



Artículo Original

Selección de pórticos para edificios de apartamentos aplicando la Ingeniería de Valor

Selection of structural frames for apartment buildings applying Value Engineering

Fernando Oliva¹

Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa, Honduras

Historia del artículo:

Recibido: 13 febrero 2021

Revisado: 15 febrero 2021

Aceptado: 7 abril 2021

Publicado: 30 abril 2021

Palabras clave

Costo

Modelo

Tiempo

Vivienda

Keywords

Cost

Model

Time

Housing

RESUMEN. Introducción. El incremento de construcciones verticales en el Municipio del Distrito Central (MDC) se ha evidenciado durante la última década en Honduras, producto del crecimiento poblacional y consecuente incremento en la demanda de vivienda. El objetivo del estudio fue aplicar la Ingeniería de Valor en un análisis comparativo que permita facilitar la selección entre los pórticos de concreto reforzado y de acero estructural para edificios de apartamentos del MDC. Los hallazgos servirán como una guía para los involucrados en el auge de dichos proyectos en los últimos años. **Métodos.** El estudio fue descriptivo, ya que los pórticos de concreto reforzado y pórticos de acero fueron comparados mediante la evaluación de diversas variables significativas para ambas soluciones constructivas. Los criterios utilizados fueron basados en profesionales de la ingeniería civil y la arquitectura de empresas consultoras y constructoras, así como los resultados del cálculo de costos y tiempos por m² obtenidos del modelo de un edificio de 7 niveles. **Resultados.** Los pórticos de concreto reforzado resultaron con un puntaje de 3.42 y un índice de valor de 0.00203, mientras que los pórticos de acero presentaron un puntaje de 2.72 y un índice de valor de 0.00038. **Conclusión.** Los pórticos de concreto reforzado son una solución más eficiente en comparación con los pórticos de acero, bajo las consideraciones específicas seleccionadas por la presente investigación.

ABSTRACT. Introduction. The rise in vertical constructions in the Municipalidad del Distrito Central (MDC) has been evident during the last decade in Honduras, because of population growth and consequent increase in the demand for housing. The study aim was to apply Value Engineering in a comparative analysis that facilitates the selection between reinforced concrete and structural steel frames for MDC apartment buildings, as a guide for those involved in the increase of such projects in the last years. **Methods.** The study was descriptive, since reinforced concrete frames and steel frames were compared by evaluating several significant variables for both construction solutions. The criteria used were based on professionals from civil engineering and architecture from consulting and construction companies, as well as calculation costs and times per m² findings, obtained from a model of a 7-story building. **Results.** The reinforced concrete frames had a score of 3.42 and a value index of 0.00203, while the steel frames presented a score of 2.72 and a value index of 0.00038. **Conclusion.** The reinforced concrete frames are a more efficient solution compared to steel frames, under the specific considerations selected in this research.

1. Introducción

Las construcciones verticales en el Municipio del Distrito Central (MDC) han presentado un auge en los últimos años en Honduras, con proyectos que han modernizado la ciudad donde las construcciones de edificios de apartamentos han destacado notablemente (Revista Construir, 2018). De acuerdo con Calderón Deras (2019), desde la última década se ha venido observando en el MDC la tendencia de

construcciones verticales. En su mayoría son edificios de apartamentos por el crecimiento poblacional y diversos factores como la introducción de nuevos parques industriales, comercios, fábricas y centros de llamada. Esto ha ocasionado una mayor demanda de vivienda en las zonas cercanas a estos lugares, debido a la necesidad de movilidad de la población. Para una reconocida empresa desarrolladora de diversos proyectos habitacionales en el MDC, los proyectos de vivienda vertical eran una oferta en su mayoría disponible para la población con ingresos mensuales

¹ Autor correspondiente: fernandooliva@unitec.edu, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Campus Tegucigalpa

Disponible en <https://doi.org/10.5377/innovare.v10i1.11412>

© 2021 Autores. Este es un artículo de acceso abierto publicado por UNITEC bajo la licencia <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

superiores a los L 40,000 en el 2015 (Revista Estrategia y Negocios, 2015). Sin embargo, recientemente se han desarrollado proyectos de vivienda vertical que buscan suplir a cientos de familias del MDC con vivienda a precios accesibles a compradores con ingresos mensuales desde L 15,000 (Ecovivienda, 2018).

