



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE ESTRUCTURAS PARA EDIFICACIONES
SISMO RESISTENTES EN HORMIGÓN VS ACERO DE DOS A DIEZ PISOS DE
ALTURA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Civil

AUTORA: Angie Nayeli Canseco Pico

TUTOR: David Patricio Guerrero Cuasapaz

Quito – Ecuador


2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Angie Nayeli Canseco Pico con documento de identificación N°1600692774; manifiesto que:
Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 26 de enero del 2024

Atentamente,



Angie Nayeli Canseco Pico
1600692774

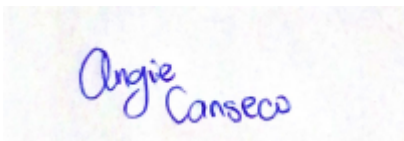
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Angie Nayeli Canseco Pico con documento de identificación N°1600692774; expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de Investigación: “Análisis Técnico Económico de Estructuras para Edificaciones Sismo Resistentes en Hormigón vs Acero de Dos a Diez Pisos de Altura”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 26 de enero del 2024

Atentamente,



Angie Nayeli Canseco Pico
1600692774

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, David Patricio Guerrero Cuasapaz con documento de identificación N°1715215974, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE ESTRUCTURAS PARA EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES EN HORMIGÓN VS ACERO DE DOS A DIEZ PISOS DE ALTURA, realizado por Angie Nayeli Canseco Pico con documento de identificación N°1600692774, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto de Investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de enero del 2024

Atentamente,



Ing. David Patricio Guerrero Cuasapaz MSc.
1715215974

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE ESTRUCTURAS PARA EDIFICACIONES SISMO RESISTENTES EN HORMIGÓN VS ACERO DE DOS A DIEZ PISOS DE ALTURA

TECHNICAL ECONOMIC ANALYSIS OF EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDING STRUCTURES IN CONCRETE VS STEEL RANGING FROM TWO TO TEN STORIES IN HEIGHT

Angie Canseco-Pico¹, Patricio Guerrero-Cuasapaz²

Resumen

En la actualidad, se construyen edificios para diversas actividades ocupacionales en tanto en hormigón armado como en acero, ya que estos materiales son los más comercializados en la industria de la construcción. Es necesario un análisis costo-beneficio para indicar la rentabilidad positiva y negativa al construir con estos dos materiales. En el presente estudio se plantean 8 estructuras de diferentes alturas, destinadas a viviendas, las cuales serán verificadas a través de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS) (NEC-SE-AC) (NEC-SE-HM) y mediante un modelo matemático empleando el software ETABS y SAFE, sirviendo como foco de análisis para evaluar la capacidad de resistencia sísmica de ambos materiales en función de su desempeño a diferentes alturas. El análisis económico se ha basado en la estimación de costos de materiales y mano de obra específicos para la construcción de elementos estructurales de hormigón y acero, cuantificando los volúmenes de obra de las estructuras, permitiendo establecer criterios adecuados teniendo en cuenta las características de la geometría asumida y usando un análisis comparativo mediante el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) que permitió establecer criterios adecuados en cuanto a

Abstract

Currently, buildings are constructed for various occupational activities using both reinforced concrete and steel, as these materials are the most commonly used in the construction industry. A cost-benefit analysis is necessary to indicate the positive and negative profitability of using these two materials. In this present study, eight structures of varying heights designed for residential purposes are proposed. These structures will be assessed in accordance with the Ecuadorian Building Regulations (NEC-SE-DS) (NEC-SE-AC) (NEC-SE-HM) and through a mathematical model using the software ETABS and SAFE. This serves as the focal point of analysis to evaluate the seismic resistance capacity of both materials based on their performance at different heights. The economic analysis is based on estimating specific costs of materials and labor for the construction of structural elements in concrete and steel, quantifying the work volumes of the structures. This allows for establishing appropriate criteria, considering the assumed geometry's characteristics, and conducting a comparative analysis using the Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR), which enabled establishing criteria for economic assessment. The results of this study provide valuable information regarding which of the

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

² Docente de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: acanseco@est.ups.edu.ec; dguerrero@est.ups.edu.ec

la valoración económica. Los resultados del presente estudio proporcionan información valiosa sobre cuál de los dos materiales, hormigón o acero, es más económico para edificaciones de diferentes alturas, y cómo se comportan en términos de resistencia sísmica. Este análisis contribuye como guía para el conocimiento en el campo de la ingeniería estructural y ofrece orientación tanto a profesionales como a interesados informales en la construcción en la selección de materiales, considerando las restricciones presupuestarias y las exigencias sísmicas específicas de cada proyecto.

Palabras Clave: Diseño Estructural, Evaluación de Rendimiento Sísmico, Análisis Estructural, Análisis Financiero, VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno), Rentabilidad, Presupuesto de Construcción, Hormigón, Acero Estructural, Análisis Comparativo, Análisis de Inversiones.

two materials, concrete or steel, is more cost-effective for buildings of varying heights and how they perform in terms of seismic resistance. This analysis contributes as a guide to knowledge in the field of structural engineering and offers guidance to both professionals and informal stakeholders in construction material selection, considering budget constraints and the specific seismic requirements of each project.

Keywords: Structural Design, Seismic Performance Assessment, Structural Analysis, Financial Analysis, NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return), Profitability, Construction Budget, Concrete, Structural Steel, Comparative Analysis, Investment Analysis.

1. Introducción

El desconocimiento generalizado en Ecuador acerca de las ventajas y diferencias de costos entre las estructuras construidas en hormigón y acero, así como la falta de conciencia sobre la importancia de la construcción sismo resistente según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) [1], hace inevitable la ocurrencia de desastres en caso de sismo. Es por ello que el presente artículo tiene como fin esencial comparar los costos de estructuras de hormigón y acero a diferentes alturas, identificando el punto a partir del cual se presenta una diferencia significativa en los costos, y fomentar la construcción sismo resistente según la NEC.

Enfocándose en un análisis técnico-económico comparativo de estructuras destinadas a edificaciones de dos a diez pisos de altura, construidas en hormigón y acero, con geometría uniforme, pero variando su elevación, buscamos evaluar el desempeño de estos dos materiales en términos de su capacidad y resistencia sísmica, siguiendo los parámetros de la NEC-SE-DS [1], y su viabilidad económica.

Se usa prediseños siguiendo la NEC, posteriormente se continua con la modelación de los edificios presentados usando el software ETABS, con el fin de evaluar su comportamiento frente a los sismos y diseñando cada elemento estructural incluyendo la cimentación, que para esta se usó el software SAFE. Una vez realizado el análisis se ha comparado ambos materiales para concluir que tan conveniente es construir en hormigón o acero en la parte técnica.

A lo largo de este artículo, se profundizó aspectos técnicos y económicos fundamentales de las estructuras de hormigón y acero en el contexto de su comportamiento ante sismos, considerando los costos asociados con la construcción de elementos estructurales. Además, se realizó un análisis comparativo utilizando indicadores financieros clave, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para determinar la rentabilidad y la eficiencia de cada material en diferentes alturas de edificación, frente a un caso hipotético de inversión el cual es de mayor interés en la construcción.

Este enfoque, vital en el ámbito de la construcción brinda una perspectiva integral sobre la elección de materiales en el contexto del sismo resistencia y la economía. [2]

2. Materiales y Métodos

2.1. Software

2.1.1. ETABS

Se empleó el software ETABS (Engineering Analysis and Building System), ampliamente reconocido en la ingeniería civil y arquitectura, para el análisis y diseño estructural. Permitted evaluar el comportamiento de las estructuras frente a cargas gravitatorias y sísmicas, modelando con precisión deformaciones y tensiones [3].

2.1.2. SAFE

SAFE (Software for Analysis of Framed Structures), este software se utilizó para evaluar y diseñar cimentaciones, destacándose por su capacidad de análisis detallado del suelo, interacciones suelo-estructura, y evaluación en condiciones de carga extrema generada por sismos [4].

