



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DEL EMPLEO DE VIGUETAS DE ALMA  
ABIERTA Y HORMIGÓN ARMADO EN LOSAS UNIDIRECCIONALES DE  
ENTREPISO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Brayan Steven Calle Cevallos  
Víctor Alexander Nájera Fiallo

TUTOR: Carlos Alexis Ayala Moya

Quito - Ecuador  
2024



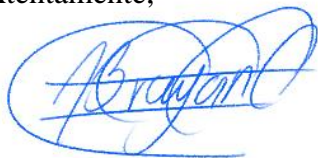
## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Brayan Steven Calle Cevallos con documento de identificación N° 1724383292 y Víctor Alexander Nájera Fiallo con documento de identificación N° 1750236935; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 21 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Brayan Steven Calle Cevallos

1724383292



---

Víctor Alexander Nájera Fiallo

1750236935

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

Nosotros, Brayan Steven Calle Cevallos con documento de identificación N° 1724383292 y Víctor Alexander Nájera Fiallo con documento de identificación N° 1750236935; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Evaluación técnica económica del empleo de viguetas de alma abierta y hormigón armado en losas unidireccionales de entepiso”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Brayan Steven Calle Cevallos

1724383292



---

Víctor Alexander Nájera Fiallo

1750236935

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Carlos Alexis Ayala Moya con documento de identificación N° 1712968971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DEL EMPLEO DE VIGUETAS DE ALMA ABIERTA Y HORMIGÓN ARMADO EN LOSAS UNIDIRECCIONALES DE ENTREPISO**, realizado por Brayan Steven Calle Cevallos con documento de identificación N° 1724383292 y Víctor Alexander Nájera Fiallo con documento de identificación N° 1750236935, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Carlos Alexis Ayala Moya, MSc.  
1712968971

# EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DEL EMPLEO DE VIGUETAS DE ALMA ABIERTA Y HORMIGÓN ARMADO EN LOSAS UNIDIRECCIONALES DE ENTREPISO

## TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF THE USE OF OPEN WEB JOISTS AND REINFORCED CONCRETE IN UNIDIRECTIONAL FLOOR SLABS

Brayan Calle-Cevallos <sup>1</sup>, Víctor Nájera-Fiallo<sup>2</sup>

### Resumen

Esta investigación se centró en el análisis teórico de las viguetas de alma abierta y de hormigón armado en edificaciones, destacando sus implicaciones económicas. Se realizaron modelaciones tridimensionales y se usaron hojas de cálculo para concebir elementos estructurales clave. Se determinaron las cargas de dichos elementos estructurales. Se llevó a cabo un análisis de costo-beneficio para evaluar las implicaciones económicas y ventajas de las alternativas consideradas, integrándolo en un modelo tridimensional para clarificar la influencia de las viguetas de alma abierta en la estructura. Los resultados mostraron una reducción en peso y por ende de costo al adoptar viguetas de alma abierta, siendo información crucial para tomar decisiones en el diseño estructural de edificaciones comerciales, considerando sus repercusiones económicas y técnicas.

**Palabras Clave:** Evaluación técnica económica, Losas unidireccionales, Prefabricado, Viguetas de alma abierta.

### Abstract

The research focused on the theoretical analysis of open web and reinforced concrete joists in buildings, highlighting their economic implications. Three-dimensional modeling was performed, and spreadsheets were used to design key structural elements. The loads of these structural elements were determined. A cost-benefit analysis was conducted to evaluate the economic implications and advantages of the alternatives considered, integrating it into a three-dimensional model to clarify the influence of open web joists on the structure. The results showed a reduction in weight and therefore in cost by adopting open web joists, being crucial information for making decisions in the structural design of commercial buildings, considering their economic and technical repercussions.

**Keywords:** Technical economic evaluation, Unidirectional slabs, Prefabricated, Open-web joists.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: [bcallec@est.ups.edu.ec](mailto:bcallec@est.ups.edu.ec); [vnajera@est.ups.edu.ec](mailto:vnajera@est.ups.edu.ec)

## 1. Introducción

La construcción de sistemas eficientes y rentables es crucial en la industria de la construcción. Aunque el prefabricado es propuesto como una alternativa confiable, la mayor parte de construcciones en nuestro medio son de hormigón armado.

Este artículo aborda la variedad de sistemas estructurales utilizados en Ecuador, destacando las viguetas de alma abierta como una opción más ligera para losas de entrepisos [1]. Se argumenta que estas viguetas no solo ofrecen mayor rentabilidad en inversiones a gran escala, sino que también facilitan la instalación de servicios domésticos.

La falta de información sobre los costos y procedimientos de sistemas de acero en comparación con el hormigón armado motiva la propuesta de un estudio comparativo. Este estudio busca impactar positivamente a estudiantes y profesionales de Ingeniería Civil, así como al público interesado en el diseño y construcción estructural en Ecuador. Al centrarse en un área de Ingeniería Civil en constante desarrollo en el país, se pretende proporcionar claridad sobre los costos y beneficios asociados con el uso de hormigón y acero en la construcción, aprovechando investigaciones previas de otros países.

## 2. Materiales y Métodos

Con el objetivo de conferir al estudio una aplicabilidad práctica en diversas estructuras, se ha ideado una planta arquitectónica que muestra la disposición de ejes detallada en la Figura 1<sup>3</sup>.

