



# Análisis comparativo entre el diseño de losa tradicional de hormigón armado y losa postensada con adherencia

Comparative analysis between the design of traditional reinforced concrete slab and post-tensioned slab with adhesion

**Santiago Velásquez**

rrppuatf@gmail.com

Universidad Autónoma Tomás Frías, Bolivia

Artículo recibido septiembre 2018 | Arbitrado en octubre 2018 | Publicado en enero 2019

## RESUMEN

El hormigón presforzado trata de una estructura, antes de la aplicación de las cargas de diseño solicitantes. En forma tal que mejore su comportamiento en general en estado de servicio, aunque los principios y técnicas se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales. La aplicación más común ha tenido en el diseño del concreto estructural, planteando una alternativa de diseño respecto al hormigón armado tradicional. El objetivo es el aumento de la resistencia a tracción del hormigón, introduciendo un esfuerzo de compresión interno que contrarreste en parte el esfuerzo de tracción que producen las cargas de servicio en el elemento estructural. El éxito del hormigón postensado no habría sido posible de no haber conservado la esencia del hormigón armado: economía frente a otras soluciones resistentes y adaptabilidad a toda forma de formas estructurales principales. Se realizó un análisis comparativo entre el diseño de una losa tradicional de hormigón armado y una losa postensada con adherencia, exponiendo las ecuaciones, procesos de diseños, esfuerzos en diferentes estados, constructibilidad, obteniendo como resultado del análisis las ventajas y desventajas que pudiesen existir entre ambos sistemas.

**Palabras clave:** Hormigón armado, Hormigón Losa Postensada, Losa

## ABSTRACT

Prestressed concrete deals with a structure, prior to the application of the requesting design loads. In such a way that it improves its behavior in general in a state of service, although the principles and techniques have been applied to structures of many types and materials. The most common application has been in the design of structural concrete, proposing a design alternative to traditional reinforced concrete. The objective is to increase the tensile strength of the concrete, introducing an internal compression stress that partially counteracts the tensile stress produced by the service loads on the structural element. The success of post-tensioned concrete would not have been possible had it not retained the essence of reinforced concrete: economy compared to other resistant solutions and adaptability to all forms of main structural forms. A comparative analysis was made between the design of a traditional reinforced concrete slab and a post-tensioned slab with adhesion, exposing the equations, design processes, efforts in different states, constructability, obtaining as a result of the analysis the advantages and disadvantages that may exist between both systems.

**Key words:** Reinforcing concrete, Post-tensioned Slab Concrete, Slab



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, algunos de los problemas más comunes a los que se enfrenta el ingeniero civil en el campo de la construcción es el espacio libre sin la aparición de columnas, la discontinuidad del peralte de losa de hormigón en los entrepisos, que dificultan la distribución arquitectónica del inmueble, para los fines que tenga contemplados, la fisuración del hormigón, debido a una menor rigidez de la estructura y, finalmente, las excesivas deformaciones en una losa diseñada de manera tradicional (Mena, 2007; De la Colina y De Alba, 2000).

Es de conocimiento de especialista, que el hormigón es un material que se ha utilizado desde tiempos inmemorables. Este funciona de manera efectiva cuando está sometido a compresión, pero relativamente débil cuando está sometida a esfuerzos de tracción, de aquí la necesidad de la armadura que se dispone en el hormigón armado tradicional (Irassar, 2001) (Leonhardt y Monning, 1985; Jimenez, García, y Morán, 1991). Si a una misma sección se le aplica una carga de compresión, se pone al hormigón en una situación de trabajo ideal.

En términos generales, el hormigón postensado logra aprovechar los materiales en su mejor forma, el hormigón a compresión (Garín, Santili, y Pejoja, 2012) y el cable postensado a tracción (Vigliano, 2007). El resultado de esta unión es un nuevo sistema optimizando al anterior (Hernandez-Montes y Gil-Martín, 2007; Lacroix y Fuentes, 1978). Para ello una solución a los inconvenientes mencionados respecto a una losa tradicional, es emplear losas postensadas ya que este sistema pretende reducir espesores en las secciones de elementos estructurales (McCormac, 2012), acero de refuerzo y, en general, el

peso propio del concreto, lo que permite, a su vez, aumentar la dimensión de las luces a cubrir.

