

Probabilistic evaluation of the seismic vulnerability of the buildings of the Los Ángeles campus of the State University of the South of Manabí

Evaluación probabilística de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del campus los ángeles de la Universidad Estatal del sur de Manabí

Autores:

Ing. Ponce-Regalado, Douglas Stalin
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Egresado Maestría en Ingeniería Civil, Mención Estructuras
Portoviejo – Ecuador



dponce7598@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-9496-5721>

Ing. Villavicencio-Cedeño, Erik Gabriel, Mg. Sc
UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABI
Docente, Facultad de Ciencias Técnicas – Carrera de Ingeniería Civil
Jipijapa - Ecuador



erik.villavicencio@unesum.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-1887-5599>

Fechas de recepción: 25-JUN-2024 aceptación: 07-JUL-2024 publicación: 15-SEP-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del campus los Ángeles de la Universidad Estatal del sur de Manabí, considerando las variables estructurales y la acción sísmica de la localidad.

La metodología empleada es la propuesta por Benedetti y Petrini para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica destacando la aleatoriedad de las variables relacionadas con materiales, geometría, dimensiones de las secciones, resistencia convencional y su estado de conservación.

La curva de capacidad para el Edificio de Economía presenta un mayor cortante de fluencia relativo que la Edificación del Bloque de Forestal. Sin embargo, la ductilidad de los modelos varia, con valores mínimos que confirma el limitado comportamiento dúctil de las edificaciones.

La falta de ductilidad se atribuye a la discontinuidad vertical de las columnas del edificio de economía, afectando la rigidez del nudo e inercia de la sección provocando fallas. En relación al desempeño sísmico, la edificación de Forestal en el sentido X-X cumple con los límites de desempeño establecidos. Para sismos raro ($T_r=475$ años), presenta un comportamiento de ocupación inmediata con desplazamientos y aceleraciones dentro del rango elástico, en sismos muy raro ($T_r=2500$ años), se registra un desplazamiento ligeramente inelástico.

Las 7 edificaciones académicas se encontraron que el 100% de las edificaciones están en vulnerabilidad medianamente segura. Además, teniendo en cuenta el índice de vulnerabilidad y una aceleración horizontal del terreno de 0,40 g, se calcularon que seguirían en pie con algún daño estructural.

Palabras clave: Vulnerabilidad; Probabilidad; Sismo; Reparación; Aceleración.



Abstract

The objective of this research work is to evaluate the seismic vulnerability of the buildings on the Los Ángeles campus of the Southern State University of Manabí, considering the structural variables and the seismic action of the locality.

The methodology used is the one proposed by Benedetti and Petrini to determine the seismic vulnerability index, highlighting the randomness of the variables related to materials, geometry, dimensions of the sections, conventional resistance and their state of conservation.

The capacity curve for the Economy Building presents a greater relative yield shear than the Forestry Block Building. However, the ductility of the models varies, with minimum values that confirm the limited ductile behavior of the buildings.

The lack of ductility is attributed to the vertical discontinuity of the columns of the economy building, affecting the rigidity of the node and inertia of the section, causing failures. In relation to seismic performance, the Forestal building in the X-X sense complies with the established performance limits. For rare earthquakes ($T_r=475$ years), it presents an immediate occupation behavior with displacements and accelerations within the elastic range, in very rare earthquakes ($T_r=2500$ years), a slightly inelastic displacement is recorded.

The 7 academic buildings found that 100% of the buildings are in moderately safe vulnerability. Furthermore, taking into account the vulnerability index and a horizontal ground acceleration of 0.40 g, it was calculated that they would still stand with some structural damage.

Keywords: Vulnerability; Probability; Earthquake; Repair; Acceleration.



Introducción

Los estudios de evaluación probabilística de la vulnerabilidad sísmica analizan varias variables tanto las características estructurales como la acción sísmica y más aún en un comportamiento no lineal. “En lo concerniente a la estructura, son aleatorias las variables relacionadas con las particularidades de los materiales, la geometría y la dimensión de las secciones, entre otras” (...) (Vargas et al., 2013).

Como lo menciona Carlos Valdés, 2017 (...) “La naturaleza no tiene palabra”, esto nos manifiesta que la naturaleza no se expresa a través del lenguaje humano, más bien implica que los fenómenos naturales, no se expresan con palabras, sino a través de su propia existencia y de manera directa, aunque aún no es predecible, los desastres se pueden prevenir y/o mitigar. (Guardiola-Víllora & Basset-Salom, 2015).

Por otra parte, preexisten en la actualidad estructuras en zonas sísmicas que no fueron diseñadas para resistir acciones dinámicas horizontales y, por tanto, fueron construidas sin seguir los requerimientos de una normativa de diseño sismorresistente e incluso, muchas veces, sin control de los materiales. En el desarrollo de otras estructuras se utilizaron normas que no cumplen criterios de diseño que hoy son generalmente aceptados. (Pinzón et al., 2021). Por todo esto mencionado, las variables asociadas a la estructura y a su respuesta conllevan a tener incertidumbres significativas. Cabe mencionar, que no debe olvidarse, si se proyecta una estructura inclusive con las normativas actuales más modernas y se efectúan controles de proyecto, de materiales y de obra, tendrán que considerarse a la par las incertidumbres en el proceso de evaluación de su vulnerabilidad.(Santiaguino, 2018).

Cabe mencionar que “Esta fuerza dinámica provocara deformaciones elásticas en el área de contacto. Con el tiempo, la deformación elástica se ira acumulado lentamente en el tiempo hasta que los esfuerzos generados superen la rigidez de la zona de contacto y provoque su ruptura y por ende generando ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. Este proceso dinámico que se repite en el espacio y en el tiempo a escala de décadas o siglos, se denomina ciclo sísmico caracterizado por tres fases: intersísmica (acumulación de energía),



cosísmica (liberación de energía) y postsísmica (recuperación del equilibrio)” (...) (Toribio & Ambiental, 2023).

En las normas de diseño sismorresistente, las acciones se suelen aumentar mediante coeficientes que tratan de discurrir, de una manera contigua, el efecto de dichas incertidumbres y acrecentar así la seguridad del proyecto. Sin embargo, la cuestión sísmica es muy especial, ya que la incertidumbre de la acción es mucho mayor que la esperada en las acciones estáticas.(Kim et al., 2021)

Esta fuente de aleatoriedad es, generalmente, la más importante de todas, porque todos los parámetros que representan la señal sísmica, como la aceleración máxima del suelo peak ground acceleration (PGA), el contenido de frecuencia de la curva de aceleración y la duración de la actividad, son aleatorios. Partiendo de los espectros de respuesta elástica correspondientes a la aceleración sísmica del dominio, los estándares de intentan proteger esta aleatoriedad expresando curvas suavizadas que representan los espectros de aceleración de la zona.

En este análisis se utilizó el método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1984), que identifica los parámetros constructivos más importantes provocados por el efecto sísmico. Este método considera parámetros de configuración en planta y elevación, tipo de cimentación, materiales, elementos estructurales y no estructurales, conservación del edificio, con un total de 11 parámetros. Por otra parte, se evaluó el comportamiento no lineal estático mediante la aplicación del método de PushOver.