La altura de entrepiso ha sido establecida en 5.2 metros. Para llevar a cabo el prediseño de los elementos estructurales clave, como losas, columnas y vigas, se utilizarán hojas de cálculo. Este análisis se enfocará en el panel más crítico, actuando como referencia para la evaluación de la viabilidad y rendimiento de la estructura propuesta

### 2.1. Definición de cargas

Se han considerado diversas cargas gravitacionales con el fin de diseñar adecuadamente los elementos estructurales. La omisión de una consideración precisa de estas cargas podría tener un impacto negativo en la estabilidad del edificio. Estas consideraciones abarcan tanto las cargas permanentes (cargas muertas y pesos) como las cargas variables (cargas vivas), junto con las cargas de granizo, las cuales serán complementadas con las cargas accidentales debidas a sismos.

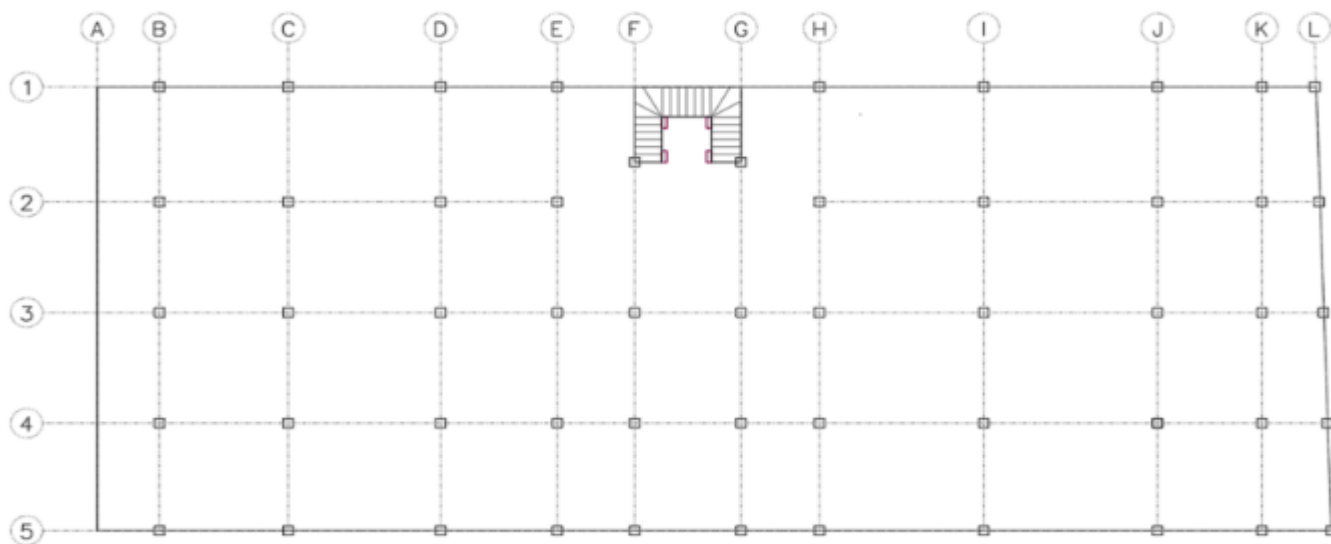


Figura 1. Planta arquitectónica de 4 niveles proporcionado por Andrés Pulido, representante de VigaTec

<sup>3</sup> A. Pulido [Comunicación personal]. 26 de octubre de 2023

La carga viva que se utilizará seguirá las directrices establecidas en la NEC-SE-CG Cargas No Sísmicas [2]. para la ocupación de almacenes, con una carga uniforme de 3.6 kN/m. La sobrecarga permanente asociada a acabados y mampostería [3], se fijará en 3,84 kN/m<sup>2</sup> como se muestra en la Tabla 1, con la excepción de la última planta, que presentará un valor de 1.5 kN/m<sup>2</sup>. Además, la carga variable de granizo aplicada a la última planta será de 1 kN/m<sup>2</sup>.

En adición, las cargas permanentes incluirán el peso propio de los elementos estructurales, tales como columnas, losas, vigas y viguetas.

Tabla 1: Sobrecarga de acabados y mampostería

PP (SOBRECARGA)		
ENLUCIDO e=2cm	0.44	kN
MASILLADO e=2cm	0.44	kN
BALDOSA CERAMICA e=2cm	0.36	kN
MAMPOSTERIA	2.6	kN
	3.84	kN

## 2.2. Prediseño de Elementos Estructurales

El diseño de los elementos estructurales se realizará teniendo en cuenta el panel más crítico como referencia principal.

### 2.2.1. Prediseño de Losa

La losa nervada armada en una sola dirección involucra una combinación monolítica de nervaduras regularmente espaciadas y una losa ubicada en la parte superior [4], actuando en una dirección específica. En el prediseño de la losa, se ha tenido en cuenta el criterio de  $L/S > 2$  donde L representa la longitud mayor y S la longitud menor, con el objetivo de determinar si se trata de una losa unidireccional. En el caso del modelo de hormigón armado, se ha decidido incorporar viguetas secundarias para satisfacer dicho requisito.