La vivienda vertical multifamiliar es un concepto relativamente nuevo en Honduras. Sin embargo, en países vecinos como El Salvador, estos proyectos han sido desarrollados por instituciones gubernamentales desde mediados del siglo XX. Dado que las familias de escasos recursos no podían costear una vivienda, el estado salvadoreño intervino para reducir los gastos de terreno. Así nació la idea de la vivienda vertical multifamiliar, proyectos construidos por primera vez en El Salvador en 1956 (Barahona, 2017).

La Alcaldía Municipal del MDC y el Congreso Nacional han seguido la línea de permitir el desarrollo de proyectos de este tipo, ya que permiten un mejor aprovechamiento de los recursos mediante el ahorro de agua y energía (Hondudiario, 2019; Diario La Tribuna, 2020). Lo anterior hace necesario contar con una metodología que permita realizar una comparación entre soluciones constructivas, para facilitar la selección del sistema estructural más eficiente. La metodología utilizada puede optimizar los recursos sin afectar la calidad de los proyectos.

Dicha calidad es definida como el nivel de funcionamiento y estética aceptable por parte del cliente (Seminario, 2011). En este contexto, toma importancia la metodología de la Ingeniería de Valor, la cual establece que se debe llevar a cabo la integración de un equipo de profesiones aptos y con experiencia en el tipo de sistema estructural analizado.

Una incógnita que se presenta con frecuencia en relación con estos sistemas estructurales para la construcción de edificios de apartamentos es la siguiente: ¿Qué solución constructiva ofrece mayores ventajas, los pórticos de concreto reforzado o de acero? De acuerdo con Leet et al. (2017), el concreto reforzado es una mezcla de cemento, arena, grava y agua combinada con barras o varillas de acero, llamadas acero de refuerzo. Una de las principales ventajas que ofrece según Tume Castro (2019), es que requiere de poca inversión para realizar obras de mantenimiento, debido a la alta resistencia ante las acciones del agua y durabilidad con el paso del tiempo que posee.

No obstante, una importante desventaja del concreto reforzado es que requiere de la construcción de moldes en obra para el vaciado del concreto que permanecen en su lugar hasta que el concreto alcance la resistencia requerida para retirarlos y su costo puede llegar a ser un tercio del costo total de la obra. Los moldes generalmente son construidos con madera, generándose un desperdicio de material, ya que los cortes se deben realizar para adaptarse a la forma y tamaño de los elementos estructurales a fabricar. Dicho desperdicio debe cuantificarse al momento de

determinar la cantidad de material requerido para la construcción de los moldes. Por otro lado, en edificaciones de acero se utilizan elementos estructurales laminados en caliente, i.e., acero que ha pasado por el proceso de conformación a una temperatura superior de 926 °C (Mamlouk, 2009).

De acuerdo con Cuadros Calva (2020), una de las ventajas del acero estructural es que los elementos son fabricados en planta. Por lo tanto, no requieren de fabricación de moldes en obra, reduciendo los tiempos constructivos. A diferencia del concreto reforzado, los elementos de acero requieren de recubrimiento con anticorrosivo. El montaje de elementos estructurales de acero requiere de mano de obra calificada, es decir con formación técnica, así como equipo y maquinaria como grúas y soldadoras, incrementando los costos constructivos.

Ambas soluciones constructivas poseen ventajas y desventajas. Es necesario contar con un procedimiento sistemático que considere diversas variables significativas que lleven a cabo la selección de la solución que represente la mayor ventaja para los proyectos. Cabe resaltar, que la construcción de proyectos residenciales ha sido consistente, según la Gerencia de Control de la Construcción de la Alcaldía Municipal del Distrito Central (Mejía, 2017).

El objetivo del estudio fue aplicar la Ingeniería de Valor, mediante un análisis comparativo entre pórticos de concreto reforzado y pórticos de acero que permita facilitar la toma de decisiones que pueden ser útiles para los involucrados en el incremento de las construcciones verticales observado en la última década en la ciudad capital de Honduras.

2. Métodos

2.1. Enfoque y alcance

No debe confundirse la Ingeniería de Valor con una simple reducción de costos, ya que estas decisiones frecuentemente se ven acompañadas de una reducción en la calidad del proyecto. La reducción de costos es más bien una consecuencia del proceso sistemático de optimización (Kömmerling, 2020). Por otro lado, los pórticos son sistemas estructurales resultantes del ensamble de elementos tipo viga y columna conformando marcos rectangulares (Duque, 2020) (Figura 1). La investigación tuvo un enfoque mixto, con un componente cualitativo para recopilar información usando una encuesta exploratoria del criterio de diversos expertos sobre las principales ventajas y desventajas de los pórticos de concreto reforzado y acero estructural. Se entrevistó a 13 profesionales de ingeniería civil y de arquitectura. El componente cuantitativo consistió en determinar los costos y tiempos constructivos para ambas soluciones, con base en un modelo de edificio de apartamentos, modelado tanto con pórticos de concreto reforzado como de acero.