El objetivo del estudio es evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del campus Los Ángeles de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. El análisis tiene en cuenta la aleatoriedad de las variables que describen el problema, lo que requiere el uso de técnicas avanzadas y el análisis dinámico no lineal de estructuras. Cabe señalar que cuando la estructura funciona en un sistema no lineal y en su análisis se incluyen las incertidumbres de sus características, la variabilidad de su respuesta es mucho mayor que cuando el sistema es lineal, evaluando la vulnerabilidad de la estructura ante las incertidumbres tanto en las



propiedades mecánicas de los materiales como el efecto sísmico, y en su tratamiento como cantidades aleatorias. Se utiliza técnica basada en el espectro de capacidad.

La zona de estudio se ubica en el Cantón Jipijapa, Provincia de Manabí y según a los antecedentes históricos corresponde a una zona de alta sismicidad con un PGA $T_r=475$ años y una aceleración pico de 0.40g según (Geofísico, 2021), y que en el año 2016 se vieron afectadas varias edificaciones. (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016)

Esta investigación promueve la prevención basada en el índice de vulnerabilidad sísmica, convirtiéndose así en una herramienta de gestión para las autoridades de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Material y métodos

Descripción y muestra de la zona de estudio.

El Campus Los Ángeles de la Universidad Estatal del sur de Manabí, se encuentra ubicada en la Av. Universitaria, en el Cantón Jipijapa, está conformado por la Facultad de Ciencias Técnicas, Facultad de Ciencias Ambientales, Laboratorio Clínico, en la figura 1 se muestra las edificaciones. Todo esto están comprendidas dentro de la zona VI de acuerdo con el mapa de peligro sísmico.

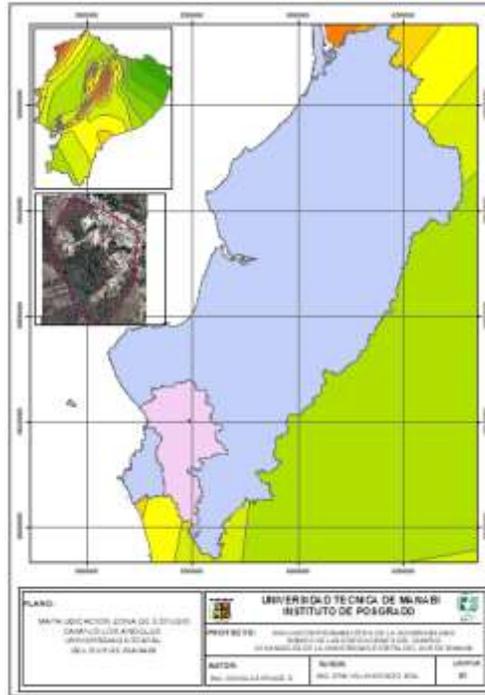
Toma de datos

Una vez identificado la zona de estudio y definido el polígono del Campus los Ángeles tal como se identifica en la investigación de (Hernandez & Santos, 2018), se contabilizaron 25 edificaciones tanto administrativos como académicos de diferentes tipologías estructurales. Mediante criterios de selección, se consideró tomar una muestra estratificada. (Hernández et al., 2013).

La cartografía de la zona urbana del campus Los Ángeles fue elaborado teniendo en cuenta el Plano Catastral, el levantamiento de datos con GPS e imágenes satelitales de Google Earth en coordenadas UTM, Zona 17 Sur del esferoide internacional, los cuales fueron homogenizados al datum WGS 84. (Yunita et al., 2018).



Figura 1
 Ubicación del Campus Los Ángeles-UNESUM



Fuente: Datos tomados de IGEPN procesado Arcgis, (Douglas Ponce, 2024)

Se realizó un muestreo de todas las edificaciones del Campus los Ángeles para lo cual se evaluó un total de 7 edificaciones académicas con sistema porticado de hormigón armado misma se describe en la siguiente tabla.

Tabla 1
 Edificios Analizados Campus Los Ángeles

Nº	Edificación	Numero de Piso	Sistema estructural	Área total (m ²)
1	Carrera de Ingeniería Civil	2		576
2	Economía	4	Pórtico resistente a momento	1152
3	Forestal Bloque B	4		1152
4	Forestal Bloque A	4		1152
5	Agropecuaria Bloque B	2		576
6	Agropecuaria Bloque A	4		1152
7	Laboratorio Clínico	2		576

Fuente: Datos tomados In Situ UNESUM, (Douglas Ponce, 2024)

Se realizaron pruebas no destructivas como ensayo de esclerometría y scanner para complementar la metodología aplicada. A partir de esta información, se realizó un modelo matemático de las edificaciones mediante el programa computacional ETABS V21.10 y así se estimó el periodo fundamental de vibración. Además, estos análisis permiten conocer y evaluar la influencia e importancia de cada componente en el comportamiento de la estructura.(Zambrana Areas, 2019).

El método utilizado en el estudio se derivó del enfoque italiano, donde algunos elementos de la metodología original fueron modificados a la realidad particular de la zona de evaluada. El método radica en aplicar una ficha de evaluación que contiene 11 parámetros, cada uno de los cuales evalúa una propiedad estructural, y se consideraron aspectos como las irregularidades en altura y planta, sistema constructivo, estado de los materiales, entre otros. (Vargas et al., 2013)

La metodología italiana consta de 11 parámetros a evaluar en tres diferentes tipos: A, B y C, cuyos valores se eligen según la vulnerabilidad, es importante saber que los valores pueden no clasificarse como categoría A, B o C, sino que deben tener valores intermedios, es decir, entre A y B o, a su vez, entre B y C (Villalba & Guaygua, 2020). Además, el valor de cada parámetro se ve afectado por el peso, cuyos valores que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2
Vulnerabilidad para concreto armado

Parámetros	Ki			Wi
	A	B	C	
1. Organización del sistema resistente	0	6	12	1.00
2. Calidad del sistema resistente	0	6	12	0.50
3. Resistencia convencional	0	11	22	1.00
4. Posición del edificio y cimentación	0	2	4	0.50
5. Diafragmas horizontales	0	3	6	1.00
6. Configuración en planta	0	3	6	0.50
7. Configuración en elevación	0	3	6	1.00
8. Distancia máxima entre muros	0	3	6	0.75
9. Elementos de baja ductilidad	0	3	6	1.00
10. Elementos no estructurales	0	4	10	0.25
11. Estado de conservación	0	10	20	1.00

Fuente: (Villalba & Guaygua, 2020)



El primer parámetro, se comprueba si la edificación ha sido realizada correctamente bajo la supervisión profesional verificando la unión entre paredes perpendiculares para asegurar un comportamiento adecuado.

El segundo parámetro evalúa el estado de los muros que soportan las cargas, incluyendo el material utilizado y la calidad del mortero en juntas (mampostería).

El tercer parámetro se centra en la resistencia del sistema de muros en ambas direcciones posibles (mampostería) y de los elementos estructurales (concreto armado).

El cuarto parámetro, se analiza la situación del terreno en la cual se ha construido, considerando factores como la presencia de humedad, sales, desniveles y pendientes, así como la capacidad de carga admisible del suelo.