### 2.2.2. Prediseño de Columnas y Vigas

Las columnas y vigas desempeñan funciones esenciales en la ingeniería estructural, siendo

cruciales en la construcción de edificaciones y otras estructuras. En el análisis de vigas, se emplea un ancho tributario para determinar la carga que se transmite a ellas, ya que su función principal es soportar cargas transversales y distribuirlas hacia las columnas.

En cuanto a las columnas, se ha establecido un área tributaria, lo que implica que una parte de la carga será distribuida axialmente en esa área específica. Al igual que en el caso de las columnas, las vigas pueden construirse con diversos materiales, siendo el acero y el hormigón los más comunes. En el caso del hormigón, se utilizará una resistencia a la compresión de 24 MPa, mientras que para el acero de refuerzo se empleará un límite a la fluencia de 420 MPa

### 2.2.3. Prediseño de Viguetas de Hormigón y alma abierta

Las viguetas de hormigón, empleadas en la edificación de entrepisos, se reconocen como componentes estructurales de menor peso en comparación con las vigas principales [5], y de mayor peso comparado con las viguetas de alma abierta [6]. Su principal función está orientada a la transferencia de cargas hacia las vigas principales.

Las viguetas de alma abierta constituyen elementos estructurales empleados en construcción para resistir cargas en techos y entrepisos. Su diseño se caracteriza por presentar un espacio central abierto. En el contexto de la investigación actual, se han propuesto tres configuraciones de armado siguiendo las directrices del SJI-CJ-2015 [7], como se expone en la Figura 2. Esta modalidad constructiva indica una mayor eficiencia en términos de uso de materiales en comparación con los entrepisos convencionales, lo que se traduce en posibles ahorros durante la ejecución del proyecto [8].

Las viguetas de alma abierta incorporarán ángulos dobles en los cordones superior e inferior.

Todos los elementos que conforman la armadura estarán dimensionados con la propuesta de cálculo de M. Diaz [9], y usando acero A36.



Para las diagonales, se utilizará un ángulo que se conectará tanto con el cordón superior como con el inferior, modificando su posición según se ilustra en las Figuras 2a y 2b. En lo que respecta a la tercera disposición, las diagonales se vincularán mediante el empleo de una barra redonda, tal como se muestra en la Figura 2c.

Se designarán como viguetas de tipo Warren a aquellas con peraltes comprendidos entre 10 a 14 pulgadas, mientras que las que presenten peraltes en el rango de 16 a 30 pulgadas se denominarán viguetas Warren modificadas.

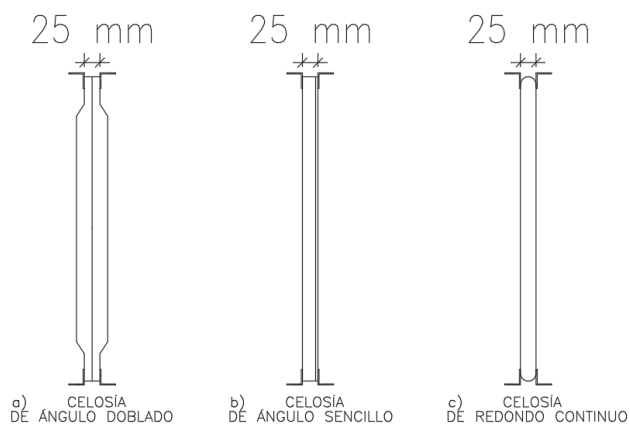


Figura 2. Disposición de miembros diagonales [7].

### 2.3. Análisis Sismorresistente

La evaluación detallada de la respuesta de las estructuras a las fuerzas inesperadas generadas por los sismos es esencial en el ámbito del análisis sismorresistente. Este enfoque involucra la consideración de factores como la masa y la rigidez con el propósito de limitar los daños estructurales. Además, se busca elevar el nivel de protección, con la aspiración de que las estructuras puedan mantenerse operativas incluso después de la ocurrencia del sismo [10].

#### 2.3.1. Periodos de Vibración

Los periodos de vibración de una estructura resultan afectados por la masa y la rigidez. Mediante los cálculos efectuados con la NEC SE DS [11], se determinará un rango teórico para estos periodos. La estructura deberá desplazarse en dirección x, y en los dos primeros modos de vibración. El período de vibración no depende de la

intensidad del sismo y se define por las propiedades inherentes al edificio, como su altura, densidad de muros o longitud [12].

#### 2.3.2. Porcentaje de masa participativa

En el análisis, es necesario incluir todos los modos de vibración que contribuyan de manera significativa a la respuesta total de la estructura, abarcando diversos períodos de vibración. Esto implica considerar los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura en cada una de las direcciones consideradas [10]. Se evaluarán tres modos fundamentales en cada nivel, los cuales abarcan desplazamientos en las direcciones horizontales principales (x, y) y torsión alrededor del eje z.

#### 2.3.3. Derivas de Piso

Las derivas de piso se definen como el desplazamiento horizontal relativo entre niveles distintos de un edificio durante un evento sísmico. Se interpretan como la cantidad máxima de desplazamiento lateral que experimenta un piso en comparación con el piso consecutivo durante un sismo [13]. La evaluación de estas derivas resulta esencial para analizar la respuesta sísmica de un edificio y asegurar que su diseño estructural sea adecuado para resistir las fuerzas sísmicas. La presencia de valores elevados en las derivas de piso puede indicar la necesidad de ajustes en el diseño con el objetivo de mejorar la resistencia sísmica del edificio.

