporte, con la asesoría de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (Cuerpo Consultivo del Gobierno), encargó a la AIS la elaboración del aspecto técnico de la nueva normativa. Posteriormente, esta normativa fue sometida a revisión por diferentes instituciones relacionadas con el campo y se abrió a discusión pública, en la que participaron numerosos ingenieros, la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), representantes de universidades, entre otros actores. Finalmente, el

7 de junio de 1984, mediante el Decreto N. 1400, el presidente adoptó el nuevo código denominado "Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes", el cual se convirtió en obligatorio en todo el país [12]. Este documento se basó en la traducción del ACI-318 de 1977 [2].

En junio de 1997, después de 13 años de implementación exitosa, se reconoció la necesidad de actualizar el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (CCCSR-84) debido a cambios en los códigos base, como el AISC y el ACI 318, y a la inclusión de nuevas investigaciones y consideraciones fundamentales que no estaban adecuadamente fundamentadas en ese momento. Además, se realizaron estudios sobre los terremotos ocurridos en Colombia entre 1979 y 1984, que revelaron daños significativos en elementos no estructurales, como muros interiores y fachadas de edificios, que representaban un riesgo importante para los ocupantes [13]. Por lo tanto, el Comité AIS-100 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) propuso cambios sustanciales en la normativa, que posteriormente fueron aprobados por el Congreso a través de la Ley 400 de 1977. En 1998, se publicó el nuevo código, la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98), que reemplazó por completo al CCCSR-84 y se convirtió en requisito obligatorio para la construcción en Colombia [2]

Colombia sufrió grandes sismos en la primera década de los 2000, lo que llevó mediante decreto ejecutivo al mejoramiento de la NSR-98, con el fin de salvaguardar las vidas y el patrimonio de los colombianos. En 2008, la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes encargó formalmente a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) la coordinación de los estudios necesarios para actualizar la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98). Este proceso fue asignado al Comité AIS-100, que ya estaba trabajando en la norma AIS 100-09, similar a la AIS 100-97, utilizada como base para la NSR-98. Después de que el proyecto de norma NSR-10 fue aprobado por el Comité, se autorizó su discusión pública en abril de 2009, poniéndolo disponible en una página web y enviándolo a un amplio grupo

de ingenieros, instituciones y universidades [14]. El 19 de marzo de 2010, mediante el Decreto N. 926, se emitió el nuevo Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente [15], que entró en vigor el 15 de julio de 2010 y se estableció como obligatorio en todo el país [2]

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

La segunda actualización del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 ha sido un hito importante en la evolución de las normativas para la resistencia sísmica en Colombia. Estas normas se han establecido con el objetivo principal de proteger la vida humana en caso de un terremoto fuerte [16]. Aunque la protección de la propiedad no es explícitamente un requisito en estas regulaciones, es un beneficio indirecto al implementar estas normas, ya que la salvaguarda de las vidas humanas resulta en protección de propiedades [12]

Es crucial notar que esta reglamentación es un documento tecnológico que debe actualizarse regularmente para incorporar los avances en técnicas de diseño y las experiencias con sismos recientes [17]. Como ejemplo, el "International Building Code" de los Estados Unidos se actualiza cada tres años. La introducción a este reglamento describe la problemática sísmica en Colombia, el desarrollo del reglamento de diseño y construcción resistente a sismos, las actualizaciones y discute estrategias para que la industria de la construcción minimice la vulnerabilidad ante sismos [12]

Para realizar el análisis sísmico de una estructura, la NSR-10 presenta un mapa base de zonificación sísmica, el cual está catalogado en 3 zonas de intensidad: baja, intermedia y alta.

### ► III. Metodología

#### A. Descripción edificación en estudio

La estructura del edificio propuesto presenta una configuración de cinco niveles. En la planta baja, se destinará el área para oficinas y un gimnasio, mientras que las plantas superiores o plantas tipo

se reservarán para el uso residencial. Este diseño se basa en un sistema de pórticos especiales altamente resistentes a momento, clasificados como dúctiles, los cuales representan la tipología predominante en las regiones pertinentes. Además, cada planta cubre una superficie de 378 m<sup>2</sup>, lo que totaliza 1890 m<sup>2</sup> de área de construcción. La distribución arquitectónica del edificio se caracteriza por su regularidad tanto en planta como en elevación, con una disposición simétrica de los elementos estructurales.

La concepción del edificio contempla la utilización de hormigón armado como material principal de construcción, lo que asegura una estructura robusta y de larga durabilidad, aspecto fundamental para garantizar la seguridad y estabilidad a lo largo del tiempo. Las luces entre columnas alcanzarán una amplitud máxima de 5.5 metros, mientras que la distribución espacial contempla cuatro vanos en la dirección X y otros cuatro en la dirección Y. Respecto a la altura entre pisos, se ha determinado que en la planta baja será de 3 metros, mientras que en los niveles superiores o plantas tipo será de 2.6 metros.

La configuración arquitectónica de las dos edificaciones se mantendrá idéntica, con el fin de identificar parámetros geotécnicos, sísmicos, y estructurales dados por las normativas respectivas.