El quinto parámetro evalúa si la edificación cuenta con diafragma rígido (losa aligerada o maciza) y si este está correctamente conectado con las columnas y vigas.

El sexto parámetro verifica la geometría en planta de las estructuras señalando que las formas rectangulares o cuadradas son las más adecuadas esto puede lograrse con una relación largo-ancho.

En el séptimo parámetro, se comprueba la regularidad en altura, asegurando que no haya una masa abundante en los pisos superiores y con poca masa en el piso inferior.

El octavo parámetro indica vulnerabilidad sísmica si los muros están ampliamente espaciados.

El noveno parámetro considera la estabilidad y conexión de la cubierta ya sea de fibrocemento, madera, metal o plástico.

En el décimo parámetro, se revisa que las cornisas, parapetos, tanques elevados tengan una conexión adecuada.

El undécimo parámetro evalúa las condiciones actuales de la estructura en función a su antigüedad y la eficiencia del proceso constructivo.

En consecuencia, se establece un Índice de Vulnerabilidad (IV) como se denota en la Ecuación (1). Teniendo índices de entre 0 a 90. Se considera menos vulnerable cuando el índice tiende a cero y más vulnerable conforme el índice aumenta.

$$IV = \sum_{k=1}^{11} K_i * W_i \quad \text{Ecuación 1}$$



El índice de vulnerabilidad “IV” permite clasificar a las estructuras, en función de la susceptibilidad de estas ante terremotos, en tres distinciones dividiendo en tercios desde el valor 0, que indica una estructura con ningún tipo de deficiencia y óptimo comportamiento estructural, hasta el valor 90 que caracterizaría a una estructura clase C con la peor calificación en todos sus componentes, es decir, una estructura completamente deficiente.

Tabla 3
 Criterios para clasificar la estructura en función del Índice de Vulnerabilidad

N°	H (m)	T (seg)	H/T
1	6.6	0.42	15.640
2	13	0.97	13.472
3	6.6	0.37	17.742
4	13	0.99	13.131
5	9.8	0.70	13.940
6	9.8	0.70	13.940
7	10	0.72	13.986

Fuente: . (Aguar & Bolaños, 2006)

Resultados

Acorde al análisis del índice de vulnerabilidad de un total de 25 edificaciones del campus los Ángeles de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, se evaluaron 7 edificaciones de una muestra estratigráfica que representa un 28.00%, teniendo los siguientes índices de vulnerabilidad.

Figura 2
 Edificaciones Campus Los Ángeles -UNESUM



Fuente: Datos tomados Campus los Ángeles procesado Arcgis, (Douglas Ponce, 2024)

Para una interpretación de los datos que se ingresan en la ficha se indica el del bloque de Economía y el de Forestal Bloque a.

Figura 3
Formulario de vulnerabilidad

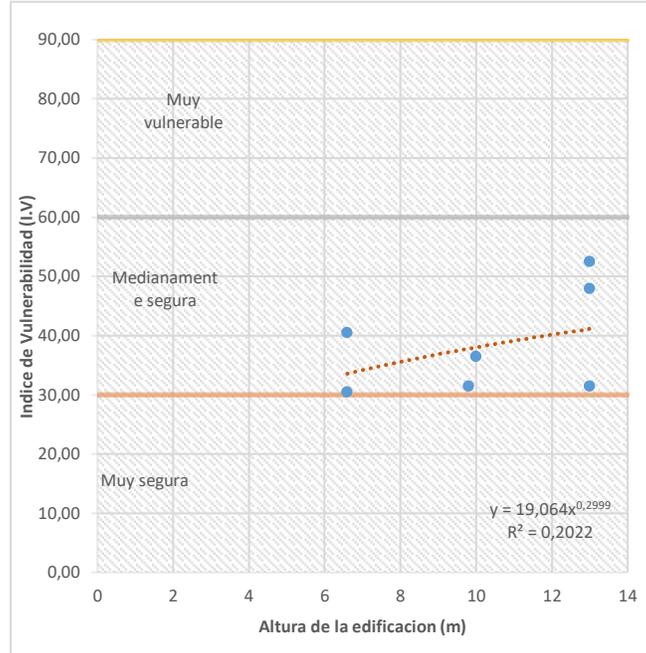
The figure shows two identical forms for vulnerability assessment, one for 'Economía' (left) and one for 'Forestal Bloque a' (right). Each form is divided into two main sections: 'ELEMENTOS DE EVALUACION' and 'ESQUEMA - REGISTRO'. The forms include 11 parameters to be evaluated, such as 'Tipo y configuración de sistema estructural', 'Calidad de la construcción', 'Resistencia estructural', 'Posición del edificio y cimentación', 'Distintos horizontales', 'Configuración en planta', 'Configuración en elevación', 'Distintos niveles entre pisos', 'Tipo de columna', 'Elementos no estructurales', and 'Estado de conservación'. Each parameter has a 'Clase' (Class) and a 'Valor' (Value) field. The forms also include various tables and graphs for data entry and calculation, such as 'Resistencia estructural' and 'Configuración en planta'.

Fuente: (Douglas Ponce, 2024)
EVALUACIONES PRE-EVENTO

Se denota que las edificaciones análisis presentan una vulnerabilidad medianamente segura, teniendo que para la edificación de Forestal Bloque A es mayormente afectado con un I.V de 52.50, seguido del bloque de Economía con un I.V de 48.00.

Figura 4
Relación índice de vulnerabilidad y la altura de la edificación





Fuente: (Douglas Ponce, 2024)

Relación H/T de las edificaciones analizadas.

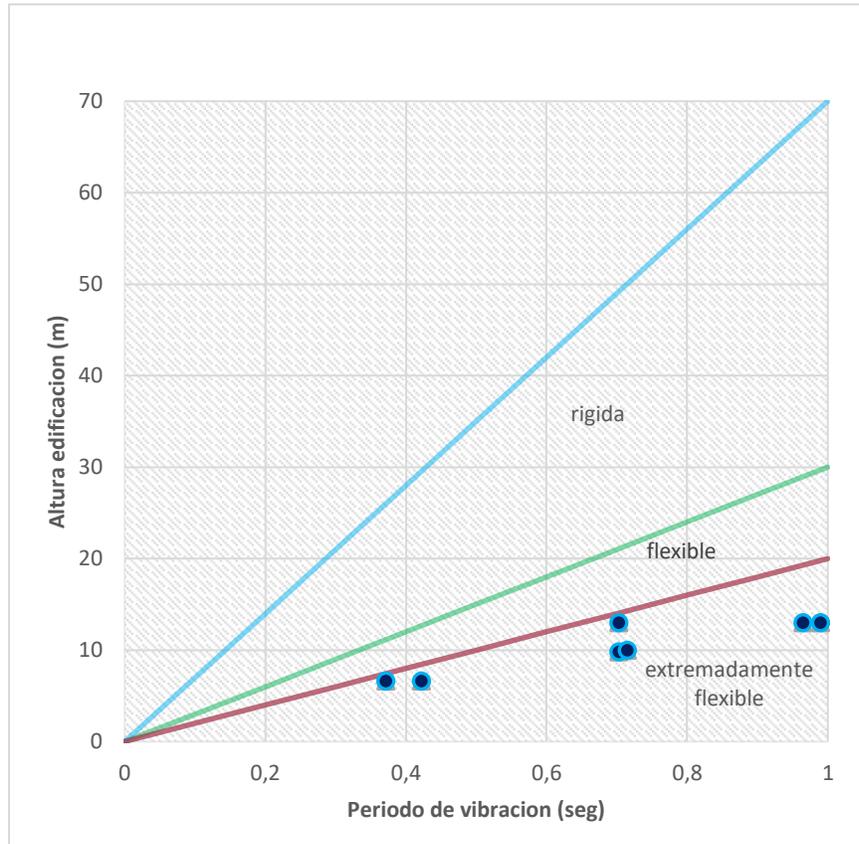
Tabla 5
Relación H/T

N°	H (m)	T (seg)	H/T
1	6.6	0.42	15.640
2	13	0.97	13.472
3	6.6	0.37	17.742
4	13	0.99	13.131
5	9.8	0.70	13.940
6	9.8	0.70	13.940
7	10	0.72	13.986