2.1.3. Análisis de Precios Unitarios

El Análisis de Precios Unitarios (APU) consiste en desglosar los costos de los materiales, la mano de obra y la maquinaria por unidad de medida estándar. En el contexto de estructuras de hormigón y acero, este análisis permite una evaluación detallada de los costos específicos de cada componente, desde las columnas y vigas hasta los cimientos y muros de contención [5]. Esta descomposición facilita la identificación de áreas de posible optimización y la toma de decisiones informadas respecto a la selección de materiales y métodos constructivos [6].

2.1.3. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es una herramienta crucial en la evaluación económica de proyectos de construcción de edificaciones sismo resistentes. Al considerar el flujo de efectivo a lo largo del tiempo, el VAN proporciona una perspectiva valiosa sobre la

rentabilidad del proyecto. En este contexto, el VAN no solo debe abordar los costos de construcción iniciales, sino también los beneficios y costos asociados con el ciclo de vida del edificio. [7]

Es esencial tener en cuenta que la construcción de edificaciones sismo resistentes no solo implica inversiones iniciales, sino también costos de operación y mantenimiento a lo largo del tiempo. Un análisis de VAN robusto debe incorporar estos costos futuros, considerando la durabilidad de las estructuras y los posibles gastos asociados con inspecciones sísmicas regulares, reparaciones y renovaciones.

El VAN aplicado a la construcción de edificaciones sismo resistentes debe ser una herramienta dinámica que abarque no solo los costos de construcción, sino también los beneficios y costos futuros. Esta perspectiva integral proporciona una visión más precisa de la viabilidad financiera y la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

2.1.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR proporciona información valiosa sobre la rentabilidad del proyecto al evaluar la tasa de rendimiento que iguala el valor presente de los flujos de efectivo futuros con la inversión inicial.

En el análisis de la TIR para proyectos de construcción, es vital considerar la duración del proyecto y los flujos de efectivo a lo largo del tiempo. Una TIR precisa debe capturar estos elementos para ofrecer una imagen completa de la rentabilidad a lo largo del ciclo de vida del edificio. [7]

2.2. Descripción de la estructura

Las estructuras propuestas constan con una altura de entrepiso de 3 m, las cuales se pueden vislumbrar en la figura 1, la misma que también representa la distribución en planta. Cabe mencionar que en las estructuras no se ha considerado la mampostería debido a que este estudio tiene como fin generalizar el presupuesto y servir como guía en comparación con los dos materiales más usados en la construcción, el acero y el hormigón. Las edificaciones serán destinadas a residencias y la terraza será inaccesible. Se

plantean estructuras en hormigón y acero de dos, cinco, ocho y diez pisos, es decir, ocho estructuras en total.

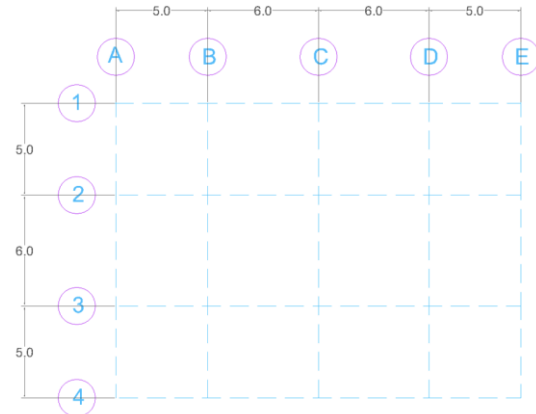


Figura 1. Vista en Planta de la geometría de las estructuras

2.3. Parámetros de entrada

La modelación de la estructura dio inicio con el prediseño de los elementos estructurales considerando las siguientes características de los materiales:

Tabla 1. Característica de los materiales

| Materiales | Resistencia kg/cm ² | Peso específico kg/m ³ |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Acero | 2531,05 | 7850 |
| Hormigón (para estructuras de 2 a 5 pisos) | 210 | 2400 |
| Hormigón (para estructuras de 8 y 10 pisos) | 240 | 2400 |

Según la NEC-SE-CG se tomó en consideración de cargas que soporta la estructura, en la cual se especifica valores de sobrecarga dependiendo del tipo de ocupación. Ya que refiere a una estructura tipo vivienda la norma sugiere un valor de 2,00 kN/m². [8]

Se recurrió a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS para determinar la carga sísmica, por lo que se consideraron los valores correspondientes a esta zona sísmica. Se aplicó un factor de reducción (R) de 8, conforme a la normativa, para ambos materiales (acero y

hormigón), bajo la premisa de que ambos sistemas exhiben alta ductilidad.

Es relevante señalar que, en la práctica, muchos profesionales, a pesar de la normativa, optan por valores de R entre 7 y 6. Esta elección se fundamenta en la dificultad de alcanzar un R=8 en la realidad, lo cual depende en gran medida de tres aspectos críticos. En primer lugar, se requiere un análisis estructural riguroso; en segundo lugar, se precisa un detallamiento meticuloso en los planos; y, en tercer lugar, la construcción debe ejecutarse con precisión, cumpliendo con normas, planos, controles y demás estándares, una tarea que en nuestro país se torna desafiante [1]. Tal como se puede apreciar en la tabla 2 los parámetros de carga sísmica utilizados en el análisis estructural de los edificios de hormigón y acero. Estos parámetros son esenciales para evaluar la respuesta de las estructuras ante eventos sísmicos y garantizar su adecuada resistencia. Además, se muestran los datos específicos en tabla que refieren a la Zonificación sísmica V y para las regiones Sierra, Esmeraldas y Galápagos:

Tabla 2. Parámetros de carga sísmica

| Variable | Valor | Unidades |
|---------------|----------------------|----------|
| I | 1,00 | s.u |
| R | 8,00 | s.u |
| Øp | 1,00 | s.u |
| Øe | 1,00 | s.u |
| Z | 0,40 | s.u |
| N | 2,48 | s.u |
| Ct | 0,055 | s.u |
| Hn | Altura de estructura | m |
| α | 0,90 | s.u |
| Tipo de suelo | | D |
| Fa | 1,20 | s.u |
| Fd | 1,19 | s.u |
| Fs | 1,28 | s.u |
| r | 1,00 | s.u |

2.4. Prediseño

En la fase de prediseño de elementos estructurales, se aplicó la regla fundamental de “viga fuerte, columna débil”, en estricta concordancia con los

requisitos específicos del proyecto y las distintas condiciones presentes en cada nivel de la estructura. Este principio, estructural, considerando una práctica esencial en ingeniería sísmica, asegura la capacidad de absorción de energía y deformación plástica en las vigas, proporcionando así una respuesta estructural más adecuada durante eventos sísmicos. Los prediseños se llevaron a cabo meticulosamente, tanto en condiciones normales como en situación sísmica. La consideración rigurosa de estas directrices contribuye de manera significativa a la integridad y resistencia sísmica global del sistema estructural, optimizando así la seguridad y la eficiencia en cada proyecto. En específico la NEC-SE-DS aborda este principio y proporciona directrices para su aplicación. [1]

Se realizó un prediseño por rigidez tomando en cuenta la luz libre más grande, que en este caso es de 6 m, esto para vigas y posteriormente se realizó el prediseño de columnas con la cantidad de estribos y ramales necesarios para cumplir también por esfuerzos.

El prediseño de la losa se considera según la ACI-318-14 [9]. El panel más crítico tiene sus lados de 6 m. En el prediseño de losa nervada se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Prediseño de Losa Nervada

| Variable | Valor (cm) |
|----------|------------|
| hp | 5 |
| hn | 25 |
| h | 30 |
| s | 60 |
| bn | 10 |
| b | 70 |
| B | 140 |
| ycg | 21,25 |
| Ixx | 46562,5 |
| heq | 19,985 |
| hdis | 18,18 |

Donde:

Altura de la carpeta de compresión (hp).

Altura de nervio (hn).

Altura de losa nervada (h).

Ancho del alivianamiento (s).

Ancho del nervio (bn).

Ancho unitario menor (b).

Ancho unitario mayor (B).
 Centroides vertical de la sección equivalente (ycg).
 Inercia de la losa nervada (Ixx).
 Altura equivalente de losa nervada maciza (heq).
 Altura de diseño de losa (hdis).

Según el comportamiento y requerimiento de cada modelo se colocaron secciones que se ajusten al modelo, de tal manera que no estén secciones sobredimensionadas. Para los edificios de hormigón se usaron secciones rectangulares para columnas centrales y columnas cuadradas para bordes y esquinas.

Para ilustrar las secciones implementadas, se presentan los elementos modelados en el edificio de diez pisos, tanto en su versión de acero como en la de hormigón.

En el edificio de acero se colocaron viguetas tipo IPE 240, vigas principales W14x38, vigas secundarias W14x30. Columnas de borde y esquinas W14x132 y columnas centrales W14x193. Colocando viguetas cada 1,50 cm en luces de 5 m y cada 1,67 cm en luces de 6 m.

En el edificio de hormigón se colocaron columnas esquineras de 60x60 cm, columnas de borde y centrales de 45x60 cm y vigas de 45x60 cm.

2.4.2. Cargas

El prediseño de secciones en hormigón y acero requiere la consideración meticulosa de diversas cargas con el objetivo de asegurar la integridad y eficiencia estructural. Entre las cargas permanentes se incluyen el peso propio de la estructura y de las instalaciones permanentes. Las cargas variables abarcan factores como las cargas vivas, de nieve que en este caso se consideró como ceniza y sísmicas, cada una adaptada a las características específicas de la región.

Tabla 4. Cargas consideradas en el diseño

| Variable | Valor (kg/m ²) | Descripción |
|----------|----------------------------|---------------------|
| L | 200 | Carga viva |
| Lr | 70 | Carga viva reducida |
| PP | 400 | Sobrecarga |
| S | 100 | Ceniza (nieve) |

Para las cargas de grada se usa según la NEC-SE-DS una carga viva de 480 kg/m² y se considera la carga muerta y el peso propio de las gradadas, como el peso de las instalaciones y del barandal para cada tipo de estructura. [1]

En la cimentación que es prediseñada y modelada en el software SAFE, se considera una capacidad admisible del suelo de 22 T/m² el cual es asumido ya que este dato dependerá del estudio del suelo del proyecto.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis Técnico

La presentación de resultados será mostrada en tablas las cuales muestran el comportamiento de los edificios.

En la tabla 5 se muestran las derivas inelásticas máximas por el método estático de cada edificio modelado en hormigón en el cual se puede observar que cumple según la NEC con menos del 2 % de deriva.

Tabla 5. Derivas de piso máxima sismo estático en edificios de hormigón

| Edificios | x (%) | y(%) |
|-----------------|-------|------|
| 2 Pisos | 0,39 | 0,96 |
| 5 Pisos | 0,64 | 1,00 |
| 8 Pisos | 1,12 | 1,77 |
| 10 Pisos | 1,37 | 1,93 |

También se comprueba las derivas inelásticas máximas por el método dinámico mostrado en la tabla 6.

Tabla 6. Derivas de piso máxima sismo elástico en edificios de hormigón

| Edificios | x (%) | y(%) |
|-----------------|-------|------|
| 2 Pisos | 1,31 | 0,81 |
| 5 Pisos | 0,75 | 1,17 |
| 8 Pisos | 0,93 | 1,12 |
| 10 Pisos | 0,86 | 0,97 |

Sin embargo, a comparación con el comportamiento de los edificios en acero

observamos en la tabla 7 y 8 las derivas máximas por el método estático y por método dinámico de cada piso modelado en acero. Al igual que los edificios de hormigón las derivas inelásticas cumplen con normativa.

Tabla 7. Derivas de piso máxima sismo estático en edificios de acero

| Edificios | x (%) | y (%) |
|-----------|-------|-------|
| 2 Pisos | 0,22 | 0,40 |
| 5 Pisos | 0,73 | 0,23 |
| 8 Pisos | 1,40 | 0,65 |
| 10 Pisos | 1,85 | 1,49 |

Tabla 8. Derivas de piso máxima sismo elástico en edificios de acero

| Edificios | x (%) | y (%) |
|-----------|-------|-------|
| 2 Pisos | 0,39 | 0,96 |
| 5 Pisos | 1,33 | 0,44 |
| 8 Pisos | 1,45 | 0,75 |
| 10 Pisos | 1,49 | 0,92 |

En las estructuras de acero, se requiere aproximadamente 12 veces menos material en comparación con las estructuras de hormigón. La rigidez, que se define como la fuerza necesaria para duplicar la longitud de un elemento, juega un papel crucial en esta diferencia. Consideremos una varilla de acero de 1 cm²; se necesitaría 2 millones de kilogramos o 20,000 toneladas para lograr esta duplicación de longitud. Por otro lado, en el caso del hormigón con la misma área, solo se necesitarían 200 toneladas para el mismo efecto. En resumen, el acero muestra una rigidez diez veces mayor, lo que implica que es diez veces más resistente a la deformación en comparación con el hormigón. [10]

Se considera también para el diseño la torsión en planta, en ninguno de los 8 modelos hay una pérdida de estabilidad, movimientos no deseados o comportamientos impredecibles. Se cumple con la norma que prohíbe la existencia de la torsión en planta tanto en x como en y.

Para que todos los criterios de diseño y chequeos

hayan cumplido se usa un sistema de muros estructurales el cual permite manejar de mejor manera la rigidez. Dando una inercia muy alta en un sentido y muy baja en el otro sentido, con estos muros aportamos rigidez a la estructura y nos cumple con los modos y derivas. Este es un sistema que controla los daños a partir de la reducción de deformaciones y distribuciones Tal como se observa en la figura 2 para edificios en hormigón, se ubican los muros en dos zonas de la estructura midiendo 1.5 m y en la figura 3 se muestra la ubicación de los muros en los edificios de acero.

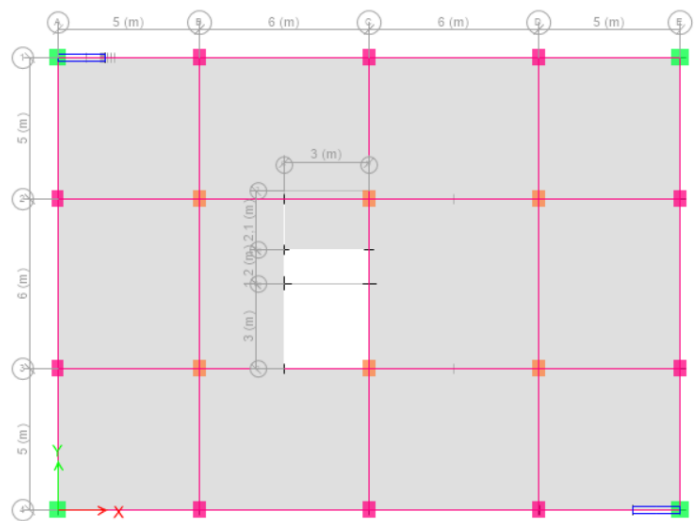


Figura 2. Vista en planta ubicación de los muros en estructura de hormigón.

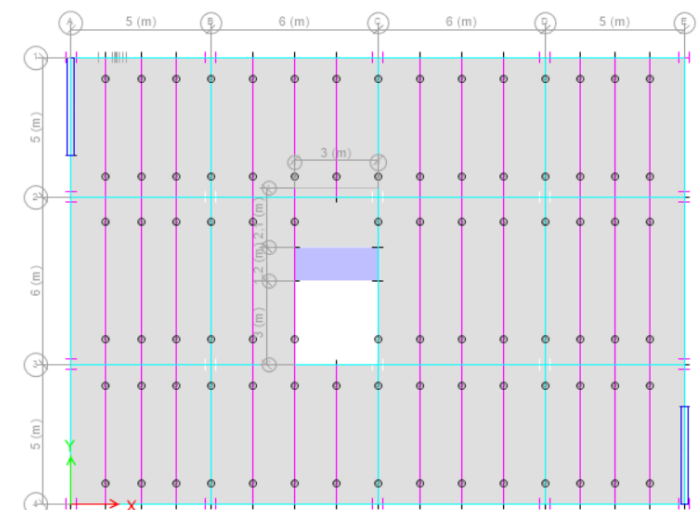


Figura 3. Vista en planta ubicación de los muros en estructura de acero.

Se realizó el chequeo del sismo estático vs sismo

dinámico, se lo hace principalmente ya que la forma de cálculo de estos métodos es diferente en cada periodo. El programa hace un análisis modal que encuentra el periodo de vibración. Según la NEC el sismo dinámico debe ser por lo menos el 80 % del método estático. En todos los modelos se cumple con este chequeo.