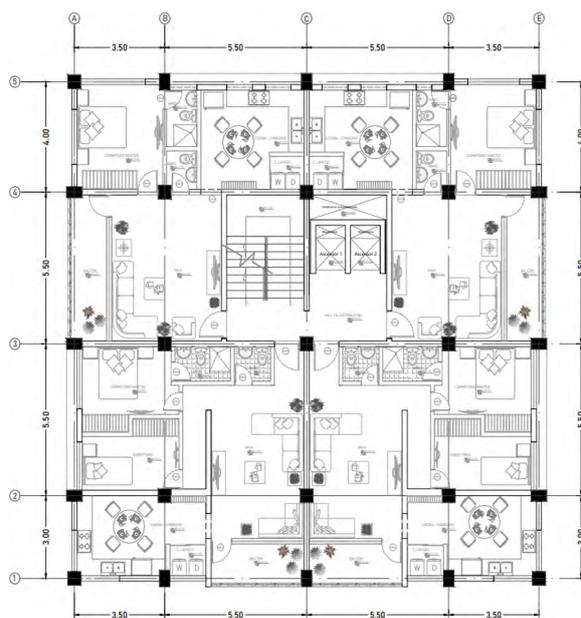


Fig. 1. Vista en planta edificación en estudio



Fig. 2. Vista en elevación edificación en estudio

B. Caracterización sísmica de la zona de estudio

Las edificaciones en estudio serían hipotéticamente construidas en las cercanías de la frontera noroeste entre Ecuador y Colombia, específicamente en la zona norte de la provincia de Esmeraldas y en la zona sur del departamento de Nariño. Se ha realizado una revisión de las características geotécnicas del sector, para obtener información referente al tipo de suelo del sector de implantación.

Esmeraldas se encuentra en la zona 6 (VI), dicha zona corresponde a la zona de mayor sismicidad del país, en donde predominantemente se presenta un perfil de suelo tipo D, el cual será tomado para la implantación de la edificación. [5]

Para Colombia la zona de estudio corresponde al departamento de Nariño, la edificación será ubicada en la frontera suroeste, en las cercanías se encuentra el municipio de Tumaco, donde se realizó un estudio de suelos para la construcción de un pavimento para el campus de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Tumaco [18]. En dicho estudio en su apartado de caracterización sísmica catalogan al suelo en base a la NSR-10 como un suelo tipo D.

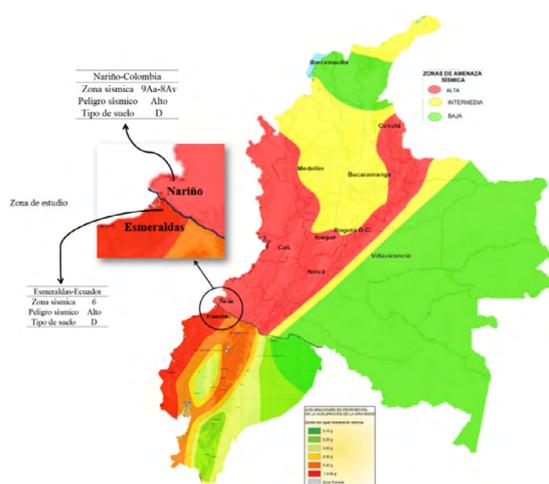


Fig. 3. Zona de estudio

Tabla III  
CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS

Esmeraldas-Ecuador		Nariño - Colombia	
Zona Sísmica	6	Zona Sísmica	9Aa-8Av
Peligro Sísmico	Alto	Peligro Sísmico	Alto
Z	0.5	Aa	0.45
Tipo de Suelo	D	Av	0.4
Fa	1.12	Tipo de Suelo	D
Fd	1.11	Fa	1.05
Fs	1.4	Fv	1.55
η	2.48	Grupo de uso (I)	1
I	1	Ta	0.5882
Ta	0.682	Ro	7
Sa(Ta)	1.3888	φ <sub>a</sub>	1
φ <sub>e</sub>	1	φ <sub>p</sub>	1
φ <sub>p</sub>	1	φ <sub>r</sub>	1
R	8	R	7
$C = \frac{I \cdot Sa(Ta)}{R \cdot \phi_e \cdot \phi_p}$		$C = S_{a \text{ reducido}}(Ta)$	
C	0.1736	C	0.169
k	1.09	k	1.04

Donde:

**Z:** es la aceleración máxima esperada en la roca para el sismo de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad.

**Fa:** es el factor que amplifica la aceleración del suelo en la región de corto período.

**Fd:** es un coeficiente que intensifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de los desplazamientos para el diseño en roca, teniendo en cuenta los efectos del lugar.

**$F_s$ :** es un coeficiente de amplificación del suelo que toma en consideración el comportamiento no lineal del suelo.

**$\eta$ :** es la proporción entre la aceleración espectral  $S_a$  (cuando  $T=0.1$  s) y el PGA para el intervalo de retorno seleccionado.

