

Modelación múltiple para la optimización de en el diseño de estructuras aporticadas de acero y concreto armado.**Multi design modeling optimization for steel and reinforced concrete frame structures***Ruth Lorena Pérez Maldonado, Andrés Abril Camino***CIENCIA E INNOVACIÓN EN
DIVERSAS DISCIPLINAS
CIENTÍFICAS.****Julio - Diciembre, V°5-N°2;
2024**

- ✓ **Recibido:** 05/08/2024
- ✓ **Aceptado:** 14/08/2024
- ✓ **Publicado:** 31/12/2024

PAIS

- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato

INSTITUCION

- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Tecnológica
Indoamérica

CORREO:

- ✉ rlperez@uta.edu.ec
- ✉ andresabril@uti.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0003-2317-3529>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0003-1342-2651>

📄 FORMATO DE CITA APA.

Pérez, R. Camino, A. (2024). *Modelación múltiple para la optimización de en el diseño de estructuras a porticadas de acero y concreto armado. G-ner@ndo, V°5 (N°2), 720 - 749.*

Resumen

La presente investigación se basa en el diseño mediante optimización múltiple o también conocido como "Multi Design Optimization", el cual parte de la premisa de conservar la misma arquitectura y proponer diversos sistemas estructurales buscando una optimización de costos y analizando el impacto de la huella de carbono en el uso de diferentes estructuras para ello parte de los materiales más usados en la actualidad como son el hormigón armado y el acero estructural dentro del hormigón armado se selecciona el sistema de pórticos especiales de momento PEM, sin muros ni diagonales rigidizadoras; por otro lado tras diversas investigaciones cálculos y la experiencia misma de los autores llegan a la conclusión de que los sistemas estructurales más económicos en acero son pórticos especiales arriostrados concéntricamente PEAC y pórticos arriostrados excéntricamente PAE. La presente investigación hace un enfoque considerando también cimentaciones superficiales para ello se definen 18 arquetipos los cuales representan edificios de baja y mediana altura, considerando la posibilidad de que la estructura sea aislada o presente adosamiento lateral. Con eso se puede simular las diferentes cimentaciones superficiales establecidas por el Instituto Americano del Concreto, ACI considerando de forma global el costo total que puede tener una estructura manteniendo características, pero sometidas a 3 sistemas estructurales diferentes. Se ha analizado la huella de carbono de cada sistema estructural y el costo de la edificación como obra gris, permitiendo la toma de decisiones de los profesionales del área de la construcción, así como el usuario final.

Palabras clave: PEM, PEAC, PAE, Pórticos, Acero Estructural, Hormigón Armado**Abstract**

The current research is based on the design through multiple optimization, also known as multi design optimization, which is based on the premise of preserving the same architecture and proposing different structural systems looking for a cost optimization and analyzing the impact of the carbon footprint in the use of different structures for those part of the most used materials today such as reinforced concrete and structural steel within the reinforced concrete is selected the system of special moment portal frames PEM, without walls or diagonals recorders; On the other hand, after several investigations, calculations and the authors' own experience, they came to the conclusion that the most economical structural steel systems are PEAC concentrically trailed special portal frames and PAE eccentrically braced portal frames. Today, the present research makes an approach considering also shallow foundations for this purpose 18 archetypes are created, which represent low and medium height buildings, considering the possibility that the structure is isolated or has lateral attachments. With this we can simulate the different surface foundations established by the American Concrete Institute, considering in a global way the total cost of a structure with the same characteristics but subjected to 3 different structural systems. Where the carbon footprint of each structural system and the cost of the building as gray work will be analyzed, allowing the decision making of the professionals of the construction area, as well as the final user.

Keywords: SMF, SCBF, EBF, Frames, Structural Steel, Reinforced Concrete

Introducción

En la actualidad la optimización de costos y recursos se ha vuelto primordial para la industria de la construcción, sin embargo la pregunta de qué sistema estructural elegir en determinadas circunstancias buscando una optimización de recursos es una incógnita que varios profesionales han mantenido por años, la presente investigación responde a esa pregunta considerando la totalidad de la misma, superestructura (desde la primera losa accesible al usuario) e infraestructura (ya que el usuario no tiene acceso). Considerando el uso de cimentaciones superficiales. Existe una inflación en el costo del suelo y de los insumos para la construcción que dificulta la adquisición de vivienda por parte de los ciudadanos (Kedir & M. Hall, 2021). Se considera que el uso de materiales reciclados en la industria de la construcción proporciona un ciclo ecológico más sostenible (Bakri, Zubir, Samadi, & Osman, 2011). El acero es un material reciclable ya que se puede volver a fundir, separar la corrosión y reutilizar sin embargo en el caso del hormigón armado no es factible, esto sumado a que la industria de la construcción es una de las más contaminantes de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial (Balasbaneh & Bin Marsono, 2018), emanan una cantidad considerable de CO₂, se proponen nuevos sistemas estructurales para mitigar el impacto ambiental reduciendo la cantidad de emisiones.

El presente estudio establece parámetros de cuando utilizar un sistema constructivo de acero (tipo SCFB) y cuando utilizar un sistema constructivo de hormigón armado PEM, el uso de marcos de momento de hormigón armado especial es el más común en Ecuador. El desperdicio de las construcciones está dado por el volumen de obra, ya que una construcción tiene cierto tiempo de vida útil, se debe buscar mitigar el desperdicio ya que causa impactos ambientales considerables, (Begum, Satari, & Pereira, 2010). Begum, R.A. Et. Al. concluyen que los sistemas prefabricados generan menos residuos, si partimos de esta premisa, se puede

establecer que el acero estructural es un material parcialmente prefabricado por lo que debe ser adoptado desde el punto de vista de los residuos de la construcción.

La tendencia es buscar sistemas estructurales temporales o permanentes que reduzcan la emisión de CO₂ y se concluye que los sistemas prefabricados proporcionan una optimización de los recursos (Dong, Wang, Xian, Boya, & Al-Hussein, 2018) en comparación con los sistemas contruidos in situ. Según Du, Q. Et. Al afirman que los sistemas prefabricados tienen una reducción del 18% del impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ en comparación con los sistemas convencionales (Du, Bao, Li, Huang, & Shao, 2019). Esto deja en claro la viabilidad de los sistemas constructivos prefabricados, tanto en tiempo como construcciones más sustentables. Existe una meta a través de organizaciones gubernamentales de reducir el 80% de las emisiones para el año 2059, uno de los criterios que toma más fuerza para lograr una reducción de emisiones es el Análisis de Ciclo de Vida ACV, esto debido al efecto ambiental global que causa, como el calentamiento global, la iniciativa se mantiene a través de la remodelación o reparación de edificios y estrategias aplicadas en los mismos (Passer, Ouellet-Plamondon, Kenneally, John, & Habert, Energy and Buildings). Al considerar la eficiencia en los sistemas de construcción, existen varios aspectos como: literatura de investigación previa, materiales y procesos de automatización y construcción, y regulaciones e impedimentos legales de acuerdo con la región, siendo un tema multidisciplinario que involucra: economía circular, factores socioeconómicos y valores de coordinación en cadena (opportunities, 2021).

La mayor comparativa entre los métodos de construcción prefabricados y colados se expresa de forma práctica en una construcción con armazón de acero y una construcción de hormigón armado, la primera puede transportarse casi en su totalidad desde un taller y la segunda debe reforzarse y colarse obligatoriamente in situ. Está demostrado que es posible realizar un hormigón prefabricado que reduzca en un 10% la cantidad de emisiones de CO₂ al medio ambiente en relación con el hormigón colado in situ (Dong, Jaillon, Chu, & Poon, 2015).

La cuarta revolución industrial no deja de lado la construcción y busca abarcar otros conceptos como el impacto ambiental, la optimización de recursos, el uso tecnológico y la conectividad a través de un modelo en cadena. (Dallasega, Rauch, & Linder, 2018) Además de la parte medioambiental, hay estudios que demuestran una reducción del coste y del tiempo de los bastidores mediante un método de mapeo del flujo de valor para ser un proceso más industrializado. (Heravi & Firoozi, 2017). Desde el nuevo milenio, la tendencia de la administración del trabajo ha corrido por medio de una calendarización y organización de actividades, buscando la optimización de personal y actividades buscando una curva "S", esta tendencia dio lugar a la organización del trabajo visualizando diversas posibilidades cambiando las tareas principales y visualizando diversas rutas críticas.

