



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE ZAPATAS  
PRISMÁTICAS Y PIRAMIDALES**

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

AUTOR: Marco Antonio Heredia Guaman.  
TUTOR: Juan Pablo Tarambís Rodríguez.

Quito - Ecuador  
2023

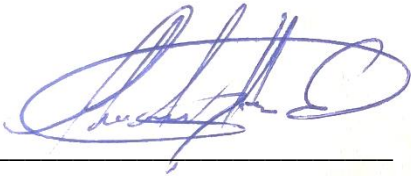
## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Marco Antonio Heredia Guamán con documento de identificación N° 1720143922 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 10 de agosto del 2023

Atentamente,



Marco Antonio Heredia Guamán

1720143922

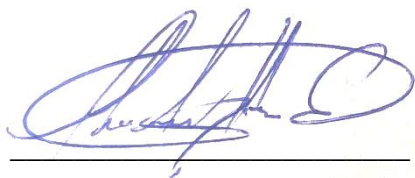
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN  
A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Marco Antonio Heredia Guamán con documento de identificación N° 1720143922, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Análisis de las diferencias en las Propiedades mecánicas entre Zapatas prismáticas y piramidales”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 10 de agosto del 2023

Atentamente,



Marco Antonio Heredia Guamán

1720143922

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Juan Pablo Tarambís Rodríguez con documento de identificación N° 1715336879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE ZAPATAS PRISMÁTICAS Y PIRAMIDALES**, realizado por Marco Antonio Heredia Guamán con documento de identificación N° 1720143922, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Ing. Juan Pablo Tarambís Rodríguez, MSc.

1715336879

# ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE ZAPATAS PRISMÁTICAS Y PIRAMIDALES

## ANALYSIS OF THE DIFFERENCES IN MECHANICAL PROPERTIES BETWEEN PRISMATIC AND PYRAMIDAL FOOTINGS

Marco Heredia-Guamán<sup>1</sup>

### Resumen

La cimentación piramidal es una alternativa que se utiliza para construir zapatas con geometría diferente a la cimentación prismática, pudiendo ser utilizada para construir zapatas cuadradas o rectangulares. Ambas cimentaciones tienen sus propias ventajas y desventajas.

En cuanto a la distribución de esfuerzos, la cimentación piramidal tiende a distribuir el peso de manera uniforme en el terreno, mientras que la cimentación prismática puede crear concentraciones de esfuerzos en las esquinas. Sin embargo, la cimentación rectangular es más fácil de construir y permite una mejor adaptación a las dimensiones del edificio.

En cuanto a la resistencia, ambas cimentaciones ofrecen valores adecuados, siempre y cuando se diseñen y construyan adecuadamente según las especificaciones técnicas.

En términos de costo, la cimentación rectangular puede ser más económica debido a su facilidad de construcción y al menor requerimiento de materiales. Sin embargo, esto puede variar según el tamaño y la complejidad del proyecto.

En conclusión, ambas cimentaciones son opciones válidas para la construcción de edificios y la elección de una u otra dependerá de las especificaciones técnicas, las condiciones del terreno, la magnitud y la complejidad del proyecto, así como de las consideraciones de costo y tiempo de construcción. Es importante que los ingenieros y constructores consideren estas variables para tomar una decisión adecuada, en términos técnicos, económicos.

**Palabras Clave:** esfuerzo, especificaciones, distribución, prismática, resistencia.

### Abstract

The prismatic pyramidal foundation is an option used to build isolated foundations with geometry they could be square or rectangular. Both foundations have their own advantages and disadvantages.

With respect to stress distribution, the pyramidal foundation tends to distribute the weight uniformly on the ground, while the rectangular foundation can create stress concentrations on the corners. However, the rectangular foundation is easier to build and allows a better adaptation to the dimensions of the building.

With respect to resistance both foundations offer proper values, provided they are properly designed and constructed according to technical specifications.

With respect to cost, the rectangular foundation may result cheaper due to its built ease of fewer material requirements. However, this may vary depending on the size and complexity of the project.

In conclusion, both foundations are valid options for building construction and the choice of one or the other will depend on technical specifications, site conditions, project scope and complexity, as well as cost and building time considerations. It is important for engineers and builders to take to consider variables in order to make an appropriate decision, in technical, and economic aspects.

**Keywords:** stress, specifications, distribution, prismatic, strength.

---

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia ✉: mherediag@est.ups.edu.ec

## **1. Introducción**

En este artículo académico se realiza la comparación entre cimentaciones prismáticas y piramidales según las especificaciones técnicas del ACI. Se abordan aspectos como la distribución de esfuerzos, la resistencia a la compresión del hormigón, la cuantía de acero de refuerzo el costo y la facilidad de construcción de cada tipo de cimentación.

Además, se presentan ejemplos analíticos del diseño para definir las diferencias y similitudes entre ambos tipos de cimentaciones. El objetivo de este artículo académico es proporcionar información valiosa para los ingenieros y constructores que deseen tomar una adecuada decisión técnico-económica sobre el tipo de cimentación a utilizar en sus proyectos, con fundamento en las especificaciones técnicas y considerando las variables que pueden afectar su elección.

Existen los diferentes tipos de cimentaciones superficiales, como son zapatas corridas, zapatas aisladas, losas, elementos estructurales encargados de transferir las cargas de la edificación al suelo, deben de tener un soporte adecuado, sin deformaciones excesivas.

En este trabajo se expone analizar dos tipos de zapatas con dos diferentes secciones:

- Zapata prismática de sección cuadrado y rectangular, de uso común en nuestro entorno.
- Zapata piramidal de sección cuadrada y rectangular, con forma de pirámide truncada.

Todas ellas pueden soportar cargas verticales, horizontales o de momento, con un adecuado proceso de diseño.