**$I$ :** factor de Importancia de la edificación.

**$T_a$ :** es el período fundamental de vibración de la estructura.

**$S_a(T_a)$ :** representa el espectro elástico de respuesta de aceleraciones, está expresado como una fracción de la aceleración de la gravedad, para el periodo de la estructura.

**$R$ :** factor de reducción de resistencia sísmica.

**$\mathcal{P}_e = \mathcal{P}_a$ :** factor de regularidad en elevación.

**$\mathcal{P}_p$ :** factor de regularidad en planta.

**$C$ :** coeficiente de cortante basal

**$k$ :** factor de corrección de cortante basal en función del periodo de la estructura.

**$A_a$ :** es un coeficiente que simboliza la aceleración horizontal efectiva máxima, destinada al diseño.

**$A_v$ :** es un coeficiente que simboliza la velocidad horizontal efectiva máxima, destinada al diseño.

**$F_v$ :** es un coeficiente adimensional de amplificación que influye en la aceleración en la zona de períodos intermedios, y está relacionado con los efectos locales.

**$R_0$ :** Coeficiente de disipación de energía básico.

**$\Phi_r$ :** Coeficiente de ausencia de redundancia estructural

En la figura 4, se muestra los espectros de diseño elásticos de aceleraciones para la región de Nariño-Colombia y Esmeraldas-Ecuador, obtenidos con su respectiva normativa, en la que se observa que la

aceleración en territorio ecuatoriano es mayor en un 17% a la aceleración en el territorio colombiano, aunque las dos zonas sean colindantes.

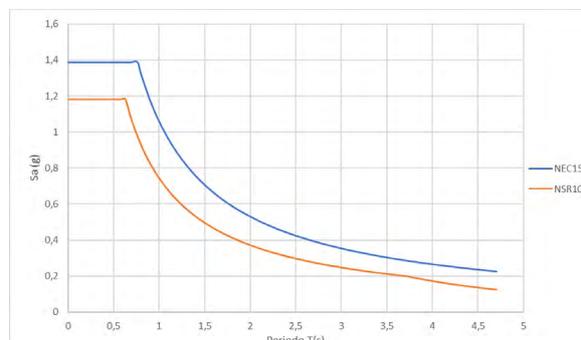


Fig. 4. Espectros elásticos de aceleraciones.

La NEC 15 establece como factor de reducción de resistencia sísmica  $R$  para un sistema de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas un valor de 8; mientras que la NSR-10 considera como coeficiente de disipación de energía básico,  $R_0$ , para un conjunto de pórticos de hormigón resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía, un valor de 7. Con la variación mencionada se obtiene los respectivos espectros de diseño inelásticos, en los cuales en la Figura 5 se observa que la diferencia en la aceleración máxima de Ecuador respecto a la de Colombia es de cerca del 3% superior.

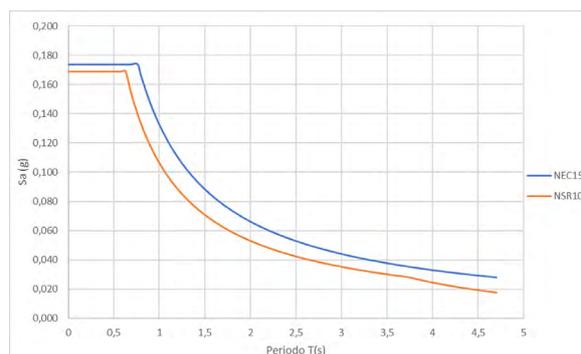


Fig. 5. Espectros inelásticos de aceleraciones.

### C. Materiales de construcción y Prediseño estructural

Para cuantificar la carga muerta adicional al peso propio de la estructura en la edificación, se consideró la contribución de elementos como paredes, revestimientos cerámicos, instalaciones

eléctricas, masillados y enlucidos. Se realizó un análisis de los materiales disponibles en cada zona, evidenciando que, en Ecuador, el valor de la carga muerta es un 20 % superior al registrado en Colombia, debido a las diferencias en la disponibilidad del mampuesto empleado. Asimismo, al considerar las especificaciones establecidas en la NEC-15 y la NSR-10, se identificó una variación en los valores de carga viva, observándose que en Ecuador esta es un 10 % mayor en comparación con Colombia. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla IV.

**Tabla IV**  
**CARGAS DE DISEÑO**

País	Patrón de Carga	Carga Uniforme [kg/m <sup>2</sup> ]
Ecuador	Muerta	395
	Viva	200
Colombia	Muerta	328
	Viva	180

**Fuente:** Adaptado de [20]

Para ambos países, se consideró un hormigón con una resistencia a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup> y un acero de refuerzo con un esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Una vez definidos los materiales, se procedió al prediseño de los elementos estructurales conforme a los lineamientos establecidos en el ACI 318-19, dado que tanto la NSR-10 como la NEC-15 se basan en los criterios técnicos de esta normativa [21].

En la Tabla V se presentan las dimensiones resultantes de los elementos estructurales, evidenciándose que las secciones en Ecuador son mayores que en Colombia. Esta diferencia se atribuye a las variaciones en los valores de carga muerta y carga viva reportadas en la Tabla IV.