### 2.4. Distribución de fuerzas laterales

Las distribuciones de fuerzas laterales se centran en la manera en que las fuerzas sísmicas se distribuyen y aplican en un edificio, con el fin de evaluar su capacidad de resistir dichas fuerzas. Estas distribuciones pueden determinarse a través de métodos estáticos o dinámicos. Mientras que los métodos estáticos simplifican el análisis al considerar todas las fuerzas simultáneamente, los métodos dinámicos tienen en cuenta la respuesta dinámica a lo largo del tiempo y sus formas modales de vibración. Según la normativa la fuerza

denominada cortante basal obtenida por algún método dinámico debe ser:

1. Deberá ser menor al 80% del cortante basal obtenido a través del método estático en el caso de estructuras regulares.
2. Deben ser menores al 85% del cortante basal obtenido mediante el método estático en el caso de estructuras irregulares

Asimismo, se especifica que el lugar de aplicación de la carga distribuida del cortante basal debe ubicarse en el centro de masa del nivel [10].

### 2.5. Prediseño de Zapatas Aisladas

En el siguiente estudio, se emplearán zapatas aisladas, las cuales facilitan la transmisión eficiente de cargas desde columnas hasta el suelo. Se caracterizan por su disposición individual, a diferencia de las zapatas corridas. Este enfoque se utiliza para concentrar cargas en puntos específicos, asegurando así una distribución efectiva de fuerzas y estabilidad estructural. Según los resultados del análisis de microzonificación sísmica, se ha determinado que, para el tipo de suelo C, la capacidad portante es de 245 kPa [14].

### 2.6. Evaluación Económica

En la industria de la construcción, la eficiencia en la fabricación de sistemas desempeña un papel crucial, ya que busca no solo ahorrar costos, sino también abordar de manera efectiva las necesidades vinculadas a las infraestructuras. Según la perspectiva de Sanabria [15], es esencial impulsar una mayor divulgación y ajustar las normas existentes para consolidar el uso del prefabricado como un componente igualmente confiable en comparación con los métodos convencionales empleados en la actualidad.

La industria de la construcción en Ecuador desempeña un papel crucial en la economía del país. Esta área se ocupa de la creación de una variedad de estructuras, que abarca desde el diseño de edificaciones hasta el cuidado y la preservación de infraestructuras como carreteras, puentes, canales, represas, puertos, aeropuertos y demás, representando una inversión importante que

conlleva una alta producción y contribuye significativamente a la generación de empleo.

En los últimos años, se han realizado diversos estudios para investigar nuevos elementos estructurales que puedan brindar soluciones eficientes para reducir tanto el peso como el costo de las estructuras [16].

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Viguetas de alma abierta

Mediante el proceso de prediseño, se determina que la altura de la viga de alma abierta será de 0.3 m, y la longitud del panel entre diagonales se estableció en 0.61 m de acuerdo con la recomendación del SJI-CJ-2015 [7], para una vigueta **Warren-12K**.

Las dimensiones y configuración geométrica de la vigueta prediseñada para la luz más crítica se muestran en la Fig. 3

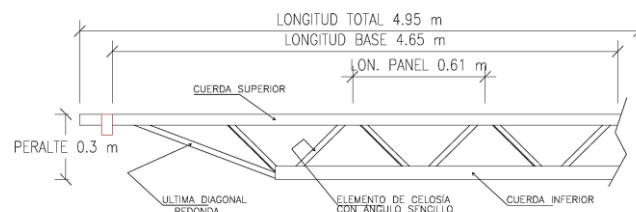


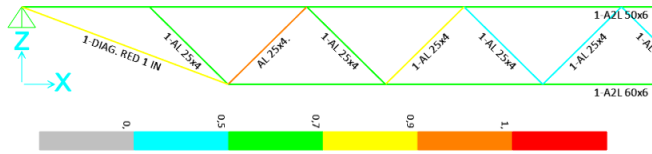
Figura 3. Configuración Geométrica de la Armadura

Al emplear la combinación de carga gravitacional más crítica (1.2D +1.6L), para el diseño por última resistencia de la NEC- SE-CG [2], se obtiene una carga distribuida de 17.29 kN/m. Esta carga, al ser analizada a través del software SAP 2000, generó resultados de deformaciones en el centro de la vigueta para los tres armados, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Análisis de Deformaciones Centrales en la Vigueta

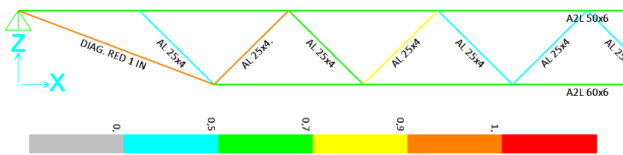
Tipo de Armado	$\Delta$ (mm)
a) Ángulo doblado	10.33
b) Ángulo Sencillo	10.38
c) Redondo Continuo	9.4