Las zapatas aisladas construidas para soportar cargas relativamente pequeñas, en suelos homogéneos y estables, son económicas y fáciles de construir en comparación a otros tipos. Al igual que la anterior contiene fórmulas para calcular: cantidad de refuerzo de acero y su tamaño. Se debe tomar en cuenta que cada proyecto es único, de ello

y de los distintos factores dependerá el tipo de cimentación a utilizar.

La estabilidad de la cimentación, se debe determinar el momento del diseño en base esto a partir de las cargas transmitidas por la estructura, con estos datos luego comparar la resistencia a flexión de la cimentación, por último, que el esfuerzo máximo no supere al esfuerzo admisible del suelo, y la resultante caiga en el tercio central esto nos garantiza una cimentación diseñada de tal manera que nos garantiza su estabilidad y el evitar ciertos deslizamientos o vuelcos.

Tomando en consideración que la zapata es el elemento de la estructura, que es la parte esencial de la misma debido a que ella va a permitir la transmisión de las cargas de la estructura al terreno, con lo que ayudan al suelo, a resistir estas cargas, por lo que el mismo no sufrirá y se comportará idealmente para las condiciones a las que será sometido [1].

Las cimentaciones superficiales son las que el ancho de la base es mayor con respecto a la profundidad de las bases decir, la superficie en la que se apoyan los elementos tiene un área más extensa que la cota vertical.[2].

Las ecuaciones utilizadas permiten obtener las dimensiones en planta de la cimentación, garantizando además que la presión admisible en el terreno no será excedida. Por otro lado, el acero estructural será capaz de resistir esfuerzos cortantes, esfuerzo de punzonamiento cortante por flexión [3].

Para concluir las zapatas es un proceso tan común pero tan delicado, al mismo tiempo, que, por lo mismo, este debe llevar con delicadeza y responsabilidad [4].

## **2. Metodología**

Para el presente estudio, se consideran los siguientes parámetros para el análisis comparativo entre zapatas prismáticas y piramidales truncadas, se adoptaron distintas condiciones, bajo las cuales estas zapatas estarán

sometidas, con el objeto de analizar y comparar su comportamiento, en función de sus propiedades geométricas, propiedades de los materiales, y cargas a la que estarán sometidas.

A continuación, se describen los parámetros adoptados para este proyecto:

- **Resistencia del hormigón:** 210 kg/cm<sup>2</sup> considerados para viviendas de hasta 3 plantas, 240 kg/cm<sup>2</sup> y 270 kg/cm<sup>2</sup> para viviendas de hasta 6 niveles.
- **Número de pisos:** se realiza el análisis considerando 3 y 6 niveles.
- **Cargas de servicio:** para determinar la carga muerta, se realizó un desglose de la carga total donde se consideró el peso de vigas, columnas, mampostería, instalaciones eléctricas y losas de entre piso. Se considera las cargas de 72 T/m<sup>2</sup> y 144 T/m<sup>2</sup>, para 3 y 6 pisos respectivamente.
- **Excentricidad:** se adoptaron valores de 0.1m y 0.2 m para “x” y “y” respectivamente, esto debido a que se realizará un análisis bidireccional, tanto para zapatas prismáticas como piramidales.
- **Esfuerzo admisible del suelo:** se consideró para este parámetro los valores de 10, 20 y 50 T/m<sup>2</sup>, definidos para suelos blandos, medios y competentes respectivamente.

Una vez definidas estas variables para cada número de pisos y resistencias del hormigón, se procede con el diseño de las zapatas piramidales y prismáticas, variando las dimensiones a fin de analizar cimentaciones aisladas con base rectangular y cuadrada, las cuales cambiarán en función de las condiciones antes mencionadas. Sin embargo, para la columna, se considera para todos los casos de sección rectangular con dimensiones de 35 x 46cm, asignándoles un área tributaria de 30 m<sup>2</sup>.

Con los datos mencionados se procede a realizar el diseño de ambos tipos de cimentaciones, y a partir de los resultados obtenidos, se realiza un análisis comparativo de estos dos tipos de zapatas.

## 2.1 Consideraciones que se tomaron para las zapatas.

### 2.1.1 Zapata Prismática

- **Geometría**
- **Espesor mínimo:** la altura útil de la cimentación de acuerdo el ACI 318-19 será (15cm), las fibras traccionadas se encuentran en la zona dónde va el acero y las fibras a compresión, además, se debe sumar el recubrimiento, con lo cual se obtendrá el espesor mínimo de 22cm. [8].
- **Relación de longitud a ancho:** La relación de longitud a ancho de la cimentación no debe exceder de 3 a 1. Esto se debe a que una relación mayor puede comprometer la estabilidad de la cimentación [8].
- **Cortante**

Se ha empleado la ecuación Eq( 1) obtenida del ACI 318-19 [8], sirve para determinar el cortante resistido por la sección de hormigón, donde  $\phi$  es el factor de reducción de capacidad (generalmente 0.75 para el corte), “f<sub>c</sub>” es resistencia a la compresión del concreto, “b” es el ancho de la cimentación, “d” es el espesor efectivo de la cimentación.

$$V_c = 0.75 * 0.53 * \sqrt{f_c} * b * d \quad \text{Eq( 1)}$$

Si el esfuerzo de corte calculado es menor que el esfuerzo máximo, se deberá revisar el diseño de la cimentación y ajustar los parámetros necesarios hasta que se cumplan los requisitos de capacidad de corte [5].

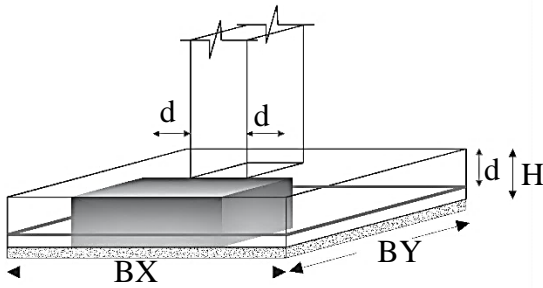


Figura 1 . Cortante de la zapata prismática.