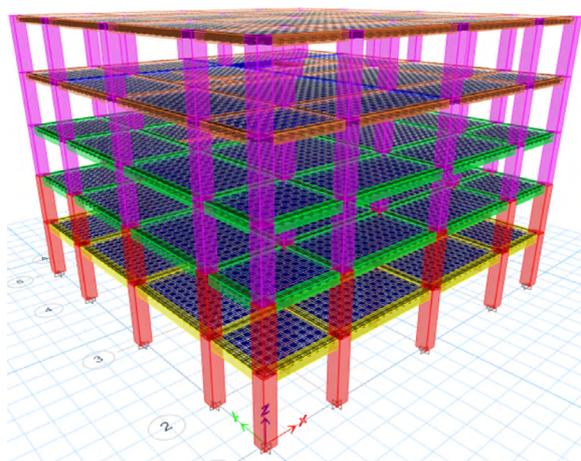
**Tabla V**  
**PREDISEÑO**

País	Elemento	Sección
Ecuador	Vigas	30cm x 35cm
	Columnas	50cm x 50cm
	Losa	Loseta 5cm – Nervios 10x15cm
Colombia	Vigas	25cm x 30cm
	Columnas	45cm x 45cm
	Losa	Loseta 5cm – Nervios 10x15cm

#### D. Modelación Estructural

Una vez definidas las cargas de diseño y las secciones de prediseño, se procedió a realizar la modelación estructural de las 2 edificaciones, bajo las respectivas consideraciones en base a la NEC-15 y NSR-10. El programa computacional para realizar la modelación fue ETABS.

Para obtener las secciones definitivas se verificó el comportamiento estructural ante cargas verticales y sísmicas, control de derivas, y el estado límite de resistencia. Obteniendo en todos los parámetros resultados favorables.



**Fig. 6.** Modelo Computacional Ecuador

La Figura 6 presenta el modelo computacional de la edificación ubicada en Esmeraldas, en el cual se emplea un código de colores para representar las diferentes secciones estructurales utilizadas. Estas secciones se han resumido en la Tabla VI, donde se identifican los elementos estructurales, sus dimensiones y el porcentaje de inercia geométrica asignado como inercia agrietada, junto con su correspondiente color.

**Tabla VI**  
**SECCIONES EDIFICIO ESMERALDAS - ECUADOR**

Elemento	Dimensión (cm)	Inercia Agrietada	Color
Columna	55x55	0.8 Ig	Red
Columna	50x50	0.8 Ig	Magenta
Viga	40x45	0.5 Ig	Yellow
Viga	35x45	0.5 Ig	Green
Viga	30x40	0.5 Ig	Blue
Viga	30x35	0.5 Ig	Olive

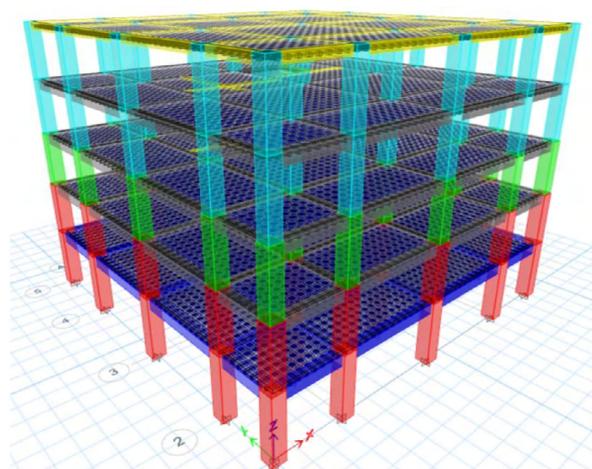


Fig. 7. Modelo Computacional Colombia

La Figura 7 presenta el modelo computacional de la edificación ubicada en Nariño, en el cual se emplea un código de colores para representar las diferentes secciones estructurales utilizadas. Estas secciones se han resumido en la Tabla VII, donde se identifican los elementos estructurales, sus dimensiones y el porcentaje de inercia geométrica asignado como inercia agrietada, junto con su correspondiente color.

**Tabla VII**  
**SECCIONES EDIFICIO NARIÑO - COLOMBIA**

Elemento	Dimensión (cm)	Inercia Agrietada	Color
Columna	65x65	0.7 Ig	Red
Columna	60x60	0.7 Ig	Green
Viga	55x55	0.7 Ig	Cyan
Viga	45x55	0.35 Ig	Blue
Viga	45x50	0.35 Ig	Grey
Viga	30x40	0.35 Ig	Yellow

#### D. Diseño de elementos estructurales

Dentro del diseño de los elementos estructurales se utilizó la metodología dada por el ACI-318-19, esto debido a que las 2 normas evaluadas basan su diseño en el documento dado por el ACI desde sus inicios.

-Las vigas fueron diseñadas a flexión y corte por capacidad [22].

-Las columnas fueron diseñadas a flexo-compresión, corte por capacidad y confinamiento [23].

-Finalmente la losa fue diseñada aplicando el método del nervio continuo, considerando flexión y corte.