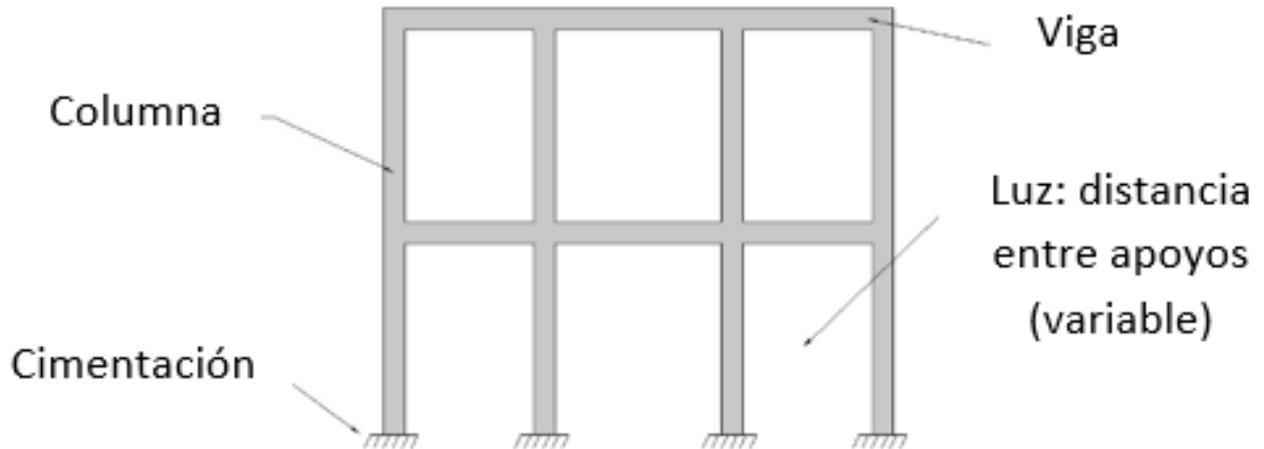


Figura 1. Pórtico típico para edificio de varios niveles.

2.2. Etapas de la Ingeniería de Valor aplicadas

2.2.1 Etapa I. Preparación

Consiste en planificar y organizar el proceso definiendo objetivos (Carrillo Cárdenas y García Rodríguez, 2011), que en este estudio se basaron en las preguntas:

- ¿Qué elemento o sistema se quiere innovar?
- ¿Para qué se quiere innovar?
- ¿Cuáles son los beneficios que se espera obtener?

Siendo cada proyecto de ingeniería civil único, se definieron las características del edificio que sirvió como modelo para la presente investigación.

2.2.2. Etapa II. Recolección de la información

Se definió los criterios de evaluación de las soluciones constructivas considerando que el número de requerimientos depende del sistema evaluado (Carrillo Cárdenas & García Rodríguez, 2011). Se llevó a cabo una lluvia de ideas para definir los criterios en base a la evaluación de los pórticos de concreto reforzado y de acero para edificios de apartamentos en el MDC. Se mantuvo comunicación con diferentes profesionales experimentados en proyectos de edificios de apartamentos para la definición de los criterios.

2.2.3. Etapa III. Análisis de la información

Consistió en lograr un completo entendimiento de los sistemas considerados para el análisis comparativo y se identificó posibles áreas de mejora con el sistema mayormente utilizado en la actualidad (Carrillo Cárdenas & García Rodríguez, 2011). También se estableció los beneficios esperados de la aplicación de la Ingeniería de Valor.

2.2.4. Etapa IV. Generación de ideas

Se elaboró un análisis de tiempos y costos por m² de construcción para cada solución constructiva, según lo establecido por Carrillo Cárdenas y García Rodríguez (2011). Dicho análisis fue elaborado mediante un generador de precios CYPE Ingenieros, consistente en una herramienta que permite a ingenieros y arquitectos obtener precios de actividades que forman parte de proyectos de construcción, con costos ajustados al máximo a la realidad. Ello facilita la elaboración de la documentación de un proyecto incluyendo información técnica y de tiempos de construcción (CYPE Ingenieros S.A., 2014).