Fuente: (Douglas Ponce, 2024)

Se puede observar que la relación H/T varía entre 13.13 y 17.74 en los diferentes conjuntos de datos lo que explica que son estructuras extremadamente flexibles esto fue evidenciado en el evento sísmico acontecido el 16 de abril del 2016 donde estas estructuras fueron afectadas. También se observa que en el 71% de las estructuras sobrepasa el periodo límite establecido en la NEC-15.

Figura 5
Relación H/T



Fuente: (Douglas Ponce, 2024)

OBJETIVOS DE REHABILITACIÓN

Se seleccionaron dos estructuras representativas del grupo, el bloque de Forestal A y el de Economía, como niveles de amenaza los establecidos en la NEC.

Materiales y secciones

Mediante la realización de ensayos no destructivos en los elementos estructurales de las dos edificaciones se obtuvieron la resistencia a la compresión del hormigón y el armado de las secciones de dichos elementos, con el objetivo de realizar un análisis no lineal.

Figura 6
Esclerometría en columnas y vigas



Fuente: (Douglas Ponce, 2024)

Tabla 6

Resistencia a la compresión del hormigón

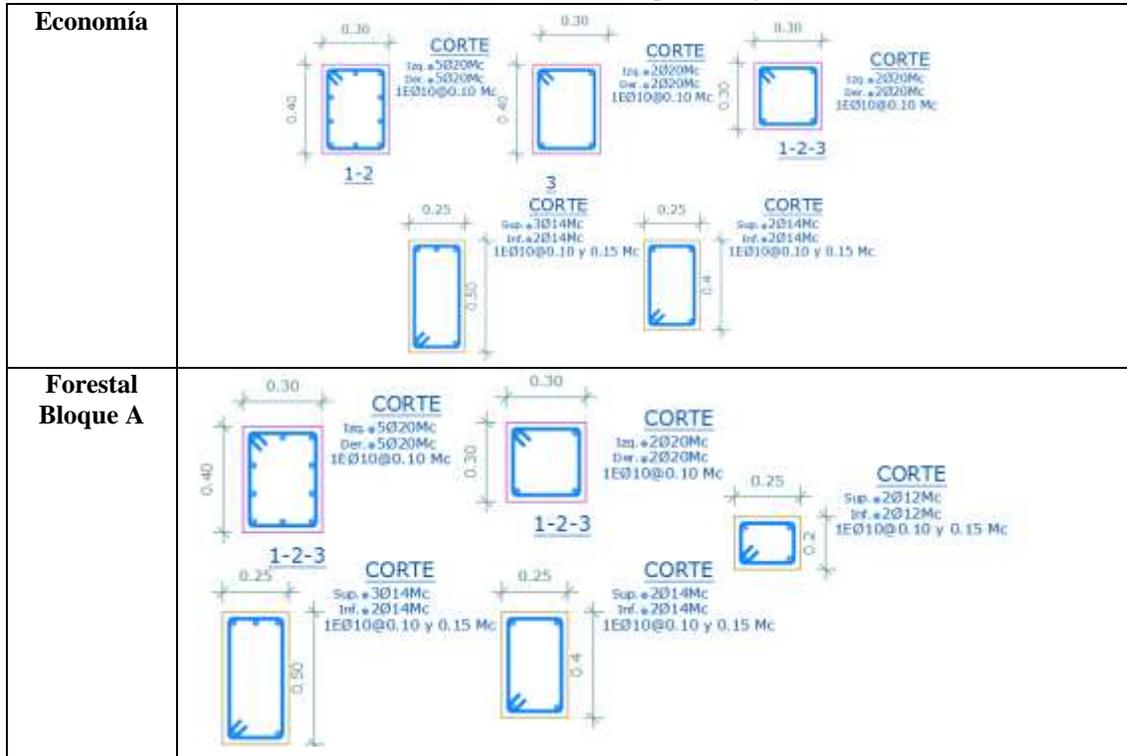
Edificación	Elemento Estructural	Resistencia a la compresión promedio F'c (Kg/cm ²)			
		1	2	3	4
Economía	Columna	530.26	472.47	416.39	-
	Viga	415.03	377.30	301.60	-
	Losa	-	-	412.99	-
Forestal Bloque A	Columna	489.40	463.49	462.05	460.61
	Viga	379.78	359.68	358.56	357.44
	Losa	-	-	389.51	-

Fuente: (Douglas Ponce, 2024)

Tabla 7

Resistencia a la compresión del hormigón

Edificación	Secciones y Armados
-------------	---------------------



Fuente: (Douglas Ponce, 2024)

DEMANDA SÍSMICA

Los niveles de amenaza sísmica se calcularon con base al mapa de peligro sísmico probabilístico para el Ecuador, en este caso se tomó el espectro de respuesta en roca para la ciudad de Jipijapa (IGEPN, 2023), también se consideraron los niveles de movimiento expuestos en la NEC cuyos periodos de retorno y probabilidad de excedencia se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 8

Niveles de Amenaza sísmica Niveles de Amenaza sísmica

Nivel de Amenaza	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de Retorno Tr=años	Tasa anual de excedencia (1/Tr)
Frecuente	50	72	0.01389
Ocasional	20	225	0.00444
Raro	10	475	0.00211
Muy Raro	2	2500	0.00040

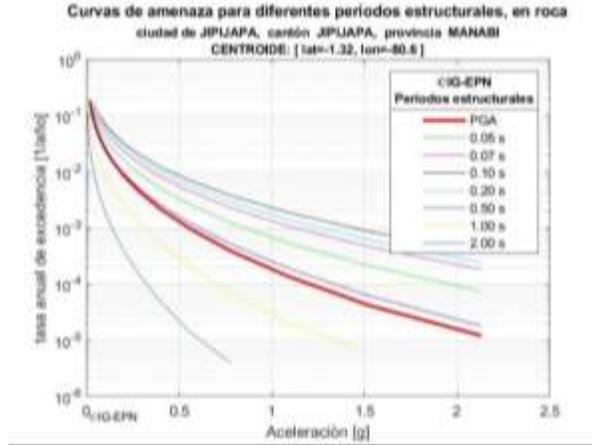
Fuente: NEC 15 (Douglas Ponce, 2024)



De la curva de peligro sísmico se toma los valores que corresponden a $S_a(T=0.01s)$ y $S_a(PGA)$ para calcular la relación espectral, η y se calculan mediante interpolación los factores de F_a , F_d y F_s para cada nivel de amenaza.