- **Corte por punzonamiento**

Por otra parte, en la Figura 1, el cálculo del corte por punzonamiento involucra la obtención del esfuerzo cortante con la Eq ( 2) en una sección crítica ubicada a una distancia “d/2” del borde de la cimentación, donde “B” representa la longitud de la sección crítica en el sentido de análisis de la zapata, y “d” es la altura efectiva de la sección crítica de la zapata.

Luego se calcula la resistencia al corte por punzonamiento del concreto y del refuerzo en la sección crítica y se compara con el esfuerzo cortante, calculado con la Eq ( 2). Donde” Pu” es la carga última, “R” es la resistencia con la que va a trabajar la cimentación.

Fuerza del corte que ejerce sobre la sección.

$$Vu = Pu - R \quad \text{Eq ( 2)}$$

- **Flexión**

El cálculo dependerá de las dimensiones de la cimentación, la resistencia del concreto y la cantidad de acero utilizada en la misma. Para lo cual utilizamos la Eq( 3 ), la resistencia con la que se trabaja a partir del promedio de los esfuerzos calculados por un área que se calculará, para así obtener nuestro momento último, mediante la Eq( 4), donde “σpro” es el promedio de los esfuerzos calculados en cada esquina de la zapata prismática, “n” es el número de esfuerzos

actuantes, uno en cada esquina, Mu es el momento último de la zapata.

$$\sigma_{pro} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4}{n} \quad \text{Eq( 3 )}$$

$$Mu = \frac{b}{2} * R \quad \text{Eq( 4 )}$$

## 2.1.2 Zapata Piramidal

- **Geometría**

Dependerá de las condiciones específicas del sitio, incluyendo la carga a soportar, las características del suelo, las cargas y reacciones adyacentes, entre otros factores. En general, se deben seguir las pautas y requisitos establecidos, bibliografía que contengan ecuaciones experimentales, normas aplicables para diseñar y construir cimentaciones piramidales seguras y efectivas.

- **Cortante**

En base a los criterios que se aplicó en la zapata prismática rectangular, se procedió a utilizar los mismos criterios para el cálculo la zapata piramidal truncada, aplicaremos la Eq( 1) para determinar el cortante resistido por la sección de hormigón.

$$d = h_1 + h_2 - rec \quad \text{Eq ( 5)}$$

Considerando el canto efectivo como la suma de las alturas de la parte rectangular y la parte trapezoidal sin el recubrimiento, se utiliza la Eq ( 5), donde “rec” es el recubrimiento de la zapata piramidal truncada, tal como se representa en la Figura 2, para la comprobación se utiliza la Eq( 6).

$$Vc > Vu \quad \text{Eq( 6)}$$



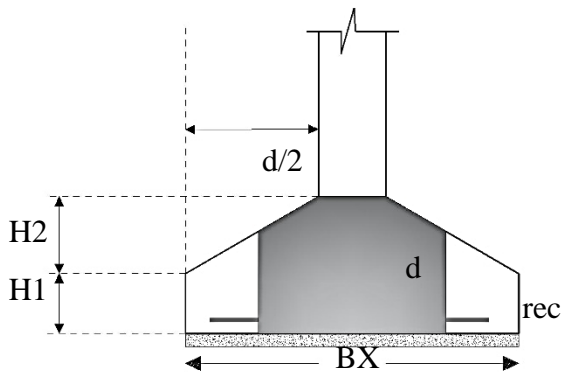


Figura 2. Canto efectivo de una zapata piramidal

- **Corte por punzonamiento**

Se calcula de las mismas expresiones que la zapata prismática rectangular, tomando como referencia la Eq ( 2), sin embargo, tomar en cuenta el nuevo “d”, espesor efectivo de la cimentación.

- **Flexión**

Se determina bajo el mismo criterio de la zapata prismática rectangular, tomando como referencia la Eq( 3) y la Eq( 4).

- **Esfuerzo del suelo**

El esfuerzo admisible del suelo se asumió de igual manera que en la zapata prismática rectangular, para efectuar los cálculos requeridos.

## 2.2. Análisis Comparativo entre tipos de zapatas

A continuación, se presenta un análisis comparativo entre la cimentación prismática y piramidal diseñada para las mismas combinaciones de carga.

Cabe mencionar, que se realizaron los cálculos para algunos casos de zapatas prismática y piramidal, los resultados que se presentan en este artículo son obtenidos para el caso de una vivienda de 3 pisos con  $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$  como ejemplo de cálculo ; y posteriormente en el numeral 3 se exponen tablas comparativas para diferentes datos de número de pisos, resistencia a la compresión del hormigón, y cargas de servicio.

- **Geometría**

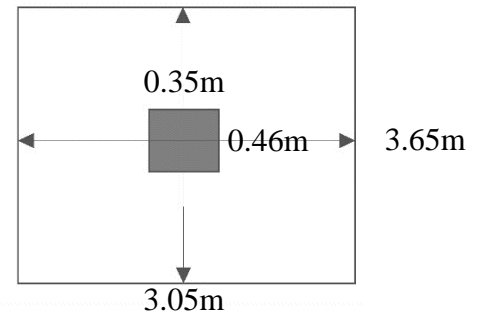


Figura 3. a) Vista en planta de la zapata prismática rectangular

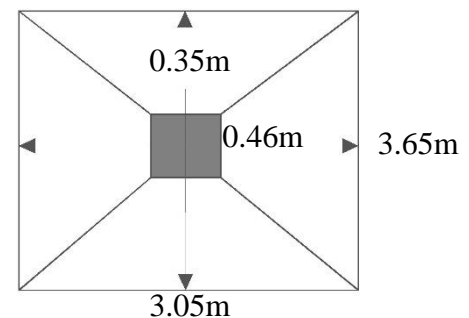


Figura 3. b) Vista en planta de la zapata piramidal truncada rectangular

Con el objetivo de realizar una comparación técnico-económica, el análisis de las zapatas prismáticas y piramidales se las realizará en base a la misma superficie de contacto tal como se representa en la Figura 3, donde el ancho ( $B_x$ ) y el largo ( $B_y$ ) de la cimentación prismática, serán iguales al ancho ( $B_x$ ) y largo ( $B_y$ ) de la zapata piramidal.

Para este análisis comparativo se adoptan los siguientes datos: dimensiones de la columna central, tal como se representa en la Figura 3, de sección rectangular con un ancho ( $b_{col}=35\text{cm}$ ) y largo ( $L_{col}=46\text{cm}$ ), las cuales estarán diseñadas para 3 y 6 pisos según sea el caso en un área tributaria de  $30 \text{ m}^2$ . También se utiliza una excentricidad en “y” y “x” de 0.2 m y 0.1m respectivamente.

Además, se realizó el análisis de ambos tipos de zapatas con  $f'c = 240 \text{ kgf/cm}^2$  y  $f'c = 270 \text{ kgf/cm}^2$ , esfuerzo admisible de 10, 20 y 50  $\text{T/m}^2$  y usando la distribución de cargas para una vivienda estandar de 3 y 6 pisos.

Para el caso de las zapatas de sección cuadrada la relación  $B_y/B_x$  es 1 por que estas dimensiones son iguales. Para el caso de las zapatas de sección rectangular dicha relación varía entre 1.17 y 1.33, dependiendo de los datos adoptados, a fin de cumplir con el requerimiento de que la presión de contacto sea menor que el esfuerzo admisible del suelo.

• **Propiedades de la sección**

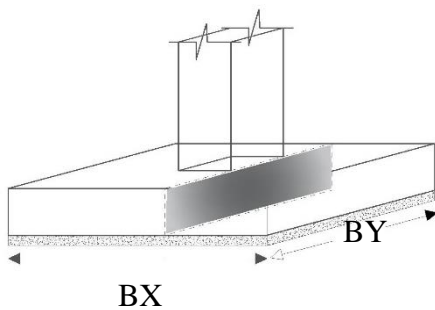


Figura 4. a) Inercia de la zapata prismática.

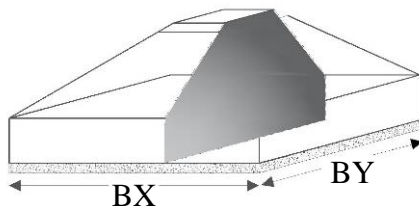


Figura 4. b) Inercia de la zapata piramidal

Para el caso de ejemplo como se puede observar en la Figura 4, las dimensiones para la zapata prismática son de ancho ( $B_x$ ) igual a 3.05 m y el largo ( $B_y$ ) es de 3.65 m, así como para la zapata piramidal rectangular, pero la cúspide de la pirámide cuadrangular truncada será de 0.35m x 0.46m. Además, la inercia en “x” en franja vertical es de  $12.3625 \text{ m}^4$ , y en “y” es de  $8.7183 \text{ m}^4$ ; y para franja horizontal es de  $12.3594 \text{ m}^4$  y  $8.6328 \text{ m}^4$  para el eje “x” y “y” respectivamente.

• **Cortante**

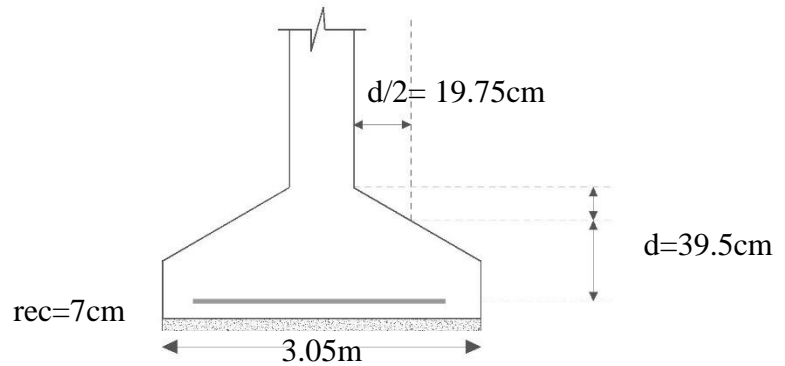


Figura 5. a) Vista lateral de la zapata piramidal.

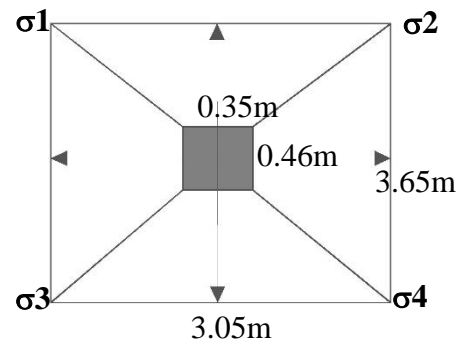


Figura 5. b) Vista en planta zapata piramidal.

En el análisis de ambas zapatas como se puede ver en la Figura 5, se obtuvo que la fuerza cortante en dirección del lado menor para la zapata prismática es 49.19 T, ya que el valor calculado con la Eq ( 2) es menor 48.83T, por lo tanto cumple con la ecuación Eq( 6).

Para dirección del lado mayor es de 58.87 T, el valor de  $V_u$  es menor 39.38 T, por lo tanto cumple con la Eq( 6) mencionado.

Por otra parte, la fuerza cortante obtenida en el lado menor, para la zapata piramidal es de 69.39 T, el valor de  $V_u$  es menor 44.95 T, por lo tanto cumple con la ecuación enunciada y para dirección del lado mayor es de 83.05 T, el valor de  $V_u$  es menor 35.64 T, por lo tanto, cumple con la ecuación referida.

• **Punzonamiento**

En este apartado se considera , ya que se obtuvo que la fuerza por punzonamiento de la zapata

prismática para este estudio, es de 91.72 T. Mientras que, la fuerza de punzonamiento obtenido para la zapata piramidal es de 153.98 T respectivamente.

Donde el esfuerzo último por punzonamiento es menor al punzonamiento, por lo tanto, ambas zapatas cumplen para este análisis.

• **Flexión**

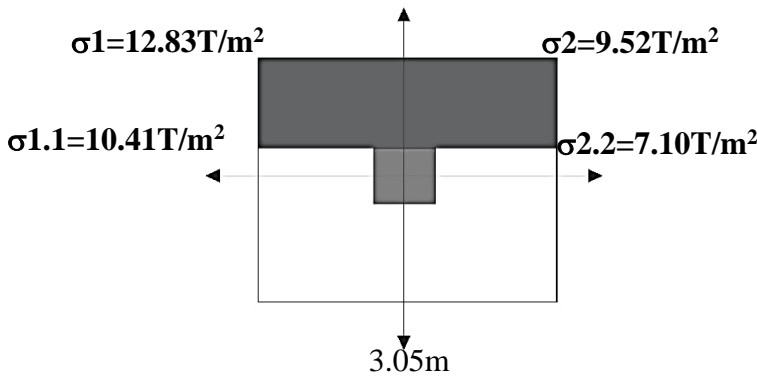


Figura 6. Flexión de la zapata

Para este análisis, se realizó una comparación de las dos zapatas con las mismas dimensiones de columna y así se pudo determinar que en el momento último resistente obtenido, tanto para la zapata prismática como la zapata piramidal serán el mismo momento, en el eje horizontal es 31.03 T.m, mientras que el momento último resistente obtenido en el eje vertical es de 38.65 T.m. En base a estos valores se calcula la cuantía de acero de refuerzo por flexión y se compara con la cuantía mínima; definiendo como valor de diseño el mayor entre estos resultados.

• **Longitud de desarrollo**

El valor de la longitud de desarrollo se calcula para tracción tomando en cuenta la Tabla 1 ,aplicando las Eq( 7), Eq( 8),

Eq( 9),Eq( 10) , tal como se representa en la Figura 7 y Figura 8, así “k” factor del hormigón que equivale a 1 ,”  $\psi_t$ ” es la sección transversal de desarrollo > a 300mm equivalente a 1 o < a 300 mm equivalente a 0.75 , “ $\psi_e$ ” es el recubrimiento epóxico con un valor de 1. Donde los resultados

para la zapata prismática rectangular se tomó el más crítico dando como resultado una L.D. de 2.71 m y para la piramidal una L.D de 3.25 m

Para el cálculo por compresión será a partir de la Tabla 2 ,tomando en cuenta las Eq( 11) y Eq( 12), donde el valor mínimo será de 0.20 m, para la sección prismática el resultado de 0.34 m , y para la piramidal de 0.55 m, de donde se puede deducir que las zapatas piramidales tienen una mejor conexión con la columna.

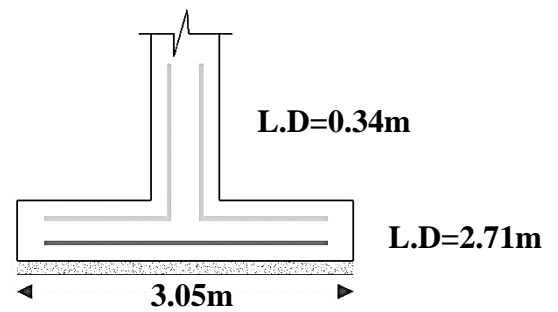


Figura 7. L.D. Zapata prismática.

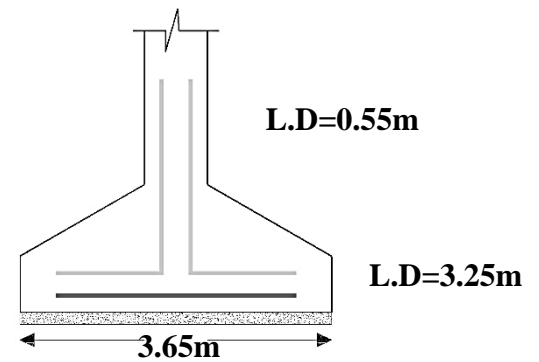


Figura 8. L.D. Zapata piramidal.

**Tabla 1.** Ecuaciones para cálculo de longitud de desarrollo a tracción.

Espaciamiento y recubrimiento	Barras N°19	Barras N°22
<p>Espaciamiento libre entre barras o alambres que están desarrollando o empalmado por traslape no menos que db, recubrimiento libre al menos db, y no menos estribos a lo largo de ld que eliminò del reglamento o espaciamento libre entre barras o alambres que están siendo desarrollados o empalmados por traslape no menor que 2db y recubrimiento libre no menos que db</p>	$ld = \left(\frac{fy*\psi t*\psi e}{2.1*\lambda*(f'c)^{0.5}}\right)*db$ <p style="text-align: center;"><b>Eq( 7)</b></p>	$ld = \left(\frac{fy*\psi t*\psi e}{1.7*\lambda*(f'c)^{0.5}}\right)*db$ <p style="text-align: center;"><b>Eq( 8)</b></p>
Otros caso	$ld = \left(\frac{fy*\psi 1*\psi e}{1.4*\lambda*(f'c)^{0.5}}\right)*db$ <p style="text-align: center;"><b>Eq( 9)</b></p>	$ld = \left(\frac{fy*\psi 1*\psi e}{1.4*\lambda*(f'c)^{0.5}}\right)*db$ <p style="text-align: center;"><b>Eq( 10)</b></p>

**Tabla 2.** Ecuaciones para cálculo de longitud de desarrollo a compresión

Espaciamiento y recubrimiento	Barras	Barras
Ld mínima	Ld=20cm	Ld=20
<p>Espaciamiento libre entre barras o alambres que están desarrollando o empalmado por traslape no menos que db, recubrimiento libre al menos db, y no menos estribos a lo largo de ld que eliminò del reglamento o espaciamento libre entre barras o alambres que están siendo desarrollados o empalmados por traslape no menor que 2db y recubrimiento libre no menos que db, tomando en cuenta ld, la mayor longitud máxima.</p>	$ld = \left(\frac{0.075fy*\psi t}{\lambda*(f'c)^{0.5}}\right)*db$ <p style="text-align: center;"><b>Eq( 11)</b></p>	$ld = 0.0044 * fy * \psi t * db$ <p style="text-align: center;"><b>Eq( 12)</b></p>

### 3. Resultados y Discusión

En la siguiente Tabla 3 y Tabla 4, se muestran los diferentes resultados obtenidos para zapatas prismáticas rectangulares y zapatas piramidales truncadas, donde se puede observar la carga tomando en consideración los diferentes tipos de casos, se evidencia también la variación de la resistencia al hormigón para viviendas de 3 y 6 pisos según sea el caso. Además, las dimensiones de la columna central y las dimensiones (Bx y By) de la zapata prismática, se volverán a utilizar para diseñar la zapata piramidal. Así mismo, utilizando la misma carga para diseñar ambas zapatas, se presenta el cálculo de toda la cimentación, el corte unidireccional, corte por punzonado, evidenciando que la zapata piramidal es más resistente que la zapata prismática en todos los casos, para la flexión se observa que el

momento flector en cara de columna será el mismo valor, para todos los casos.

Tabla 3. a) Zapata prismática rectangular

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )		210	210	240
Carga (T/m <sup>2</sup> )	D	0,6	0,6	0,6
	L	0,2	0,2	0,2
excentricidad (m)	ex	0,1	0,1	0,1
	ey	0,2	0,2	0,2
Esf. A (T/m <sup>2</sup> )		10	10	20
Área total (m <sup>2</sup> )		30	30	30
Nro. Pisos		3	6	3
Dimensiones columna (cm)	B	35	35	35
	L	46	46	46
Tipo rectangular (m)	Bx	3,05	2,6	2,3
	By	3,65	3,1	2,7
Corte (T)	Fran.	49,19	66,4	43,907
	Horizo			
	Fran.	58,87	76,78	51,543
Punzonado (T)	Verti	28	43	28
	d (cm)			
Momento último (Mu)- Flexión (T*m)	Horizo	91,72	171,7	151,087
	Verti	31,031	51,53	22,25
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo	38,657	64,3	27,398
	Verti	34,06	44,64	25,19
	Verti	38,58	41,36	27,06

Tabla 3. b) Zapata prismática rectangular

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )		240	270	270
Carga (T/m <sup>2</sup> )	D	0,6	0,6	0,6
	L	0,2	0,2	0,2
excentricidad (m)	ex	0,1	0,1	0,1
	ey	0,2	0,2	0,2
Esf. A (T/m <sup>2</sup> )		20	50	50
Área total (m <sup>2</sup> )		30	30	30
Nro pisos		6	3	6
Dimensiones columna (cm)	B	35	35	35
	L	46	46	46
Tipo Rectangular (m)	Bx	3,2	1,5	2
	By	3,8	2	2,6
Corte (T)	Fran.	88,676	58,19	56,17
	Horizo			
	Fran.	105,30	43,11	73,02
Punzonado (T)	Verti	49	33	43
	d (cm)			
Momento último (Mu)- Flexión (T*m)	Horizo	262,26	131,52	194,69
	Verti	65,573	12,86	37,47
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo	80,855	18,99	52,41
	Verti	62,07	16,49	37,27
	Verti	52,27	21,99	33,43

Tabla 4. a) Zapata piramidal rectangular

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )			210	210	240
Carga (T/m <sup>2</sup> )	D		0,6	0,63	0,6
	L		0,2	0,25	0,2
excentricidad (m)	Ex		0,1	0,1	0,1
	Ey		0,2	0,2	0,2
Esf. A (T/m <sup>2</sup> )			10	10	20
Área total (m <sup>2</sup> )			30	30	30
Nro. pisos			3	6	3
D. columna (cm)	B		35	35	35
	L		46	46	46
Tipo R. piramidal (m)	Bx		3,05	2,6	2,3
	By		3,65	3,1	2,7
Altura (cm) pirámide	h1		28	43	28
	h2		18,5	12	17,6
Corte (T)	F.		68,52	72,64	49,09
	Horizo				
	F.		81,99	81,99	63,35
Punzonado (T)	Verti		39,5	48	38,6
	d (cm)				
Momento último (Mu)- Flexión	Horizo		148,27	203,42	139,28
	Verti		31,031	51,53	22,25
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo		38,657	64,3	27,398
	Verti		48,06	49,51	34,74
	Verti		40,15	41,59	29,59

Tabla 4. b) Zapata piramidal rectangular

f'c(kg/cm <sup>2</sup> )			240	270	270
Carga(T/m <sup>2</sup> )	D		0,63	0,63	0,63
	L		0,25	0,25	0,25
excentricidad (m)	Ex		0,1	0,1	0,1
	Ey		0,2	0,2	0,2
Esf. Admisible (T/m <sup>2</sup> )			20	50	500
Área total (m <sup>2</sup> )			30	30	30
Nro. pisos			6	3	6
D. columna (cm)	B		35	35	35
	L		46	46	46
Tipo (m)	Bx		3,2	1,5	2
	By		3,8	2	2,6
Altura (cm) pirámide	h1		49	33	43
	h2		18,65	17,2	17,56
Corte (T)	F. Horizo		110,7	41,84	69,31
	F. Verti		140,7	55,78	90,11
	d (cm)		60,65	43,2	53,53
Punzonado (T)	Horizo		309,5	192,6	269,1
	Verti		65,57	12,86	37,47
Momento (Mu)- Flexión	Horizo		80,85	18,99	52,41
	Verti		76,82	21,59	46,42
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo		64,69	28,79	35,71
	Verti				

En las Tabla 5 y Tabla 6 se consideró los mismos parámetros tanto para el cálculo del cortante unidireccional, corte por punzonamiento, y flexión.

Cabe mencionar que se utilizaron las mismas dimensiones en planta para el análisis de todas las zapatas.

Tabla 5 a) Zapata prismática cuadrada

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )		210	210	240
Crg. (T/m <sup>2</sup> )	D	0,6	0,6	0,6
	L	0,2	0,2	0,2
excentricidad (m)	ex	0,1	0,1	0,1
	ey	0,2	0,2	0,2
Esf. Admisible (T/m <sup>2</sup> )		10	10	20
Área total (m <sup>2</sup> )		30	30	30
Nro. Pisos		3	6	3
D. columna (cm)	B	35	35	35
	L	46	46	46
Tipo (m) C.	Bx	3,35	2,85	2,5
	By	3,35	2,85	2,5
Corte (T)	Fra Hori	57,89	70,59	43,11
	Fra Vert	57,89	70,59	43,11
	d (cm)	30	43	28
Punzonado (T)		101,1	171,7	98,06
Moment (Mu)- Flexión (T*m)	Horizo	34,54	57,38	24,59
	Verti	35,12	58,36	25,01
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo	33,49	40,84	24,09
	Verti	33,49	40,84	24,09

Tabla 5. b) Zapata prismática cuadrada

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )		240	270	270
Cr.(T/m <sup>2</sup> )	D	0,6	0,6	0,6
	L	0,2	0,2	0,2
excentricidad (m)	Ex	0,1	0,1	0,1
	Ey	0,2	0,2	0,2
Esf. (T/m <sup>2</sup> )		20	50	50
Área total (m <sup>2</sup> )		30	30	30
Nro pisos		6	3	6
D. columna (cm)	B	35	35	35
	L	46	46	46
Tipo (m) C.	Bx	2,85	1,8	2,3
	By	2,85	1,8	2,3
Corte (T)	F. Horizo	75,46	32,92	45,07
	F. Verti	75,46	32,92	45,06
	d (cm)	37	28	38
Punzonado (T)		183,55	104	114,67
M. (Mu)- Flexión	Horizo	57,38	16,39	45,23
	Verti	58,37	16,55	45,23
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo	40,84	16,79	32,6
	Verti	40,84	16,79	32,6

Tabla 6. a) Zapata piramidal cuadrada

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )		210	210	240
C (T/m <sup>2</sup> )	D	0,6	0,6	0,6
	L	0,2	0,2	0,2
excentricidad (m)	Ex	0,1	0,1	0,1
	Ey	0,2	0,2	0,2
Esf. Admisible (T/m <sup>2</sup> )		10	10	20
Área total (m <sup>2</sup> )		30	30	30
Nro pisos		3	6	3
D. columna (cm)	B	35	35	35
	L	46	46	46
Tipo (m) C. P.	Bx	3,35	2,85	2,5
	By	3,35	2,85	2,5
Altura (cm) pirámide	h1	30	43	28
	h2	18,7	19,1	17,8
Corte (T)	F. Horizo	79,5	89,64	58,96
	F. Verti	79,5	89,64	58,96
	d (cm)	41,2	54,6	38,1
Punzonado (T)		161	248,31	154,29
Momt. (Mu)- Flexión	Horizo	34,54	57,38	24,59
	Verti	35,112	58,36	25,01
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo	46,89	52,25	31,66
	Verti	46,89	52,25	31,66

Tabla 6. b) Zapata piramidal cuadrada

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )		240	270	270
Carga (T/m <sup>2</sup> )	D	0,6	0,6	0,6
	L	0,2	0,2	0,2
excentricidad (m)	ex	0,1	0,1	0,1
	ey	0,2	0,2	0,2
Esf. A (T/m <sup>2</sup> )		20	50	50
Área total (m <sup>2</sup> )		30	30	30
Nro pisos		6	3	6
D columna (cm)	B	35	35	35
	L	46	46	46
Tipo (m) C. P	Bx	2,85	1,8	2,3
	By	2,85	1,8	2,3
Altura (cm) pirámide	h1	37	28	38
	h2	18,6	16,9	17,85
Corte (T)	Fran. Horizo	84,42	43,97	72,64
	Fran. Verti	84,42	43,97	72,64
	d (cm)	48,1	37,4	48,4
Punzonado (T)		217,87	157,98	232,94
Momento último (Mu)- Flexión	Horizo	57,38	16,39	45,23
	Verti	58,37	16,55	45,23
As(cm <sup>2</sup> )	Horizo	45,6	42,82	36,79
	Verti	45,6	42,82	36,79

En la Tabla 7 se verifica el valor del costo de los materiales que se utilizará en diferentes tipos de zapatas.

**Tabla 7.** Zapata rectangular Piramidal y Prismática.

<b>COSTO DE MATERIALES</b>		
<b>Costo Unitario</b>	<b>Unidades</b>	
Hormigón	\$116	m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo	\$1.65	kg/cm <sup>2</sup>
Encofrado	\$12	m <sup>3</sup>
Ayudante de albañil	\$4.10	H
Maestro mayor	\$4.55	H

De acuerdo con los precios establecidos con la Cámara de la Industria de la Construcción CAMICON en la Tabla 7 se procedió a calcular el valor unitario de cada zapata, la Tabla 8 y Tabla 9.