El desempeño sísmico de ambos materiales es destacable. Las estructuras de acero exhibieron una mayor capacidad para absorber y disipar la energía sísmica, lo que podría traducirse en una mayor resistencia ante eventos sísmicos. Por otro lado, las estructuras de hormigón mostraron una mayor capacidad para resistir deformaciones sin perder su integridad estructural.

La elección entre el hormigón y acero debe considerarse no solo evaluando el desempeño sísmico, sino también los costos del proyecto.

En este análisis comparativo de estructuras de hormigón y acero para edificaciones sismo resistentes, la cuestión del peso desempeña un papel significativo en la toma de decisiones.

Las estructuras de acero, conocidas por su alta resistencia y capacidad de soporte, tienden a ser más livianas en comparación con sus contrapartes de hormigón. Este menor peso no solo influye en el costo de la estructura en sí misma, sino también puede tener implicaciones en la cimentación y elementos asociados.

Las estructuras de acero son conocidas por su resistencia y rigidez, lo que las hace particularmente adecuadas para aplicaciones donde se requiere una alta capacidad de carga y una respuesta rápida a las fuerzas. Son eficientes en situaciones sísmicas debido a su capacidad para deformarse sin perder su integridad estructural. El hormigón, por otro lado, destaca por su durabilidad y capacidad para soportar grandes cargas. Aunque puede ser menos rígido que el acero, su ductilidad y resistencia a la compresión lo hacen adecuado para una variedad de aplicaciones [11].

Como se muestra en la figura 4, la ligereza de las estructuras de acero se traduce en una carga menor sobre las fundaciones, lo que podría reducir los costos asociados como la excavación y el diseño de cimentaciones. Además, la posibilidad de utilizar cimentaciones más

compactas y eficientes puede llevar a una optimización de los recursos, tanto en términos de materiales como de tiempo de construcción.

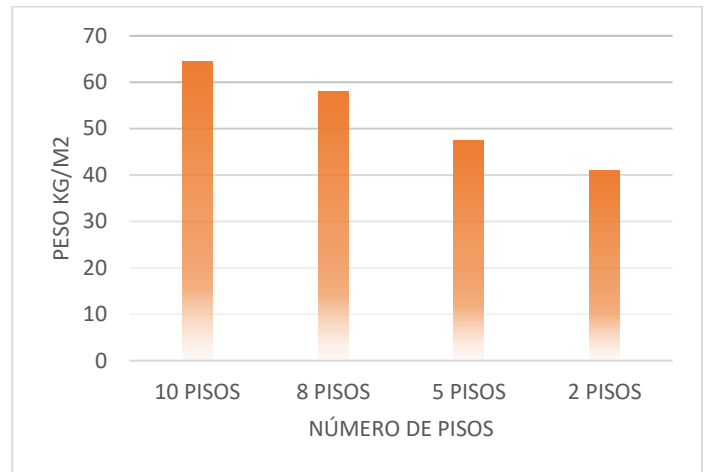


Figura 4. Pesos de las estructuras de acero.

En el contexto de edificaciones de hormigón la figura 5, el peso de la estructura es un elemento central que influye en diversos aspectos del diseño, construcción y mantenimiento.

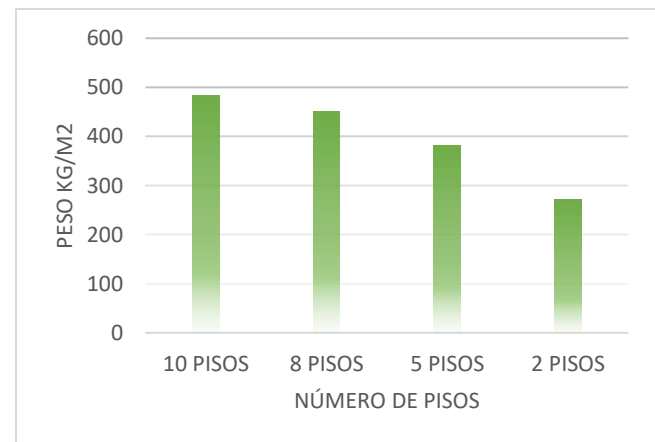


Figura 5. Pesos de las estructuras de hormigón.

Las estructuras de hormigón, reconocidas por su robustez y durabilidad, suelen ser más pesadas en comparación con las de acero. Esta característica puede tener varias implicaciones a considerar. En primer lugar, el peso adicional de las estructuras de hormigón puede afectar la capacidad de carga de las cimentaciones. Se requieren cimientos más robustos para soportar el peso considerable de la estructura, lo que puede dar lugar a costos adicionales en términos de excavación y diseño de

cimentaciones.

En la figura 6 se muestra la diferencia entre ambos materiales según sus pesos, se observa la gran diferencia de pesos entre estos materiales más usados de la construcción.

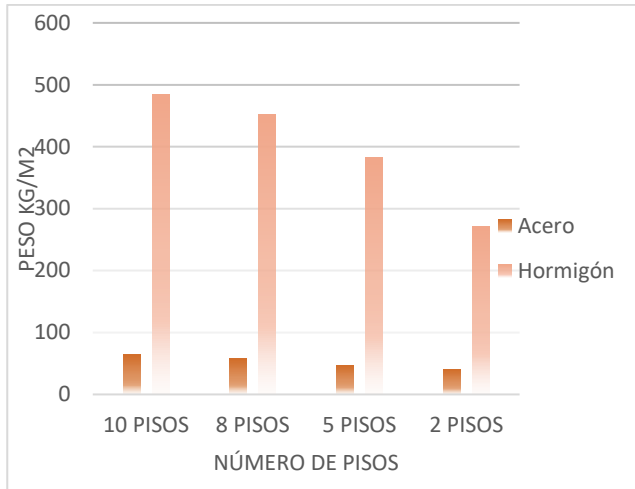


Figura 6. Hormigón vs acero, pesos de las estructuras.

Asimismo, el mayor peso de las edificaciones de hormigón puede influir en tiempos de construcción. El manejo de los elementos más pesados durante la fase de construcción puede requerir equipos y logística de mayor complejidad.

No obstante, el peso adicional también aporta beneficios. La masa de las estructuras de hormigón puede contribuir a una mayor resistencia frente a vibraciones y movimientos sísmicos, proporcionando así una respuesta estructural favorable en situaciones de carga externa.

Es crucial reconocer que la elección entre estructuras de hormigón y acero no debe basarse únicamente en el peso. La resistencia sísmica y la capacidad de absorber energía son aspectos igualmente fundamentales. Es en la combinación de estos factores donde se encuentra la verdadera eficiencia y seguridad estructural.

El peso específico del hormigón son casi tres veces menos que el peso específico del acero. En realidad, el acero es más pesado que el hormigón, sin embargo, aquí aparece una característica peculiar del acero que la relación con la resistencia, esta relación a su resistencia hace que el acero se vuelva muy liviano.

3.2 Análisis Económico

En el presente estudio, se llevó a cabo un análisis detallado de los costos asociados con la construcción de edificaciones sismo resistentes de dos a diez pisos de altura en hormigón y acero.

El análisis económico en la construcción de edificaciones implica la aplicación de herramientas como el análisis de precios unitarios y el cálculo de volúmenes de obra para evaluar y planificar los costos asociados al proyecto. Estas metodologías desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones eficientes y rentables durante todas las etapas del proyecto.

El cálculo de volúmenes de obra es esencial para determinar las cantidades exactas de materiales necesarios, como el concreto y el acero, en función del diseño estructural, sin considerar mamposterías y acabados. Esta estimación precisa contribuye a la planificación de adquisiciones y garantiza un uso eficiente de los recursos, evitando excesos o faltantes que podrían afectar los costos del proyecto.

La evaluación de los costos indirectos, como permisos, seguros y gastos administrativos. La integración de estos factores en el presupuesto total es crucial para obtener una imagen precisa de los recursos financieros requeridos.

Se desarrollan 12 rubros para la realización de Análisis de Precios Unitarios para los edificios de acero como se muestra en la tabla 8, donde refleja la unidad de medida y el precio unitario de cada rubro. En cada rubro incluyó la mano de obra, materiales, equipos, rendimientos y un costo indirecto del 26 %.