Figura 7

Curva de amenaza sísmica de Jipijapa

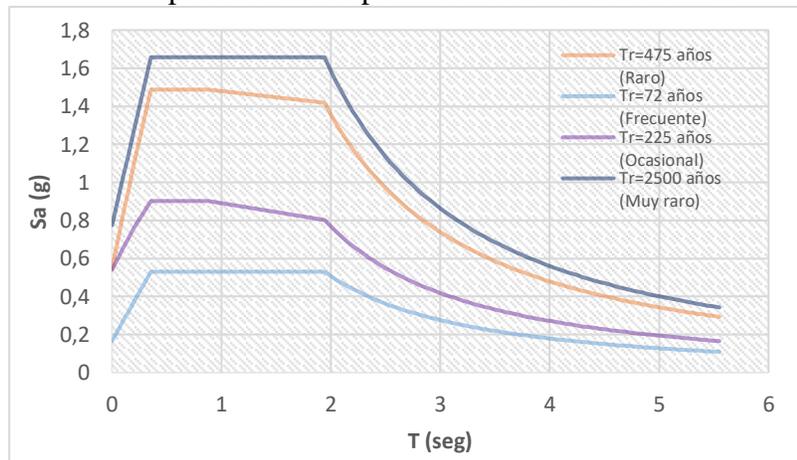


Fuente: (Douglas Ponce, 2024)

A continuación, se representa los espectros elásticos correspondientes a cada nivel de amenaza.

Figura 8

Espectro elástico por nivel de amenaza sísmica



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

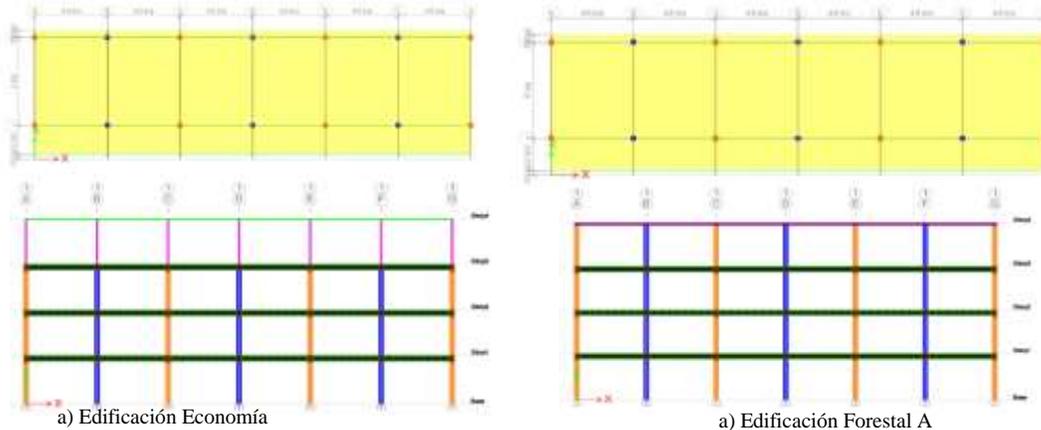
Configuración estructural

La edificación de la Facultad de Economía cuenta con 4 niveles es una estructura de ocupación especial de uso educativo, no presenta irregularidades en planta ni en elevación,

columna de hormigón armado de 30 cm x 40 cm hasta el tercer y el último nivel columnas metálicas de 10 cm x 10 cm 0.30 cm.

La edificación de la carrera de Forestal Bloque A cuenta con 4 niveles es una estructura de ocupación especial de uso educativo, no presenta irregularidades en planta ni en elevación, columna de hormigón armado de 30 cm x 40 cm hasta el último nivel.

Figura 9
Configuración en planta y elevación

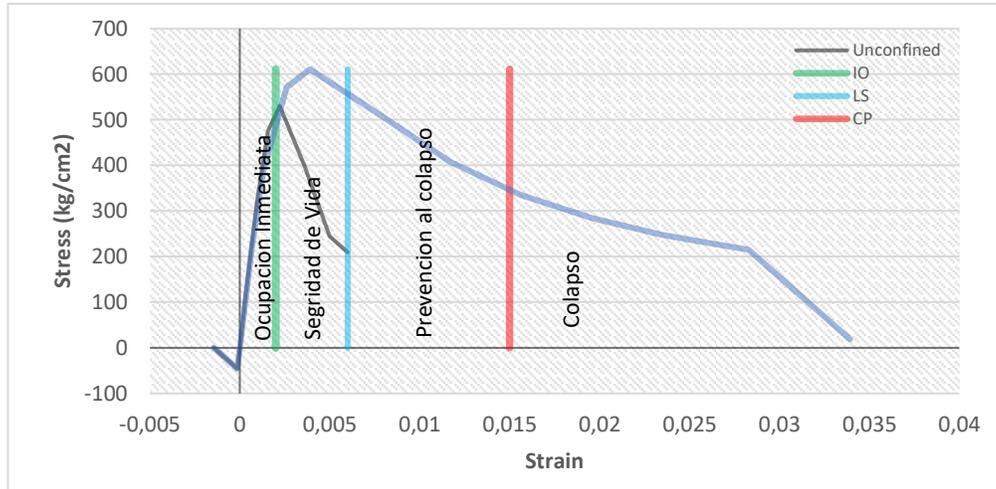


Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Modelo Matemático

Se empleó el modelo constitutivo del hormigón de Mander confinado, y el modelo de Park para el acero, y el modelo de Takeda para la histéresis, con las respectivas propiedades mecánicas del concreto descritas en la sección anterior además del reforzamiento longitudinal y de confinamiento. Con el modelo del hormigón y el acero se obtiene el diagrama momento-curvatura necesario para el análisis no lineal.

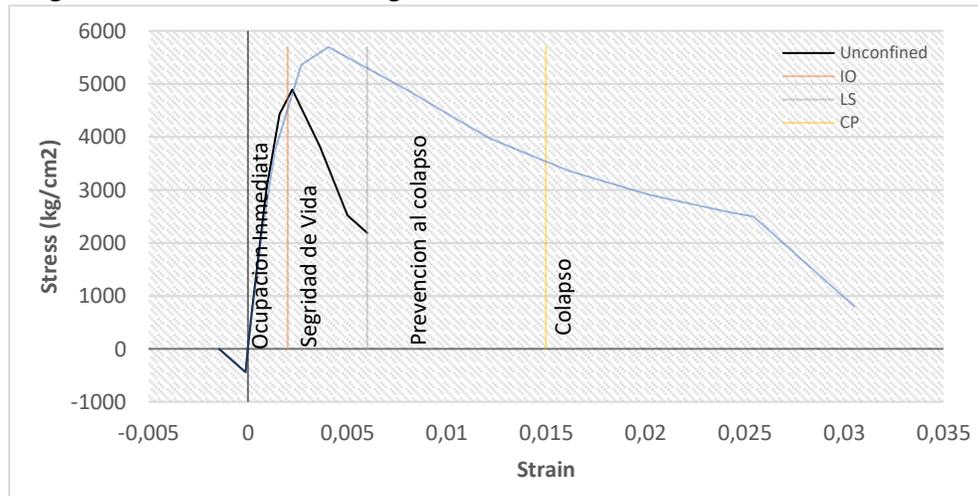
Figura 10
Diagrama curvatura del hormigón de columna 30 cm x 40 cm - Economía