A pesar de la limitada creencia de que la optimización de costes se da principalmente por la organización del trabajo y la redistribución de los recursos y el personal, estudios más recientes abarcan la administración y programación del trabajo a través de tareas y un calendario, sin embargo, también se considera actualmente los materiales, equipos, calidad, y una visión de los costes futuros producidos por el mantenimiento e incluso el caos y la teoría de control para la optimización de costes. (Heravi & Firoozi, 2017). Otra forma de organizar los proyectos desde un enfoque medioambiental y de costes es a través de la optimización energética en la que se puede utilizar una metodología en el balance de la eficiencia energética, que se ha demostrado que minimiza los costes de construcción y el impacto medioambiental. (Dasović & Klanšek, 2022) Otra visión es un enfoque basado en la financiación, con una organización basada en el flujo flotante considerando el dinero que se tiene y el que entrará o seguirá entrando a medida que avance el proyecto, lo que puede visualizarse mediante la creación de modelos matemáticos. (Aldhamad & Rezouki, 2020)

La presente investigación utiliza un modelo basado en volúmenes de obra y materiales desde el punto de vista de la optimización en la selección del sistema estructural sin descuidar

los parámetros de resistencia sísmica, con base en investigaciones previas se ha establecido que es posible tener edificios sismorresistentes en sistemas de acero estructural PEM, PEAC y PAE (American Institute of Steel Construction AISC 341, 2016). Para zonas de alta sismicidad o mixtos entre los tres sistemas mencionados o acompañados de OMF. De estos sistemas estructurales, se ha comprobado que el sistema PEAC representa el menor volumen de obra, ya que es el más ligero, y también genera la menor magnitud en cimentaciones. Partiendo de estas premisas, se compararán 9 estructuras de hormigón armado diseñadas como pórticos especiales de momento y 9 estructuras de acero con pórticos especiales arriostrados concéntricamente; cada estructura de acero tendrá otra con la misma área de construcción, longitud de vano, cargas vivas, número y distancia entre plantas. Además, se analiza la cantidad de CO₂ emitida por cada sistema estructural para determinar qué sistema tiene la menor huella de carbono.

Lo anterior permite afirmar que: existe una variación en costos y emisiones de gases entre estructuras construidas en acero estructural y hormigón armado, considerando todo el sistema estructural como tal, cimientos y superestructura. Dependiendo del número de plantas y de la distancia entre ejes, un material es más económico que el otro, y es posible determinar cuándo es más eficiente utilizarlos desde el punto de vista económico.

Materiales y métodos

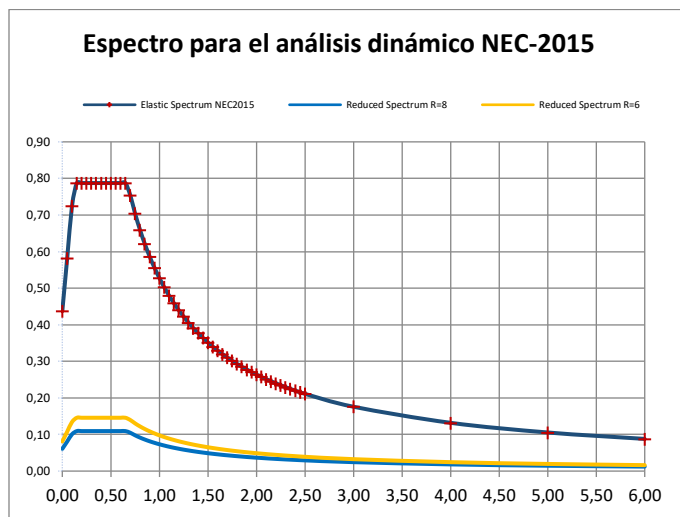
La formación de bisagras plásticas en el caso de pórticos especiales de momento debe producirse en vigas y pilares, mientras que en el caso de pórticos especiales arriostrados concéntricamente debe producirse en los arriostramientos. De las designaciones actuales (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015). Ambos sistemas deberán demostrar la capacidad de absorber energía sísmica con desplazamientos inelásticos que permanezcan por debajo del límite admisible. Además, deberán cumplir con los periodos de vibración aceptables, fuerzas cortantes, distribuciones de masa, consideraciones de suelos blandos, suelos débiles y

otros aspectos relacionados con la resistencia sísmica. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015). La metodología a utilizar para comprobar la capacidad en pórticos de acero es: Diseño de factores de carga y resistencia. (American Institute of Steel Construction, 2022). Las uniones viga-columna en el caso de pórticos especiales de acero de momento se definen obligatoriamente mediante el uso de uniones precalificadas y sus elementos deben ser sísmicos y compactos (American Institute of Steel Construction AISC 358, 2016). En la presente investigación, este parámetro no es necesario ya que se utilizan pórticos especiales arriostrados concéntricamente.

En el caso del diseño de estructuras de hormigón armado, en este estudio se han tomado las consideraciones de diseño del American Concrete Institute (American Concrete Institute, 2019). Se utiliza un análisis espectral modal lineal considerando el mismo suelo y ubicación geográfica (American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7-22, 2022) en todos los arquetipos considerados.

Esto permitirá que las mismas cargas gravitatorias (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015) tengan los mismos parámetros de diseño dando una comparación entre el mismo asentamiento, cargas simétricas y gravitatorias, y decidir para el mismo caso que sistema demuestra la mejor optimización. Las cargas de gravedad utilizadas en la presente investigación son: 200 kg/m² para carga muerta adicional, la misma debe ser calculada de acuerdo al tipo de muro, carga de piso, mampostería, y todo lo que permanezca permanente en la estructura, en la presente investigación en todos los arquetipos se ha cargado con el valor asignado de 200 kg/m², en un cálculo estructural, es responsabilidad del diseñador estructural la cuantificación de las cargas permanentes por otro lado la carga viva está dada por tablas de acuerdo al uso de la estructura y establecidas bajo diversas normativas. Se ha tomado como uso de los arquetipos como viviendas el que según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC establece un valor de 200 kg/m².

Figura 1. Espectro elástico y reducido R=8 y R=6. Establecido en la NEC 2015



Nota: muestra los espectros NEC, se utilizará R=6 para PEAC de acero y R=8 para PEM de hormigón armado. Además del espectro, se considera un valor sísmico en dirección X e Y del cortante basal. Se indica como porcentaje de la masa reactiva.

Figura 2. Distancia entre ejes y vista en planta de los arquetipos (izquierda)

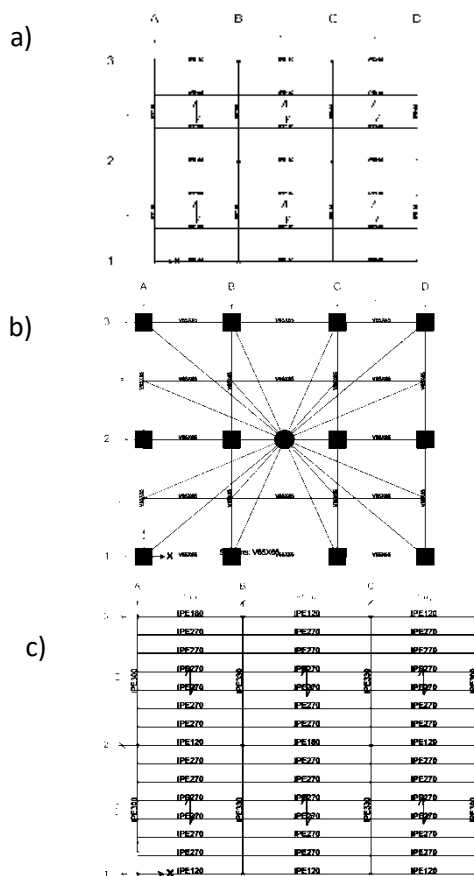
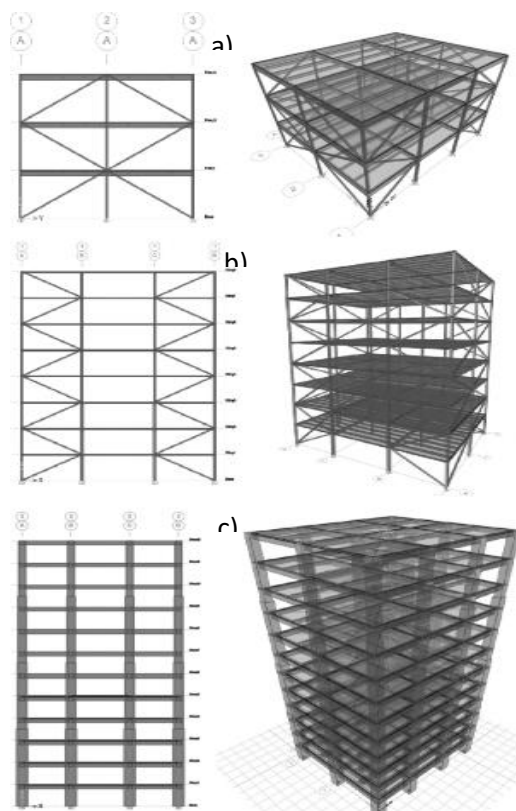