## IV. Comparación/Resultados

### A. Comparación espectros de diseño

La Figura 8 presenta la comparación de los espectros elásticos e inelásticos de aceleraciones para ambos países, de acuerdo con sus respectivas normativas.

El análisis de los espectros elásticos de aceleraciones según ambas normativas evidenció que, para la zona de estudio (Esmeraldas-Nariño), la NEC-15 plantea un espectro más conservador en comparación con la NSR-10, con diferencias promedio de 0.2g en períodos cortos y 0.15g en períodos largos. Además, se observó que el período corto en el espectro de Colombia es 0.13 segundos menor que el correspondiente en Ecuador. Adicionalmente, la NSR-10 introduce una región de mayor decrecimiento de aceleraciones para períodos superiores al período largo [24].

En cuanto al análisis comparativo de los espectros inelásticos de aceleraciones, se evidencia que la diferencia significativa de aceleraciones presente en los espectros elásticos desaparece. Este comportamiento se atribuye a los factores de reducción sísmica, cuyo valor es 8 en Ecuador y 7 en Colombia. Esta diferencia de una unidad provoca que el espectro inelástico de Ecuador se reduzca en mayor proporción que el de Colombia, resultando en diferencias promedio de 0.007g para períodos cortos y 0.01g para períodos largos. Dichas diferencias pueden considerarse despreciables para fines de modelado y diseño estructural.

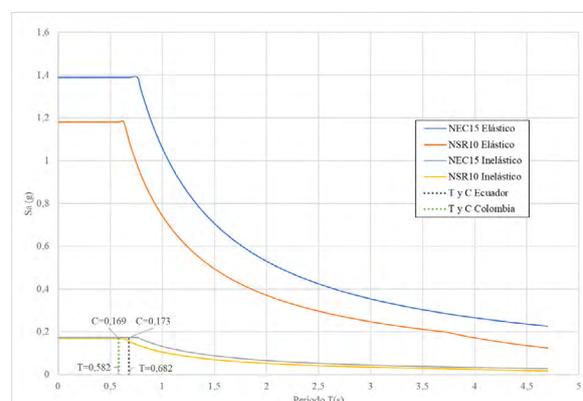


Fig. 8. Comparación de Espectros de diseño

*B. Comparaciones de diseño y modelación*

En las etapas iniciales del modelado estructural, fue necesario definir parámetros fundamentales como el módulo de elasticidad del hormigón y del acero. La única diferencia entre la NSR-10 y la NEC-15 en este aspecto radica en el método de cálculo del módulo de elasticidad del hormigón [25]. Como se muestra en la Tabla VIII, el módulo de elasticidad determinado según la NSR-10 es aproximadamente un 20 % mayor que el obtenido con la NEC-15 para Ecuador.

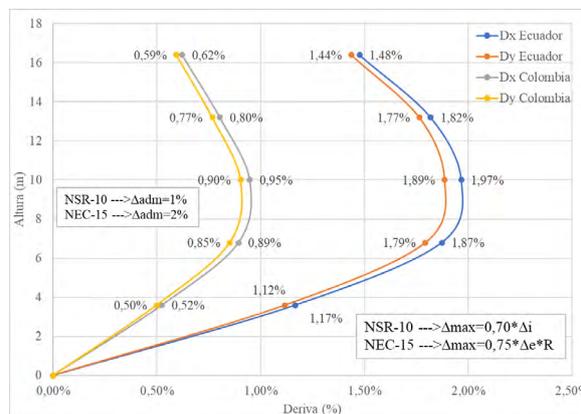
**Tabla VIII**  
**COMPARACIÓN DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN**

Norma	Módulo de Elasticidad del Hormigón	Unidades de Ecuación	Ec [Kg/cm <sup>2</sup> ]
NEC-15	$E_c = 12500 \cdot \sqrt{f'c}$	$\frac{Kg}{cm^3}$	209165.01
NSR-10	$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'c}$	MPa	251146.63

El control de derivas para la edificación ubicada en Nariño se llevó a cabo utilizando el enfoque de sismo dinámico sin reducción, es decir, se consideró el espectro elástico de aceleraciones. Se aplicó el procedimiento descrito en el capítulo A.6.4 de la NSR-10, que permite reducir la deriva máxima al 70%. Es importante destacar que esta nueva deriva máxima resultante debe ser menor que la deriva máxima admisible, la cual, según la NSR-10 colombiana, es del 1%. Este enfoque garantiza un control riguroso de las derivas estructurales, asegurando así la integridad y seguridad de la edificación frente a eventos sísmicos en la región de Nariño.

El control de derivas para la edificación ubicada en Esmeraldas se realizó considerando el sismo dinámico, es decir, se consideró el espectro inelástico de aceleraciones, y utilizando la información proporcionada en el capítulo 6.3.9 de la NEC-15; donde estipula que se puede reducir la deriva al 75% de la obtenida por el sismo reducido, pero esta deriva debe ser multiplicada el factor de reducción R, para poder obtener la deriva máxima de la edificación. Esta deriva máxima obtenida debe ser menor a la deriva máxima admisible, que según la NEC-15 es del 2%.