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Figura 11

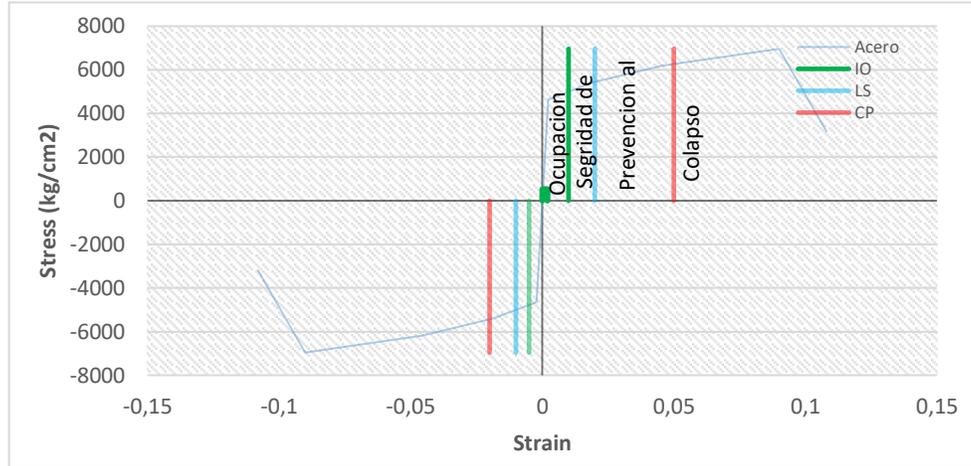
Diagrama curvatura del hormigón de columna 30 cm x 40 cm - Forestal



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Figura 12

Diagrama curvatura del acero



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Forma de fuerza

La aplicación adecuada del patrón de fuerzas en los modelos no lineales, se asigna acorde a lo indicado en el FEMA 440, capítulo 9, literal 9.2.3 (FEMA 440, 2005).

En lo cual indica que:

- Distribución del código (carga triangular): aplicar en los casos en donde más del 75% de la masa participa en el primer modo.
- Forma de las cargas por piso del análisis modal, aplicando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS): cuando $T_e > 1s$, donde T_e es el período efectivo.

Según lo descrito, tanto al bloque de Economía como al de Forestal les corresponden una forma de fuerza triangular, a continuación, se muestra la participación modal de cada edificación.

Tabla 9
Participación de masa modo 1

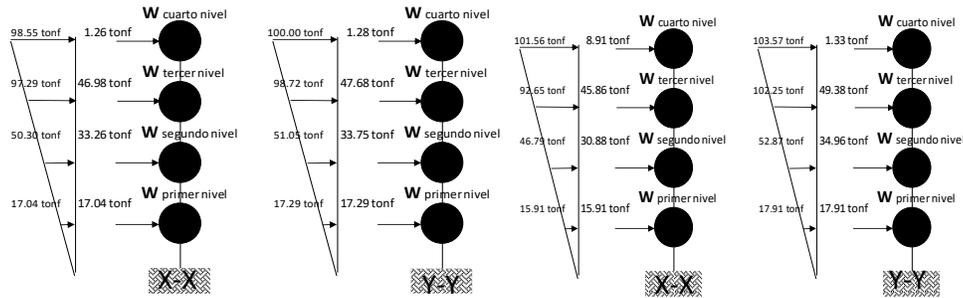
Edificación	Modo	Peridodo (sec)	Ux	Sum Ux
Economía	1	0.708	0.823	0.823
Forestal Bloque A	1	0.991	0.829	0.829

Fuente: ETABS, 21.1.0, (Douglas Ponce, 2024)

Dado que las edificaciones en el primer modo participan más del 75 % de la masa se procede a realizar la distribución de carga triangular tal como se describe en la siguiente imagen.



Figura 13
 Distribución de Fuerza PushOver-Edificio Economía y Forestal



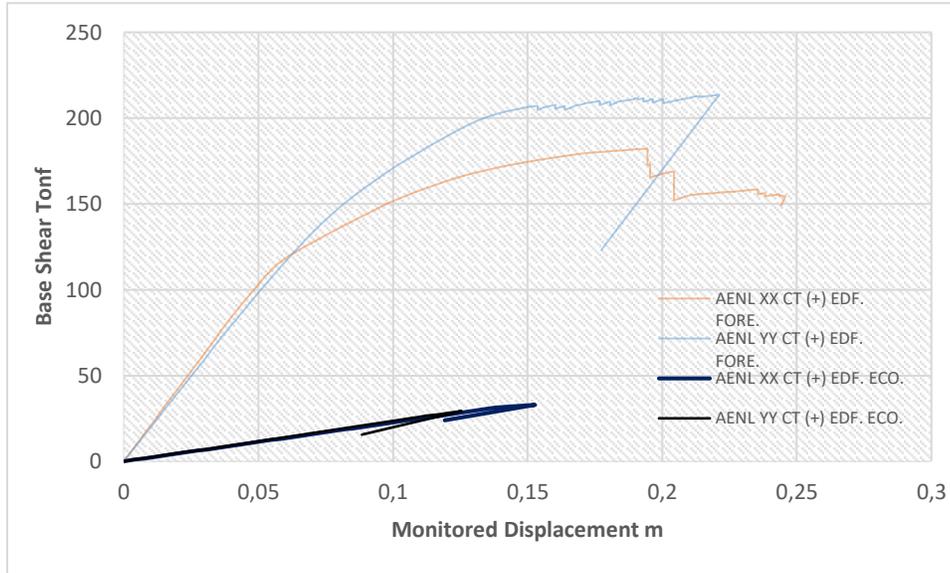
Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Curvas y Espectros de Capacidad

Al realizar el análisis Pushover se obtiene la información de la curva de capacidad que relaciona el cortante total en la base y el desplazamiento en el techo de la estructura. El espectro de capacidad se obtiene mediante la metodología que plantea el ATC-40, capítulo 8.