2.2.5. Etapa V. Evaluación de las ideas

Se aplicó los criterios para evaluar cada una de las soluciones constructivas. Para ello, se desarrolló actividades en base a los resultados de una encuesta aplicada a profesionales representantes de empresas con experiencia en diseño, supervisión y construcción de edificios de apartamentos en el MDC. Inicialmente, se construyó una escala de calificación para cada uno de los criterios definidos en la etapa de recolección de la información. Posteriormente, se determinó la importancia que posee cada criterio de evaluación al momento de seleccionar una u otra solución constructiva, para lo cual se asignó un porcentaje de peso a cada criterio.

Luego de expresar en porcentaje el nivel de importancia de los criterios, se evaluó el tipo de pórtico más utilizado en la actualidad y la alternativa propuesta, asignando una calificación entre 1 y 4 para cada uno de los criterios en base a la justificación de escalas definida previamente. La calificación total recibida por cada solución constructiva se estableció como la suma de los totales parciales, mientras

que cada total parcial se obtuvo multiplicando el porcentaje de importancia asignado a cada uno de los criterios y la calificación otorgada.

2.2.6. Etapa VI. Desarrollo de las propuestas de mejora

Se comparó el puntaje obtenido por la alternativa, contra el puntaje obtenido por el sistema mayormente utilizado en la actualidad. Esto determinó el porcentaje de mejora de la alternativa en comparación con los pórticos más utilizados actualmente. Durante el desarrollo del procedimiento, el valor definido como “el grado o aptitud de las cosas para satisfacer las necesidades o proporcionar un bienestar o deleite” (Real Academia Española, 2021), se provee según el cumplimiento de requerimientos predefinidos, al menor costo.

Para ello, se hizo una comparación de soluciones constructivas del costo por m^2 de construcción mediante un índice de valor, calculado mediante la división de la calificación total recibida por cada solución constructiva, entre su costo.

3. Resultados

Se presentan por etapas para comparar la selección entre pórticos de concreto reforzado y pórticos de acero.

3.1. Etapa I. Preparación

Objetivos definidos:

- Elemento o sistema que se quiere innovar: Pórticos para edificios de apartamentos en el MDC.
- ¿Para qué se quiere innovar?
Para determinar la solución constructiva más eficiente entre los pórticos de concreto reforzado y pórticos de acero estructural en el MDC.
- Beneficios que se espera obtener: Conocer que opción permite optimizar de mejor manera los recursos disponibles para los proyectos, considerando diversos criterios.

Debido a que cada edificio de apartamentos tiene un costo y tiempo de construcción diferentes, el presente análisis comparativo se realizó en base a un diseño existente de un edificio con las siguientes características:

- Altura de 24 m
- 7 niveles
- 6 niveles con 2 apartamentos por nivel
- Último nivel consistente en terraza
- $87.75 m^2$ de construcción por nivel con luces de longitud variable entre columnas

El edificio fue seleccionado como modelo para evaluar las variables de costo y tiempo, ya que se contó con acceso a información de los elementos estructurales que conforman

los pórticos del diseño existente. Asimismo, el edificio consiste en un número de niveles que, según la información proporcionada por la Gerencia de Control de la Construcción de la Alcaldía Municipal del Distrito Central, corresponde con la realidad de los edificios de apartamentos construidos en los últimos años.

La información de los elementos estructurales que conformaron los pórticos del diseño existente a la que se tuvo acceso consistieron en las propiedades de la viga más larga del sistema de entepiso, así como una columna interior de primer nivel. Dado que la metodología de la Ingeniería de Valor no es un procedimiento de diseño estructural, para fines esquemáticos de la presente investigación, se asumió que toda la estructura estuviera conformada por el tipo de viga y columna antes mencionadas, descritas en detalle a continuación:

El diseño estructural del edificio modelo para el análisis comparativo, consistió en pórticos de concreto reforzado con vigas de 25×50 cm, 2 varillas #6 de armado inferior, 2 varillas #8 de armado superior, anillos de varillas #3 a cada 21 cm, recubrimiento de 4 cm y concreto $f'c = 280$ kg/cm². Por otro lado, las columnas son de 50×50 cm, 8 varillas #8, anillos #3 a cada 15 cm, recubrimiento de 4 cm y concreto $f'c = 280$ kg/cm².

