

Comparación Económica De Dos Tipos De Losas Con Sistema Tradicionales vs. Losas Postensadas En Quito - Ecuador

Economic Comparison Of Two Types Of Slabs With Traditional Systems vs. Post-tensioned Slabs In Quito - Ecuador

Daicy Paola Arias-Salazar¹
Universidad Tecnológica Indoamérica - Ecuador
daicyarias@indoamerica.edu.ec

César Sebastián Naranjo-Bustos²
Universidad Central del Ecuador - Ecuador
sebas_nb@hotmail.com

doi.org/10.33386/593dp.2022.4-2.1084

V7-N4-2 (ago) 2022, pp. 458-469 | Recibido: 09 de marzo de 2022 - Aceptado: 27 de junio de 2022 (2 ronda rev.)
Edición especial

1 Maestría en Ciencias de la Ingeniería con énfasis en Gerencia de la Construcción otorgado por la Universidad Central del Ecuador

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6483-5619>

2 Maestría en Construcciones de Obras Civiles, mención Gestión y Dirección, actualmente me desempeño como Técnico de Planificación del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ambato

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7547-994X>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

En la ciudad de Quito, existe gran demanda de estructuras con diseños de estilos contemporáneos, que obligan a los profesionales a capacitarse e innovar en cuanto a métodos constructivos que solventen la necesidad de analizar los sistemas que están siendo utilizados a nivel mundial e implementarlos a nivel local, como es el caso de las losas postensadas. Por lo que, en este documento se describen los tipos de losas postensadas que se pueden realizar, con sus materiales y herramientas aplicadas en su forjado; identificando la existencia y costos de estos insumos en la localidad. Además, se analizan datos obtenidos en trabajos de titulación que fueron desarrollados en el país, realizando una comparación económica con los sistemas de losas tradicionales dando a conocer los beneficios económicos que se obtienen con la implementación de losas postensadas en edificaciones, mediante una actualización de precios a febrero del 2020 de proveedores que ofrecen los materiales dentro de la localidad. Obteniendo como resultados que con el sistema de losas planas postensadas comparado con un sistema de losas planas o aliviadas de hormigón armado se tiene beneficios económicos, siendo estos mejores a mayores luces entre vanos.

Palabras clave: Comparación económica; Losas postensadas; Sistemas tradicionales; Beneficios económicos; Innovación en la construcción

ABSTRACT

The search for innovation in the construction of buildings in the city of Quito, due to the demand for structures with contemporary designs, creates the need to analyze the systems that are being used worldwide such as post-tensioned slabs, in order to apply them in the locality. So, this document describes the types of post-tensioned slabs that can be made, with their materials and tools applied in their slab; identifying the existence and costs of these inputs in the locality. In addition, data obtained in titling works that were developed in the country are analyzed, making an economic comparison with traditional slab systems making known the economic benefits that are obtained with the implementation of post-tensioned slabs in buildings, through a price update as of February 2020 of suppliers that offer the materials within the locality. Obtaining as results that with the system of post-tensioned flat slabs compared to a system of flat or relieved slabs of reinforced concrete one has economic benefits, these being better to greater lights between spans.

Key words: Economic comparison; Post-tensioned slabs; Traditional systems; Economic benefits; Innovation in construction

Introducción

En un mundo globalizado y que va ligado a la vanguardia tecnológica, la industria de la construcción en Ecuador en las últimas décadas ha ido evolucionando y acoplándose a nuevas soluciones constructivas, en especial en la realización de proyectos de gran envergadura, teniendo como objetivo principal la eficiencia en calidad, tiempo, menor contaminación ambiental y sobre todo la economía en la ejecución del proyecto.

Entre las nuevas tecnologías de construcción se destaca el uso del hormigón postensado, el cual tiene como objetivo superar los obstáculos que implica la aplicación del hormigón armado [1]. Con la aplicación de esta tecnología Hurtado [2] menciona que se tienen diversos beneficios entre los cuales se destaca la significativa reducción en la cantidad de hormigón y acero de refuerzo requerido, elementos estructurales de menor sección, resultando en alturas de edificaciones más bajas y por ende reducción en las cargas de cimentación, una estructura estética agradable; miembros más delgados con grandes espacios entre los soportes, reducción de deflexiones, mejor control del agrietamiento y la reducción de la masa total del edificio, lo cual es importante en zonas de alta incidencia sísmica.