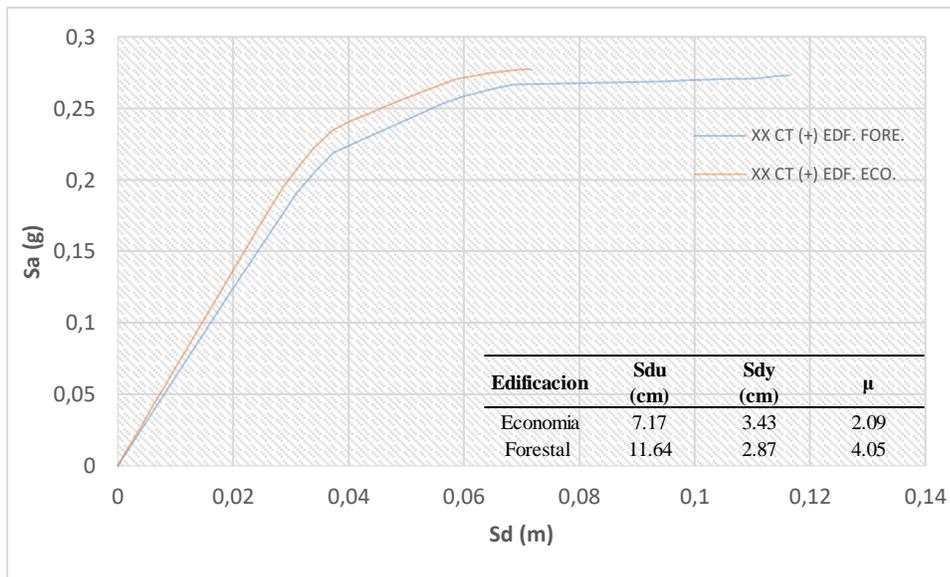
En el gráfico 15 se observa que la edificación de Economía presenta un cortante de fluencia relativo $V_y/P=0.28$, mayor al del Bloque de Forestal ($V_y/P=0.27g$) debido a la cantidad de pórticos resistentes y sus vanos, sin embargo, al analizar la ductilidad de los modelos presenta variaciones. Los valores de ductilidad alcanzan valores mínimos de $\mu=2.09$, confirmando el limitado comportamiento dúctil de las edificaciones. La falta de ductilidad se debe a la discontinuidad vertical de columnas en la Edificación de Economía puesto que produce que los elementos sean frágiles debido a la menor rigidez del nudo, que se deforma con mayor magnitud, degradando significativamente la inercia de la sección y produciendo la consecuente falla, perdiendo capacidad al no tener transmisión directa de esfuerzos por la falta de continuidad.

Figura 14
 Curva de Capacidad



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Figura 15
Espectro de Capacidad



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Desempeño sísmico

De acuerdo con los analizado se tiene que para la edificación de Forestal del Bloque A en el sentido X-X, acorde a los límites de desempeño establecidos ya que presenta un comportamiento de ocupación inmediata para sismo raro ($Tr=475$ años) con un

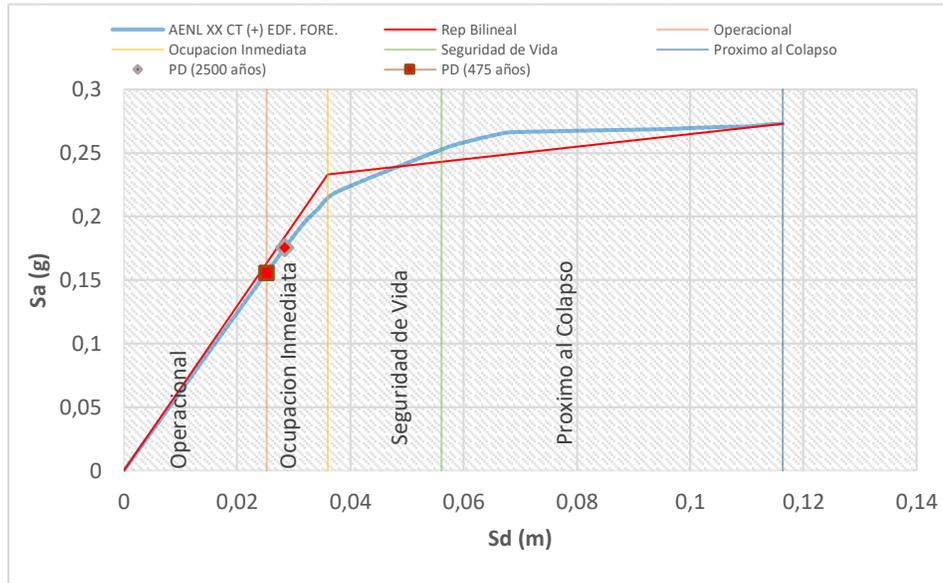


desplazamiento de 2.52 cm y una aceleración de 0.16 g, incursionando en el rango elástico, mientras que para sismo muy raro ($T_r=2500$ años) se tiene un desplazamiento de 2.85 cm con una aceleración de 0.18 g incursionando ligeramente en el rango inelástico.

Para la edificación de Forestal del Bloque A en el sentido X-X, presenta un comportamiento de ocupación inmediata para sismo raro ($T_r=475$ años) con un desplazamiento de 2.23 cm y una aceleración de 0.15 g, incursionando en el rango elástico, mientras que para sismo muy raro ($T_r=2500$ años) se tiene un desplazamiento de 2.49 cm con una aceleración de 0.17 g incursionando ligeramente en el rango inelástico.

Figura 16

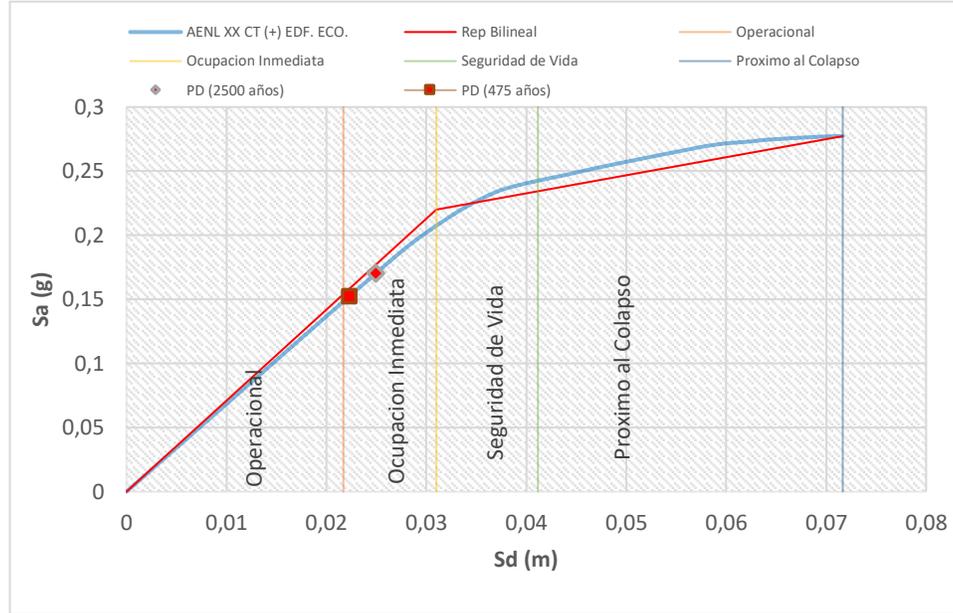
Espectro de capacidad y puntos de desempeño (P.D) Edificio Economía X-X



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Figura 16

Espectro de capacidad y puntos de desempeño (P.D) Edificio Forestal X-X



Fuente: NEC-15 (Douglas Ponce, 2024)

Discusión

En la investigación se evaluaron los índices de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Campus los Ángeles de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, mediante la metodología italiana donde se denoto lo siguiente:

Algunas edificaciones presentaron un mayor índice de vulnerabilidad sísmica I.V, relacionado con el parámetro 11 que considera el estado de conversación de la estructura.