El sistema estructural alternativo considerado fue los pórticos de acero resistentes a momento sin la consideración de elementos de arriostramiento, para el soporte de cargas laterales de viento y sismo. Se hizo un análisis comparativo equitativo entre ambas soluciones constructivas, considerando que el diseño existente de concreto reforzado no cuenta con muros de cortante. Estos elementos son tomados en cuenta en algunas edificaciones de concreto reforzado para cumplir las funciones de los arriostres en los edificios de acero que lo requieren.

Para la estructura de acero se consideraron perfiles estructurales W con designación ASTM A36, tanto para las vigas como las columnas, ya que son los perfiles más utilizados en la construcción de edificios con estructura de acero en el MDC, según se pudo conocer mediante comunicación con expertos en el área. Los perfiles de acero se seleccionaron para que los elementos estructurales tuvieran una inercia similar a los elementos de concreto reforzado que conforman la estructura del diseño existente, resultando perfiles W 33x130 en el caso de las vigas y W 40x183 para las columnas.

3.2. Etapa II. Recolección de la información

Generalmente se considera el costo y tiempo por m^2 de construcción para seleccionar una solución constructiva. Sin embargo, existen otras variables importantes a considerar. Por lo tanto, durante la segunda etapa de la aplicación de la Ingeniería de Valor se determinó los siguientes criterios de evaluación y los requerimientos de la alternativa más eficiente que debió cumplir:

- Costo directo: Presentar el menor costo directo por m² de construcción.
- Tiempo de construcción: Ofrecer el menor tiempo por m² de construcción.
- Resistencia por unidad de peso: Alta relación de la resistencia a flexo-compresión por unidad de peso de los elementos estructurales.
- Cantidad de subcontratistas especializados: Diversos subcontratistas especializados disponibles de manera que se incrementen las posibilidades de iniciar el proyecto en un corto periodo de tiempo.
- Disponibilidad de proveedores de materiales y equipo de construcción: Facilidad de adquisición de los materiales y equipo de construcción en el mercado.
- Tiempos de entrega de materiales constructivos: Disponibilidad de adquisición de los materiales constructivos en un corto periodo de tiempo.

Cuadro 1

Justificación de escalas utilizadas.

Criterio de evaluación	Definición	Escala*	Unidad de medida o cuantificación**
Costo directo	Costo directo por m ² de construcción	4	Entre L 0 a L 2,500
		3	Entre L 2,501 a L 5,000
		2	Entre L 5,001 a L 7,500
		1	L 7,500 o más
Tiempo de construcción	Tiempo por m ² de construcción	4	Entre 0-10 hrs.
		3	Entre 10-20 hrs.
		2	Entre 20-30 hrs.
		1	30 hrs. o más
Resistencia por unidad de peso	Relación entre la resistencia a flexo-compresión y el peso del elemento estructural	4	Resistencia alta por unidad de peso
		3	Resistencia media por unidad de peso
		2	Resistencia baja por unidad de peso
		1	No recomendable en función de la resistencia por unidad de peso
Cantidad de subcontratistas especializados	Subcontratistas especializados disponibles para la ejecución de la obra	4	10 o más subcontratistas
		3	Entre 7 a 9 subcontratistas
		2	Entre 4 a 6 subcontratistas
		1	3 o menos subcontratistas
Disponibilidad de proveedores de materiales y equipo de construcción	Facilidad de adquisición de los materiales y equipo de construcción en el mercado	4	10 o más proveedores
		3	Entre 7 a 9 proveedores
		2	Entre 4 a 6 proveedores
		1	3 o menos proveedores
Tiempos de entrega de materiales	Disponibilidad de adquisición de los materiales constructivos en determinado periodo de tiempo	4	Existe disponibilidad inmediata
		3	Existe disponibilidad en el corto plazo (1 semana)
		2	Existe disponibilidad en el mediano plazo (2 a 3 semanas)
		1	Existe disponibilidad en el largo plazo (4 o más semanas)

Elaboración propia. Fuente: (Carrillo Cárdenas & García Rodríguez, 2011)

* Se consideró una escala del 1 al 4 para evitar la asignación de calificaciones centrales denominadas “término medio de desempeño”, que no resulta de mucha utilidad para la evaluación.

**Características que deben cumplir cada una de las soluciones constructivas en función de los criterios para que le sea asignada determinada calificación.

Cuadro 2

Matriz de ponderación de criterios.