La Figura 9 resume la diferencia significativa entre las derivas admisibles propuestas por ambas normativas, siendo la NSR-10 más conservadora, con un límite del 1%, mientras que la NEC-15 permite una deriva de hasta el 2%.



**Fig. 9. Comparativa derivas**

En la Tabla IX se muestra que el coeficiente de cortante basal obtenido por ambas normativas es similar, lo cual se atribuye a la semejanza entre los espectros inelásticos de aceleraciones. Por otro lado, el peso de la edificación en Colombia es superior debido a la presencia de secciones más grandes, lo que genera un aumento en el cortante basal de 13.8 toneladas en comparación con la edificación de Ecuador, lo que representa únicamente un 5.3%.

**Tabla IX**  
**COMPARACIÓN DE CORTANTE BASAL**

País	Coefficiente de Cortante	Peso de Edificación [T.]	Cortante Basal [T.]
Ecuador	17.36%	1487.49	258.23
Colombia	16.90%	1609.61	272.03

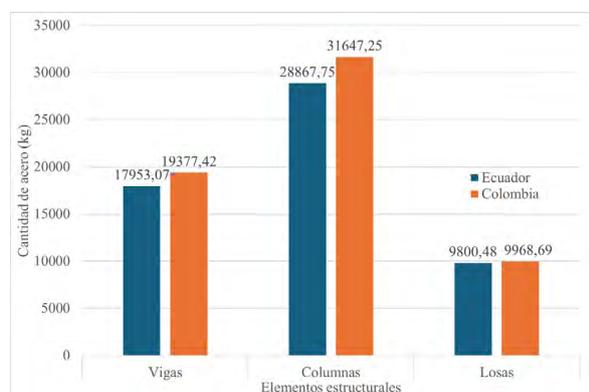
En la Tabla X se presentan los cálculos y la comprobación de los períodos. Se observa que los períodos de la edificación en Colombia son menores que los de la edificación en Ecuador, lo cual se debe principalmente a que la edificación colombiana presenta una mayor rigidez debido a la presencia de secciones más robustas. Además, la NSR-10 establece una tolerancia máxima del 10% en la comparación entre el período calculado y el obtenido del modelo computacional, mientras que la NEC-15 permite una tolerancia del 30% en dicha comparación.

**Tabla X**  
**COMPARACIÓN PERIODO EDIFICACIONES**

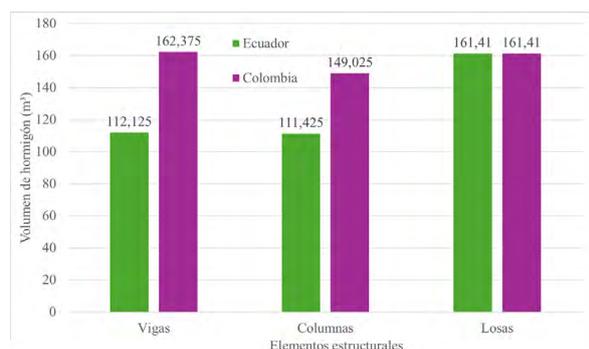
Norma	Tolerancia	Periodo Calculado [s.]	Periodo con Tolerancia [s.]	Periodo Modelo [s.]
NEC-15	± 30%	0.682	0.886	0.829
NSR-10	± 10%	0.582	0.641	0.641

**C. Comparación de cantidades de obra**

Dentro de la comparativa de cantidades de obra, se observa que la edificación de Colombia necesita mayor cantidad acero y hormigón que la de Ecuador, aproximadamente se necesita un 22.8% más de hormigón y un 7.8% más de acero en Colombia con relación a Ecuador.



**Fig. 10. Comparativa cantidad de acero de refuerzo**

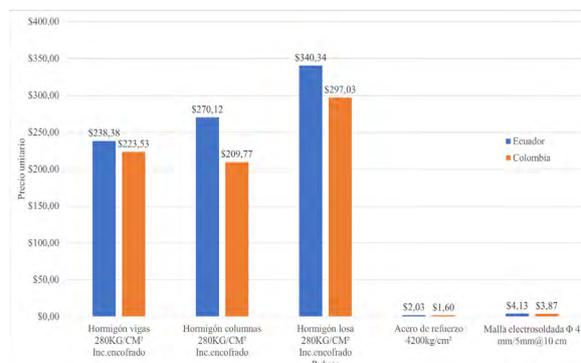


**Fig. 11. Comparativa volumen de hormigón**

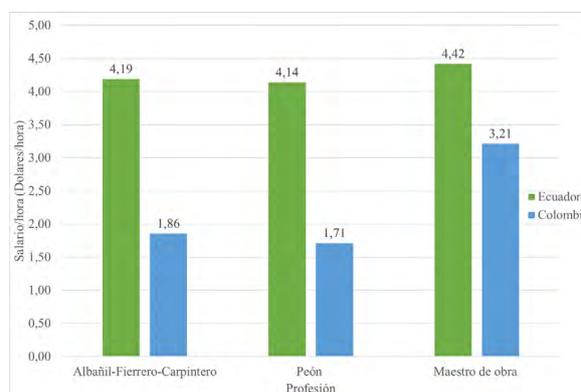
**D. Comparación precios unitarios y presupuestos**

La diferencia en los precios unitarios de los rubros se debe principalmente al costo de la mano de obra, la cual es demasiado baja en Colombia, siendo un 88% más cara la mano de obra en Ecuador con relación a Colombia [26]. Por otro lado, en la comparación de costo de materiales no

se encuentra una diferencia tan significativa como la de mano de obra, tan solo es un 1.3% más caro los materiales en Ecuador respecto a Colombia [27].



**Fig. 12. Comparativa APUS**



**Fig. 13. Comparativa salarial**

Finalmente se presenta la comparativa entre los 2 presupuestos, donde el presupuesto de Ecuador supera al de Colombia con \$12.437,73.



**Fig. 14. Comparativa presupuestos**

**► V. Conclusiones**

Claramente, la normativa colombiana NSR-10 adopta enfoques más conservadores en comparación con la norma ecuatoriana NEC-15. Evidentemente el peligro sísmico no reconoce fronteras geográficas, y es evidente que, durante

un evento sísmico, las estructuras cercanas experimentarán fuerzas horizontales similares. La efectividad de cada normativa se verá reflejada en el nivel de daño observado en estas edificaciones vecinas. Por lo tanto, es crucial adoptar un enfoque regional en el diseño sismo-resistente, con el fin de garantizar la seguridad y la resistencia adecuadas de las estructuras frente a eventos sísmicos en la región.

Para la zona específica de estudio Esmeraldas-Nariño, se puede trabajar tanto con el espectro inelástico de Colombia o Ecuador, dado que la diferencia entre estos es insignificante, teniendo en cuenta el factor de reducción sísmica, el cual responde a factores de ductilidad de la edificación.

Aunque la NEC15 y la NSR10 adopten procesos diferentes para el cálculo de la deriva máxima, las derivas máximas calculadas son teóricamente compatibles, ya que, la NSR toma el desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño del espectro elástico y la reduce en un 70%; mientras que la NEC-15 toma el desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño del espectro inelástico, las multiplica por el factor de reducción de Resistencia R, y luego la reduce en un 75%. A partir de ahí es apreciable que la NSR-10 admite una deriva máxima de 1% mientras que la NEC-15 una del 2%.

**Tabla XI**  
**COMPARACIÓN DERIVAS MÁXIMAS**

	Ecuador NEC-15	Colombia NSR-10
Deriva Admisible	2%	1%
Deriva Máxima	$\Delta_M \cdot 0.75 \cdot R$ $\Delta \cong \Delta_M \cdot R$	$0.70 \cdot \Delta$

$\Delta_M$  = desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas (espectro inelástico).

$\Delta$  = desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño NO reducidas (espectro elástico).

La NSR-10 adopta un enfoque más cauteloso y conservador en la evaluación y diseño de estructuras sísmicamente resistentes en comparación con la NEC-15. Esto se traduce

en medidas más rigurosas en aspectos como las derivas admisibles, las inercias agrietadas y la tolerancia en periodos, con el objetivo de mejorar la seguridad y la capacidad de resistencia de las construcciones.

La carga muerta calculada en Ecuador supera a la de Colombia en 66.67 kg. Este incremento se atribuye principalmente al método de cálculo de la carga muerta de las paredes. En Ecuador, fue necesario realizar un análisis detallado de la carga de estas estructuras, mientras que la Norma NSR-10 proporciona información generalizada sobre el peso de los principales elementos contribuyentes a la carga muerta, como son las paredes. Este hallazgo destaca la importancia de considerar las especificidades de cada contexto normativo para una evaluación precisa de las cargas y, por ende, para el diseño estructural adecuado en cada país.

El espectro elástico de aceleraciones para la zona Esmeraldas-Nariño, obtenido por la NEC-15 es más crítico que el calculado por la NSR-10, esto se debe principalmente a que la NSR-10 tiene mayor diversificación de zonas sísmicas, a diferencia de la NEC-15, la cual generaliza todo el territorio ecuatoriano en tan solo 6 zonas sísmicas.

Con relación a los presupuestos, el bajo costo de la mano de obra en Colombia reduce considerablemente los costos de construcción, lo que genera que el presupuesto de Colombia sea menor que el de Ecuador, teniendo en cuenta que las cantidades de obra de Colombia son mayores. El presupuesto de Ecuador es más caro por \$12.437,73, acotando que los presupuestos elaborados son únicamente de elementos estructurales, esta diferencia podría aumentar o reducirse al considerar rubros de albañilería, instalaciones y acabados.

Es crucial reconocer la importancia de mantener actualizadas las normas de construcción. Tanto la NSR-10, en vigencia desde hace 14 años, como la NEC-15, que lleva cerca de 10 años en aplicación, corren el riesgo de volverse precarias con el tiempo. Los avances constantes en materiales, técnicas de construcción y conocimientos estructurales demandan una actualización periódica de estas

normativas para garantizar que reflejen los últimos desarrollos y descubrimientos en la ingeniería civil. Comparativamente, el ACI-318, un referente en normas de diseño y construcción de estructuras de hormigón experimentó su última actualización en 2019. Por lo tanto, es imperativo que los organismos encargados de la regulación y desarrollo de las normativas de construcción, en conjunto con expertos y profesionales del sector, trabajen activamente en la revisión y actualización regular de las normas existentes. Esto permitirá abordar los desafíos emergentes y garantizar que las estructuras construidas cumplan con los más altos estándares de seguridad, eficiencia y sostenibilidad en un entorno en constante evolución, no solo a nivel local, sino ampliarlo a un ámbito regional.

## » VII. Referencias

- [1] Instituto Geofísico Ecuador, «Sismos Ecuador,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/>.
- [2] J. Quinatoa, «Evolución histórica de las normativas de diseño sismo resistente en América Latina. Casos de estudio: Colombia, Ecuador, Perú y Chile,» 4 Mayo 2022. [En línea]. Available: <http://dSPACE.unach.edu.ec/bitstream/51000/9160/1/>.
- [3] M. Y. H. G. C. y. C. L. H. Ruiz, «Análisis de la sismicidad en la provincia de Tungurahua (Ecuador) en el periodo 2010-2017.,» Revista Geográfica, vol. 84(2), pp. 173-188, 2018.
- [4] E. P. R. y. A. A. Segura, «Análisis de la sismicidad histórica de la ciudad de Riobamba-Ecuador.,» Geográfica Digital, vol. 4(11), pp. 41-55, 2013.
- [5] C. A. P. P. M. y. C. A. A. Molina, «Análisis de la sismicidad en la región costera del Ecuador.,» Revista Ciencia UNEMI, vol. 7(14), pp. 85-92., 2014.
- [6] A. C. J. y. G. E. Alvarado, «Análisis de la sismicidad histórica en la región norte de Ecuador y su relación con el evento del 16 de abril de 2016,» Revista Cubana de Geografía, vol. 40(1), pp. 141-154., 2015.
- [7] D. O. M. J. y. S. J. Pino, «Análisis de la sismicidad en la provincia de Esmeraldas y su relación con la subducción de la placa de Nazca,» Revista Geográfica de América Central, vol. (62E), pp. 231-243., 2018.
- [8] NEC-SE-DS, «Norma ecuatoriana de la construcción-Peligro Sísmico-Diseño Sismo Resistente,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>.
- [9] IDIGER, «Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.idiger.gov.co/>.
- [10] J. C. a. D.-M. M. J. Villegas-Lanza, «Analysis of the seismicity and the risk of seismic damage in Colombia,» Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, pp. 84-93, 2017.
- [11] J. C. a. T. C. R. Cepeda, «Análisis de la actividad sísmica reciente en Colombia,» Boletín de Geología, vol. 33(2), pp. 135-145, 2011.
- [12] A. C. d. I. S. AIS, «Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10,» Marzo 2010. [En línea]. Available: <https://www.andi.com.co/>.
- [13] H. a. O. J. I. Mora-Páez, «Modelo de amenaza sísmica de Colombia para microzonificación sísmica,» Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes, vol. (38), pp. 11-26, 2013.
- [14] M. L. D. C. a. V. J. Carreño, «Historical Seismicity and Seismic Hazard Assessment in Colombia,» In Advances in the Understanding of Earthquake Hazards in South America, pp. 23-47, 2015.
- [15] C. A. P. p. e. R. d. C. S. resistentes, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.
- [16] H. a. O. J. I. Mora-Páez, «Modelo de Amenaza Sísmica Probabilista de Colombia,» Revista Colombiana de Geotecnia, vol. (15), pp. 1-22., 2012.
- [17] E. a. L. A. Poveda, «Spatial distribution of intense seismic activity in Colombia,» Ingeniería e Investigación, vol. 23 (1), pp. 29-38., 2003.
- [18] UNAL, «Estudio de suelos y diseño de las estructuras de pavimento nuevo campus sede Tumaco,» 13 Junio 2014. [En línea]. Available: <http://contratacion.unal.edu.co/nal/2016/>.
- [19] UNAL, «Estudio de Suelos y Diseño de las estructuras de pavimento nuevo campus Sede Tumaco,» UNAL, Tumaco, 2014.
- [20] Homecenter, «Materiales de Construcción,»

- Colombia.
- [21] A. 318, Requisitos de reglamento para Concreto Estructural, Estados Unidos, 2019.
  - [22] M. B. Correa, «Diseño de Vigas de Hormigón Armado,» EPN, Quito, 2020.
  - [23] D. Sosa, «Diseño de Proyectos Estructurales,» EPN, Quito, 2023.
  - [24] S. Institute, «Ingeniería estructural,» 2021.
  - [25] H. X. A. Cabrera, «Módulo de Elasticidad de peso normal empleados en el Ecuador,» EPN, Quito, 2014.
  - [26] CAMICON, «Salarios mínimos por ley 2024,» Contraloría, Quito, 2024.
  - [27] Talent, «Salario en Colombia 2024,» Colombia, 2024.