La aplicación del presfuerzo a las losas de entrepisos, terrazas y fundaciones (Sosapanta y Eduardo, 2008) hacen que la estructura se encuentre permanentemente comprimida y, por consiguiente, no se fisure (Cea del prado, 2014). Por lo que resulta ser más rígida, durable que una estructura de hormigón armado tradicional. Junto con la reducción de las deformaciones y flechas en todas las luces de la estructura, ya que el sistema equivalente de cargas introducido por el postensado genera deformaciones y flechas de carácter permanente opuestas a las producidas por las cargas gravitatorias, reduciendo no sólo la deformación instantánea sino también la diferida. Siendo que la capacidad resistente de las piezas sometidas a flexión aumenta notablemente. Es importante destacar que con este sistema pueden eliminarse las vigas tradicionales estáticas, lográndose así una mayor altura útil de piso a piso, y dejando mayor espacio para la instalación de ductos y servicios, de esta forma permite resolver problemas de rasante, permitiendo agregar pisos adicionales sin modificar la altura total en edificación de Hormigón Armado (González, 2007; Esteban, 2003; Hernández, Bonilla, y Rodríguez, 2014).

El presente trabajo tiene como propósito realizar un análisis comparativo entre el diseño de una losa tradicional de hormigón armado y una losa postensada con adherencia.

## METODOLOGÍA

La metodología usada es en principio documental, ya que se está trabajando sobre la base de temas novedosos, empleado como referencia bibliográfica principal el Código Europeo (Eurocódigo



2) (Caldentey, Peiretti, Pirani, Mimi, & Mensik, 2011), ya que la Norma Boliviana del Hormigón no contiene referencias del Hormigón Presforzado. Es decir, las fuentes principales son Eurocódigo 2 y la Norma Española EHE-2008, referenciada en (Gómez-López, Del Caño, y De la Cruz, 2013; Cordero, Abrio, y Maqueda, 2012), para el diseño de estructuras de hormigón armado. Para esto se utiliza el método inductivo ya que se elaborarán conclusiones generales a partir de enunciados observacionales particulares, partiendo de lo de particular a lo general (Abreu, 2014).

## RESULTADOS

El cálculo de la estructura estará basado en la Norma Europea (Eurocódigo 0) que considera acciones y factores de carga sobre edificaciones y Eurocódigo 2 (2004) (Turmo, Ramos, y Aparicio, 2006), referenciado en para el diseño del concreto armado y presforzado.

### Descripción general del proyecto

El proyecto consiste en el diseño de una losa de entrepiso (primer piso), del Centro Ferial ubicado en la calle Sevilla esquina Pando de la Ciudad de Potosí – Bolivia, en etapa de construcción. Utilizando una Losa Maciza de hormigón tradicional y una losa Postensada con adherencia cuyos resultados serán comparados en la siguiente sección (Velásquez, 2017).

### Descripción arquitectónica

La estructura que se analizará y diseñará a detalle en esta tesis corresponde a una losa de entrepiso cuyo diseño deberá satisfacer las exigencias de las sobrecargas y peso propio correspondiente a un Centro Ferial. El proyecto en actual ejecución está diseñado con losa nervada bidireccional sustentada sobre vigas planas de 35 cm de

lado, apoyado sobre cuatro (4) columnas intermedias en cada eje horizontal, acorde a la estructuración original, como alternativas de diseño y construcción se plantea los sistemas de: Losa maciza soportada sobre vigas de sección T y L. Losa postensada con adherencia realizando una reestructuración de las columnas, pretendiendo mejorar el espaciamiento en la planta baja como primer piso, además de reducir los costos.

## Análisis y diseño (Losa tradicional)

### Predimensionamiento de las vigas

La longitud mayor de los vanos en dirección  $x$  es de 8,30 m y la longitud mayor en el la dirección  $y$  es de 5,30 m. Para optimizar el diseño de las vigas continuas y la losa, se diseñarán vigas T y L en las vigas intermedias y de borde respectivamente.