Identificación	Criterio de evaluación				Comentario	
A	Tiempo de construcción					
B	Costo directo					
C	Tiempos de entrega de materiales constructivos				Criterios de evaluación definidos en la etapa II del presente análisis comparativo	
D	Disponibilidad de proveedores de materiales y equipo de construcción					
E	Cantidad de subcontratistas especializados					
F	Resistencia por unidad de peso					
Matriz de ponderación*	A	A	A	A	A	A
		B	B/C	B	B	B
			C	C	C	C
				D	D/E	D/F
					E	E/F
						F
	Simbología:					
	A = A es de mayor importancia					
	A/B = A y B son de igual importancia					
Criterio	Veces que se presenta el criterio en la matriz de ponderación				% del total	
Tiempo de construcción	5				26%	
Costo directo	4				21%	
Tiempos de entrega de materiales	4				21%	
Cantidad de subcontratistas especializados	2				11%	
Disponibilidad de proveedores de materiales y equipo de construcción	2				11%	
Resistencia por unidad de peso	2				11%	
Total	19				100%	

Elaboración propia. Fuente: (Carrillo Cárdenas & García Rodríguez, 2011)

*Matriz desarrollada en base a los resultados de la encuesta aplicada que se consultó a los encuestados en el orden de importancia que según su criterio debe prevalecer al momento de seleccionar entre una u otra solución constructiva

Cuadro 3

Evaluación de criterios

Criterio de evaluación	Peso	Concepto	Calificación*				Total parcial**
			1	2	3	4	
Tiempo de construcción por m ²	26%	Pórticos de concreto reforzado			x		0.79
		Pórticos de acero				x	1.05
Costo directo por m ²	21%	Pórticos de concreto reforzado				x	0.84
		Pórticos de acero		x			0.42
Tiempo de entrega de materiales	21%	Pórticos de concreto reforzado				x	0.84
		Pórticos de acero		x			0.42
Cantidad de subcontratistas especializados	11%	Pórticos de concreto reforzado			x		0.32
		Pórticos de acero		x			0.21
Disponibilidad de proveedores de materiales y equipo de construcción	11%	Pórticos de concreto reforzado			x		0.32
		Pórticos de acero		x			0.21
Resistencia por unidad de peso	11%	Pórticos de concreto reforzado				x	0.32
		Pórticos de acero				x	0.42

Elaboración propia. Fuente: (Carrillo Cárdenas & García Rodríguez, 2011)

*Calificaciones asignadas en base al funcionamiento y las características de los sistemas evaluados, así como los resultados de la encuesta aplicada.

**Resultado de la multiplicación del peso o nivel de importancia de cada criterio por la calificación asignada.

3.3. Etapa III. Análisis de la información

Se identificó las siguientes condiciones actuales y esperadas por la aplicación de la Ingeniería de Valor:

Condiciones actuales:

- Proyectos de vivienda vertical inaccesibles para una parte de la población.
- Selección de sistemas o materiales de construcción sin considerar todas las variables involucradas.

Condiciones esperadas:

- Contar con un procedimiento sistemático que permita la optimización de los recursos necesarios para la construcción de pórticos de edificios de apartamentos en el MDC.
- Evaluar diferentes criterios que permitan optimizar los recursos disponibles, previo a seleccionar un sistema constructivo para la construcción de pórticos de edificios de apartamentos en el MDC.

3.4. Etapa IV. Generación de ideas

La encuesta aplicada a diferentes empresas constructoras y consultoras indicó que la solución más empleada en la actualidad fue la de pórticos de concreto reforzado. Asimismo, se desarrolló un análisis de costos y tiempos por m² de construcción calculados en base al edificio modelo definido en la primera etapa. Los pórticos de concreto reforzado resultaron con un costo de L 1,685.60 y requiriendo un tiempo de construcción de 13.68 horas. Por otro lado, los pórticos de acero presentaron un costo de L 7,264.69 y un tiempo constructivo de 9.77 horas.

3.5. Etapa V. Evaluación de las ideas

Se asignó la escala de calificación a los criterios de evaluación definidos en la etapa de recolección de la información (Cuadro 1). La escala considera 4 como la máxima calificación que puede obtener cada solución constructiva en relación con cada criterio y 1 como la calificación mínima posible. Posteriormente, se definió el nivel de importancia que tiene cada uno de los criterios al momento de seleccionar entre pórticos de concreto reforzado y pórticos de acero, para la construcción de edificios de apartamentos en el MDC. Se elaboró la matriz de ponderación de criterios para indicar el nivel de importancia en porcentaje para cada criterio de evaluación