Tras analizar las deflexiones en la viga, se procede a examinar el diagrama de demanda versus capacidad. En el caso del armado a, donde se emplearon ángulos dobles de 50x50x6 mm para el cordón superior, ángulos dobles de 60x60x6 mm para el cordón inferior y ángulos de 25x25x4 mm para las diagonales, se obtuvieron los resultados correspondientes, tal como se muestra en la Fig. 4

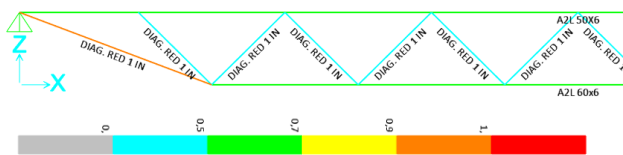


**Figura 4.** Diagrama de demanda vs capacidad armado tipo a

Se ejecutó un procedimiento análogo para el armado tipo b, utilizando los perfiles idénticos al armado tipo a. La diferencia reside en que, en este caso, el ángulo de las diagonales se posicionó en contacto directo con el cordón superior e inferior. En el caso del armado tipo c, se incorporó una barra redonda de 1 pulgada en sus diagonales. Los resultados correspondientes para cada caso se encuentran detallados en las Figuras 5 y 6, respectivamente.



**Figura 5.** Diagrama de demanda vs capacidad armado tipo b



**Figura 6.** Diagrama de demanda vs capacidad armado tipo c

Dado que el armado tipo b, se destaca por ser la opción más beneficiosa en términos de costos, resistencia y facilidad de armado, se ha optado por

utilizar este tipo de armado en lo que hemos denominado Modelo 2. En contraste, el Modelo 1 incluirá viguetas de hormigón armado, estableciendo así una base para su comparación posterior.

### 3.2. Comparación de modelos

#### 3.2.1. Periodos de vibración y porcentaje de masa participativa

En cuanto a los modos de vibración, se observa que ambas edificaciones cumplen con los rangos permitidos por la normativa. Esto se debe a que ambas estructuras tienen la misma disposición de vigas y columnas, con dimensiones idénticas. No se evidencia una variación significativa en los periodos de vibración, ni en el porcentaje de masa participativa como se muestra en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2: Acumulación de masa modelo con viguetas de hormigón

Modelo 1 (viguetas hormigón)			
Modos de vibración	Periodo [seg]	Porcentaje de participación de masa	
		X	Y
1	0.76	0.02	0.85
2	0.74	0.85	0.86
3	0.67	0.86	0.86
4	0.26	0.87	0.96
5	0.25	0.96	0.97

Tabla 3: Acumulación de masa modelo con viguetas de alma abierta

Modelo 2 (viguetas alma abierta)			
Modos de vibración	Periodo [seg]	Porcentaje de participación de masa	
		X	Y
1	0.74	0	0.85
2	0.71	0.84	0.85
3	0.69	0.86	0.85
4	0.25	0.86	0.95
5	0.24	0.96	0.96

#### 3.2.2. Comparación de pesos

Podemos evidenciar una reducción significativa del peso de 7373.532 kN en el modelo donde se emplea viguetas de alma abierta con respecto al modelo que

dispone de viguetas de hormigón y lo podemos ver en la Tabla 4 con los pesos que le corresponden a cada modelo.

Tabla 4: Comparación de peso entre modelos

Comparación de pesos	
Modelo 1	Modelo 2
Peso [kN]	Peso [kN]
38739.50	31365.972

### 3.2.3. Distribución de fuerzas laterales

En relación con la fuerza cortante generada por las cargas accidentales de sismo en el modelo que utiliza viguetas de alma abierta, se observa una reducción del 8.2% en la dirección "x" y del 10.9% en la dirección "y" al aplicar el método estático. En cuanto al método dinámico, se anticipa una disminución de la fuerza cortante del 8.2% en la dirección "x" y del 3.2% en la dirección "y". Es importante destacar que, para este estudio, se llevó a cabo el análisis estático para determinar la fuerza cortante y el análisis dinámico respectivamente en ambas direcciones (eje x, y), como se detalla en las tablas 5 y 6. Además, se verificó el cumplimiento con la normativa aplicable en ambos modelos, según lo establecido en NEC-SE-DE-Peligro sísmico.

Tabla 5: Comparación de Fuerza cortante (método estático)

Comparación Fuerza Cortante método estático		
Dirección	Modelo 1 Fuerza cortante [kN]	Modelo 2 Fuerza cortante [kN]
X	7079.11	6498.57
Y	6939.93	6175.54

Tabla 6: Comparación de Fuerza cortante (método dinámico)

Comparación Fuerza Cortante método dinámico		
Dirección	Modelo 1 Fuerza cortante [kN]	Modelo 2 Fuerza cortante [kN]
X	6047.37	5550.56
Y	6119.35	5921.06

### 3.2.4. Derivas de piso

Las derivas de piso se refieren al desplazamiento lateral que sufre una estructura debido a fuerzas accidentales como sismo, en el estudio podemos evidenciar que ambos modelos cumplen con el requisito implantado por normativa y lo podemos ver en la figura 7 y 8 para el modelo 1 (viguetas hormigón) y en la figura 9 y 10 para el modelo 2 (viguetas alma abierta). Dicha normativa establece que la deriva inelástica máxima es ( $\Delta$  Max=0.02 para el caso de estructuras de hormigón armado) pero esto se debe principalmente a la distribución estructural de ambos modelos y deberá quedar a criterio del diseñador dicha configuración para que cumpla con los criterios del diseño sismorresistente.