Figura 3. Vistas en alzado de 3, 6 y 8 plantas (derecha)

La figura 2 a). Muestra las dimensiones entre ejes correspondientes al Grupo 1, b) Muestra las dimensiones entre ejes correspondientes al Grupo 2, c) Muestra las dimensiones entre ejes correspondientes al Grupo 3 Todos estos tres grupos serán analizados en tres, ocho y doce niveles, considerando como materiales de armazón el acero y el hormigón armado. Otra diferencia en las consideraciones entre el acero y el hormigón armado es el tipo de losa El acero se ha diseñado con losa de cubierta como membrana. Por otro lado, el hormigón armado se ha diseñado con una capa delgada. La losa de cubierta suele ser considerablemente más ligera que una losa de hormigón esto ocurre debido al espesor de la losa la más ligera tiene menos espesor. siendo dos sistemas constructivos y estructurales de losa diferentes.

La figura 3 a). Muestra el alzado del Grupo 1, diseñado en acero, PEAC a 3 niveles b) Muestra el alzado del Grupo 3, diseñado en acero, PEAC a 8 niveles, c) Muestra el alzado del Grupo 2, diseñado en hormigón armado, PEM, Grupo 2 a 12 niveles.

El diseño en concreto reforzado toma las consideraciones especiales establecidas en la NEC (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015) el cual está basado en el ACI 318 y ACI 352, en acero reforzado se busca seguir el criterio de columna fuerte, viga débil.

La ubicación de las riostras, según la experiencia de los autores, debería aplicarse en las esquinas, ya que ayuda a controlar los desplazamientos y las derivas. Para las modificaciones arquitectónicas durante la evaluación del ciclo de vida LCA, se recomienda no colocarlas en los ejes exteriores. Para el análisis dinámico se ha realizado un análisis modal.

Tabla1. Consideraciones geométricas y arquitectónicas

Arquetipos de estructuras de acero y hormigón armado					
Historia	N.	Material estructural	Distancia entre vanos	Grupos	Área de construcción Acero (m2)
3 Niveles	1	Hormigón	4-5 (m)	G1	375
	2	A36			
	3	Hormigón	5-7 (m)	G2	672
	4	A36			
	5	Hormigón	7-9 (m)	G3	1500
	6	A36			
8 Niveles	7	Hormigón	4-5 (m)	G1	1000
	8	A36			
	9	Hormigón	5-7 (m)	G2	1792
	10	A36			
	11	Hormigón	7-9 (m)	G3	3240
	12	Acero A36			
12 Niveles	13	Hormigón	4-5 (m)	G1	1215
	14	Acero A36			
	15	Hormigón	5-7 (m)	G2	2688
	16	Acero A36			
	17	Hormigón	7-9 (m)	G3	4860

Nota: muestra el material, el número de plantas, el material de la estructura, los grupos y el área de construcción de cada arquetipo que se analizará en esta investigación.

La resistencia a la compresión del hormigón viene dada por el proyectista la resistencia mínima a la compresión es de 240 kg/m². Los autores han asignado 240 kg/m² y A36 como acero estructural.

Según el ACI 318 existen 4 tipos de cimentaciones superficiales que, ordenadas desde la que menos recursos constructivos genera hasta la más compleja y costosa, tenemos: Zapatas aisladas, zapatas compuestas, zapatas losa y vigas de cimentación (Bahadori & Hasheminezhad, 2019). La presente investigación considera, en base a investigaciones previas, que la cimentación más económica y con menor volumen de obra es la cimentación superficial. Considera las cargas aplicadas en el centro de gravedad de la cimentación e igualmente de forma excéntrica (Gajo, Debiasi, & Zonta, 2013). Esto se debe a las múltiples posibilidades que puede tener el terreno y a las regulaciones según el uso del suelo en cada sector de acuerdo con parámetros urbanísticos (Luévanos, López, M., & Sandoval, 2020).

- Se realiza una excavación a 2,30 metros de profundidad para obtener el valor Q_{adm} .
 - El suelo exhibe una capacidad portante específica de 14 Ton/m², bajo la condición de ausencia de nivel freático, lo que implica que no se requiere la implementación de drenes (García-Torres & Phani Madabhushi, 2019).
 - La densidad del suelo se estima en 1,75 kg/cm³, mientras que el coeficiente de lastre se fija en 2,92 kg/m³ (Lysandros, 2019).
 - Según una estimación de la velocidad de la onda de cizallamiento, que se sitúa entre 360 m/s y 180 m/s, el suelo se clasifica como perteneciente al tipo D (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda; Cámara de la Industria de la Construcción, 2015).
 - El suelo en cuestión se caracteriza por ser arena suelta y seca.
 - Para todas las cimentaciones se utiliza hormigón con una resistencia a la compresión de $f'_c = 240 \text{ kg/m}^2$.
 - El acero de refuerzo utilizado en los cimientos tiene una resistencia de $f_y = 4200 \text{ kg/m}^2$.
-

Figura. 4 tipos de cimentaciones superficiales en función de la vista de la planta de carga.

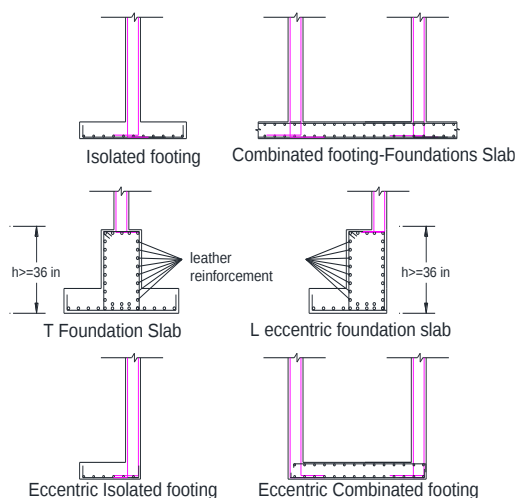
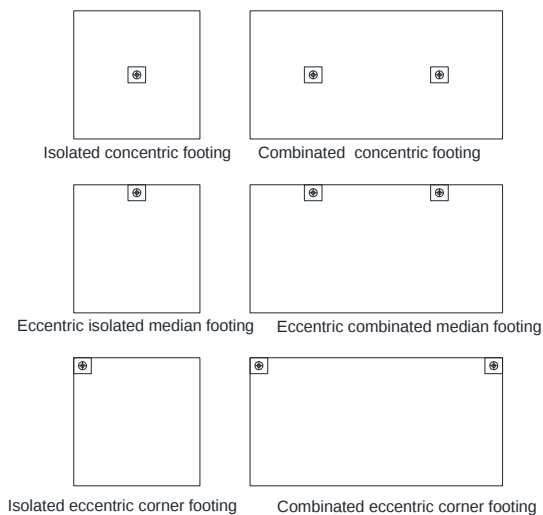


Figura. 5 tipos de cimentaciones superficiales en función de la ubicación, vista en alzado



La fig.4 muestra las posibilidades que existen en las cimentaciones, de esquina mediana y concéntricas, en base a la optimización de recursos sería mejor utilizar concéntricas, ya que las dimensiones, volumen de hormigón, peso de acero de refuerzo son considerablemente menores que utilizando cimentaciones superficiales excéntricas. Los mecanismos de diseño se utilizan a través de elementos finitos considerando la capacidad de carga del suelo, mediante

factores de aceptación para su dimensionamiento y de acuerdo con el tipo de suelo. Para el diseño se han utilizado elementos tipo shell delgado y shell grueso de acuerdo con el espesor de la losa; en el caso de las vigas se utilizan elementos tipo frame. Se ha considerado que la acción del suelo es puramente compresiva y se comprobará la flexión y el aplastamiento como punto principal. Es importante considerar que se trata de un suelo parcialmente seco ya que en presencia de niveles freáticos altos el agua debe ser drenada para evitar procesos de asentamiento y licuefacción (Jawad & Shakir, 2021) (Taghvamanesh & Ziaie Moayed, 2019) (Caliri, Ferreira, & Volnei, 2016) (Vanapalli, K., Oh, & Won-Taek, 2021)

La figura 5 muestra una vista en alzado, de la cuarta cimentación superficial y de la inserción de pilares a la cimentación.