### Cargas actuantes sobre la losa

**Peso propio de la losa.** Adoptando que el peso específico del Hormigón Armado es de 25  $KN/m^3$  tenemos que el peso propio de la estructura de altura de 0,15 m

**Peso piso cerámica.** Incluyendo capa de mortero, tanto de nivelación como de adherencia es de  $55 \text{ kg}/m^2 = (0,53 \text{ kN}/m^2)$ .

**Peso cielo falso.** Dispuesto debajo de la losa es de  $16 \text{ kg}/m^2 = (0,157 \text{ kN}/m^2)$ .

**Sobrecarga.** El siguiente valor corresponde a la descripción (Salones públicos) correspondiente a una carga de  $4.0 \text{ KN}/m^2$  (*Imposed loads (characteristic values), Eurocode 1*).

**Resumen.** La Tabla 1 muestra un resumen de los resultados.



**Tabla 1.** Resumen del cálculo de los esfuerzos (Velasquez, 2017)

| Área                   | Esfuerzo (kN/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|-------------------------------|
| Propio de la losa      | 3,75                          |
| Piso de cerámica       | 0,539                         |
| Del cielo falso        | 0,157                         |
| Carga muerta adicional | 0,696                         |
| Carga muerta total     | 4,45                          |
| Sobrecarga             | 4,0                           |

### Peso propio de la viga

Adoptando que el peso específico del Hormigón Armado es de 25 *KN/m<sup>3</sup>*, se tiene el peso propio de la viga de borde L en dirección x y viga de borde L en dirección y, se tiene:

$$P_{vy} = 25 \cdot [(0,25 \cdot 0,30) + (0,2 \cdot 0,15)] = 5,60 \text{ KN/m}$$

$$P_{vx} = 25 \cdot [(0,30 \cdot 0,5) + (1,1 \cdot 0,15)] = 7,65 \text{ KN/m}$$

Para las vigas T en dirección Y y X el peso que soportaran respecto a la losa y el peso propio se calculará mediante el programa SAFE 2016.

### Peso muro de ladrillo

El muro está construido con ladrillo de 6 Huecos, 25x15x10 y juntas horizontales y verticales de 1,5 m, además incluye revoque grueso y fino en ambas caras, el peso será de 230 *Kg/m* (2,25 *KN/m*·(altura). Y una altura del muro de ,50 m.

**Resumen.** Las Tablas 2 y 3 muestran un resumen de los cálculos.

**Tabla 2.** Resumen del peso de la carga muerta, vigas de borde dirección y

| Área                                | Esfuerzo (kN/m) |
|-------------------------------------|-----------------|
| Propio (vigas de borde dirección y) | 5,60            |
| Carga muerta total                  | 5,60            |
| Carga muerta adicional              | 10,15           |

**Tabla 3.** Resumen del peso de la carga muerta, vigas de borde dirección x

| Área                                | Esfuerzo (kN/m) |
|-------------------------------------|-----------------|
| Propio (vigas de borde dirección x) | 7,65            |
| Carga muerta total                  | 7,65            |
| Carga muerta adicional              | 10,15           |

### Combinaciones de carga (Estado límite último)

De acuerdo al apartado referente a las combinaciones de carga de diseño, se

utilizará la ecuación *EC0 Eq. 6.10* que es la más desfavorable, que incluye solo la carga muerta y viva (actuales en la losa maciza).



## Análisis estructural

### Modelado y análisis de la estructura

El modelado y análisis de la losa maciza se realizará utilizando el programa SAFE 2016 (Avecillas, 2016).

### Análisis de deflexiones en la viga T

Las deflexiones calculadas inicialmente por el programa son las flechas instantáneas en el Estado de Servicio considerando la sección bruta.

### Comprobación y diseño al punzonamiento

No se realizará una comprobación al punzonamiento, debido a que la losa esta soportada por vigas T y L embebidas en la losa, absorbiendo los esfuerzos cortantes y de área.