Diversos estudios se han realizado sobre la utilización de losas postensadas en la construcción. Herrera [3] indica que las losas postensadas aportan ventajas tales como la reducción de la fisuración, el aumento de la resistencia a flexión, cortante y punzonamiento, un óptimo comportamiento ante sismos y la reducción de cantos y de flechas; mientras que como inconvenientes, cabría considerar el necesario control de los recubrimientos y de los posibles cruzamientos no previstos, las deformaciones diferidas, los acortamientos en su plano y la retención provocada por los apoyos, dependiendo de su rigidez, distribución y el orden del proceso constructivo. Además, que con la óptima puesta en obra de dicha solución estructural necesita altos controles de calidad de los materiales, pero, a la vez los tiempos de

ejecución resultantes de una buena integración de estos en la obra se traducen en una gran eficiencia constructiva. Montoña [4] indica que al utilizar losas postensadas se reduce la altura de cada entrepiso en un 50%, debido a que al no tener vigas, los espacios son mucho más limpios y estéticos cumpliendo así con una de las premisas del uso de este tipo de losas, el pre-esfuerzo introducido en las losas que balancean el 100% de la carga muerta de servicio las deflexiones en la losa serán mínimas aun en claros largos y que gracias al postensado las losas alcanzan una mayor resistencia en menor tiempo por lo que es posible vaciar una losa entre 7 y 10 días en promedio. Hurtado, Morales & Hernández [5] en su estudio menciona que el uso de un sistema de hormigón postensado permite reducir secciones de hormigón y, por ende, reducir el peso propio de la estructura. Además, que estas losas son eficientes bajo cargas de servicio y son poco dúctiles debido a los materiales de alta resistencia que emplean. Flores & Paati [6] en su estudio indica que el hormigón armado es actualmente la mejor solución para la construcción de edificaciones de baja, media y gran altura; pero cuando se quiere implementar ambientes con luces considerables presenta una serie de limitaciones, es aquí donde las losas postensadas demuestran un gran beneficio teniendo apoyos ubicados entre 7 a 10 metros, cumpliendo con las grandes demandas actuales de los requerimientos arquitectónicos modernos que a más de tener grandes espacios abiertos mantienen formas redondeadas e irregulares en sistemas de entrepiso.

Ante la experiencia de algunos constructores con el hormigón postensado en el Ecuador ha permitido también alcanzar ventajas económicas en cuanto a tiempos reduciendo los costos de mano de obra y construcción, debido a la rapidez con la que se desencofran las losas permitiendo continuar con los trabajos del siguiente nivel. Es indispensable que, dentro de la industria de la construcción de Quito, se innove y utilicen nuevas tecnologías en sus sistemas constructivos permitiendo tener luces mayores, rapidez constructiva y aumento en la altura de edificios, llegando así a obtener estructuras más

eficientes. Esto debido a los nuevos diseños que se están presentando en la ciudad que cada vez imponen más altura, a diferencia de los anteriores que se veían limitados por la presencia del aeropuerto en el norte de la ciudad, restringiendo el nivel de pisos y regulado por el PDOT.

En cuanto a las obras que se han realizado con losas postensadas en la ciudad de Quito y que han ido despertando el interés en este sistema constructivo podemos mencionar: el Edificio Yoo, en Quito, con 20 pisos de altura, Yoo Cumbayá de 6 pisos de altura; edificados por la constructora Uribe & Schwarzkopf, y el edificio Torre 6 (T6) de 15 pisos de altura y 6 subsuelos del Grupo Semaica y Nuovit. Por ende, el objetivo de este documento es proporcionar un referente para la industria de la construcción en la ciudad de Quito, que posteriormente se vuelva un referente a nivel de país, permitiendo conocer las ventajas y desventajas de este sistema constructivo, con un enfoque comparativo que se fundamente en el ámbito económico, evaluando si el uso de losas postensadas en las edificaciones puede o no competir con sistemas tradicionales. Esto en base a que en el Ecuador las losas postensadas son un sistema relativamente nuevo, debido a que su uso no es frecuente, a pesar de las ventajas económicas y arquitectónicas que este sistema ofrece a los procesos constructivos, mencionadas anteriormente.

Materiales y métodos

En base a que hoy en día el Ecuador presenta nuevos desafíos en sus edificaciones, se debe implementar una nueva tendencia de construcción que vaya acorde a los procesos de innovación y cambio que se presentan; para lo cual es indispensable primero conocer sobre el sistema, motivo por el cual se realizará una descripción detallando en qué consiste el postensado, los materiales que intervienen en el forjado de este tipo de elementos y las tipologías de losas que se pueden utilizar; con el fin de lograr un entendimiento sobre el sistema.

Concreto preesforzado

Concreto en el que se han introducido esfuerzos internos de tal magnitud y distribución, que los esfuerzos resultantes de las cargas externas se equilibran hasta un grado deseado, compensando de antemano algún esfuerzo por carga de servicio; el cual es introducido dando tensión al refuerzo de acero.

Elementos postensados

El hormigón postensado es aquel hormigón al que se somete, después del vertido y fraguado, a esfuerzos de compresión por medio de armaduras activas con la intención de someter la estructura a un estado de cargas previas a las de su puesta en servicio, con el fin de mejorar las propiedades relativas a su geometría, seguridad, durabilidad y economía [3]. El tensado de los tendones se realiza cuando este ya ha alcanzado una resistencia mínima, una vez tensados estos son anclados en un extremo del hormigón imprimiendo así en el elemento estructural las cargas internas requeridas. Estos tendones pueden transmitir esfuerzos al hormigón de dos formas: mediante los tendones adheridos (transmitiendo esfuerzos al hormigón a lo largo de su longitud por la adherencia) y cuando los tendones son no adheridos (transmitiendo los esfuerzos al hormigón una vez que estos son tensados y anclados en sus extremos).

Materiales utilizados para el postensado

Los materiales que son utilizados en el forjado de losas postensadas tienen características especiales diferentes a las de las losas tradicionales.

- 1) *Hormigón de alta resistencia*: Bravo [7] aconseja trabajar con hormigones de resistencia igual o superior a 350 kg/cm^2 , debido a los esfuerzos de postensado que va a sufrir la losa. Además, que, para poder tensar al poco tiempo de hormigonado, recomienda utilizar cemento de alta resistencia inicial, de forma que se alcance el 60-70% de la resistencia especificada a los 28 días en un plazo aproximado de 3 días después. Este hormigón con la resistencia requerida se

lo encuentra en el mercado por un valor de \$126,06 cada m³.

- 2) *Torones de acero*: Según Gática [8] el cable trenzado se fabrica de acuerdo con la especificación ASTM A-416, con siete alambres firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. Dichos torones son los que serán postensados cuando la resistencia a compresión del hormigón se encuentre fraguada según su diseño. Los torones de 12.7 mm que son los utilizados comúnmente para las losas postensadas se lo encuentra en el mercado por un valor de \$1,59 cada Kg.
- 3) *Armadura pasiva*: Compuesta por acero corrugado $f_y=4200$ kg/cm², de las mismas características que las empleadas en hormigón armado. El acero con el f_y requerido se lo encuentra en el mercado por un valor de \$1,33 cada Kg.
- 4) *Anclajes*: Elemento de acero usado para transmitir la fuerza de postensado al hormigón. Estas mantienen tensionada la losa tras la aplicación de tensión pudiendo ser activos, los que permite tensar los torones al elemento de hormigón o pasivos, los que permitirán colocar un extremo de los torones para tensarlo. Cerdá [9] indica que los tendones se anclan a la losa mediante anclajes mecánicos individuales, capaces de desarrollar el 96%, como mínimo, de la carga mínima de rotura del tendón sin que se llegue a romper o deslizar la cuña. Las placas de anclaje metálica de 12,7 mm se las encuentran en el mercado por un valor de \$2,68 cada pieza.
- 5) *Cuñas*: Son placas cónicas de acero que aseguran el tendón una vez aplicada la carga del postensado [6]. Las cuñas metálicas de 12,7 mm se las encuentra en el mercado por \$1,36 cada pieza.
- 6) *Pocket former*: Elementos plásticos que van ubicados en los anclajes, que impiden el ingreso de suciedad o agua; evitando la corrosión para finalmente ser retirados para poder tensar los torones [6]. Los pocket former se las encuentran en el mercado por un valor de \$0,65 cada

pieza.

- 7) *Sillas de torones*: Serán las que guiarán la trayectoria de los torones al tensado, es decir son elementos de apoyo que sirven para que el torón de acero siga la ruta parabólica determinada para el calculista. Además de dar funciones de separador el torón del encofrado. Los separadores plásticos de 25mm se los encuentra en el mercado por un valor de \$0,34 cada pieza.

Herramientas utilizadas para el postensado

Las herramientas empleadas en el proceso de tensado son:

- 1) *Cortadoras de tendones*: Usadas para cortar los torones sobrantes tras el tensado y se lo puede realizar mediante cortadora de fuego, sierra rotativa abrasiva, cortadoras hidráulicas y cortadoras de plasma.
- 2) *Gato hidráulico*: Utilizado para la tensión de los torones los mismo que trabajan por un fenómeno hidráulico. En este la base de la herramienta se retrae hasta alcanzar la presión requerida controlada por un manómetro.

Losas postensadas

Elementos estructurales cuyas dimensiones en planta son relativamente grandes en comparación con su peralte. Pueden estar soportadas por vigas de hormigón armado, muros de albañilería o de hormigón, una estructura metálica o directamente por el terreno. El postensado en los entrepisos es una técnica de pre-carga al hormigón de manera que elimina o reduce las tensiones de tracción que son inducidos por las cargas muertas y vivas. El tensado es una fuerza axial externa permanente, de magnitud predeterminada que se aplica a la pieza de hormigón induciendo una tensión de compresión en la losa [10]. Estas losas son fundidas in situ, en la cual se encuentran embebidos cables de acero de alta resistencia dispuestos según un trazado parabólico y además anclados a través de cuñas a sus anclajes extremos, donde una vez vaciada la losa cada cable es tensado de

manera independiente según las indicaciones del proyecto [11].

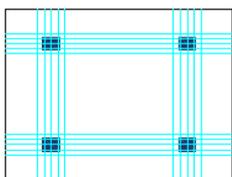
Tipología de la disposición de tendones en planta

La transferencia de cargas es desde el interior de una losa hacia las columnas y se realiza de la siguiente manera: los tendones de vano trasladan las cargas a los tendones sobre las columnas y éstos a los apoyos. A partir de este concepto se plantean 4 soluciones para la disposición en planta de los tendones.

- 1) *Concentrados en dos direcciones:* Los tendones se concentran sobre las columnas según dos direcciones como se observa en la Figura 1. La ventaja es el total aprovechamiento de la armadura activa frente a esfuerzos de punzonamiento además de una relativa facilidad de montaje, sin embargo, obliga a disponer de una gran cantidad de armadura pasiva para transmitir las cargas desde el centro de vano hasta las columnas [7].

Figura 1

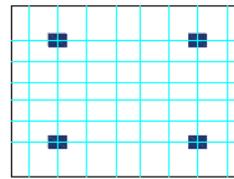
Tendones concentrados en dos direcciones [7]



- 2) *Distribuidos en dos direcciones:* Alternativa muy eficiente estructuralmente (deformaciones menores) pero que conlleva una gran desventaja constructiva, ya que se deben trenzar los tendones para formar una especie de canasta como se muestra en la Figura 2; comenzando por el grupo que está por debajo de todos los demás, lo que implica una mayor dificultad de montaje. Además, con esta distribución de tendones no se aprovechan los beneficios frente a esfuerzos de punzonamiento [7].

Figura 2

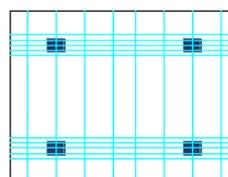
Tendones distribuidos en dos direcciones [7]



- 3) *Concentrados en una dirección y distribuidos en la otra:* Reúne las virtudes de las dos soluciones anteriores. Por un lado, se eliminan todas las interferencias entre tendones sobre las columnas, salvo un grupo de los distribuidos como se muestra en la Figura 3, y por otra se sigue aprovechando el beneficio que aportan los tendones de armadura activa frente a esfuerzos de punzonamiento. Como consecuencia importante de esta distribución se encuentra la potenciación del comportamiento unidireccional en pre rotura, no obstante, no se observan diferencias respecto otras disposiciones bajo cargas de servicio. Por todo ello esta opción se ha convertido en la más utilizada. Además, en losas planas con distribución irregular de columnas, es la mejor manera de visualizar que toda la carga de la losa se transfiera a las columnas [7].

Figura 3

Tendones concentrados en una dirección y distribuidos en otra [7]

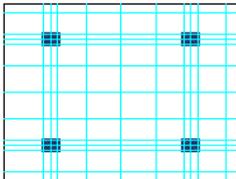


- 4) *Disposiciones mixtas:* Consiste en concentrar la mitad de los tendones sobre columnas y distribuir los restantes uniformemente como se muestra en la Figura 4, lo cual se puede hacer en una o dos direcciones. La opción más usual es optar por esta distribución en una dirección, y combinarla con tendones

concentrado en la otra. Se intenta conjugar la facilidad constructiva con la eficiencia estructural sin que por ello la resistencia a punzonamiento se vea mermada [7].

Figura 4

Distribución mixta de tendones [7]



Resultados

Con respecto a comparaciones de costos entre losas con sistemas tradicionales y los diseñados con losas postensadas se puede mencionar los siguientes:

Hurtado [2] en su estudio realizó un análisis comparativo económico entre losas planas de hormigón armado y de hormigón postensado obteniendo los siguientes resultados:

- Al realizar el análisis únicamente entre losas tomando en consideración volúmenes de hormigón y cantidades de acero necesarias en el diseño con diferentes luces y áreas se pueden encontrar los resultados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2

Competitividad en costos entre losas planas de hormigón armado y losas planas de hormigón postensado [2].

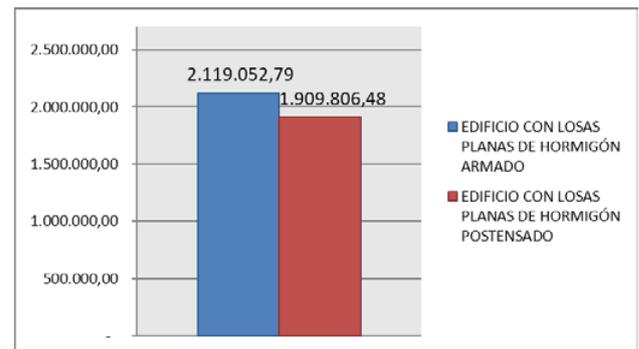
Costo		Ahorro (%)	Ahorro (\$)	Área(m ²)	Luces(m)
Losa plana (Hormigón armado)	Losa plana (Hormigón postensado)				
671,94	693,64	-3,23%	-21,70	16	4X4
1357,03	1022,65	24,64%	334,38	32	8X4
1330,84	1152,77	13,38%	178,07	36	6X6
1667,26	1317,77	20,96%	349,49	40	10X4
2187,83	1775,8	18,83%	412,03	48	8X6
3401,78	2397,4	29,53%	1004,38	64	8X8
4303,29	3069,51	28,67%	1233,78	80	10X8
6938,31	5420,55	21,88%	1517,76	100	10X10

Con respecto a la Tabla 2 obtuvo como resultado, que la tendencia de ahorro para losas planas de hormigón postensado es de un 13 al 30%.

- Al efectuar un análisis económico de un edificio de pórticos especiales resistentes a momentos y muros especiales de corte diseñado con losas planas de hormigón armado y otro con losas planas de hormigón postensado; posterior al proceso de diseño y cálculo de cantidades de materiales se obtuvieron los datos de costo mostrados en la Figura 11, donde hay que tomar en consideración que los datos representan únicamente la obra gris de las dos alternativas.

Figura 5

Comparación económica de edificios con losas planas de hormigón armado y losas planas de hormigón postensado [2]



Con respecto a la Figura 11 se puede observar que mediante el empleo de un sistema de losas postensadas para un sistema dual se ha podido alcanzar un ahorro de \$209,246.31 que representa 9.87% del valor total.

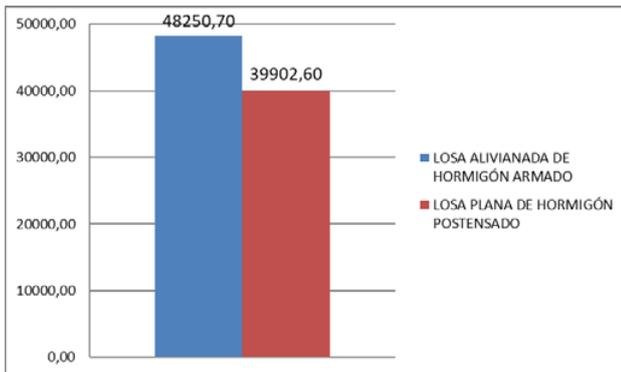
Flores & Paati [6] en su estudio realizó un análisis comparativo económico entre una losa alivianada de hormigón armado y losa plana de hormigón postensado obteniendo el siguiente resultado:

- Al ejecutar el análisis entre losas tomando en consideración volúmenes de hormigón, cantidades de acero, cantidades de bloques y encofrados, eliminando el costo de la mano de obra para una losa aliviana de hormigón armado de 772 m² de área y una losa plana de hormigón postensado de 20 cm con ábacos

de 10 cm y 772 m² de área se encuentran los datos mostrados en la Figura 12.

Figura 6

Análisis comparativo de costos entre losa aliviada de hormigón armado y losa plana de hormigón postensado [6]



De acuerdo con los resultados de la Figura 12 se puede observar que la losa plana postensada permite tener un ahorro de \$ 8348.10, que corresponde a un 17.30% menos en comparación con la losa aliviada.

Con base en los estudios presentados anteriormente, en los que se realizan comparaciones entre losas tradicionales de hormigón armado comúnmente utilizadas en la construcción de edificaciones en el Ecuador y con el sistema de losas de hormigón postensado; a los cuales se les ha realizado una actualización de costos con proveedores para la ciudad de Quito, se han obtenido los siguientes resultados:

- En el análisis entre losas tomando en consideración volúmenes de hormigón y cantidades de acero necesarias para el diseño con diferentes luces y áreas, luego de realizada una actualización de costos a febrero del 2020 en base a los diferentes proveedores de la ciudad, se presentan los datos de cantidades y precios globales que se tienen para cada una de las losas con los dos sistemas; estos datos son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3

Costos y cantidades para losas planas de hormigón armado y losas planas de hormigón postensados con diferentes luces.

Área	Volumen de Hormigón (m ³)	Hormigón		Acero		Postensado		Costo total
		Precio Global	Peso de acero (Kg)	Precio Global	Postensado (Kg/m ²)	Precio Global		
10x10	L.P.H.A	40	4492	1721	2288,93			6780,93
	L.P.H.P	30	3369	533,51	709,57	2.15	1133,05	5211,62
10x8	L.P.H.A	24	2695,2	1159	1541,47			4236,67
	L.P.H.P	16	1796,8	254,98	339,12	2.10	885,36	3021,28
10x4	L.P.H.A	10	1123	409,5	544,64			1667,64
	L.P.H.P	6,4	718,72	88,7	117,97	2.1	442,68	1279,37
8x8	L.P.H.A	19,2	2156,16	890,4	1184,23			3340,39
	L.P.H.P	12,8	1437,44	133,56	177,63	2.1	708,29	2323,36
8x6	L.P.H.A	12	1347,6	681,98	907,03			2254,63
	L.P.H.P	9,4	1055,62	81,84	108,85	2.2	536,28	1700,75
8x4	L.P.H.A	8	808,56	289,84	385,49			1194,05
	L.P.H.P	5,12	646,85	31,88	42,4	2.12	354,14	1043,39
6x6	L.P.H.A	7,2	898,4	370,83	493,2			1391,6
	L.P.H.P	5,76	574,98	51,92	69,05	1.97	373,75	1017,78
4x4	L.P.H.A	3,84	431,23	148,2	197,11			628,34
	L.P.H.P	3,84	431,23	74,1	98,55	2.15	181,29	711,07

Obtenidos los costos totales entre los dos sistemas, se presenta la Tabla 4 que muestra un resumen entre los costos de los tipos de losas.

Tabla 4

Competitividad en costos para Quito entre losas planas de hormigón armado y losas planas de hormigón postensado

Costo					
Losa plana (Hormigón armado)	Losa plana (Hormigón postensado)	Ahorro (%)	Ahorro (\$)	Área(m ²)	Luces(m)
628,34	711,07	-13,17%	-82,73	16	4X4
1194,05	1043,39	12,62%	150,66	32	8X4
1391,6	1017,78	26,86%	373,82	36	6X6
1667,64	1279,37	23,28%	388,27	40	10X4
2254,63	1700,74	24,57%	553,89	48	8X6
3340,39	2323,36	30,45%	1017,03	64	8X8
4236,67	3021,28	28,69%	1215,39	80	10X8
6780,93	5211,62	23,14%	1569,31	100	10X10

En la Tabla 4 se observa que la tendencia de ahorro con el uso de losas planas postensadas llega a representar entre el 12 al 30% con respecto a las losas planas de hormigón armado dependiendo esto de su área, siendo más significativo para áreas mayores; además se identifica que con losas de áreas pequeñas no existe ahorro económico si se utiliza el sistema postensado.

- En el análisis entre el edificio de pórticos especiales resistentes a momentos y muros

especiales de corte diseñado con losas planas de hormigón armado y otro con losas planas de hormigón postensado, luego de realizada una actualización de costos a febrero del 2020 en base a los diferentes proveedores de la ciudad, se presentan los datos de cantidades y precios que se tienen para cada uno de los diseños; en la Tabla 5 para el edificio con losas planas de hormigón armado y en la Tabla 6 para el edificio con losas planas de hormigón postensado.

Tabla 5

Costos y cantidades para el edificio con losas planas de hormigón armado.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
Encofrado/Desencofrado de vigas	m2	6196,45	14,5	89.848,53
Hormigón en vigas-Hormigón simple f'c=280 kg/cm2	m3	1719,6	118,85	204.374,46
Acero en vigas-Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	289232,2	1,53	442.525,27
Encofrado/Desencofrado de columnas	m2	6519,74	15,1	98.448,07
Hormigón en columnas-Hormigón simple f'c=350 kg/cm2	m3	1093,82	141,13	154.370,82
Acero en columnas-Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	20749,9	1,53	31.747,35
Encofrado/Desencofrado de muros	m2	5503,72	28,23	155.370,02
Hormigón en muros-Hormigón simple f'c=280 kg/cm2	m3	1121,4	118,85	133.278,39
Acero de refuerzo en muros fy=4200 kg/cm2	kg	183449,9	1,53	280.678,35
Encofrado/Desencofrado de losas	m2	1005,38	20,1	20.208,14
Hormigón en losas-Hormigón simple f'c=280 kg/cm2	m3	3199,2	118,85	380.224,92
Acero de refuerzo en losas fy=4200 kg/cm2	kg	81436,6	1,53	124.598,00
Malla electrosoldada Ø6@10fy:5000 kg/cm2	kg	48902,88	5,86	286.570,88
TOTAL				2.402.243,17

Tabla 6

Costos y cantidades para el edificio con losas planas de hormigón postensado.

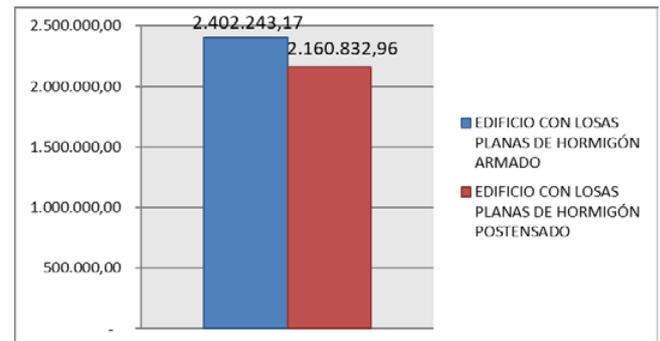
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
Encofrado/Desencofrado de vigas	m2	5207,4	14,5	75.507,30
Hormigón en vigas-Hormigón simple f'c=280 kg/cm2	m3	1670,6	118,85	198.550,81
Acero en vigas-Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	215370,9	1,53	329.517,48
Encofrado/Desencofrado de columnas	m2	4527,6	15,1	68.366,76
Hormigón en columnas-Hormigón simple f'c=350 kg/cm2	m3	957,75	141,13	135.167,26
Acero en columnas-Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	18681,8	1,53	28.583,15
Encofrado/Desencofrado de muros	m2	5503,72	28,23	155.370,02
Hormigón en muros-Hormigón simple f'c=280 kg/cm2	m3	1121,4	118,85	133.278,39
Acero de refuerzo en muros fy=4200 kg/cm2	kg	183449,9	1,53	280.678,35
Encofrado/Desencofrado de losas postensadas	m2	1005,38	16,75	16.840,12
Hormigón en losas-Hormigón simple f'c=280 kg/cm2	m3	1991,52	118,85	236.692,15
Acero de refuerzo en losas fy=4200 kg/cm2	kg	37072	1,53	56.720,16
Malla electrosoldada Ø7@15fy:5000 kg/cm2	kg	44698,56	5,86	261.933,56
Acero de pre esfuerzo 270 ksi instalado	kg	34843,92	5,27	183.627,46
TOTAL				2.160.832,96

Dentro del análisis es necesario conocer que para el caso de la edificación con losa postensada el único material adicional en las tablas es el acero de esfuerzo de 270 ksi, así mismo que el costo de encofrado/desencofrado para losas varía dependiendo de cada uno de los casos.

Una vez obtenidos los costos totales de los dos sistemas se presenta el resultado obtenido de la comparación entre los dos diseños, mismos que se indican en la Figura 13.

Figura 7

Comparación económica para Quito de edificios con losas planas de hormigón armado y losas planas de hormigón postensado



Con respecto a la Figura 13 se observa que con el empleo de un sistema de losas planas de hormigón postensado para un edificio con sistema dual se alcanza un ahorro del 10.05% menos del costo total (actualizado a febrero de 2020) para una edificación similar, pero con losas planas de hormigón armado.

- En el análisis entre losas tomando en consideración volúmenes de hormigón, cantidades de acero, cantidades de bloques y encofrados sin tomar en cuenta el costo de la mano de obra para una losa aliviana de hormigón armado de 772m2 de área y losa plana de hormigón postensado de 20cm con ábacos de 10 cm y 772 m2 de área, luego de realizar una actualización de costos a febrero del 2020 en base a los diferentes proveedores de la ciudad, se presentan los datos de cantidades y precios que se tienen para cada uno de los tipos de losas; en la Tabla 7 para la losa alivianada de hormigón armado y en la Tabla 8 para la losa plana de hormigón postensado.

Tabla 7

Costos y cantidades para losa alivianada de hormigón armado.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Hormigón f'c=350 kg/cm2	m3	160,00	141,78	22684,8
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	13594,87	1,25	16993,59
Malla electrosoldada Ø8mm@15cm	m2	647,07	8,12	5254,21
Bloque liviano 40z20x20 cm	u	2454,00	0,41	1006,14
Encofrado metálico alquilado para la losa con puntal 2X	m2	647,07	2,35	1520,61
Encofrado de vigas	m2	272,00	8,7	2366,4
Total				49825,75

Tabla 8

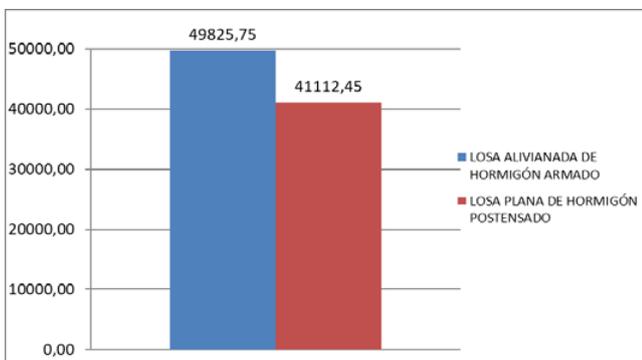
Costos y cantidades para la losa plana de hormigón postensado.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Hormigón f'c=350 kg/cm2	m3	160,00	141,78	22684,8
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	2368,51	1,25	2960,64
Acero de refuerzo para pernos fy=5098 kg/cm2	kg	100,00	1,5	150
Malla electrosoldada Ø8mm@15cm	kg	772,00	8,12	6268,64
Cable postensado 12,70 mm(más accesorios)	m2	3001,73	2,41	7234,17
Encofrado metálico alquilado para losa puntal 2X	m2	772,00	2,35	1814,2
Total				41112,45

Una vez obtenidos los costos totales para los dos tipos de losas se presenta el resultado obtenido de la comparación entre los dos sistemas, mismos que se indican en la Figura 14.

Figura 8

Análisis comparativo para costos en Quito entre losas aliviadas de hormigón armado y losa plana de hormigón postensada



De acuerdo con los resultados de la Figura 14 se observa que la losa plana postensada permite tener un ahorro del 17.49% menos en comparación con la losa alivianada.

Discusión

Los nuevos retos que se presentan en el sector de la construcción, en especial en edificaciones para la ciudad de Quito; son el vencer grandes luces, las corrientes del modernismo, vivienda y crecimiento poblacional, que revelan la necesidad de construir edificios altos que sean eficientes al momento de un sismo y que vayan de la mano con la economía, lo que ha implicado que se busquen alternativas que permitan llevar a cabo estos nuevos proyectos, adaptándolos a los cambios donde la construcción con métodos tradicionales tiene sus limitaciones, en base a que con ellos se suelen tener estructuras con un gran costo en cuanto a diseño; haciendo que los nuevos sistemas constructivos tengan un papel importante logrando que estos puedan hacerse realidad con menores costos. Dentro de los cuales se tienen el uso de las losas postensadas, que permiten tener los diseños que hoy en día son exigidos en la construcción de edificios.

Varios son los motivos para optar por diseñar un edificio con un tipo de losa diferente a la tradicional, entre ellos está el tener una gran libertad en cuanto a luces, disminución de carga reactiva, debido a la disminución en cuanto al peso de la estructura consiguiendo elementos estructurales más delgados y el ahorro económico que genera la utilización e implementación de este sistema constructivo. Es indispensable tener presente que el uso de un nuevo sistema en el medio implica ciertas desventajas con respecto a otros a la hora de concebir un proyecto arquitectónico o civil; en el caso de las losas postensadas se tiene como principal inconveniente el no contar con mano de obra especializada y calificada, así como el no contar con una planeación cuidadosa del proceso constructivo; aspectos que deben tomarse en cuenta al momento de optar por un nuevo sistema constructivo.

Conclusiones

El crecimiento de la industria de la construcción y la evolución constante en cuanto a Arquitectura e Ingeniería Civil obliga a la búsqueda de nuevas técnicas y materiales

constructivos que innoven e implementen diversas formas para disminuir costos productivos y de mano de obra, tiempos y procesos, haciendo que sea necesario dejar atrás sistemas tradicionales para así ser competitivos en el mercado. En vista a todo lo expuesto la utilización de un sistema de hormigón postensado permite reducir secciones y con ello el peso propio de la estructura volviéndola más liviana y contrarrestando así las fuerzas sísmicas, consiguiendo de esta manera que se produzcan solicitaciones menores en cuanto a momentos y cargas axiales, haciendo que se necesiten menores cuantías de acero con secciones más pequeñas.

Las losas postensadas permiten tener luces mayores y aumentar la altura libre entre plantas pudiéndose construir un piso más con la misma altura de una construcción convencional. En losas con luces entre vanos pequeñas o áreas reducidas el sistema con hormigón postensado tiende a encarecer la losa por lo que es mejor utilizar en este tipo de losas los sistemas tradicionales con hormigones convencionales. Se identificó que al hacer una comparación económica en lo que respecta a la obra gris entre un edificio de pórticos especiales resistentes a momentos y muros especiales de corte diseñado con losas planas de hormigón armado y otro con losas planas de hormigón postensado se llegó a reducir el costo hasta 10.05%.

En la localidad se ha verificado que al momento se cuentan con dos proveedores de materiales y herramientas para la implementación de losas postensadas; motivo por el cual es necesario que se empiece a innovar e introducir poco a poco este sistema, con la finalidad de que la provisión de materiales no sea un impedimento para los constructores al momento de concebir una edificación.

El aporte del documento para la industria de la construcción en la ciudad de Quito fue una verificación de los resultados obtenidos en trabajos de titulación, sobre los beneficios económicos que se obtiene con el uso de las losas postensadas en edificaciones en contraste con los sistemas que tradicionalmente se utilizan en el Ecuador; con una actualización de precios

a febrero del 2020 con los proveedores de materiales para la ciudad.

Referencias

- [1] A. Vizueta and C. Pabón, “Estudio comparativo técnico-económico entre dos modelos de edificios de diez pisos: sistema dual de estructura de hormigón armado con losa postensada sin adherencia y estructura de acero con losa compuesta tipo plataforma de acero,” Universidad Politécnica Nacional, 2019.
- [2] J. Hurtado, “Comparación técnica - económica del entrepiso de un edificio de diez plantas con sistema dual que emplea losas de hormigón armado o de hormigón postensado,” Escuela politécnica nacional, 2018.
- [3] I. Herrera, “Uso de la losa postesa en la edificación,” Escuela técnica superior de ingeniería de caminos, canales y puertos, 2018.
- [4] M. Montoña, “Diseño y aplicación de sistemas de postensado de losas con tendones no adheridos en estructuras de uso habitacional y comercial,” 2008. [Online]. Available: <https://docplayer.es/21254946-Diseno-y-aplicacion-de-sistemas-de-postensado-de-losas-con-tendones-no-adheridos-en-estructuras-de-uso-habitacional-y-comercial.html>. [Accessed: 27-Jan-2020].
- [5] J. Hurtado, S. Morales, and L. Hernández, “Competitividad en costos: postensado en losas,” *INGENIO, Rev. la Ing. Ciencias Físicas y Matemática*, vol. 2, no. 1, p. 9, 2018.
- [6] M. Flores and D. Paati, “Análisis comparativo de las respuestas estructurales entre sistemas aporticados de hormigón armado, con losas postensadas y no postensadas,” Universidad Central del Ecuador, 2019.
- [7] J. Bravo, “Diseño de losas postensadas

en edificaciones con aplicación al caso del edificio ‘Parque tecnológico de la Universidad de Cuenca,’” Universidad de Cuenca, 2013.

- [8] M. Gatica, “Estudio comparativo entre losa tradicional de hormigón armado y losa postensada con adherencia,” Universidad Austral de Chile, 2009.
- [9] Á. Cerdá, “Estudio del proceso constructivo de losas postensadas,” Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [10] M. Quilumba, “Análisis y diseño de losa de hormigón armado con elementos postensados,” 2015.
- [11] J. Barrientos, “Mejoramiento en tiempo, costos y productividad para la ejecución de una edificación de oficinas usando losas postensadas frente a una losa tradicional,” Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018.