Las cargas: Los momentos flectores y axiales, y las cargas axiales son el resultado de las reacciones en la base de la carga gravitatoria lineal obtenida por el análisis estructural.

Para el análisis y diseño de cimentaciones es indispensable un estudio geotécnico, el cual es definido como obligatorio por la NEC a través de un ensayo de penetración SPT estándar. Si bien el espectro ecuatoriano toma el tipo de suelo a través de la velocidad de ondas de corte, el tipo de ensayo debe ser sugerido por un especialista estructural y geotécnico, en la presente investigación se ha tomado como referencia estudios de Vs (ondas de corte) y sondas SPT.

Los criterios de aceptación para definir que cimentación elegir vienen dados por dos ecuaciones (Abril-Camino & Caiza, Comparación Técnica-Económica de Cimentaciones Superficiales en Edificios Sismorresistentes de Acero y Hormigón Armado, 2023)

$$\text{If } L_B \geq \frac{L_A}{3} \rightarrow \text{Zapatas aisladas} \neq \text{pavimento combinadas} \quad (1)$$

$$\frac{F_{af}}{T_{af}} \geq 35\% \rightarrow \text{Zapatas Combinadas} \neq \text{Fundición Losa} \quad (2)$$

Donde:

LB: Distancia libre entre ordenadas o eje.

LA: Distancia entre ordenadas o ejes,

Faf: Superficie libre en cimientos

Taf: Superficie total en cimientos

Emisión de CO₂ y huella de carbono

La industria de la construcción representa una fuente importante de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) debido al consumo de energía y materiales utilizados en el proceso. El uso habitual de acero y hormigón armado en las estructuras de los edificios contribuye a estas emisiones. La producción de acero implica procesos intensivos en energía que generan emisiones de CO₂ en la extracción, fabricación y transporte de los componentes. El hormigón armado, por su parte, produce emisiones durante la producción del cemento, donde la calcinación del carbonato cálcico produce CO₂, así como en la extracción y mezcla de los materiales utilizados en el hormigón. A pesar de su durabilidad, estos materiales tienen potencial para ser energéticamente eficientes durante su ciclo de vida. Para reducir las emisiones de CO₂, se están desarrollando tecnologías más eficientes y menos intensivas en carbono en la producción de acero y cemento. Además, se está fomentando el reciclaje y la reutilización de materiales, así como la adopción de prácticas de diseño sostenibles en la industria de la construcción, como el uso de materiales locales y energías renovables.

Análisis de Resultados

Controles sismorresistentes

El período de vibración modal debe ser inferior a 1,3 veces el período definido por una ecuación cuadrática por la NEC.

Tabla 2. PEAC Periodo modal y tipo de desplazamiento

<i>Acero estructural A36 PEAC</i>					
Estructura	Periodo	UX	UY	RZ	M. Desplazamiento
	sec				
3P-G1	0.241	0.8783	0	0.0007	Traslacional
	0.217	0	0.9023	0	Traslacional
3P-G2	0.282	0.8862	0	0	Traslacional
	0.266	0	0.915	0	Traslacional
3P-G3	0.334	0	0.9266	0	Traslacional
	0.331	0.9115	0	0	Traslacional
8P-G1	0.616	0.6129	5.6E-06	0	Traslacional
	0.419	6.4E-06	0.6928	0	Traslacional
8P-G2	0.735	0.6588	0	1.1E-06	Traslacional
	0.536	0	0.725	0	Traslacional
8P-G3	0.709	0.6586	0	0	Traslacional
	0.487	0	0.6802	0	Traslacional
12P-G1	1.154	0.6017	0	0	Traslacional
	0.732	0	0.6691	0	Traslacional
12P-G2	0.926	0.6736	0	0	Traslacional
	0.681	0	0.7252	0	Traslacional
12P-G3	1.154	0.6017	0	0	Traslacional
	0.732	0	0.6691	0	Traslacional

Tabla 2. Muestra el periodo y el tipo de desplazamiento, el desplazamiento puede ser rotacional y traslacional varias normas coinciden en que una estructura debe mostrar un desplazamiento traslacional es el resultado de:

$$\frac{Rz}{\text{Max}(Ux,Uy)} \leq 30\% \quad (3)$$

Si la ecuación supera el 0,3 en los dos primeros modos de vibración, la estructura puede presentar daños considerables y derrumbarse durante un terremoto (International Conference of Building Officials, 2002) (Kiakojouri, De Biagi, Chiaia, & Reza Sheidaii, 2020).

Los resultados de PEM pueden consultarse en (Abril-Camino, Abril-Camino, Cadena, & Perez, 2023).

Figura 6. Derivas inelásticas de tres pisos: Acero vs Concreto Armado

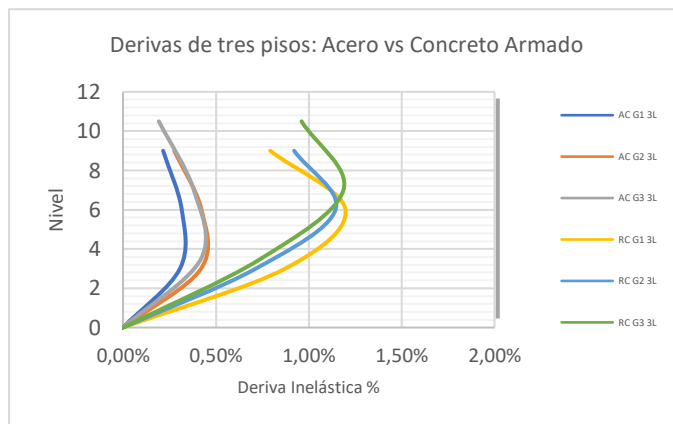
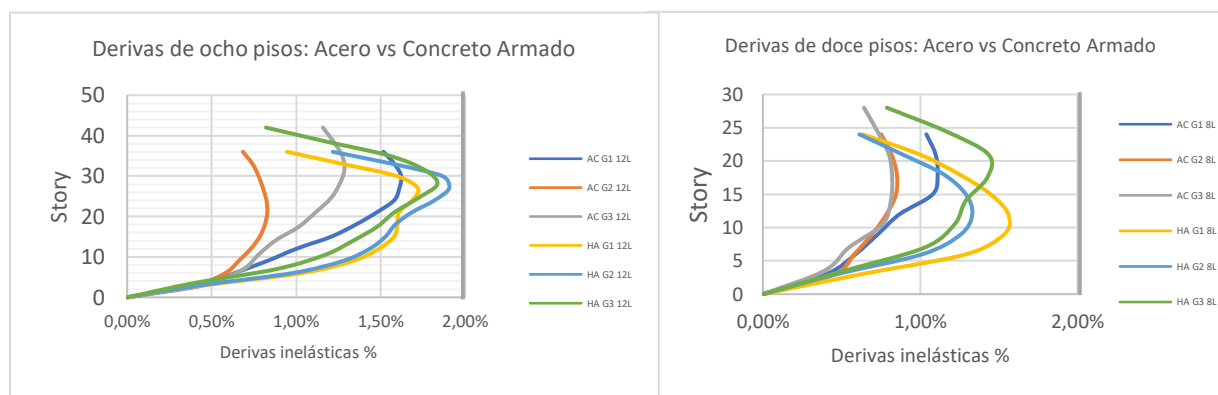


Figura 7. Derivas de ocho pisos: Acero vs Armado

Figura 8. Derivas de doce pisos



Las figuras 6, 7, 8 muestran las derivas inelásticas comparando el hormigón armado (HA, RC) y el acero (AC) en todos los casos las derivas en el acero son considerablemente menores que en el otro, el sistema estructural del acero es PEAC, que es el sistema estructural que todos los arquetipos de acero han sido analizados y en el hormigón el sistema estructural es PEM. Diferentes estudios coinciden en establecer una relación entre las derivas y el comportamiento sísmico, de forma que una deriva inelástica superior al 2% podría suponer un

comportamiento cercano al colapso o incluso superar un punto de comportamiento C, lo que implicaría el colapso de una estructura. (Zaker, Banazadeh, & Huang, 2018)

Las combinaciones de carga en ambos materiales se consideran como el LRFD incluyendo el diseño sísmico. La combinación más crítica es la que se lleva al diseño.

Para finalizar el diseño sísmico es necesario incluir las consideraciones de la ACI 318, ACI 352 que se refieren al hormigón por lo que en base a las normas se ha considerado e incluido el diseño (Zakian & Kaveh, 2023).

Para estructuras PEAC, ha sido un método de demanda/capacidad basada en cargas LRFD las estructuras (Fang, y otros, 2022) no pueden sobrepasar el valor de 1.

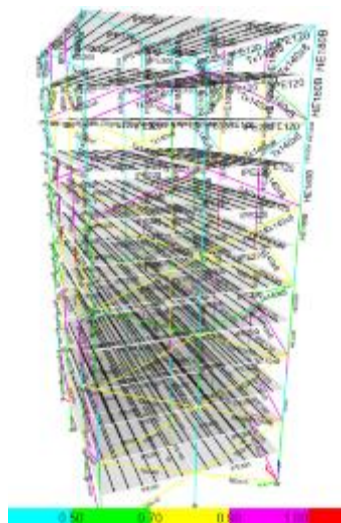


Figura.9 Diseño de elementos de bastidor en PEAC

Todos los miembros del diseño en todos los arquetipos de PEAC han pasado la comprobación de demanda/capacidad. La figura 8 muestra el grupo 3 y 12 niveles donde se muestra que todos los miembros están por debajo de 1 (Ghobarah, 2001) (Pomares, Pereiro-Barceló, González, & Aguilar, 2021).

Usando las consideraciones del AISC 341 los miembros del marco han sido diseñados como se muestra en la figura 9. Este proceso se ha repetido en todos los arcos. Este proceso

se ha repetido en todos los arquetipos verificando que la relación de capacidad está por debajo del valor de 1 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2019).

Diseño de cimentaciones poco profundas

El valor máximo de asentamiento admisible es de 80 mm en los cimientos. Todos estos cimientos están por debajo de este límite. Cumplen las disposiciones de la norma ACI 211.

Esta comprobación se ha revisado para cada arquetipo con el fin de garantizar los asentamientos máximos admisibles.

La figura 10 muestra en el lado izquierdo las cimentaciones utilizadas para cargas concéntricas para el arquetipo G3 de 12 pisos en acero con tipología estructural PEAC, y son zócalos aislados en el lado derecho la misma tipología, grupo y material, pero la cimentación es de losa. El asentamiento máximo es de 4,8 mm, en ambos casos, el cambio de cimentación se da en las múltiples comprobaciones a utilizar: asentamientos, presión de suelo, y punzonamiento a cortante en base a los requerimientos producidos por las cargas, se visualiza que las cimentaciones que por su implantación tienen carga excéntrica requieren una cimentación de mayores dimensiones y área, al visualizar las cimentaciones del lado izquierdo y derecho.

Figura 10. Asentamientos en cimentaciones aisladas y de losa cargas concéntricas a la izquierda, cargas excéntricas a la derecha del arquetipo G3 12 Niveles PEAC.

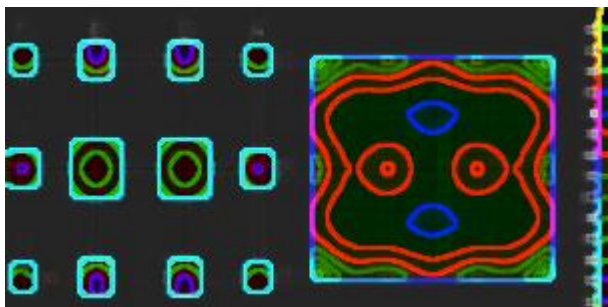
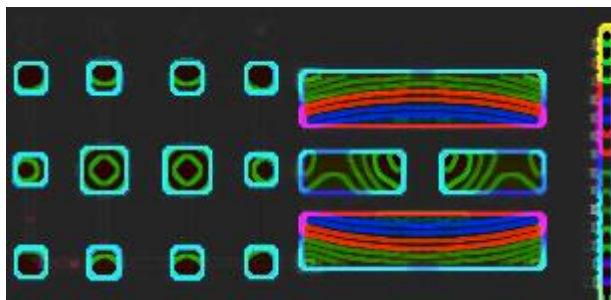


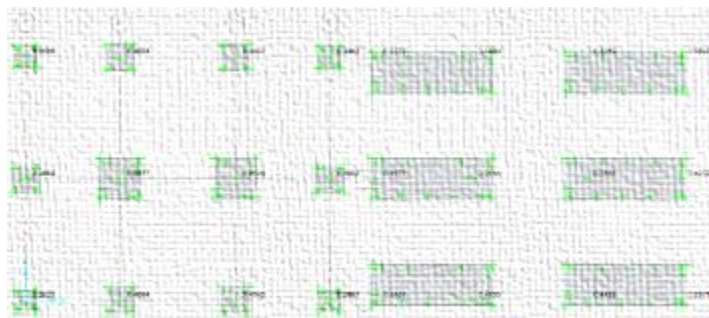
Figura 11. Presiones del suelo en cimentaciones aisladas y de losa cargas concéntricas a la izquierda, cargas excéntricas a la derecha del arquetipo G1 8 Niveles.



La presión del suelo sobre la cimentación es inversamente proporcional al tamaño de la cimentación, la cual se realiza para el presente estudio como un efecto de compresión sobre la cimentación, la misma se corroborará que sea menor a la capacidad admisible del suelo, para la presente investigación 14ton/m².

La figura 11 muestra la presión del suelo en las fundaciones utilizadas para cargas concéntricas para el arquetipo G1 de 8 pisos en acero con tipología estructural en PEAC, y son plintos aislados en el lado derecho se observa la misma tipología, grupo y material, pero la fundación es una zapata combinada (Hussein, y otros, 2021).

Figura 12. Cálculo del esfuerzo cortante por punzonamiento en cimentaciones aisladas y losas cargas concéntricas a la izquierda, cargas excéntricas a la derecha del arquetipo G1 3 Niveles.



Con base en una carga axial, se produce una reacción de cortante y el cortante de punzonamiento se basa en la reacción de cortante, que debe tener valores menores que la

unidad, ya que se analiza la capacidad de cortante de la cimentación y el cortante de punzonamiento requerido por las cargas de servicio.

La figura 12 muestra que las fundaciones someras tienen un radio de capacidad menor que uno para cargas concéntricas para el arquetipo G1 de 8 pisos en acero con tipología estructural en PEAC, y son plintos aislados en el lado derecho se observa la misma tipología, grupo y material, pero la fundación es una zapata combinada.