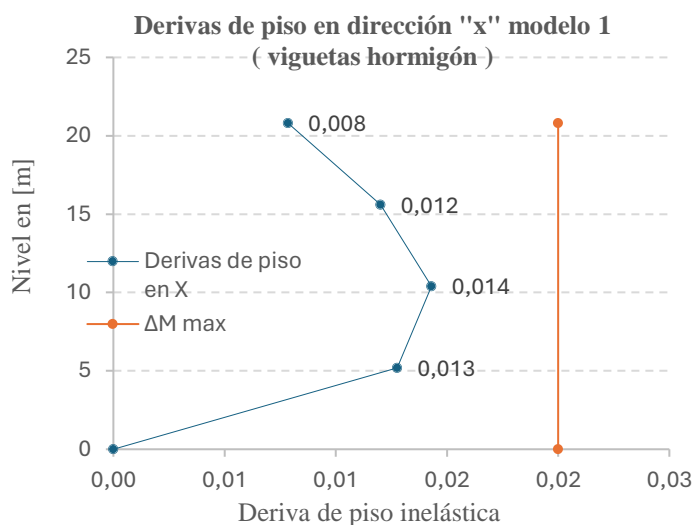


Figura 7. Deriva de piso en dirección "x" modelo 1

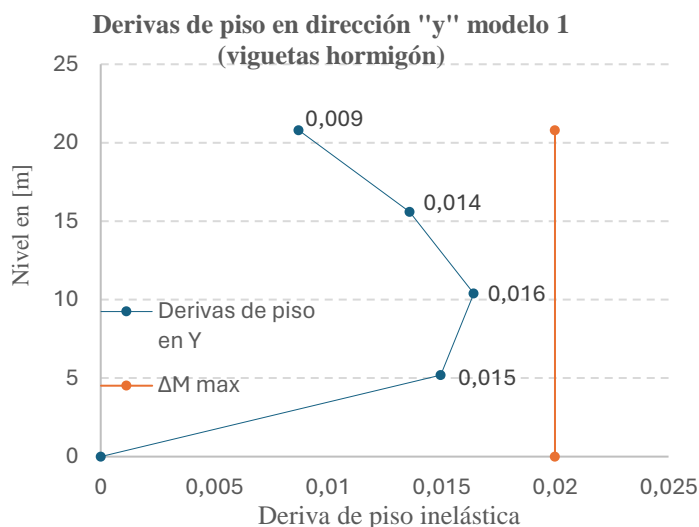


Figura 8. Deriva de piso en dirección "y" modelo 1

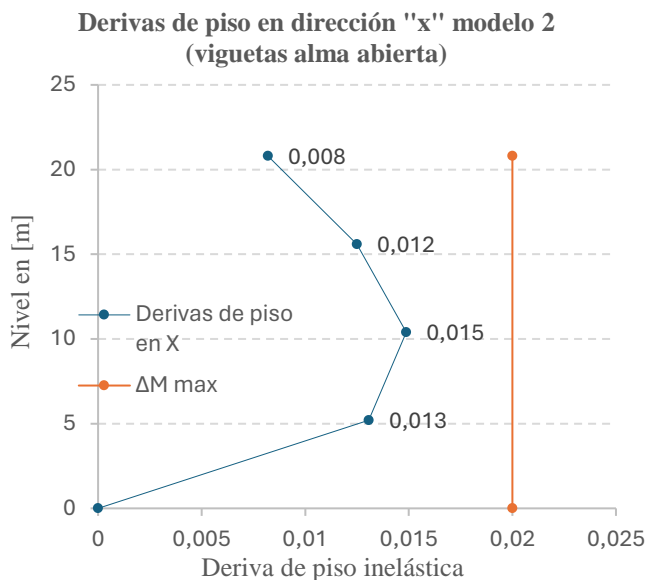


Figura 9. Deriva de piso en dirección "x" modelo 2

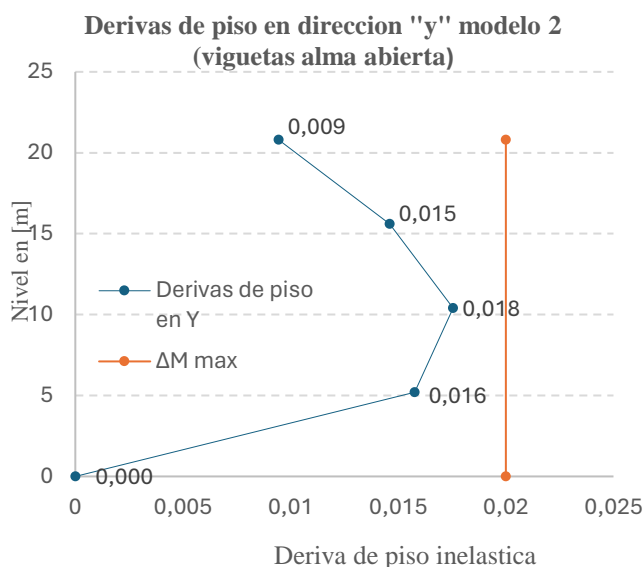


Figura 10. Deriva de piso en dirección "y" modelo 2

### 3.3. Resultados del diseño de Zapatas Aisladas

Tras realizar el cálculo del peso total de la estructura a través del programa SAP 2000, tanto para el modelo uno como para el modelo dos, se llevará a cabo una revisión para identificar la columna con la carga axial más significativa. Posteriormente, se procederá al diseño de la zapata correspondiente. Los detalles específicos, incluyendo las dimensiones, el volumen de

hormigón y el peso del acero, se presentarán de manera exhaustiva en la Tabla 7.

Tabla 7: Comparativa de dimensiones, pesos de acero y volúmenes de hormigón

ZAPATAS AISLADAS		
Descripción	Modelo 1	Modelo 2
B (m)	3.50	3.20
L (m)	3.10	2.85
h (m)	0.50	0.45
Df (m)	1.50	4.42
Vhor (m3)	5.73	3.46
W-acero (kN)	1.07	0.78

### 3.4. Comparación de Costos

En la comparación de costos, se tomarán en cuenta exclusivamente los volúmenes de hormigón y el peso de acero, así como el costo de cada perfil de vigueta. Los precios unitarios empleados fueron obtenidos de la Revista de la Cámara de la Industria de la Construcción [17].

#### 3.4.1. Volúmenes de hormigón y Peso de Acero

En la Tabla 8 se presenta un desglose del volumen requerido para cada piso en losas, vigas, viguetas y columnas, junto con sus pesos de acero requeridos en los mismos.

Tabla 8: Cantidades de Obra por Nivel

	Cantidades de obra			
	Modelo 1 (viguetas de hormigón)		Modelo 2 (viguetas de alma abierta)	
	V hormigón m3	W Acero kN	V hormigón m3	W Acero kN
Losa	130.67	56.50	88.78	29.15
Columnas	96.02	153.36	96.02	153.36
Vigas	158.00	131.61	130.60	141.01
Total	384.69	341.48	315.4	323.52

Los costos totales por toda la infraestructura y superestructura están detallados en la Tabla 9.

Tabla 9: Costos totales en cantidades de obra

Costos				
	Modelo 1 (viguetas de hormigón)		Modelo 2 (viguetas de alma abierta)	
	Hormigón	Acero	Hormigón	Acero
Losa	\$57 049.70	\$34 666.87	\$38 763.19	\$22 134.28
Columnas	\$41 921.46	\$60 233.12	\$41 921.46	\$60 233.12
Vigas	\$68 982.66	\$78 308.51	\$57 022.14	\$84 049.38
Viguetas	-	-	-	\$62 765.45
Zapatas	\$23 897.30	\$10 234.47	\$19 701.36	\$6 863.44
Total	\$191 851.12	\$183 442.97	\$157 408.14	\$236 045.67
Precio total	<b>\$375 294.09</b>		<b>\$393 453.81</b>	

## 4. Conclusiones

La investigación revela que las deformaciones en las viguetas de alma abierta se mantienen dentro de los límites establecidos por la norma NEC. Se observó que al utilizar barras lisas de 25.4 mm en las diagonales, se obtienen deformaciones mínimas. Sin embargo, al evaluar su coste, se determinó que esta opción no genera ahorros significativos en comparación con el uso de ángulos de 24x4 mm. En consecuencia, se optó por emplear un armado con ángulos sencillos en las diagonales (armado tipo b), ya que este enfoque favorece la soldadura al proporcionar un mayor contacto entre las alas de los perfiles en comparación con el armado tipo a.

En la presente investigación, hemos constatado que la incorporación de viguetas de alma abierta incide en los modos de vibración, manifestando una variación del 2.63% respecto al modelo que integra viguetas de hormigón armado. Estos resultados no solo destacan la influencia significativa de las viguetas de alma abierta en el comportamiento vibratorio, sino que también subrayan la necesidad de considerar cuidadosamente dicha elección constructiva al diseñar estructuras sujetas a condiciones dinámicas. Este hallazgo, con sus implicaciones prácticas y teóricas, contribuye al cuerpo de conocimientos en ingeniería estructural y proporciona una base valiosa para futuras investigaciones que puedan explorar más a fondo las implicaciones de este fenómeno en diversos contextos y aplicaciones estructurales.

En lo que respecta al porcentaje de masa participativa, nuestra investigación revela que no existen diferencias significativas entre los modelos, ya que ambos concentran el 90% de la masa participativa en los mismos modos de vibración. Estos resultados indican una similitud notable en la distribución de la masa en los sistemas analizados, sugiriendo una estabilidad y consistencia en la influencia de los modos de vibración.

En el análisis comparativo de pesos entre los modelos, se desprende que la incorporación de viguetas de alma abierta conlleva una reducción del 19.03 % en el peso total de la estructura. Además, se evidencia una disminución del 2.72% en la fuerza cortante por nivel en la dirección más crítica al emplear viguetas de alma abierta en las losas de entrepiso, en contraste con el uso de losas unidireccionales de hormigón. Estos resultados sugieren no solo una eficiencia estructural en términos de reducción de peso, sino también una mejora en la distribución de fuerzas.