Tabla 8. Rubros análisis de precios unitarios para edificios de acero.

| Rubro | Unidad | Precio Unitario |
|---|----------------|-----------------|
| Excavación sin clasificar. Movimiento de Tierras | m ³ | 3,37 |
| Material de mejoramiento a maquina | m ³ | 13,37 |
| Arreglo y Limpieza (incluye desalojo) | m ² | 0,62 |

| | | |
|--|----------------|-------|
| Replanteo y Nivelación General de Proyecto | m ² | 1,04 |
| Excavación a Máquina para Cimientos y Plintos | m ³ | 3,03 |
| Relleno compactado (mejoramiento) | m ³ | 6,59 |
| Replanteo de Hormigón Simple f'c=180 kg/cm2 | m ³ | 75,91 |
| Hierro Estructural | kg | 3,43 |
| Hormigón Simple en Plintos f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 95,99 |
| Hormigón ciclópeo para cimentación f'c=180 kg/cm2 | m ³ | 97,56 |
| Acero Estructural A-36 (incluye montaje) | kg | 10,26 |
| Losa Deck e=0.65 mm H=10 cm | m ² | 17,17 |

| | | |
|--|----------------|--------|
| f'c=180 kg/cm2 | | |
| Hierro Estructural | kg | 3,43 |
| Hormigón Simple en Plintos f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 95,99 |
| Hormigón ciclópeo para cimentación f'c=180 kg/cm2 | m ³ | 97,56 |
| Hormigón simple para Columnas f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 198,16 |
| Hormigón simple para Vigas f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 191,40 |
| Hormigón simple para Losas f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 217,42 |
| Contrapiso hormigón simple f'c=180 kg/cm2 | m ³ | 14,46 |
| Bloque Alivianado en losas E=15x20x40 | u | 0,42 |

Para las estructuras de hormigón se realizó 15 rubros, es decir 15 APU incluyendo un costo indirecto del 26 % como se puede apreciar en la tabla 9.

Tabla 9. Rubros análisis de precios unitarios para edificios de hormigón.

| Rubro | Unidad | Precio Unitario |
|---|----------------|-----------------|
| Excavación sin clasificar. Movimiento de Tierras | m ³ | 3,37 |
| Material de mejoramiento a maquina | m ³ | 13,37 |
| Arreglo y Limpieza (incluye desalojo) | m ² | 0,62 |
| Replanteo y Nivelación General de Proyecto | m ² | 1,04 |
| Excavación a Máquina para Cimientos y Plintos | m ³ | 3,03 |
| Relleno compactado (mejoramiento) | m ³ | 6,59 |
| Replanteo de Hormigón Simple | m ³ | 75,91 |

Los precios unitarios al igual que los rendimientos fueron elaborados según los precios de la revista de la Cámara de Construcción de Pichincha [12], además se tomó como referencia los precios de la Cámara de Construcción de Tungurahua [13] del año 2023. Los salarios para mano de obra fueron tomados del año 2023 publicado por la Contraloría General del Estado [14].

A continuación, se presenta el presupuesto total detallado para el proyecto de construcción de edificaciones sismo resistentes. Este desglose incluye precios unitarios y costos totales estimados para las principales categorías de construcción. Se presentarán los presupuestos de hormigón y acero desglosado del edificio de diez pisos y posteriormente los precios totales de las ocho estructuras modeladas en modo de resumen y con el fin de comparar por niveles. Cabe destacar que los montos presentados son proyecciones basadas en análisis detallados y podrían estar sujetos a ajustes según las condiciones específicas del proyecto y fluctuaciones en los costos del mercado.

Según la tabla 10 se puede observar el presupuesto total con sus rubros del edificio de diez niveles en hormigón.

Tabla 10. Presupuesto de edificio de diez pisos en hormigón.

| Descripción Tarea | Unidad | Cantidad | P.Unitario | P.Global |
|--|----------------|-----------|------------|----------|
| Excavación sin clasificar (mov. De tierras) | m ³ | 530 | 3,37 | 1784,9 |
| Material de mejoramiento a maquina | m ³ | 424 | 13,37 | 5667,2 |
| Arreglo y limpieza (incluye desalojo) | m ² | 352 | 0,62 | 217 |
| Replanteo y nivelación de estructuras | m ² | 352 | 1,04 | 365,6 |
| Excavación de cimientos y plintos suelo natural | m ³ | 528 | 3,03 | 1601,2 |
| Relleno compactado (mejoramiento) | m ³ | 60 | 6,59 | 385,4 |
| Replanteo H.Simple | m ³ | 3,52 | 88,62 | 311,9 |
| Hierro estructural fy=4200 kg/cm2 (70%) | kg | 1460,85 | 3,43 | 5008,7 |
| H.Simple en plintos f'c=240 kg/cm2 | m ³ | 272,03 | 115,46 | 31410,2 |
| Ciclópeo (60% HS f'c=180 kg/cm2-40%P) | m ³ | 3,52 | 147,47 | 519,1 |
| H.Simple en columnas f'c=240 kg/cm2 | m ³ | 181,44 | 198,16 | 35954,79 |
| H.Simple en vigas f'c=240 kg/cm2 | m ³ | 453,60 | 191,40 | 86819,91 |
| H.Simple en losas f'c=240 kg/cm2 | m ³ | 384,38 | 217,42 | 83574,27 |
| Mampostería de bloque e=15 cm | u | 28160 | 0,42 | 11827,2 |
| Hierro estructural fy=4200 kg/cm2 (vigas columnas y losas) | kg | 132922,27 | 3,43 | 455737,3 |
| H.Simple en Gradas f'c=210 kg/cm2 | m ³ | 11,55 | 191,40 | 2210,69 |

unitarios de cada componente y busca reflejar una estimación precisa de los recursos financieros requeridos para la exitosa ejecución del proyecto. Se invita a revisar esta información en detalle y a considerarla como un punto de referencia fundamental en la planificación y gestión económica del proyecto de construcción.

El presupuesto total presentados en este análisis corresponden al año 2023 y están expresados en valores sin incluir el Impuesto al Valor Agregado (IVA) en esta fase del análisis permite una mayor transparencia y claridad al presentar los costos directos e indirectos asociados al proyecto. No obstante, se recomienda ajustar estos valores de acuerdo con las regulaciones fiscales vigentes en la ubicación específica del proyecto, ya que las tasas de IVA pueden variar y deben ser consideradas al realizar las proyecciones financieras precisas. Este enfoque asegura una presentación más precisa de los costos y facilita la adaptación de los presupuestos según las normativas fiscales locales.

En la tabla 11 se observa así mismo el desglose de los rubros y presupuesto del edificio de diez pisos en acero.

Tabla 11. Presupuesto de edificio de diez pisos en acero.

| Descripción Tarea | Unidad | Cantidad | P.Unitario | P.Global |
|---|----------------|----------|------------|----------|
| Excavación sin clasificar (mov. De tierras) | m ³ | 530 | 3,37 | 1784,9 |
| Material de mejoramiento a maquina | m ³ | 424 | 13,37 | 5667,2 |
| Arreglo y limpieza (incluye desalojo) | m ² | 352 | 0,62 | 217 |
| Replanteo y nivelación de estructuras | m ² | 352 | 1,04 | 365,6 |
| Excavación de cimientos y plintos suelo natural | m ³ | 528 | 3,03 | 1601,2 |
| Relleno compactado (mejoramiento) | m ³ | 60 | 6,59 | 385,4 |
| Replanteo H.Simple | m ³ | 3,52 | 88,62 | 311,9 |
| Hierro estructural fy=4200 kg/cm2 | kg | 2490,54 | 3,43 | 5008,7 |

El presupuesto total es de 723.405,25 dólares americanos. Este presupuesto total ha sido elaborado considerando detenidamente los precios

| | | | | |
|--|----------------|-----------|--------|-----------|
| (70%) H.Simple en plintos f'c=240 kg/cm2 | m ³ | 84,84 | 115,46 | 31410,2 |
| H.Ciclopeo (60% HS f'c=180 kg/cm2-40%P) | m ³ | 3,52 | 147,47 | 519,1 |
| Acero Estructural A-36 (incluye mointaje) | kg | 219783,75 | 10,26 | 455.737,3 |

El presupuesto total es de 2.284.625,27 dólares americanos.

En la figura 7 se visualiza la distribución de costos por categoría y proporcionan una perspectiva clara de la estructura del presupuesto total en relación al hormigón como material de construcción.

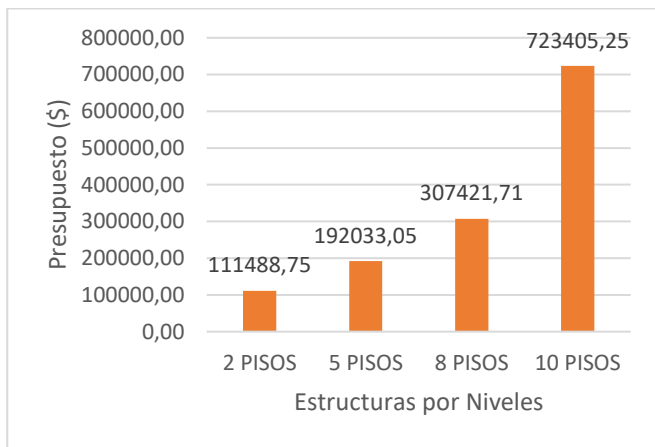


Figura 7. Presupuesto de las Estructuras en Hormigón.

Asi mismo en la figura 8 se muestran los presupuestos usando al acero como material de construcción.

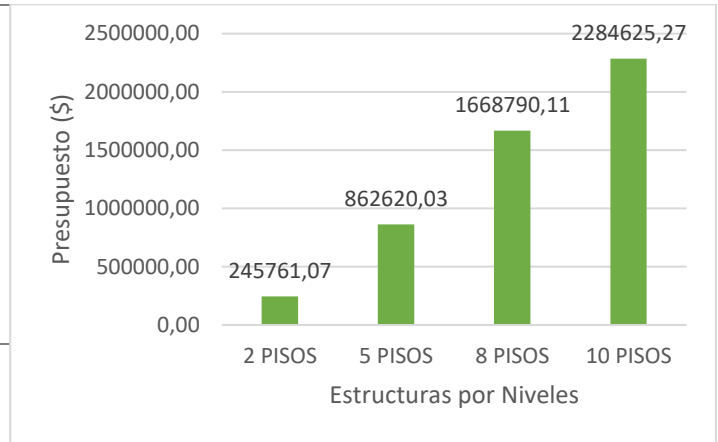


Figura 8. Presupuesto de las estructuras en acero.

Los resultados revelan que la construcción en hormigón presenta costos más favorables en comparación con la utilización de acero en la edificación de estructuras sismo resistentes. Este hallazgo, fundamentado en análisis de precios unitarios y presupuestos totales, destaca varios factores clave que influyen en esta disparidad económica.

En la figura 9 se muestra la comparación entre estos dos materiales más usados en la construcción y se observa la diferencia de presupuestos.

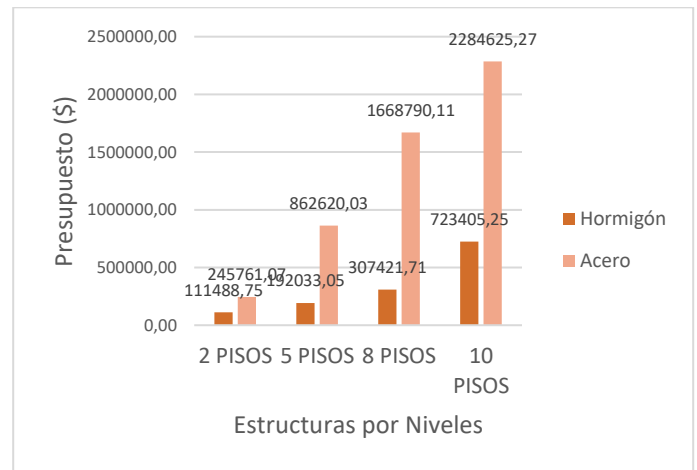


Figura 9. Presupuesto de las Estructuras Hormigón vs Acero.

En primer lugar, el costo más bajo asociado con la construcción en hormigón se atribuye a la disponibilidad y asequibilidad de los materiales. El concreto, ampliamente utilizado en la industria de la construcción, suele ser más accesible y menos costoso en términos de adquisición en comparación

con el acero estructural.

La eficiencia en la construcción también desempeña un papel esencial en la disparidad de costos observada en la figura 9. La rapidez con la que se puede elegir una estructura de hormigón, gracias a su versatilidad y factibilidad de manipulación, puede traducirse en menores costos laborales y de maquinaria en comparación con la instalación de estructuras de acero, que a menudo requieren procesos más especializados.

La diferencia del costo es abismal, solo comparando 1 m³ de hormigón que tiene un costo de aproximadamente 90 dólares americanos, en cambio el acero 1 m³ cuesta 10205 dólares americanos, es decir, una diferencia de 10115 dólares americanos.

El acero, a pesar de ser notablemente beneficioso, presenta un costo elevado. No obstante, la fortaleza intrínseca del material implica que se requiere una cantidad mínima para resistir fuerzas significativas. De manera similar, su rigidez lo posiciona como un elemento eficaz para contrarrestar deformaciones, demandando igualmente una cantidad reducida de material. Estadísticamente, las construcciones de acero exhiben una menor incidencia de colapsos en comparación con las construcciones de hormigón. La preeminencia del hormigón en la industria de la construcción no permite extraer conclusiones inmediatas sobre las razones detrás de esta preferencia [15].

No solo el costo influye en la decisión de los materiales, también se debe evaluar su duración a lo largo de los años y su inversión como se indicaba anteriormente en el presente artículo de investigación.

3.2.1. Valor Actual Neto (VAN)

Calcular el VAN implica considerar varios factores, incluyendo la depreciación y la tasa de interés. Sin embargo, para realizar un análisis de este tipo, se necesitan más detalles en específico, como los flujos de efectivo proyectados a largo tiempo, y la tasa de interés requerida. [5]

Se presentará el cálculo de los edificios de diez pisos en hormigón y acero ya que se considera su criticidad en el contexto del proyecto global, a

continuación, se presenta un resumen de las seis estructuras restantes mostrando nada más su VAN.

Se usa el método de depreciación en línea recta, según la Norma Internacional de Contabilidad 16 (2019). Propiedad Planta y Equipo (NIC 16) [16]. Según el Reglamento para la Aplicación Ley Régimen Interno (RLRTI) del 05 de octubre de 2020 artículo 28 numeral 16 [17], los edificios tienen una vida útil de 20 años con una depreciación anual del 5 %.

Calculando la depreciación anual de la estructura de hormigón con la fórmula de la NIC 16. [16]

$$\text{Depreciación anual} = \frac{\text{Presupuesto} - \text{Valor residual}}{\text{Vida Útil (años)}}$$

$$\text{Depreciación anual} = \frac{723405,25 - 26170,2625}{20 \text{ años}}$$

Se obtuvo una depreciación anual de 34.361,75 dólares americanos, esto debido a la inflación diaria, costos de materiales, costo de alquiler de maquinaria y disponibilidad [18].

Se considera un proyecto bien ejecutado cuando la inversión es del 30 % más del presupuesto inicial, es decir, que la inversión total fija es de 745.107,41 dólares americanos.

Definiendo una tasa de interés del 15 % para el cálculo del VAN, esta tasa refleja la rentabilidad requerida para el proyecto.

Se realizó un Flujo Neto Puro como se muestra en la tabla 12, suponiendo un periodo de un año para la recuperación de la inversión, es decir, el caso más crítico. Tomando en cuenta el impuesto a la renta según la Ley de Desarrollo Económico vigente por el Servicio de Rentas Internas (SRI) y sabiendo que el impuesto a las ganancias extraordinarias fue eliminado en el año 2018.

Tabla 12. Flujo neto puro edificio 10 pisos en hormigón.

| Concepto | Periodos (años) | |
|-----------------------------|-----------------|------------|
| | 0 | 1 |
| Estructura | | 723.405,25 |
| Depreciación | | 34.361,75 |
| Utilidad antes de impuestos | | 689.043,50 |
| Impuesto a la renta (22%) | | 151.589,57 |

| | | |
|--------------------------------------|-------------|------------|
| Utilidad Neta | | 537.453,93 |
| Utilidad neta en la venta de activos | | 723.405,25 |
| Depreciación | | 343.60,75 |
| Inversión | -745.107,41 | |
| Flujo de Fondos Neto Puro | -745.107,41 | 571.815,68 |

| | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| Utilidad Neta | | 169.7362,34 |
| Utilidad neta en la venta de activos | | 2.284.625,27 |
| Depreciación | | 108.519,70 |
| Inversión | -2.970.012,85 | |
| Flujo de Fondos Neto Puro | -2.970.012,85 | 1.805.882,05 |

Usando la formula del VAN [7], aplicando los datos ingresados anteriormente y tomando en cuenta el caso más crítico para el edificio de diez niveles en hormigón.

$$VAN = \frac{\text{Flujo de fondos neto puro}}{(1 + \text{Tasa interés})^{\text{periodo}}}$$

$$VAN = \frac{571815.68}{(1 + 15\%)^1}$$

Se obtiene un VAN de \$497.231,03 dólares americanos, indicando un VAN positivo. Este resultado implica, en términos prácticos, que el proyecto podría generar un rendimiento positivo y, por ende, se considera potencialmente rentable.

Ahora, el periodo de recuperación de la inversión, es decir, el beneficio vs el costo, se comprueba como la división entre el VAN y el flujo de fondos neto puro. El mismo que da un valor de 0,67, es decir, 67 centavos por cada dólar invertido.

Asimismo, se procede a calcular el VAN para la estructura en acero de diez pisos, como se muestra en la tabla 13, teniendo en cuenta que los cálculos son los mismos para la obtención de la depreciación, la misma que será de \$108.519,70 dólares americanos. La inversión fija será del 30 % más del presupuesto, es decir, de \$297.0012,85 dólares americanos. La tasa de interés será la misma del 15 %.

Tabla 13. Flujo neto puro edificio 10 pisos en acero.

| Concepto | Periodos (años) | |
|-----------------------------|-----------------|-------------|
| | 0 | 1 |
| Estructura | | 228.4625,27 |
| Depreciación | | 108.519,70 |
| Utilidad antes de impuestos | | 217.6105,57 |
| Impuesto a la renta (22%) | | 478.743,23 |

Se obtiene un VAN positivo de \$1.570.332,21 dólares americanos, al igual que el VAN del edificio de hormigón. Esto implica que el proyecto es rentable. Al calcular el beneficio vs el costo, se obtiene un valor de 0,53, es decir, 53 centavos por cada dólar invertido.

El hecho que el VAN sea positivo para ambos edificios, tanto de hormigón como de acero, sugiere que ambos proyectos podrán generar un rendimiento financiero favorable. Sin embargo, es igualmente importante considerar el índice de beneficio vs costo para tener una visión más completa de la eficiencia financiera de los proyectos [19].

Ambos proyectos tienen índices superiores a 0.5, lo que sugiere que podrían generar beneficios significativos en relación con la inversión inicial.

Se presenta en las tablas 14 y 15 los presupuestos, depreciación anual e inversión inicial para cada proyecto para posteriormente calcular el valor del VAN y del beneficio vs costo.

Tabla 14. Valores en las estructuras de hormigón, expresado en dólares americanos.

| Número de niveles | Presupuesto | Depreciación Anual | Inversión Inicial |
|-------------------|-------------|--------------------|-------------------|
| 2 Pisos | 111.488,75 | 5295,72 | 114.833,41 |
| 5 Pisos | 192.033,05 | 9121,57 | 197.794,04 |
| 8 Pisos | 307.421,71 | 14602,53 | 316.644,36 |
| 10 Pisos | 723.405,25 | 34361,75 | 745.107,41 |

Tabla 15. Valores en las estructuras de acero, expresado en dólares americanos.

| Número de niveles | Presupuesto | Depreciación Anual | Inversión Inicial |
|-------------------|-------------|--------------------|-------------------|
| 2 Pisos | 245.761,07 | 11.673,65 | 319.489,39 |
| 5 Pisos | 862.620,03 | 40.974,45 | 1.121.406,0 |
| 8 Pisos | 1.668.790,1 | 79.267,53 | 2.169.427,4 |
| 10 Pisos | 2.284.625,3 | 108.519,70 | 2.970.012,6 |

En las tablas 16 y 17 se muestran los VAN de todos los niveles, ayuda a comparar a ambas estructuras, aunque ambos proyectos son rentables financieramente, proporcional a su presupuesto.

Tabla 16. Valores del VAN y beneficio vs costo en las estructuras de hormigón, expresado en dólares americanos.

| Número de niveles | VAN | B/C |
|-------------------|------------|------|
| 2 Pisos | 76.631,55 | 0,67 |
| 5 Pisos | 131.993,50 | 0,67 |
| 8 Pisos | 211.305,64 | 0,67 |
| 10 Pisos | 497.231,03 | 0,67 |

Tabla 17. Valores del VAN y beneficio vs costo en las estructuras de acero, expresado en dólares americanos.

| Número de niveles | VAN | B/C |
|-------------------|--------------|------|
| 2 Pisos | 168.923,34 | 0,53 |
| 5 Pisos | 592.920,00 | 0,53 |
| 8 Pisos | 1.147.039,25 | 0,53 |
| 10 Pisos | 1.570.332,21 | 0,53 |

Como es conocido el costo del acero es abismalmente más costoso, a pesar que ambos casos arrojan valores positivos, sin embargo, el flujo tiene valores mayores en el edificio de acero por ende su inversión será mayor que en el de hormigón. Esto quiere decir que en términos económicos es más factible construir en hormigón.

En la figura 10 y 11 se observa la viabilidad financiera del VAN de manera clara y visual de los resultados de este análisis, se incorporan gráficos que ilustren el comportamiento del VAN en los diferentes niveles modelados tanto en hormigón como en acero. Estas representaciones visuales muestran la rentabilidad de los proyectos y proporcionan una visión dinámica de como los flujos de efectivo influyen en la evaluación económica.

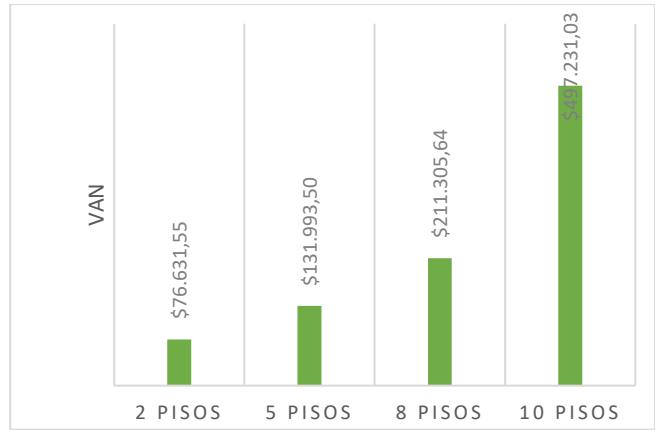


Figura 10. Valor actual neto (VAN) estructuras en hormigón.

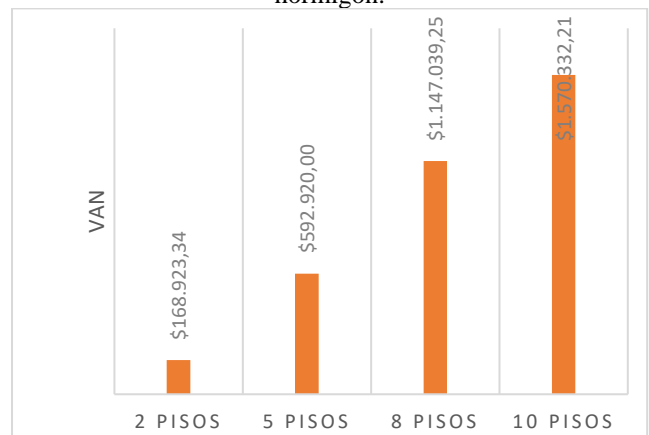


Figura 11. Valor actual neto (VAN) estructuras en acero.

Además, se presenta en la figura 12 un gráfico comparativo que destaca la diferencia en los perfiles financieros de los edificios construidos en hormigón y acero. Muestra que el acero tiene un VAN mayor, sin embargo, esto se debe la mayor inversión fija para este proyecto en acero.

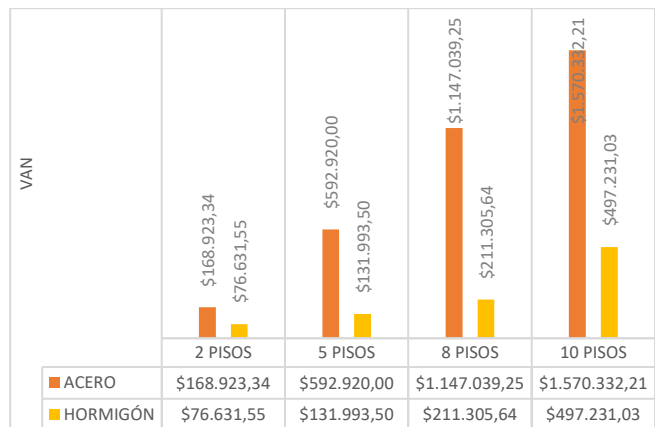


Figura 12. Valor actual neto (VAN) hormigón vs acero.

3.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Calcular la TIR implica encontrar la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero. En otras palabras, es la tasa de rendimiento a la cual los flujos de efectivo futuros del proyecto se igualan con la inversión inicial.

Se tuvo una inversión inicial en dólares americanos y suponiendo un flujo de efectivo anual por cinco años suponiendo que a largo plazo el edificio será destinado a arriendos y que tendrá una entrada en efectivo fija, usando el enfoque de prueba y error para encontrar la TIR. En este caso se encuentra el TIR aproximadamente del 26 %, esto significa que, descontando los flujos de efectivo futuros al 26 % anual, el proyecto tendría un Valor Actual Neto igual a cero. Esto en el caso de las estructuras en hormigón, en cambio en las de acero nos da un TIR de 12 %.

No hay una respuesta única a la pregunta de qué TIR se considera buena por que la evaluación de la TIR depende del contexto específico del inversor. La TIR se compara con la tasa de descuento o el costo de capital de la empresa, en estos casos la TIR es mayor por lo tanto será atractivo para los inversores.

El análisis de proyectos y sus inversiones juegan un papel crucial en la toma de decisiones estratégicas en el ámbito de la construcción. Al evaluar la viabilidad de un proyecto, es esencial llevar a cabo un análisis exhaustivo que aborde diversos aspectos, desde los costos iniciales hasta los beneficios a largo plazo. Este proceso implica la evaluación de factores económicos, técnicos y financieros para garantizar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto. La identificación y cuantificación de los costos y beneficios, el cálculo del VAN y la TIR, y la consideración del periodo de recuperación de la inversión son elementos fundamentales en este análisis preciso no solo asegura la eficiencia económica, sino que también contribuye a la planificación efectiva y al éxito a largo plazo de los proyectos de contribución [20].

4. Conclusiones

En el transcurso de esta investigación, se ha llevado a cabo un exhaustivo análisis técnico y económico de dos materiales prominentes en la construcción

de edificaciones sismo resistentes; el hormigón y el acero. Los resultados obtenidos han proporcionado valiosas perspectivas sobre la viabilidad y rendimiento de ambas opciones, destacando aspectos cruciales que deben ser considerados por profesionales de la construcción, inversionistas y la sociedad en general.

Los cálculos y modelados realizados revelaron que las estructuras construidas en acero exhiben un comportamiento excepcional frente a eventos sísmicos. Con derivas mínimas y características de respuesta estructural superiores, el acero se posiciona como elección destacada para aquellos que buscan una mayor resistencia ante movimientos telúricos.

La rapidez en la ejecución de proyectos construidos en acero también se destacó, ofreciendo una ventaja significativa en comparación con el hormigón. A pesar de estas ventajas, se reconoció que el uso extensivo y comercialización global del hormigón lo hace más accesible y presente en el panorama de la construcción.

Los análisis económicos, respaldados por los cálculos del Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), confirmaron que la factibilidad y atractivo para los inversionistas en ambos materiales. Sin embargo, la discrepancia en los presupuestos reveló que el acero es considerablemente más costoso, planteando una dicotomía entre la conveniencia económica del hormigón y la superioridad técnica del acero.

Es evidente que la elección entre el hormigón y el acero en la construcción no es una decisión unilateral. A pesar de las ventajas técnicas innegables del acero, la realidad económica del presupuesto podría inclinar la balanza hacia el hormigón. Este contraste subraya la importancia de considerar tanto los aspectos técnicos como los económicos al seleccionar el material de construcción.

El propósito fundamental de este artículo es guiar a la sociedad, ya sea a profesionales de la construcción o individuos emprendedores, a tomar decisiones informadas. La elección del material de construcción debe basarse en una comprensión completa de los beneficios técnicos y las

implicaciones económicas. Al evaluar estas variables de manera integral, se espera que la sociedad pueda tomar decisiones más informadas y estratégicas en el ámbito de la construcción sismo resistente. En última instancia, la convergencia de lo técnico y lo económico será esencial para construir no solo estructuras sólidas, sino también un futuro resiliente.

Referencias

- [1]. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente*, Quito, 2015.
- [2]. J. Smith, “Engineering Economics and Construction Project Management”. New York, NY: Editorial ABC, 2010.
- [3]. W. W. McGuire, “Integrated Building Design Software ETABS – The Historical Development and Current State”, *Structural Engineering International Journal*, vol 12, no.3, pp. 162-167. 2002.
- [4]. CSI. “SAFE User Manual: Advanced Analysis and Design of Slabs, Mats, and Foundations”. Berkeley, CA, USA: Computers and Structures, Inc., 2022.
- [5]. S. Peterson, F. Dagastino, “Estimating in Building Construction”. New York: Pearson Education, 2018.
- [6]. J.G. Bernal, M.A. Silva, “Análisis de los Factores que Influyen en la Variabilidad de Precios Unitarios en un Presupuesto, Aplicando a la Construcción de Unidades Educativas del Milenio”, Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 07 abril del 2021.
- [7]. R. Brealey, S. Myres, F. Allen, “Principles of Corporate Finance”, 11va ed., Ed. McGraw-Hill Education, pp. 262-348. 2014.
- [8]. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG, *Cargas No Sísmicas*, Quito, 2015.
- [9]. American Concrete Institute. “ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”. Farmington Hills, MI, USA: ACI, 2014.
- [10] T. Segui, “Steel Design”. United States: RPK Editorial Services, 2007.
- [11] G. Salmon, E. Jhonson, F. Malhas. “Steel Structures Design and Behavior, 5 th edition, USA: Harper Collins College, 1997.
- [12] . CAMICON. “Revista Construcción Cámara de la Industria de la Construcción”, *Revista CAMICON*, vol 1, no.1, pp. 13-103, 2023.
- [13] . CCA. “Modus Vivendi”, *Revista Técnica de la Cámara de Construcción de Ambato*, vol 1, no. 69, pp. 10-54, 2023.
- [14] Contraloría General del Estado, “Salarios Mínimos por Ley 2023 (en dólares)” [online]. Ecuador: Contraloría General del Estado, 2023 Disponible en: <https://www.contraloria.gob.ec/WFDescarga.aspx?id=2770&tipo=doc>
- [15] A. Bernabeu, “Estrategias de diseño estructural en la arquitectura contemporánea. El trabajo de Cecil Balmond”, Tesis Doctoral, Universidad de Madrid, Madrid, España, 2007.
- [16] Norma Internacional de Contabilidad NIC 16, *Propiedad Planta y Equipo*, Ginebra, Suiza, 2019.
- [17] Ley Régimen Tributario Interno RLRTI, Artículo 28, numeral 6, Quito, 2020.
- [18] S. Fernandez. “Los Proyectos de inversión: Evaluación Financiera”. Costa Rica: Editorial Tecnológica de CR, 2010.
- [19] L. V. Quezada. “Selección y Valoración de Proyectos de Inversión: VAN, TIR”. España: Editorial Grontal, 2010.
- [20] UF0309- “Análisis de Proyectos de Construcción”, Editorial Elearning, SL., 2015.