Análisis de precios unitarios

Tabla 3. PEM de hormigón armado. coste de la superestructura

<i>Super Estructura de Hormigón Armado</i>				
<i>Niveles</i>	<i>Grupos</i>	<i>kg R.S</i>	<i>Hormigón (m3)</i>	<i>Costo Total</i>
3	1	6659.51	53.75	\$ 28,336.69
3	2	11710.94	133.64	\$ 58,719.49
3	3	30139.93	263.10	\$ 120,717.18
8	1	16015.14	207.22	\$ 30,749.08
8	2	64730.96	445.11	\$ 207,354.52
8	3	106717.45	878.21	\$ 404,785.76
12	1	55612.49	435.89	\$ 197,812.53
12	2	121742.16	968.50	\$ 435,674.39
12	3	222848.42	1693.75	\$ 794,001.77

Tabla 4. Costo de la superestructura de acero PEAC

<i>Super Estructura de Acero</i>				
<i>Niveles</i>	<i>Grupos</i>	<i>kg</i>	<i>Cost/kg</i>	<i>Costo Total</i>
3	1	23924.21	4.34	\$ 103,831.07
3	2	27533.21	4.34	\$ 119,494.13
3	3	52979.1	4.34	\$ 229,929.29
8	1	34752.71	4.34	\$ 150,826.76
8	2	70581.91	4.34	\$ 306,325.49
8	3	172128.7	4.34	\$ 747,038.56
12	1	54180.24	4.34	\$ 235,142.24
12	2	134525.64	4.34	\$ 583,841.28
12	3	244134.73	4.34	\$ 1,059,544.73

Para el análisis de los precios unitarios, se considera que el concreto armado estará compuesto por encofrado, concreto simple: agua, arena, grava y cemento, y acero de refuerzo, mientras que el acero se cotiza por kg trabajado, esto incluye materiales, equipo y mano de obra, de igual manera en el concreto armado, se analiza primero la superestructura como se muestra en las tablas 3 y 4, que es a partir del nivel 0+00.

El costo de la superestructura es claramente mayor en acero estructural, sin embargo, hay un mayor peso en la estructura de concreto reforzado y esto se refleja en los cimientos.

Tabla 5. Costo de las cimentaciones PEM reforzada con hormigón

<i>Cimentaciones de Estructuras de concreto PEM</i>					
<i>Niveles</i>	<i>Grupo</i>	<i>Ciment. Concén.</i>	<i>Total Cost.</i>	<i>Ciment. Excent</i>	<i>Costo Total</i>
3	1	Aisladas	\$ 1,862.22	Combinadas	\$ 9,031.05
	2	Aisladas	\$ 5,061.99	Combinadas	\$ 19,003.92
	3	Aisladas	\$ 13,739.50	Combinadas	\$ 68,489.99
8	1	Aisladas+Comb	\$ 8,722.73	Losa Cim.	\$ 19,008.46
	2	Aisladas+Comb	\$ 18,196.38	Losa Cim.	\$ 47,799.98
	3	Losa Cim.	\$ 154,705.19	Viga de Cim.	\$262,330.14
12	1	Losa Cim.	\$ 18,490.82	Viga de Cim.	\$ 70,195.48
	2	Losa Cim.	\$92,632.1125	Viga de Cim.	\$184,524.00
	3	Viga de Cim.	\$ 442,807.96	Viga de Cim.	\$444,634.26

Tabla 6. Costo de las cimentaciones PEAC de acero

<i>Cimentaciones de Estructuras de Acero A36</i>					
<i>Niveles</i>	<i>Grupo</i>	<i>Ciment. Concén.</i>	<i>Total Cost.</i>	<i>Ciment. Excent</i>	<i>Costo Total</i>
3	1	Aisladas	\$ 757.97	Combinadas	\$ 2,866.37
	2	Aisladas	\$ 1,759.64	Combinadas	\$ 9,046.65
	3	Aisladas	\$ 3,176.22	Combinadas	\$ 17,483.82
8	1	Aisladas	\$ 1,924.61	Combinadas	\$ 10,272.14
	2	Aisladas	\$ 5,325.79	Losa Cim.	\$ 32,155.39
	3	Aisladas	\$ 12,786.40	Losa Cim.	\$ 74,088.54
12	1	Aisladas	\$ 3,356.13	Losa Cim.	\$ 30,819.87
	2	Aisladas	\$ 8,466.6789	Losa Cim.	\$ 31,680.58
	3	Aisladas	\$ 19,671.91	Losa Cim.	\$ 91,742.96

En el caso de las infraestructuras, el fenómeno se invierte, de modo que las cimentaciones de estructuras de acero tienen un coste mucho menor que las estructuras de hormigón armado debido a su peso. Para el costo de los elementos se han considerado los costos actuales en Ecuador para el año 2023 (Camara de la Industria de la construcción, 2023).

El primer análisis se refiere a la subestructura, tal como se muestra en los cuadros 3 y 4, por debajo del nivel 0+00.

Tabla 7. Coste de la estructura de hormigón de acero PEAC vs PEM

Grupo	Nivel	Hormigón & C.C.	Acero & C.C.	Hormigón & C.E.	Acero & C.E.
G1	III	\$ 30,198.91	\$ 104,589.04	\$ 37,367.74	\$ 106,697.44
G2		\$ 63,781.48	\$ 121,253.77	\$ 77,723.41	\$ 128,540.78
G3		\$ 134,456.68	\$ 233,105.51	\$ 189,207.16	\$ 247,413.11
G1	VII	\$ 39,471.81	\$ 152,751.37	\$ 49,757.53	\$ 161,098.90
G2		\$ 225,550.90	\$ 311,651.28	\$ 255,154.50	\$ 338,480.88
G3		\$ 559,490.95	\$ 759,824.96	\$ 667,115.90	\$ 821,127.10
G1	XII	\$ 216,303.35	\$ 238,498.37	\$ 268,008.01	\$ 265,962.11
G2		\$ 528,306.50	\$ 592,307.96	\$ 620,198.39	\$ 615,521.86
G3		\$1,236,809.73	\$1,079,216.64	\$ 1,238,636.03	\$ 1,151,287.69

Se observa que, si se considera el coste de la estructura en su conjunto, es decir, superestructura e infraestructura hasta 8 pisos, es menos costoso construir en hormigón armado; sin embargo, a partir de 12 pisos es más económico construir en acero estructural debido a la optimización del peso.

Emisiones de CO2 en los sistemas estructurales analizados

Tabla 8. Emisiones de CO2 en la superestructura de acero PEAC

Niveles	Grupos	kg	CO2/Kg	Emisión de CO2
3	1	23924.21	2.8	66987.79
3	2	27533.21	2.8	77092.99
3	3	52979.1	2.8	148341.48
8	1	34752.71	2.8	97307.59
8	2	70581.91	2.8	197629.35
8	3	172128.7	2.8	481960.36
12	1	54180.24	2.8	151704.67
12	2	134525.64	2.8	376671.79
12	3	244134.73	2.8	683577.24

La tabla 8 considera las emisiones en la superestructura de tipo estructural de acero PEAC.

Tabla 9. Emisiones de CO₂ en la superestructura de hormigón PEM

<i>Niveles</i>	<i>Grupos</i>	<i>kg</i>	<i>CO₂ RS.</i>	<i>Concrete (kg)</i>	<i>CO₂/Kg</i>	<i>Emisión de CO₂</i>
3	1	6659.51	18646.64	128991.66	0.456	58820.20
3	2	11710.94	32790.64	320738.86	0.456	146256.92
3	3	30139.93	84391.80	631431.39	0.456	287932.72
8	1	16015.14	44842.40	497332.13	0.456	226783.45
8	2	64730.96	181246.70	1068257.67	0.456	487125.50
8	3	106717.45	298808.87	2107705.09	0.456	961113.52
12	1	55612.49	155714.98	1046127.47	0.456	477034.13
12	2	121742.16	340878.04	2324409.52	0.456	1059930.74
12	3	222848.42	623975.59	4064991.99	0.456	1853636.35

Se considera un valor de 0,456 CO₂/Kg para el hormigón armado y un peso específico de 2200 kg/m³ para obtener el peso total del hormigón en función del volumen, mientras que para el acero estructural se considera un valor de 2,8 CO₂/Kg. La tabla 9 considera el valor por kilogramo del acero de armadura y del hormigón simple. (M. P. Mercader, 2012)

Tabla 10. Comparación de emisiones de CO₂ entre cimentaciones concéntricas de acero y hormigón.