Las edificaciones, con altura promedio de 13.00 m, se identificó un índice de vulnerabilidad entre 48.00 y 52.50 esto implica un nivel medianamente seguro, sin embargo, podrán sufrir daños moderados a severos en los casos de una acción sísmica rara a muy raros.

Los bloques de forestal y economía presenta una relación H7T de 3.47 m/s a 13.13 m/s, respectivamente estos menores a 20 m7s lo que indica que son estructuras extremadamente flexibles.

Conclusiones

Se observó una distribución heterogénea de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Campus Los ángeles. Algunas edificaciones mostraron un mayor I.V esto debido al parámetro 11 acorde a la metodología GNDT como lo es el estado de conservación.

Mediante la metodología GNDT para el caso de pórticos de hormigón armado se determina un comportamiento estructural deficiente para las edificaciones de Economía y de Forestal Bloque A con alturas de 13.00 m las cuales tienen un índice de vulnerabilidad entre 48.00 y 52.50 presentando un nivel medianamente seguro; esto conlleva a que se podría tener daños moderado a severo ante un sismo raro y muy raro.

Acorde a la relación entre la altura y el periodo fundamental (H/T) para las edificaciones se deduce que son estructuras extremadamente flexibles con una relación entre 13.99 m/s y 17.74 m/s teniendo las edificaciones de economía y forestal con relación de 13.47 m/s y 13.13 m/s menores a 20 m/s.

La edificación de Economía presenta un cortante de fluencia relativo $V_y/P=0.28$, mayor al del Bloque de Forestal ($V_y/P=0.27g$).

Los valores de ductilidad alcanzan valores mínimos de $\mu=2.09$ y un máximo de $\mu=4.00$.

Para la edificación de Forestal del Bloque A en el sentido X-X, se presenta un comportamiento de ocupación inmediata para sismo raro ($Tr=475$ años) con un desplazamiento de 2.52 cm y una aceleración de 0.16 g, incursionando en el rango elástico, mientras que para sismo muy raro ($Tr=2500$ años) se tiene un desplazamiento de 2.85 cm con una aceleración de 0.18 g incursionando ligeramente en el rango inelástico.

La edificación de Forestal del Bloque A en el sentido X-X, presenta un comportamiento de ocupación inmediata para sismo raro ($Tr=475$ años) con un desplazamiento de 2.23 cm y una aceleración de 0.15 g, incursionando en el rango elástico, mientras que para sismo muy raro ($Tr=2500$ años) se tiene un desplazamiento de 2.49 cm con una aceleración de 0.17 g incursionando ligeramente en el rango inelástico.



El análisis probabilístico de la vulnerabilidad sísmica de los edificios del Campus los Ángeles de la Universidad Estatal del sur de Manabí ha proporcionado una información valiosa para mejorar la seguridad y la resiliencia del campus ante un evento sísmico.

Las edificaciones educativas en su diseño se deben considerar el análisis no lineal estático y dinámico bajo la interacción suelo estructura ya que permite tener una mayor concesión y comportamiento estructural.

Hay que asegurar que todas las nuevas construcciones y rehabilitaciones cumplan con normas de diseño locales e internaciones. También realizar ingeniería forense para identificar cada caso.

Las estructuras representativas seleccionadas, requieren ser reforzadas a fin de que cumplan con una filosofía sismo resistente, ya que se encontraron desempeños de ocupación inmediata para sismo raro y muy raro, costos de reparación de hasta el 70% para el sismo de 475 años de periodo de retorno. Analizando un nivel de amenaza menor a la normativa, de acuerdo con VISION 2000, se evidencia un comportamiento crítico.

Realizar evaluaciones periódicas de la vulnerabilidad sísmica de los edificios y actualizar el análisis probabilístico con nuevos datos y tecnologías emergentes.

Instalar sistemas de monitoreo continuo en los edificios para detectar y evaluar daños estructurales en tiempo real durante y después de un evento sísmico.

Es esencial que la Universidad adopte un enfoque proactivo y continuo para gestionar y mitigar los riesgos sísmicos.

Referencias bibliográficas

FEMA 440. (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. June.
<https://mitigation.eeri.org/wp-content/uploads/fema-440.pdf>

Geofisico, I. (2021). No Title. Mapa Digital Interactivo de Peligro Sísmico Para Ecuador.
<https://www.igepn.edu.ec/mapas/sismicidad/mapa-peligro-sismico>

Guardiola-Víllora, A., & Basset-Salom, L. (2015). Seismic risk scenarios of the Eixample district in Valencia. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 31(2), 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2014.01.002>



- Hernández, A. O., Hernández Santana, J. R., Arada, C. E. C., Linares, A. P. M., & Escanilla, G. G. (2013). Análisis estructural y morfotectónico en los municipios San Cristóbal y Candelaria, Cuba Occidental: contribución a los estudios de peligrosidad sísmica de la Falla Pinar. *Investigaciones Geograficas*, 82, 7–23. <https://doi.org/10.14350/rig.36384>
- IGEPN. (2023). MAPA PELIGRO SISMICO. <https://www.igepn.edu.ec/mapas/peligro-sismico/mapa-peligro-sismico.html>
- Kim, J. K., Wee, S. H., Yoo, S. H., & Kim, K. H. (2021). Characteristics of the vertical and horizontal response spectra of earthquakes in the Jeju Island Region. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/app112210690>
- Pinzón, L. A., Pujades, L. G., Medranda, I., & Alva, R. E. (2021). Case study of a heavily damaged building during the 2016 mw 7.8 ecuador earthquake: Directionality effects in seismic actions and damage assessment. *Geosciences (Switzerland)*, 11(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/geosciences11020074>
- Quinde Martínez, P. D., & Reinoso Angulo, E. (2016). Estudio De Peligro Sísmico De Ecuador Y Propuesta De Espectros De Diseño Para La Ciudad De Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 26(94), 1–26. <https://doi.org/10.18867/ris.94.274>
- Santiagoño, A. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián , utilizando el model builder del ArcGIS Evaluation of the seismic vulnerability of the buildings in the urban area of the district Chiquian , using the ArcGIS model builder. 11(2), 263–274.
- Toribio, S., & Ambiental, C. (2023). Método del Índice de Vulnerabilidad Sísmica Usando el Sistema de Información Geográfica , Una Aplicación a Escala Urbana Seismic Vulnerability Index Method Using the Geographic Information System , An Application on an Urban Scale. 52(1), 95–103.
- Vargas, Y. F., Pujades, L. G., Barbat, A. H., & Hurtado, J. E. (2013). Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 29(2), 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.04.003>
- Villalba, P., & Guaygua, B. (2020). SIMPLIFIED , PRESCRIBING METHODOLOGIES BY PERFORMANCE AND RESILIENCE , IN THE STUDY OF. 25, 581–602.



- Yunita, H., Setiawan, B., Saidi, T., & Abdullah, N. (2018). Site response analysis for estimating seismic site amplification in the case of Banda Aceh - Indonesia. MATEC Web of Conferences, 197(April). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819710002>
- Zambrana Areas, X. E. (2019). Peligro Sísmico por Efecto de Sitio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua. Nicaragua. Revista Científica de FAREM-Estelí, 32, 84-93. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i32.9233>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