### Análisis de deflexiones de la losa

Las deflexiones calculadas por el programa son las flechas instantáneas en el Estado de Servicio considerando la sección bruta de la losa de ancho unitario.

### Propiedades de los materiales (Losa postensada)

*Es esor de la losa ostensada  $h=200\text{ mm}$   
Peso es e ifi o del hormigon ostensado  $W=25\text{ KN/m}^3$  Resisten ia ara teristi a del hormigon a om resion  $f_{ck}=35\text{ MPa}$  Resisten ia a la tra ion ultima del a ero ostensado  $f_k=1860\text{ MPa}$   
Resisten ia ara teristi a a la tra ion del a ero (asivo)  $f_{yk}=20\text{ MPa}$   
Modulo de elasti idad del a ero ostensado  $E=205\text{ Pa}$  Modulo de elasti idad del a ero ( )  $E_s=2\cdot 10^6\text{ MPa}$  Modulo de elasti idad del hormigon normal  $E_c=2500\text{ MPa}$*

### Peso propio de la losa postensada

Adoptando que el peso específico del Hormigón Armado es de  $25\text{ KN/m}^3$ , tenemos que el peso propio de la estructura de altura de  $0,20\text{ m}$ . Es:  $P = 25\text{ KN/m}^3 \cdot 0,20\text{ m} = 5,0\text{ KN/m}^2$

### Peso piso cerámica

Incluyendo capa de mortero, tanto de nivelación como de adherencia es de  $55\text{ Kg/m}^2 = (0,53\text{ KN/m}^2)$ .

### Peso cielo falso

Dispuesto debajo de la losa es de  $16\text{ kg/m}^2 = (0,157\text{ KN/m}^2)$ .

### Sobrecarga

El siguiente valor corresponde a la descripción (Salones públicos) correspondiente a una carga de  $4,0\text{ kN/m}^2$ .

### Peso propio de la viga

Adoptando que el peso específico del Hormigón Armado es de  $2500\text{ kg/m}^3$  tenemos que el peso propio de la estructura de base  $0,35\text{ m}$  y con una altura de  $0,20\text{ m}$ .

$P = 2500 \cdot 0,35 \cdot 0,20 = 175\text{ kg/m} = 1,717\text{ kN/m}$

### Peso muro de ladrillo

El muro está construido con ladrillo de 6 Huecos,  $25 \times 15 \times 10$  y juntas horizontales y verticales de  $1,5\text{ m}$ , además incluye revoque grueso y fino en ambas caras, el peso será de  $230\text{ kg/m} = 2,25\text{ kN/m} \cdot (\text{altura})$ .

Y una altura del muro de  $0,50\text{ m}$ .

### Estados de carga (Losa postensada)

#### Estado de servicio inicial

La siguiente combinación de carga se utiliza para verificar los requisitos de



transferencia del presfuerzo. El presfuerzo se considera sin pérdidas a largo plazo, para la verificación de la combinación de carga de servicio inicial.

### **Estado de servicio**

Las siguientes combinaciones de carga características son usadas para la verificación de los requisitos de presfuerzo para serviciabilidad. Se supone que se han producido todas las pérdidas a largo plazo ya en la etapa de servicio.

### **Estado límite último**

De acuerdo al apartado referente a las combinaciones de carga de diseño, que es la más desfavorable, que incluye la carga muerta, viva y postensado.

### **Análisis y diseño estructural (Losa postensada)**

#### ***Modelado y análisis de la estructura***

El modelado y análisis de la losa postensada se realizará utilizando el programa SAFE 2016.

#### ***Comprobación y diseño a punzonamiento***

Inicialmente se diseñó una la losa postensada tipo plana, pero al realizar el análisis y comprobación al punzonamiento se observó que la misma fallaba por punzonamiento, en este sentido se introdujeron cabezales a las columnas (capiteles) (Velasquez, 2017), para que estos puedan absorber los esfuerzos de punzonamiento.

#### ***Análisis de deflexiones en la losa postensada***

Las deflexiones calculadas a continuación de la losa postensada,

corresponden a la franja de columnas, en dirección X - eje D (Velasquez, 2017).