<i>Grupo y Niveles</i>	Acero & C.C.	Concreto & C.C.	% Δ CO ₂
	<i>CO₂ Total</i>	<i>CO₂ Total</i>	
G1 3L	70440.956	86702.85	81.24%
G2 3L	88728.944	204894.19	43.30%
G3 3L	169640.136	445753.55	38.06%
G1 8L	109889.348	324964.26	33.82%
G2 8L	228838.368	789463.15	28.99%
G3 8L	565845.56	1971527.79	28.70%
G1 12L	170685.804	756777.93	22.55%
G2 12L	422039.928	2008268.38	21.02%
G3 12L	810408.66	5305162.96	15.28%

Tabla 11. Comparación de CO₂ de emisiones entre cimentaciones excéntricas de acero y hormigón

Grupo y Niveles	Acero & C.E.	Concreto & C.E.	% Δ CO₂
	CO₂ Total	CO₂ Total	
G1 3L	82826.5393	174967.7906	47.34%
G2 3L	133546.16	440842.7257	30.29%
G3 3L	259162.78	1228324.171	21.10%
G1 8L	165019.46	542258.0083	30.43%
G2 8L	353672.796	1394636.878	25.36%
G3 8L	911297.056	4616756.321	19.74%
G1 12L	267262.716	1377991.639	19.40%
G2 12L	493488.614	3917232.615	12.60%
G3 12L	1275398.09	8397932.096	15.19%

Al comparar ambos materiales: hormigón armado con sistema PEM y acero PEAC, considerando la misma construcción, se concluye que el material que menos emisiones de CO₂ emitiría es el acero estructural. Las tablas 9 y 10 muestran la diferencia entre ambos sistemas estructurales y su diferencia en emisiones de CO₂, a pesar de que el valor de las emisiones del acero es considerablemente superior al del hormigón por CO₂/kg 2,8 > 0,456. Sin embargo, el volumen para obtener las mismas condiciones de resistencia sísmica y cimentación es menor en el acero. La conclusión es que cuanto menor es el volumen de obra, menor es la emisión de carbono (Cardona & Lopez, 2018).

Comparación entre los sistemas estructurales de acero PEAC y de hormigón PEM.

Figura 13. Estructuras de acero y hormigón análisis del área frente al coste.

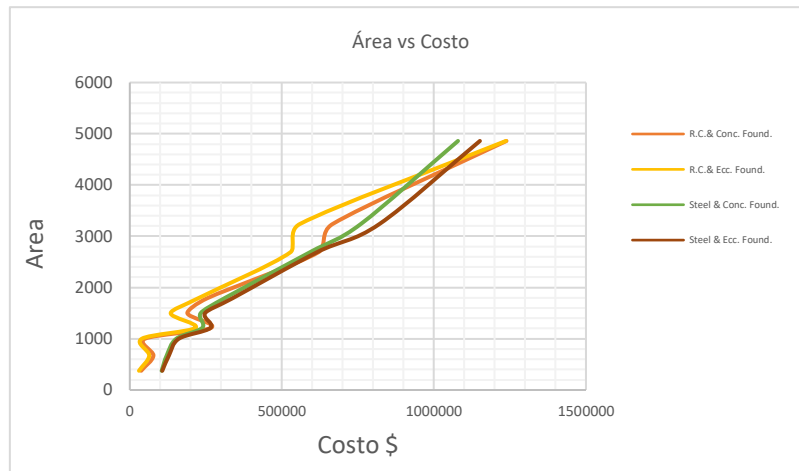
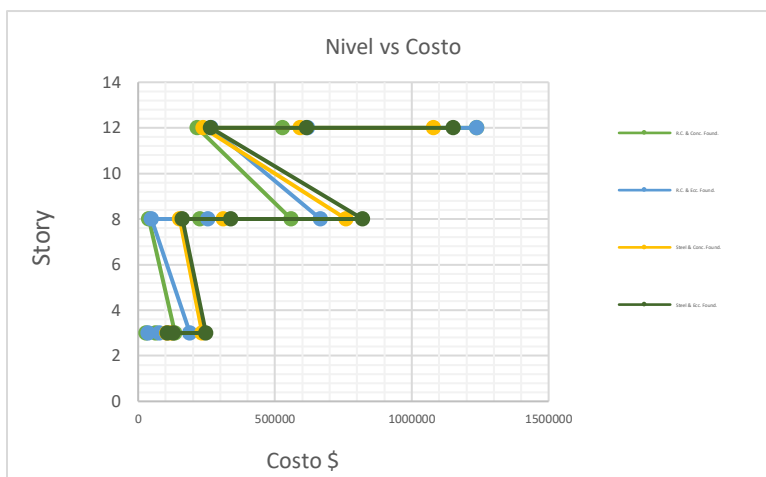


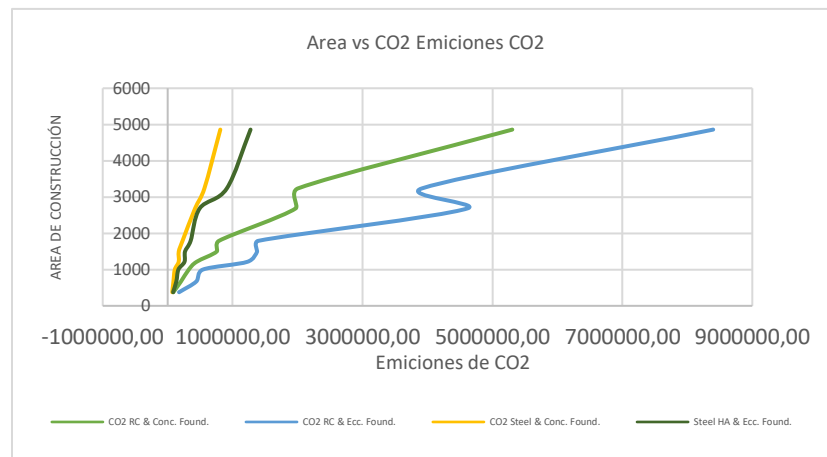
Figura 14. Estructuras de acero y hormigón: análisis de niveles y costes.



En las figuras 13 y 14 se comparan los 18 arquetipos que al considerar las cargas excéntricas y concéntricas se convierten en 36 arquetipos. La figura 13 no es tan concluyente porque es posible construir una estructura de 2 o 3 pisos con un área de 4000 metros cuadrados pero si tomamos ambas tablas en conjunto se puede observar que hasta 8 niveles es más económico construir en concreto armado y después de este número de pisos se debe analizar por piso, sin embargo se puede afirmar que después de 12 pisos es más económico y menos

contaminante construir en acero, por lo que después de 12 pisos es altamente recomendable construir en acero estructural. El último punto de la figura 14 en el nivel 12 en color amarillo coincide casi en la misma planta entre la línea naranja y azul. Esta aclaración permite establecer mejor ambos materiales, deduciendo que material es aconsejable elegir según su piso y vanos. Entre los pisos 9 y 11 se realizará un análisis sismorresistente de acuerdo con los parámetros establecidos en la presente investigación.

Figura 15. Estructuras de acero y hormigón: análisis de niveles y costes



Las emisiones de carbono son considerablemente menores en el acero como se muestra en la figura 15, y también se muestra que las cimentaciones bajo cargas concéntricas emiten menos CO2 que las cimentaciones bajo cargas excéntricas, independientemente de la superficie o del número de plantas, se puede concluir que un sistema menos contaminante es el acero estructural con arriostramiento, e independientemente del sistema, es menos contaminante construir cimentaciones bajo cargas concéntricas.

Conclusiones

Ambos materiales pueden diseñarse con consideraciones sismorresistentes, su elección dependerá de la disposición del material, el lugar de construcción, la normativa legal y la elección del usuario. La superficie útil de construcción es considerablemente menor en edificios de mediana y gran altura cuando se construyen en hormigón armado, ya que las secciones representan una gran superficie, mientras que en acero estructural son considerablemente menores y existe una mayor superficie útil.

La masa en acero estructural es mucho menor que en hormigón armado, sin embargo, a pesar de tener un periodo más corto, se observan sistemas mucho más rígidos, lo que lleva a la conclusión de que un mayor peso no representa un sistema estructural más rígido.

A pesar de que el acero emana más carbono que el hormigón armado, este último tiene unos volúmenes de construcción muy inferiores a los del hormigón armado. La comparación entre ambos materiales demuestra que el sistema estructural PEAC emana menos dióxido de carbono que el hormigón armado con la tipología estructural PEM.

- Hasta 8 niveles, independientemente de la distancia entre ejes, es más económica la construcción en hormigón armado; sin embargo, por encima de 12 niveles, es más económica la construcción en acero estructural con un sistema PEAC.

Mientras un proyecto de construcción se diseñe con cimientos poco profundos, este criterio puede mantenerse; si los cimientos son profundos, deben revisarse y queda abierta la puerta a continuar la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- Abril-Camino, A., & Caiza, P. (2023). Comparación Técnica-Económica de Cimentaciones Superficiales en Edificios Sismorresistentes de Acero y Hormigón Armado. *Revista Científica Multidisciplinar G-ner@ndo*, 1(4), 1-42. Obtenido de <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/114/105>
- Abril-Camino, A., Abril-Camino, D., Cadena, C., & Perez, R. (2023). Comparativo técnico económico entre pórticos especiales a momento de hormigón armado y acero estructural empleando las normativas ACI 318 19, AISC 341 16, AISC 360 22 Y NEC SE DS 2015. *Ciencia Latina*, 7(2), 7458-7486. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5893
- Aldhamad, S. H., & Rezouki, S. E. (2020). Financing Cost Optimization in Construction Sector: A Review. *Journal of Engineering*, 26(10), 94-108.
- American Concrete Institute. (2019). *ACI 318*. Washintong: ACI.
- American Institute of Steel Construction. (2022). *AISC 360-16 Specification for Structural Steel Building*. Washintong: AISC.
- American Institute of Steel Construction AISC 341. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago: AISC.
- American Institute of Steel Construction AISC 358. (2016). *Prequalified Connections*. Chicago: AISC.
- American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 7-22. (2022). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Washington: ASCE.
- Bahadori, H., & Hasheminezhad, A. (2019). Seismic response of shallow foundations over liquefiable soils improved by deep soil mixing columns. *Computers and Geotechnics*, 251-273. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.02.019>
- Bakri, A., Zubir, S., Samadi, Z., & Osman, H. (2011). Tailoring the needs for a better living: An urban renewal scheme on low cost housing. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 148, 301-312.
- Balasbaneh, A., & Bin Marsono, A. (2018). New residential construction building and composite post and beam structure toward global warming mitigation. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 37(4), 1394-1402.
- Begum, R., Satari, S., & Pereira, J. (2010). Waste generation and recycling: Comparison of conventional and industrialized building systems. *American Journal of Environmental Sciences*, 6(4), 383-388.
-

- Caliri, M., Ferreira, A., & Volnei, A. (2016). A review on plate and shell theories for laminated and sandwich structures highlighting the Finite Element Method. *Composite Structures*, 63-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.02.036>
- Camara de la Industria de la construcción. (2023). *Revista Construcción*. Quito: CAMICON.
- Cardona, M. J., & Lopez, Y. U. (2018). Technical-Economic Electrification Models Rural with Renewable Energies: Systematic Review of Literature. *2018 IEEE ANDESCON*, 1-7.
- Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205-2022.
- Dasović, B., & Klanšek, U. (2022). A Review of Energy-Efficient and Sustainable Construction Scheduling Supported with Optimization Tools. *15(2330)*, 1-17.
- Dong, L., Wang, Y., X. L., Boya, J., & Al-Hussein, M. (2018). Carbon Reduction Measures-Based LCA of Prefabricated Temporary Housing with Renewable Energy Systems. *Sustainability*, 10(718), 1-22.
- Dong, Y. H., Jaillon, L., Chu, P., & Poon, C. (2015). Comparing carbon emissions of precast and cast-in-situ construction methods – A case study of high-rise private building. *Construction and Building Materials*, 99, 39-53.
- Du, Q., Bao, T., Li, Y., Huang, Y., & Shao, L. (2019). Impact of prefabrication technology on the cradle-to-site CO₂ emissions of residential buildings. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(7), 1499-1514.
- ElSahly, O., Ahmed, S., & Abdelfatah, A. (2023). Systematic Review of the Time-Cost Optimization Models in Construction Management. *Sustainability*, 15(5578), 1-20.
- Fang, C., Wang, W., Qiu, C., Hu, Shuling, M. G., & Eatherton, M. R. (2022). Seismic resilient steel structures: A review of research, practice, challenges and opportunities. *Journal of Constructional Steel Research*, 191. doi:[10.1016/j.jcsr.2022.107172](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107172).
- Gajo, A., Debiassi, E., & Zonta, D. (2013). On the seismic response of shallow-buried rectangular structures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 99-113. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.04.011>
- García-Torres, S. G.-T., & Phani Madabhushi, G. S. (2019). Performance of vertical drains in liquefaction mitigation under structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 5849-5866. doi:<https://doi.org/10.1007/s10518-019-00717-x>
- Ghobarah, A. (2001). Performance-based design in earthquake engineering: state of development. *Engineering Structures*, 23, 878-884.
-

- Heravi, G., & Firoozi, M. (2017). Production process improvement of buildings' prefabricated steel frames using value stream mapping. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(9-12), 3307-3321.
- Hussein, H. K., Jawad, I. T., Mahdi, B. O., Majeed, Z. H., Jafer, H. M., & Owaid, H. M. (2021). Skirted Foundation on Sandy Soil - A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 10, 478-485. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ibtehaj-Jawad/publication/352768101_Skirted_Foundation_on_Sandy_Soil_-_A_Review/links/60d73f0c92851ca9448c5c79/Skirted-Foundation-on-Sandy-Soil-A-Review.pdf
- International Conference of Building Officials. (2002). *Earthquake engineering handbook*. Scawthorn: McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology.
- Jawad, Z., & Shakir, R. (2021). Behavior of Foundation Rested on Geogrid-Reinforced Soil: A Review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1-8.
- Kedir, F., & M. Hall, D. (2021). Resource efficiency in industrialized housing construction – A systematic review of current performance and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 286(125443), 1-15.
- Kiakojour, F., De Biagi, F., Chiaia, B., & Reza Sheidaii, M. (2020). Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects. *Engineering Structures*, 206. doi:10.1016
- Luévanos, A., López, S., M., M., & Sandoval, R. (2020). An analytical model for the design of corner combined footings. *Revista ALCONPAT*, 317-335. doi:<https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.432>
- Lysandros, P. (2019). The equivalent modulus of elasticity of layered soil mediums for designing shallow foundations with the Winkler spring hypothesis: A critical review. *Engineering Structures*, 201. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109452>.
- M. P. Mercader, A. R. (2012). Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂; producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. *Informes de la Construcción*, 64(527), 401–414.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *NEC SE CG*. Quito: Presidencia del Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *NEC SE DS*. Quito: Presidencia del Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *NEC SE HM*. Quito: Presidencia del Ecuador.
-

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda; Cámara de la Industria de la Construcción. (2015). *NEC SE GC*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2019). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima: Viceministerio de vivienda y urbanismo, Dirección Nacional de Urbanismo.
- opportunities, R. e.–A. (2021). Resource efficiency in industrialized housing construction – A systematic review of current performance and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 286(125443), 1-15.
- Passer, A., Ouellet-Plamondon, C., Kenneally, P., John, V., & Habert, G. (Energy and Buildings). The impact of future scenarios on building refurbishment strategies towards plus energy buildings. *Energy and Buildings*, 124, 153-163.
- Pomares, J., Pereiro-Barceló, J., González, A., & Aguilar, R. (2021). Safety Issues in Buckling of Steel Structures by Improving Accuracy of Historical Methods. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(12253), 1-21. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph182212253>
- Taghvamanesh, S., & Ziaie Moayed, R. (2019). A Review on Bearing Capacity Factor N_y of Shallow. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation Foundations with Different Shapes*, 13(9), 593-604. Obtenido de publications.waset.org/10012191/pdf
- Vanapalli, K., S., Oh, & Won-Taek. (2021). Analytical and numerical methods for prediction of the the bearing capacity of shallow foundations in unsaturated soils. *Soils and Rocks*, 3(44), 1-18. doi:<https://doi.org/10.28927/SR.2021.066521>
- Zaker, M., Banazadeh, M., & Huang, Q. (2018). The effect of design drift limit on the seismic performance of RC dual high-rise buildings. *Struct Design Tall Spec Build*, 1-16. doi:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tal.1464>
- Zakian, P., & Kaveh, A. (2023). Seismic design optimization of engineering structures: a comprehensive review. *Acta Mech* 234, 1305–1330.
-