(Cuadro 2). Entonces se comparó uno a uno todos los criterios para determinar cuál de los dos criterios comparados fue más importante o si ambos tuvieron la misma importancia. Una vez determinado el nivel de importancia de cada criterio, se evaluó las soluciones constructivas asignando una calificación entre 1 y 4 para cada criterio, tal como se estableció en la justificación de escalas (Cuadro 3). Posteriormente, se determinó el puntaje total obtenido por cada solución constructiva mediante la suma de los totales parciales anteriormente calculados obteniendo los siguientes resultados:

- Pórticos de concreto reforzado: 3.42
- Pórticos de acero: 2.72

3.6. Etapa VI. Desarrollo de las propuestas de mejora

Se determinó el porcentaje de mejora de la alternativa entre los pórticos de acero estructural en relación con los pórticos de concreto reforzado (los más utilizados). Asimismo, se determinó el porcentaje de mejora del índice de valor, definido como la relación de la calificación obtenida por cada solución constructiva, entre el costo por m² (Cuadro 4).

4. Discusión

Se determinó que para la construcción de edificios de apartamentos en el MDC se utilizan principalmente los pórticos de concreto reforzado. Las ventajas de estos pórticos según el análisis comparativo, son un menor costo por m² de construcción, mayor cantidad de subcontratistas especializados, menores tiempos de entrega de los materiales constructivos y una mayor disponibilidad de proveedores de materiales y equipo de construcción.

Los elementos estructurales que conformaron los pórticos de acero ofrecieron una relación más alta de resistencia por unidad de peso.

Cuadro 4

Desempeño de los pórticos de concreto reforzado y los pórticos de acero estructural.

Alternativa	Puntaje total	Porcentaje de mejora	Costo directo por m ²	Índice de valor	Porcentaje de mejora del índice de valor
Pórticos de concreto reforzado	3.42	-	L1,685.60	0.00203	-
Pórticos de acero	2.74	-20%	L7,264.69	0.00038	-81%

Elaboración propia. Fuente: (Carrillo Cárdenas & García Rodríguez, 2011)

Los pórticos de acero resultaron con una mejor calificación en función del criterio de mayor importancia según los expertos, consistente en el tiempo por m² de construcción. Sin embargo, para futuras extensiones o trabajos de investigación, se recomienda realizar análisis de rigidez

versus desplazamiento, ya que el comportamiento de las estructuras ante cargas laterales de viento y sismo es un aspecto estructural que podría facilitar en mayor medida la toma de decisiones.

La Ingeniería de Valor es un procedimiento sistemático

aplicable en la industria de la construcción, Su objetivo es seleccionar soluciones constructivas que permitan un manejo óptimo de los recursos de los proyectos cumpliendo con los requerimientos de seguridad y funcionalidad. En la ingeniería civil siempre se presentan nuevos problemas que requieren soluciones eficientes en función de variables significativas como costo y tiempo constructivo (Calzeta Valdés, 2012).

La Ingeniería de Valor se puede aplicar en todo tipo de proyectos en áreas como: alternativas de estrategias de contrataciones, de métodos, de diseño y de alcance y descuentos en materiales, entre otras (Chamoun, 2002).

Es importante considerar que la decisión de aplicar la Ingeniería de Valor en otras zonas del país podría requerir que los criterios de evaluación sean desemejantes o que resulten con un orden de importancia diferente al obtenido en el presente estudio. Se recomienda replicar el estudio a otras ciudades del país y analizar los resultados mediante un análisis comparativo, ya que se utilizó la evaluación de los criterios seleccionados, con las características propias de la zona y la opinión de los expertos especializados en proyectos de edificios de apartamentos en el MDC.

5. Conclusión

Los pórticos de acero resultaron con un puntaje total e índice de valor menor que los pórticos de concreto reforzado. Por consiguiente, han presentado porcentajes de mejora negativos. La solución constructiva más eficiente fue la de los pórticos de concreto reforzado.

6. Reconocimientos

A Karla Antonio Úcles Brevé y Julio César López Zerón, ingenieros civiles, docentes de la carrera de Ingeniería Civil en UNITEC Campus Tegucigalpa, por el apoyo técnico proporcionado durante el desarrollo de la investigación. A los ingenieros y arquitectos de las diferentes empresas constructoras y consultoras del MDC, por el tiempo dedicado y valiosa participación en la encuesta diseñada.

7. Conflictos de Interés

Los autores presentan ningún conflicto de interés.

8. Referencias Bibliográficas

Barahona, A. A. (2017). La vivienda social en El Salvador (1940-1980). *Realidad: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 150, 65-90. <https://doi.org/10.5377/realidad.v0i150.6168>

Calderón Deras, R. (2019, 29 mayo). *El crecimiento de la construcción vertical en Honduras*. Diario La Tribuna. <https://www.latribuna.hn/2019/05/29/el-crecimiento-de-la-construccion-vertical-en-honduras/>

Calzeta Valdés, M. (2012). *Ingeniería de Valor: Beneficios y oportunidades de incremento de valor en obras de ingeniería civil*. Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2472/1/TESIS%20VE%2027-06-2012.pdf>

Carrillo Cárdenas, G., & García Rodríguez, S. (2011). *Ingeniería de Valor*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Chamoun, Y. (2002). *Administración profesional de proyectos*. McGraw-Hill Education. <https://estadiapractica.files.wordpress.com/2015/02/admon-prof-proyecos-la-guia.pdf>

Cuadros Calva, A. (2020). *Comparación costo - tiempo al construir una edificación de dos niveles empleando pórticos de concreto armado y pórticos de acero en la ciudad de Belén, provincia de Maynas - Iquitos*. Universidad Nacional de Piura. <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2308/ICI-V-CUA-CAL-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CYPE Ingenieros S.A. (2014, 26 mayo). *Generador de precios de la construcción de CYPE Ingenieros*. El camino más directo para llegar al coste real de su proyecto. <http://generadorprecios.cype.es/#:~:text=CYPE%20Ingenieros%20ha%20creado%20Generador,facilitar%20la%20elaboraci%C3%B3n%20de%20una>

Diario La Tribuna. (2020, 14 febrero). *Congreso Nacional aprueba fideicomiso para construir proyecto habitacional más grande de CA*. <https://www.latribuna.hn/2020/02/14/congreso-nacional-aprueba-fideicomiso-para-construir-proyecto-habitacional-mas-grande-de-ca/>

Duque, M. (2019). *Concepción y análisis de estructuras* (1.ª ed.). Fondo Editorial EIA. https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/125405?as_all=Concepci%C3%B3n_y_an%C3%A1lisis_de_estructuras&as_all_op=unaccent_icontains&prev=as

Ecovivienda. (2018, 3 abril). *Un estilo de vida moderno, comprometido con el medio ambiente*. <http://ecoviviendahn.com/>

Hondudiario. (2019, 3 junio). *Alcaldía proyecta construcción de edificios habitacionales en Tegucigalpa*. <https://hondudiario.com/2019/06/03/alcaldia-proyecta-construccion-de-edificios-habitacionales-en-tegucigalpa/>

Kömmerling. (2020, 11 noviembre). *¿Qué es la ingeniería del valor en la construcción?* Reto Kömmerling. <https://retokommerling.com/ingenieria-del-valor-construccion/>

Leet, K., Uang, C., Lanning, J., & Gilbert, A. (2017). *Fundamentals of Structural Analysis* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Mamlouk, M. S. (2009). *Materiales Para Ingeniería Civil* (2.ª ed.). Prentice Hall/Pearson. https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/107817?as_all=Materiales__par_a__Ingenier%C3%ADa__Civil&as_all_op=unaccent_icontains&prev=as

Mejía, O. (2017, 24 octubre). *Vivienda vertical gana fuerza en Honduras*. Diario La Prensa. https://www.laprensa.hn/economia/1119485-410/vivienda-vertical-gana-fuerza-honduras-tegucigalpa-san_pedro_sula-edificios

Real Academia Española. (2021, 12 febrero). *valor | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/valor>

Revista Construir. (2018, 26 enero). *Boreal Inmobiliaria. ¿Cuáles son los cinco edificios más altos de Honduras?* <https://borealhn.com/noticias/edificios-mas-altos-honduras/>

Revista Estrategia y Negocios. (2015, 23 marzo). *Inmobiliarias ven el futuro en las construcciones verticales*. <https://www.estrategiaynegocios.net/centroamericaymundo/mundo/ropa/824998-407/inmobiliarias-ven-el-futuro-en-las-construcciones-verticales>

Seminario, R. (2011, octubre). *Ingeniería de Valor en proyectos de construcción*. Construction Management. Una manera eficiente de construir. <https://www.ort.edu.uy/farq/pdf/rodolfoseminariofaort051011.pdf>

Tume Castro, P. (2019). *Análisis comparativo estructural y económico al diseñar un edificio multifamiliar de seis pisos de concreto armado y acero, ubicados en la ciudad de Piura*. Universidad Nacional de Piura. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1905>