En cuanto, a las derivas de piso, nuestros hallazgos indican que el sistema de entrepiso con viguetas de alma abierta no ejerce una influencia significativa en el comportamiento estructural del Modelo 2. Los resultados sugieren una estabilidad comparable en las deformaciones laterales, independientemente de la elección entre viguetas de alma abierta y cualquier otro sistema evaluado.

Finalmente, se destacó una disparidad de costos del 4.62% más elevada en el modelo que incorpora viguetas de alma abierta en las losas de entrepiso. Por consiguiente, se concluye que la reducción de peso no necesariamente se traduce en una disminución de costos. Este hallazgo plantea la necesidad de investigaciones futuras para determinar a partir de qué nivel de piso el uso de viguetas de alma abierta se vuelve más rentable desde una perspectiva económica. Estos resultados subrayan la importancia de considerar no solo aspectos estructurales, sino también

factores económicos al evaluar las opciones de diseño en la construcción de edificaciones.

En conclusión, tras analizar las opciones disponibles para la conformación de viguetas de alma abierta, podemos afirmar que la utilización de ángulos A36 se presenta como una alternativa más viable y práctica en nuestro entorno. La escasez de ángulos A50, tanto en variedad como en cantidad, dentro de nuestro país, resalta la relevancia de considerar soluciones que se ajusten mejor a nuestras condiciones locales. La adopción de ángulos A36 no solo garantiza una mayor disponibilidad de materiales, sino que también facilita la implementación de proyectos de construcción de manera más eficiente y económica en nuestra región.

## Referencias

- [1] M. E. Columba Morocho y G. A. Crespo Palma, *Estudio de elementos compuestos por una losa de hormigón sobre una viga de acero de alma no compacta y patines compactos, sometidos a flexión con momentos negativos* Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Sept. 2016 [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16861>. [Accedido: 5-Abr-2023]
- [2] NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-SE-CG, "Cargas (No Sísmicas)," 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf> [Accedido: 27-Dic 2023]
- [3] E. Páez y C. Páez, "Determinación de la carga permanente correspondiente a distintos tipos de mampostería en edificaciones de vivienda", *Revista PUCE*, vol. 106, pp. 152, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://www.revistapuce.edu.ec/index.php/re>
- [4] Ing. J. E. Ortega García, *Diseño de estructuras de concreto armado*, Editorial Empresa Editora Macro EIRL, Tomo 1, Perú, septiembre 2014, ISBN: 978-612-304-217-2 pp. 101
- [5] J. Mc Cormac and R. Brown, *Diseño de Concreto Reforzado*, Octava Edición con el Código ACI 318-08, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México, 2010, ISBN: 978-607-707-231-7, cap. 2 y 9.
- [6] ANDECE, *Guía Técnica de Forjados Prefabricados de Hormigón*, Asociación Nacional de Fabricantes de Elementos Prefabricados de Hormigón, Valencia, España, 2020.
- [7] Steel Joist Institute, "Standard Specification for Composite Steel Joists, CJ-Series," SJI-CJ-2015, Florence, United Estate, 2015.
- [8] I. M. Ibrahim Muhammad, "Behaviour of Open Web Steel Joist in Composite Deck Floor System", University of Windsor, Ontario, Canada, 2015 [Online]. Available: <https://scholar.uwindsor.ca/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=6457&context=etd>. [Accessed: Apr 18, 2023].
- [9] M Díaz et al., "Propuesta de cálculo para entrepisos compuestos de hormigón y acero, con vigas de alma abierta para su aplicación en Ecuador", Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19059>. [Accedido: 20 Abr-2023]
- [10] NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-SE-DS, "Peligro Sísmico" 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp->

- content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf [Accedido: 27-dic 2023]
- [11] C. E. Cevallos Barzallo, "Análisis de la Relación de la Frecuencia Fundamental de una Estructura con la Deriva Inelástica de Piso en una Estructura Irregular de 5 Pisos", Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2017. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26844/1/Tesis%201184%20-%20Cevallos%20Barzallo%20C%C3%A9sar%20Eduardo.pdf>
- [12] L. V. Cevallos Cantos, "Análisis de las derivas de piso y asentamientos producidos por el sismo del 16, a través del software Etabs con la Nec-2015 del edificio Geovanny Soria ubicado en la calle 108, del cantón manta, Provincia de Manabí" Tesis de grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manabí, Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/611>
- [13] D. A. Tigre Gómez, "Distribución de Fuerzas Horizontales en Edificios Considerando el Efecto del Momento Flexo-torsor", Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23083/1/tesis.pdf>
- [14] R. A. Falconí, "Microzonificación sísmica de Quito", Centro de Investigaciones Científicas, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Quito, Ecuador, agosto 2013, ISBN: 978-9978-301-02-9
- [15] B.S. Sanabria, "Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losas de entrepiso para edificaciones de hasta 4 niveles", Proyecto de titulación, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/7ee00357-7f4e-46c6-be03-b0dddc0e49ef>. [Accedido: 5-abr-2023].
- [16] M. A. Allauca LLamuca, "Evaluación de estado límite por deflexión en losas con vigas compuestas tipo Joist fabricadas con acero ASTM A36," Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/38157>. [Accedido: 5-abr-2023].
- [17] L. F. Ocampo "Construcción Cámara de la Industria de la Construcción" *CAMICON* No. 276, junio 2022, pp. 28-96.