**Tabla 8.** Análisis de costo unitario para zapata prismática

<b>ZAPATA PRISMÁTICA</b>				
Descripción	Val. unit	cantidad	unidad	Valor
<b>Hormigón</b>	\$116	3.12	m <sup>3</sup>	\$361.92
Acero de refuerzo	\$1.65	199.26	kg/cm <sup>2</sup>	\$235.13
Encofrado	\$12	3.16	m <sup>3</sup>	\$37.92
Ayudante de albañil	\$4.10	32.42	H.H	\$32.42
Maestro mayor	\$4.55	36.37	H.H	\$36.37
			5% de D	\$32.13
			V Total	\$753.89

**Tabla 9.** Análisis de costo unitario para zapata piramidal

<b>ZAPATA PIRAMIDAL</b>				
Descripción	Val. unit	cantidad	Unidad	Valor
<b>Hormigón</b>	\$116	4.67	m <sup>3</sup>	\$541.67
Acero de refuerzo	\$1.65	208	kg/cm <sup>2</sup>	\$343.20
Encofrado	\$12	4.52	m <sup>3</sup>	\$54.24
Ayudante de albañil	\$4.10	32.42	H.H	\$32.42
Maestro mayor	\$4.55	36.37	H.H	\$36.37
			5% de D	\$46.99
			V Total	\$1,054.89

## 4. Conclusiones

El corte por punzonamiento en ambas zapatas son distintos, ya que, en el caso del ejemplo presentado, es capaz de resistir una fuerza de

corte bidireccional de 91.72 T, mientras que la zapata piramidal del ejemplo presentado soporta una fuerza de corte bidireccional de 148.27 T; lo cual evidencia que la zapata piramidal soporta una carga del 62% superior a la prismática.

Desde el punto de vista técnico económico, las zapatas prismáticas que tiene un volumen de 3.12 m<sup>3</sup> resultan ser económicamente viables, puesto que existe un ahorro en la cantidad de volumen de hormigón. Las zapatas piramidales con un volumen 4.67 m<sup>3</sup>, presentan un aumento del 30% de volumen de hormigón, lo que genera el encarecimiento de este tipo de zapatas. De la misma forma, el tiempo de construcción será más corto para la zapata prismática, que para la piramidal debido al procedimiento constructivo y los rendimientos de trabajo.

El acero de refuerzo se calculó a partir de la flexión, considerando a las dimensiones del espesor efectivo, para la zapata prismática de 28cm y para la piramidal de 39.5cm dando un 21.43% más de acero que la prismática. Al respecto resulta más favorable en economía trabajar con una zapata prismática.

La longitud de desarrollo se calcula generalmente a compresión, se observó que será mayor la L.D. en la zapata piramidal con un valor de 0.55m y en la prismática de 0.34m, que sería el 62% superior para la zapata piramidal, sin embargo, la columna estará mejor anclada en la piramidal, lo cual es una ventaja, ya que cuando hay momentos flectores grandes los aceros tienden a arrancarse por estar sometidos a fuerzas laterales o columnas que no tienen cargas axiales.

Para la construcción de ambos tipos de cimentaciones, la zapata piramidal llevará más tiempo debido a que debe cumplir con ciertos requerimientos como son mano de obra, colocación de adicionales aceros, colocación del hormigón, pero en este caso la zapata piramidal se demorará más en secarse el hormigón debido que al momento de fundir se deberá hacerlo en

capas, o en su defecto deberá fabricarse un encofrado de acuerdo a la forma de la zapata.

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/w-p-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>

## Referencias

- [1] V. Yépez, "concepto y clasificación de cimentaciones· vol 15, España,2016  
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>.
- [2] F. Montemayor "Modelo para zapatas rectangulares", vol 30,México 2020  
<https://www.redalyc.org/journal/416/41669751017/41669751017.pdf>
- [3] L. Rojas. "Un nuevo modelo para diseño de zapatas combinadas rectangulares de lindero con dos lados opuestos restringidos" Vol6, México ,2016  
<https://www.redalyc.org/pdf/4276/427646713002.pdf>
- [4] G. Bonilla "Cimentaciones , materiales y procedimientos" Vol1, Mexico,2020  
[https://issuu.com/mildrehts/docs/revista\\_digital](https://issuu.com/mildrehts/docs/revista_digital)
- [5] B. M. Das, "Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición".
- [6] M. G. Fratelli, "Suelos, Fundaciones y Muros". Caracas.
- [7] E. Chagoyén, A. Negrín, M. Cabrera, L. López, y N. Padrón, "Diseño Óptimo de Cimentaciones Superficiales Rectangulares. Formulación", Revista de la construcción, vol. 8, 2009, [En línea]. Disponible en:  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619798006>
- [8] ACI 318-19, "Guide to design of reinforced two-way slab systems". 2019.
- [9] R. Terzaghi, "Mecánica de suelos en la ingeniería practica". [En línea]. Disponible en: [www.freelibros.org](http://www.freelibros.org)
- [10] Norma Ecuatoriana Construcción, "Geotécnia y cimentaciones". [En línea]. Disponible en:  
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/w-p-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
- [11] A. Garza, "Los Criterios Estructurales En La Edificación Básica", Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, 2020.
- [12] A. H. Nilson y David. Darwin, Design of concrete structures. McGraw-Hill, 1997.
- [13] R. Romero, "La influencia de la forma en las zapatas de medianera y de esquina", Universidad de Sevilla, Sevilla, 2004.
- [14] J. McCormarc, Diseño de Concreto reforzado, Decima. 2018.
- [15] M. Tomlinson, Diseño y Construcción de Cimientos. Londres 1963.
- [16] Norma Ecuatoriana de la Construcción, "Cargas (No Sísmicas)", dic. 2014.
- [17] J. Calavera, "Cálculo de estructuras de cimentación", vol. 4. Madrid: Infoprint, SA, 1982.
- [18] T. Harmsen, "Diseño de estructuras de concreto armado", vol.4 . Perú: 2005.