El análisis de las deflexiones se debe realizar en tres etapas:

- 1) Etapa de Transferencia
- 2) Etapa de Servicio
- 3) Etapa a Largo Plazo

En el análisis se considerará la inercia bruta de la sección de hormigón, ya que los esfuerzos a tracción son menores a los esfuerzos de fisuración.

### ***Análisis comparativo losa tradicional y losa postensada***

Una vez que se ha realizado el estudio de manera individual de cada sistema de diseño y construcción de losas (losa de hormigón armado apoyado en vigas T y L y de losa postensada con adherencia), aplicados al diseño de una estructura real, se han obtenido una serie de resultados los cuales muestran una serie de ventajas y desventajas de un sistema respecto al otro.

#### ***Losa tradicional***

En el análisis y diseño de la losa tradicional se puede observar que existen grandes solicitaciones a flexión es decir grandes momentos positivos y negativos, llegando a emplear aceros de diámetro 25 mm, haciendo que la sección se encuentre bastante armada.

Respecto a los esfuerzos de punzonamiento sobre la losa, se puede evidenciar que estos son absorbidos por las Vigas T y L, disponiendo estribos de corte en cada dirección.

Se ha realizado una verificación de la torsión existente en las vigas de borde, siendo estas mínimas satisfacen las ecuaciones de interacción entre corte y torsión.



Las deflexiones tanto en la viga T y la losa, se encuentran por debajo de los límites permisibles.

### ***Losa postensada***

Para el diseño a flexión se utilizó el método de la carga equivalente, para el cálculo de torones, luego se procedió a la verificación de esfuerzos admisibles y estados límites últimos, estando el diseño satisfactorio para los diferentes estados.

Respecto al diseño de punzonamiento, se debe mencionar que inicialmente la losa se diseñó como una losa plana, pero se presentaron esfuerzos considerables de punzonamiento en las columnas centrales, lo que hizo que se modificara el diseño, por losas planas con capiteles en las columnas, de esta manera la resistencia al punzonamiento del concreto en la losa mejora considerablemente.

Se realizó una comprobación de las deflexiones positivas y negativas de la losa postensada para los diferentes estados, estando las mismas por debajo de los límites permisibles.

### ***Ventajas del sistema postensado***

Las principales ventajas de las losas postensadas son:

- Acortamiento significativo de plazos de ejecución de la obra gracias a rápidos y eficientes programas de construcción según el proceso constructivo mostrado en el capítulo I.
- Ahorros en concreto, acero, mano de obra y moldaje, ya que el sistema disminuye en forma considerable cada uno de estos ítems según detalle de precios unitarios.
- Integridad estructural superior proporcionada por la continuidad de la losa y cables, con un buen desempeño sísmico.

- Estructuras esbeltas que permiten disminuir la altura del edificio, reducir las cargas de fundación y aumentar las luces.
- Uniones sencillas y eficientes entre losas, vigas, muros y columnas, que eliminan problemas de juntas entre dichos elementos.

### **CONCLUSIONES**

El diseño de losas por métodos tradicionales, puede pretender mostrar al concreto postensado como un tema complejo, impráctico y poco eficiente en la estructuración de edificios. El presente trabajo muestra y demuestra que los principios de diseño de losas postensadas con adherencia son sencillos y tienen una base sustentada en la investigación y la práctica, pudiendo ser la losa postensada una alternativa de diseño junto a los sistemas tradicionales.

El sistema de losas planas postensadas es una forma más de estructurar edificios de concreto, siempre y cuando se tomen las medidas pertinentes respecto al diseño a flexión, verificación al punzonamiento y control de deflexiones para los diferentes estados.

En el proyecto desarrollado se logró realizar un análisis y diseño satisfactorio para ambos sistemas de losas, comprobadas de forma manual y con el Software SAFE 2016 enmarcados ambos en la Norma Europea EC-2.

Se pudo notar en la comparación de costos, que la Losa Postensada tiene un costo superior del 15 % respecto a la Losa Tradicional, pero las ventajas de la losa postensada, como ser: tiempo de ejecución, eficientes programas de construcción y la reducción de la altura del edificio, pueden llegar a absorber este 15% de costo y superarlo de manera positiva.



De manera particular se sugiere emplear este nuevo sistema de diseño de losas, tomando en cuenta las consideraciones desarrolladas en el capítulo anterior.

Finalmente respondiendo a la hipótesis, se concluye que las diferencias entre los resultados de los costos, no son significativas, por tanto, se concluye que ambos sistemas son viables económicamente, pero debido a las exigencias arquitectónicas en la actualidad (luces amplias, altura útil de piso a piso) y los tiempos de ejecución en la construcción, se puede considerar el diseño de Losas Postensadas con Adherencia más eficiente, superando las limitaciones de la losa Tradicional mencionadas anteriormente.

## REFERENCIAS

- Abreu, J. (2014). El método de la investigación. *Research Method. Daena: International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195-204
- Avecillas, D. (2016). *Alternativa estructural-constructiva de entresijos y techos de hormigón armado con bloques de poliestileno expandido*
- Caldentey, A., Peiretti, H., Pirani, E., Mimi, F., y Mensik, A. (2011). España y los Eurocódigos: la necesidad de converger. *Asociación Científico-Técnica de Hormigón Estructural*, 7(1)
- Cea del prado, A. (2014). *Estructuras de hormigón sometidas a deformaciones impuestas*. Caminos: UPM
- Cordero, A., Abrio, M., y Maqueda, M. (2012). El hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores identificativos de su resistencia. *Tecnología y desarrollo*, 10(13)
- De la Colina, J., y De Alba, H. (2000). La ingeniería estructural. *CIENCIA ergo-sum. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 7(2)
- Esteban, M. (2003). *Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera conífera*
- Garín, L., Santili, A., y Pejoja, E. (2012). *Influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón: estudio experimental*. Recuperado el 10
- Gómez-López, D., Del Caño, A., y De la Cruz, M. (2013). Estimación temprana del nivel de sostenibilidad de estructuras de hormigón, en el marco de la instrucción española EHE-08. *Informes de la Construcción*, 65(529), 65-76.
- González, C. (2007). *Recuperación de la capacidad mecánica en piezas de madera solicitadas a flexión en estructuras tradicionales operando por la cara superior mediante refuerzos y prótesis mecánicas*
- Hernandez-Montes, E., y Gil-Martín, L. (2007). *Hormigón armado y pretensado. Concreto reforzado y preesforzado*
- Hernández, H., Bonilla, J., y Rodríguez, G. (2014). Estudio del comportamiento de vigas compuestas de hormigón y acero mediante simulación numérica. *Revista ingeniería de construcción*, 29(1), 5-21
- Irassar, E. (2001). *Durabilidad del hormigón estructural*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón
- Jiménez, P., García, A., y Morán, C. (1991). *Hormigón Armado*. Barcelona, España
- Lacroix, R., y Fuentes, A. (1978). *Hormigón pretensado: concepción, cálculo, ejecución*. Reverte
- Leonhardt, F., y Monning, E. (1985). *Estructuras de hormigón armado*. El Ateneo
- McCormac, J. (2012). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega Grupo Editor.
- Mena, U. (2007). *Aplicación de los sistemas de información geográfica en la ingeniería civil*. México: Boletín Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias



- Sosapanta, A., y Eduardo, C. (2008). *Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructuras metálicas y hormigón armado para edificios*. Quito: EPN
- Turmo, J., Ramos, G., y Aparicio, A. (2006). Resistencia de juntas secas conjugadas de puentes de dovela prefabricadas de hormigón: propuesta para el Eurocódigo 2. *Materiales de construcción*, 56(282), 45-52
- Velasquez, S. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DE LOSA TRADICIONAL DE HORMIGÓN ARMADO Y LOSA POSTENSADA CON ADHERENCIA*. Potosí: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA TOMÁS FRÍAS
- Viglialoro, G. (2007). *Análisis matemático del equilibrio en estructuras de membrana con bordes rígidos y cables. Pasarelas: forma y prtensado*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya