	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	<u>Documento</u>	<u>Código</u>	<u>Fecha</u>	<u>Revisión</u>
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
	<u>Dependencia</u>	<u>Aprobado</u>		<u>Pág.</u>
	<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(58)</b>

### RESUMEN - TESIS DE GRADO

<b>AUTORES</b>	<b>YESID CAMILO VILORIA ARIAS</b>
<b>FACULTAD</b>	<b>DE INGENIERIAS</b>
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>INGENIERIA CIVIL</b>
<b>DIRECTOR</b>	<b>CRISTIAN CAMILO OSORIO MOLINA</b>
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES BASADO EN LA NSR-10</b>

#### RESUMEN (70 palabras aproximadamente)

ESTA INVESTIGACIÓN MUESTRA EL DISEÑO DE ZAPATAS AISLADAS, COMBINADAS Y CORRIDAS, QUE SE REALIZÓ CON AYUDA DE UN SOFTWARE CREADO EN VISUAL BASIC. ESTOS DISEÑOS SE CALIBRARON CON AYUDA DE ALGUNOS EJERCICIOS TOMADO DEL LIBRO DE JORGE IGNACIO SEGURA FRANCO, SÉPTIMA EDICIÓN, CON EL FIN DE QUE LOS RESULTADOS SEAN CONFIABLES.

DIS\_V1.0 ES UNA HERRAMIENTA QUE PERMITE EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALGUNAS CIMENTACIONES SUPERFICIALES DE CONCRETO REFORZADO SEGÚN EL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10, MÁS USADAS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

#### CARACTERÍSTICAS

<b>PÁGINAS: 58</b>	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES:</b>	<b>CD-ROM: 1</b>
--------------------	----------------	-----------------------	------------------



**ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES  
SUPERFICIALES BASADO EN LA NSR-10**

**YESID CAMILO VILORIA ARIAS**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
INGENIERIA CIVIL  
OCAÑA  
2014**

**ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES  
SUPERFICIALES BASADO EN LA NSR-10**

**YESID CAMILO VILORIA ARIAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero  
Civil**

**Director  
CRISTIAN CAMILO OSORIO MOLINA  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
INGENIERIA CIVIL  
OCAÑA  
2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primera instancia a Jehová Dios, por ser el dador de la vida, porque cada día lo debemos a Él y siempre está resuelto a sustentarnos en sentido físico y espiritual en todo.

A mi familia que me ha brindado su apoyo incondicional, ofreciéndome su tiempo, paciencia y dedicación, anteponiendo sobre todo mi bienestar y felicidad.

Agradezco a mi hermano Mario Viloría, quien ofreció su colaboración y asesoría para la creación del software en Visual Basic, dándome las herramientas necesarias para poder realizarlo.

A nuestros compañeros y amigos que estuvieron presentes durante este proceso, y que nos brindaron su ayuda y apoyo incondicional.

## CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	12
<u>1. ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES</u>	13
1.1 <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	13
1.2 <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	13
1.3 <u>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</u>	13
1.4 <u>OBJETIVOS</u>	13
1.4.1 Objetivo general	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 <u>JUSTIFICACIÓN</u>	14
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	15
2.1 <u>MARCO HISTÓRICO</u>	15
2.2 <u>MARCO CONCEPTUAL</u>	15
2.2.1. Generalidades	15
2.2.2. Cimentación	16
2.2.3. Tipos de cimentación	17
2.3 <u>MARCO TEÓRICO</u>	20
2.4 <u>MARCO LEGAL</u>	24
<u>3. DISEÑO METODOLÓGICO</u>	25
3.1 <u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u>	25
3.2 <u>POBLACIÓN Y MUESTRA</u>	25
3.3 <u>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</u>	25
<u>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	26
4.1 <u>DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN VISUAL BASIC PARA EL ANÁLISIS Y POSTERIOR DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES TALES COMO ZAPATAS AISLADAS, COMBINADAS Y CORRIDAS TENIENDO EN CUENTA LAS ESPECIFICACIONES DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE (NSR - 10)</u>	26
4.2 <u>CÁLCULO DE LAS CANTIDADES DE OBRA DE LAS ESTRUCTURAS DISEÑADAS</u>	29
4.3 <u>CALIBRACIÓN UN MODELO EN FORMA MANUAL PARA EL ANÁLISIS DE DISEÑO DE CIMENTACIONES</u>	29
4.3.1 Zapata aislada centrada con carga axial	29
4.4 <u>DESPLEGAR EN EXCEL LAS RESPECTIVAS MEMORIAS DE CÁLCULO</u>	36
<u>5. CONCLUSIONES</u>	38

6. <a href="#">RECOMENDACIONES</a>	39
<a href="#">BIBLIOGRAFÍA</a>	40
<a href="#">REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRÓNICAS</a>	41
<a href="#">ANEXOS</a>	42

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Asentamientos diferenciales	20
<b>Figura 2.</b> Rigidez Relativa 2 Elementos 1 Carga	21
<b>Figura 3.</b> Rigideces Relativa 2 Elementos, 1 Carga y Asentamiento	21
<b>Figura 4.</b> Rigidez Relativa 2 Elementos 1 Carga, Momento	22
<b>Figura 5.</b> Rigideces Relativas 2 Elementos 2 Cargas	22
<b>Figura 6.</b> Zapata sobre suelo cohesivo	23
<b>Figura 7.</b> Zapata sobre suelo no cohesivo	23
<b>Figura 8.</b> Zapatas que transmiten carga axial con una excentricidad	24
<b>Figura 9.</b> Interfaz inicial para software programado en Visual Basic	26
<b>Figura 10.</b> Interfaz en la que el usuario especifica el tipo de zapata a diseñar	27
<b>Figura 11.</b> Interfaz en la que el usuario especifica las características de la zapata a diseñar	27
<b>Figura 12.</b> Interfaz donde se muestran algunos resultados previos del diseño	28
<b>Figura 13.</b> Memorias de cálculo mediante un formulario de Visual Basic	28
<b>Figura 14.</b> Volumen de una zapata	29
<b>Figura 15.</b> Zapata aislada	30
<b>Figura 16.</b> Verificación de cortante a $d/2$	31
<b>Figura 17.</b> Fuerza admisible por punzonamiento	32
<b>Figura 18.</b> Verificación de cortante a una distancia $d$	32
<b>Figura 19.</b> Diseño a flexión considerando elemento empotrado	33
<b>Figura 20.</b> Detalle de la zapata	35

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A.</b> Tutorial de ejercicios de cimentaciones superficiales	43
<b>Anexo B.</b> Software diseño de cimentaciones	58



## **RESUMEN**

Esta investigación muestra el diseño de Zapatas aisladas, combinadas y corridas, que se realizó con ayuda de un software creado en Visual Basic. Estos diseños se calibraron con ayuda de algunos ejercicios tomado del libro de Jorge Ignacio Segura Franco, séptima edición, con el fin de que los resultados sean confiables.

DIS\_v1.0 es una herramienta que permite el diseño estructural de algunas cimentaciones superficiales de concreto reforzado según el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, más usadas en el territorio colombiano. Con la ayuda de este programa se pueden realizar el análisis y el diseño estructural bajo el método de cimentaciones aisladas, combinadas y corridas.

Este programa es de fácil manejo y le permite al usuario optimizar el diseño de estos tipos de cimentaciones, y a su vez apoya el proceso de aprendizaje del diseño de estos elementos estructurales.

Finalmente, con todos los diseños calibrados de las cimentaciones superficiales, se elaboraron planos realizados en AutoCAD, que contienen la información necesaria para su construcción y buen funcionamiento. Estos planos pueden ser empleados una vez se halla corroborado que todos los parámetros del análisis cumpla lo establecido las normas de diseño y construcción.

## INTRODUCCIÓN

Este es el documento final del trabajo de grado titulado: ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES BASADO EN LA NSR-10, realizado con el fin tener un software que cumpla con las normas vigentes y sirva de apoyo para el diseño de cimentaciones superficiales, ya que en Colombia no se cuenta con software nacionales para el análisis y desarrollo de estas estructuras.

Para realizar este proyecto se creó un software en Visual Basic, que facilitará los diseños correspondientes a cada uno de los tipos de zapatas superficiales tratados en esta investigación, el cual fue calibrado en forma manual, para una mayor confianza de los datos obtenidos; además, cada zapata se diseñó cumpliendo los requerimientos de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente de 2.010.

Con el desarrollo de este trabajo de grado se generaron herramientas que agilizaron el diseño estructural de las cimentaciones superficiales, ya que por medio del software el usuario puede hallar las cantidades de concreto y de acero y su separación, para cualquier zapata bajo todas las variantes posibles contempladas en dicho software.

# **1. ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La mayoría de software utilizado en el diseño de estructuras es implementado por grandes y medianas empresas, también universidades. Por ser estos de talla internacional no cumplen con las especificaciones técnicas de la norma colombiana de construcción sismoresistente (NSR-10).

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Las estructuras diseñadas con software internacionales garantizan el cumplimiento del reglamento colombiano de construcción sismoresistente (NSR - 10)?

## **1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Antiguamente el ingeniero civil invertía más tiempo en la realización de procesos repetitivos tediosos para obtener un resultado final con el agravante de posibles errores en el procedimiento y no en el problema en sí, con el uso cada vez más frecuente de los computadores, estos procesos repetitivos se los dejaron a la máquina y con este ahorro de tiempo se empezó a buscar la solución más óptima en los diseños variando los diferentes parámetros y buscando la más conveniente.

En la actualidad existen programas especializados en el cálculo de estructuras que permiten el diseño de los diferentes elementos que componen la estructura casi de forma automática, estos generalmente permiten diseñar las vigas, columnas y muros que conforman la estructura pero la mayoría de estos programas no permiten el cálculo de la estructura de cimentación, tal es el caso que empresas grandes dedicadas al diseño realizan los cálculos de las cimentaciones manualmente.

En el mercado se pueden encontrar software para el diseño de cimentaciones pero estos son muy costosos, generalmente de difícil manejo, y además están adaptados a las normativas de los países donde fueron desarrollados y tienen un alcance muy limitado y muchas veces no pueden dar solución a problemas muy específicos.

## **1.4 OBJETIVOS**

**1.4.1 Objetivo general.** Desarrollar un software para que se puedan diseñar cimentaciones superficiales cumpliendo la norma de construcción sismoresistente colombiana.

**1.4.2 Objetivos específicos.** Reglamentar las especificaciones del reglamento colombiano de construcción sismoresistente (NSR - 10) para el diseño de cimentaciones superficiales tales como zapatas aisladas, combinadas y corridas.

Mostrar el volumen de concreto para determinar las cantidades de obra.

Comparar un tipo de zapata en forma manual, con los resultados obtenidos con el software para garantizar su exactitud.

Representar en Excel las memorias de cálculo de las estructuras diseñadas para su respectivo análisis de resultados

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

En esta época moderna en la que vivimos existe una gran cantidad de programas dedicados al desarrollo de estructuras, permitiendo un diseño seguro de los diferentes elementos que componen la estructura de forma más fácil y rápida, estos nos permiten diseñar pórticos, vigas, columnas, muros y puentes, limitando el diseño de las cimentaciones a sus usuarios pues requiere su diseño de una forma manual o en el mejor de los casos con hojas electrónicas realizadas por sus propietario que no le permite la movilidad entre un diseño de cimentación y otro.

En la actualidad existen muchas empresas que se dedican al diseño de estructuras, y muy pocos los programas para el diseño de cimentaciones, tales como SAFE pero que tiene en cuenta normas americanas, chinas, hindúes pero no tiene en cuenta el código colombiano, es por eso que es importante la elaboración de un software que tenga en cuenta nuestras necesidades que sea de fácil manejo y que permita a docentes estudiantes y profesionales el buen uso de diseño de cimentaciones principalmente superficiales.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO HISTÓRICO

El hecho de que muchos edificios construidos en otras épocas hayan permanecido en pie hasta nuestros días demuestra que, a lo largo de la Historia, ha existido algún modo de "Ciencia de las cimentaciones", cuyo desarrollo ha culminado en las técnicas de cimentación actualmente en uso. Sin embargo, los antecedentes de nuestras cimentaciones son poco conocidos porque, hasta bien entrado el siglo XVIII, hay una casi absoluta ausencia de doctrina acerca de las teorías y de los métodos constructivos aplicados al dimensionado y a la ejecución de los cimientos. Acerca de estas cuestiones, solamente existen unas pocas reglas, dispersas e inconexas, contenidas en la normativa interna de algunas órdenes religiosas medievales y en los tratados de construcción difundidos por Europa a partir del siglo XV. Además, tales reglas siempre han sido consideradas como simples hechos históricos y nunca han sido analizadas como lo que realmente son, esto es, como resultados de sucesivos ensayos hechos por el Hombre con la finalidad de solucionar los problemas que le ha planteado el conjunto estructura-cimiento-terreno, desde siempre, cuando ha llevado a cabo ese acto libre de su voluntad que es la edificación. Con el objeto de conocer la evolución de las técnicas de cimentación a lo largo de la Historia de la Arquitectura, desde la Prehistoria hasta la Primera Revolución Industrial, hemos hecho una agrupación ordenada y crítica de todas aquellas referencias arqueológicas, históricas y bibliográficas que se han podido encontrar y que se refieren a la ejecución de las cimentaciones y a los criterios que han regido para el dimensionado de las mismas. También hemos considerado oportuno analizar el origen y la evolución de las técnicas de investigación del terreno así como el desarrollo de los métodos para el aprendizaje de las propiedades geotécnicas, por cuanto el estado de los conocimientos en estos dos campos es uno de los principales factores de influencia sobre las soluciones de cimentación que han sido adoptadas en cada una de las zonas geográficas y para cada uno de los períodos de tiempo. A partir del análisis del cúmulo de datos analizados, se ha hecho una síntesis apoyada en razonamientos críticos y se han alcanzado unas conclusiones que no solamente contemplan la evolución cronológica de las cimentaciones en el ámbito geográfico en que nace y se desarrolla nuestra cultura, sino también los conocimientos que hacen surgir cada una de las soluciones de cimentación y los condicionantes que intervienen sobre el origen y el desarrollo de las mismas.<sup>1</sup>

### 2.2 MARCO CONCEPTUAL

**2.2.1. Generalidades.** Siempre que sea posible, se preferirá que los cimientos estén solicitados por cargas centradas, ya que las excéntricas pueden provocar empujes diferenciales.

---

<sup>1</sup> GARCIA GAMALLO Ana M. La evolución de las cimentaciones en la historia de la arquitectura: desde la prehistoria hasta la primera revolución industrial. (s.l.) [On line]. Actualizado en el 2009. [Citado el 28 de enero de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.mastesis.com/tesis/la+evolucion+de+las+cimentaciones+en+la+historia+de+la+arqui:65072>

Se buscará siempre que el terreno de apoyo sea resistente y, si eso no fuese posible, habrá que buscar soluciones alternativas.

En muchos casos, los cimientos no solo transmiten compresiones, sino que mediante esfuerzos de rozamiento y adherencia llegan a soportar cargas horizontales y de tracción, anclando el edificio al terreno, si fuese necesario.

Además de estas funciones principales, los cimientos han de cumplir otros propósitos:

Ser suficientemente resistentes para no romper por cortante.

Soportar esfuerzos de flexión que produce el terreno, para lo cual se dispondrán armaduras en su cara inferior, que absorberán las tracciones.

Acomodarse a posibles movimientos del terreno.

Soportar las agresiones del terreno y del agua y su presión, si la hay.<sup>2</sup>

**2.2.2. Cimentación.** Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados (excepto en suelos rocosos muy coherentes).

La cimentación es importante porque es el grupo de elementos que soportan a la superestructura. Hay que prestar especial atención ya que la estabilidad de la construcción depende en gran medida del tipo de terreno.<sup>3</sup>

**Generalidades.** Siempre que sea posible, se preferirá que los cimientos estén solicitados por cargas centradas, ya que las excéntricas pueden provocar empujes diferenciales.

Se buscará siempre que el terreno de apoyo sea resistente y, si eso no fuese posible, habrá que buscar soluciones alternativas.

En muchos casos, los cimientos no solo transmiten compresiones, sino que mediante esfuerzos de rozamiento y adherencia llegan a soportar cargas horizontales y de tracción, anclando el edificio al terreno, si fuese necesario.

Además de estas funciones principales, los cimientos han de cumplir otros propósitos:

---

<sup>2</sup> *Ibíd.*, p.2

<sup>3</sup> CONSTRUMATICA Conceptos básicos de cimentación. (s.l.) [On line]. Actualizado en el 2009. [Citado el 28 de enero de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones>

Ser suficientemente resistentes para no romper por cortante.

Soportar esfuerzos de flexión que produce el terreno, para lo cual se dispondrán armaduras en su cara inferior, que absorberán las tracciones.

Acomodarse a posibles movimientos del terreno.

Soportar las agresiones del terreno y del agua y su presión, si la hay.<sup>4</sup>

**2.2.3. Tipos de cimentación.** La elección del tipo de cimentación depende especialmente de las características mecánicas del terreno, como su cohesión, su ángulo de rozamiento interno, posición del nivel freático y también de la magnitud de las cargas existentes. A partir de todos esos datos se calcula la capacidad portante, que junto con la homogeneidad del terreno aconsejan usar un tipo u otro diferente de cimentación. Siempre que es posible se emplean cimentaciones superficiales, ya que son el tipo de cimentación menos costoso y más simple de ejecutar. Cuando por problemas con la capacidad portante o la homogeneidad del mismo no es posible usar cimentación superficial se valoran otros tipos de cimentaciones.

Hay dos tipos fundamentales de cimentación: directas y profundas.

**Cimentaciones superficiales o directas.** Son aquellas que se apoyan en las capas superficiales o poco profundas del suelo, por tener éste suficiente capacidad portante o por tratarse de construcciones de importancia secundaria y relativamente livianas. En este tipo de cimentación, la carga se reparte en un plano de apoyo horizontal.

En estructuras importantes, tales como puentes, las cimentaciones, incluso las superficiales, se apoyan a suficiente profundidad como para garantizar que no se produzcan deterioros.

Las cimentaciones superficiales se clasifican en:

Cimentaciones ciclópeas.

Zapatas aisladas.

Zapatas corridas.

Zapatas combinadas.

Losas de cimentación.<sup>5</sup>

**Cimentaciones ciclópeas.** En terrenos cohesivos donde la zanja pueda hacerse con paramentos verticales y sin desprendimientos de tierra, el cimiento de concreto ciclópeo (hormigón) es sencillo y económico. El procedimiento para su construcción consiste en ir vaciando dentro de la zanja piedras de diferentes tamaños al tiempo que se vierte la mezcla de concreto en proporción 1:3:5, procurando mezclar perfectamente el concreto con las piedras, de tal forma que se evite la continuidad en sus juntas. El hormigón ciclópeo se realiza añadiendo piedras más o menos grandes a medida que se va hormigonando para economizar material. Utilizando este sistema, se puede emplear piedra más pequeña que en

---

<sup>4</sup> Ibíd., p.2

<sup>5</sup> Ibíd., p.2

los cimientos de mampostería hormigonada. La técnica del hormigón ciclópeo consiste en lanzar las piedras desde el punto más alto de la zanja sobre el hormigón en masa, que se depositará en el cimiento. Precauciones:

Tratar que las piedras no estén en contacto con la pared de la zanja.

Que las piedras no queden amontonadas.

Alternar en capas el hormigón y las piedras.

Cada piedra debe quedar totalmente envuelta por el hormigón.<sup>6</sup>

**Zapatas aisladas.** Las zapatas aisladas son un tipo de cimentación superficial que sirve de base de elementos estructurales puntuales como son los pilares; de modo que esta zapata amplía la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que le transmite. El término zapata aislada se debe a que se usa para asentar un único pilar, de ahí el nombre de aislada. Es el tipo de zapata más simple, aunque cuando el momento flector en la base del pilar es excesivo no son adecuadas y en su lugar deben emplearse zapatas combinadas o zapatas corridas en las que se asienten más de un pilar. La zapata aislada no necesita junta pues al estar empotrada en el terreno no se ve afectada por los cambios térmicos, aunque en las estructuras si que es normal además de aconsejable poner una junta cada 30 m aproximadamente, en estos casos la zapata se calcula como si sobre ella solo recayese un único pilar. Una variante de la zapata aislada aparece en edificios con junta de dilatación y en este caso se denomina "zapata bajo pilar en junta de diapasón".

En el cálculo de las presiones ejercidas por la zapata debe tenerse en cuenta además del peso del edificio y las sobrecargas, el peso de la propia zapata y de las tierras que descansan sobre sus vuelos, estas dos últimas cargas tienen un efecto desfavorable respecto al hundimiento. Por otra parte en el cálculo de vuelco, donde el peso propio de la zapata y las tierras sobre ellas tienen un efecto favorable.

Para construir una zapata aislada deben independizarse los cimientos y las estructuras de los edificios ubicados en terrenos de naturaleza heterogénea, o con discontinuidades, para que las diferentes partes del edificio tengan cimentaciones estables. Conviene que las instalaciones del edificio estén sobre el plano de los cimientos, sin cortar zapatas ni riostras. Para todo tipo de zapata, el plano de apoyo de la misma debe quedar empotrado 1 dm en el estrato del terreno.

La profundidad del plano de apoyo se fija basándose en el informe geotécnico, sin alterar el comportamiento del terreno bajo el cimiento, a causa de las variaciones del nivel freático o por posibles riesgos debidos a las heladas. Es conveniente llegar a una profundidad mínima por debajo de la cota superficial de 50 u 80 cm. en aquellas zonas afectadas por estas variables. En el caso en que el edificio tenga una junta estructural con soporte duplicado (dos pilares), se efectúa una sola zapata para los dos soportes. Conviene utilizar hormigón de consistencia plástica, con áridos de tamaño alrededor de 40 mm. En la ejecución, y antes de echar el hormigón, disponer en el fondo una capa de hormigón pobre de

---

<sup>6</sup> *Ibíd.*, p.3



aproximadamente 10 cm de espesor (hormigón de limpieza), antes de colocar las armaduras.<sup>7</sup>

**Zapatas corridas.** Las zapatas corridas se emplean para cimentar muros portantes, o hileras de pilares. Estructuralmente funcionan como viga flotante que recibe cargas lineales o puntuales separadas.

Son cimentaciones de gran longitud en comparación con su sección transversal. Las zapatas corridas están indicadas como cimentación de un elemento estructural longitudinalmente continuo, como un muro, en el que pretendemos los asientos en el terreno. También este tipo de cimentación hace de arriostamiento, puede reducir la presión sobre el terreno y puede puentear defectos y heterogeneidades en el terreno. Otro caso en el que resultan útiles es cuando se requerirían muchas zapatas aisladas próximas, resultando más sencillo realizar una zapata corrida.

Las zapatas corridas se aplican normalmente a muros. Pueden tener sección rectangular, escalonada o estrechada cónicamente. Sus dimensiones están en relación con la carga que han de soportar, la resistencia a la compresión del material y la presión admisible sobre el terreno. Por practicidad se adopta una altura mínima para los cimientos de hormigón de 3 dm aproximadamente. Si las alturas son mayores se les da una forma escalonada teniendo en cuenta el ángulo de reparto de las presiones.

En el caso de que la tierra tendiese a desmoronarse o el cimiento deba escalonarse, se utilizarán encofrados. Si los cimientos se realizan en hormigón apisonado, pueden hormigonarse sin necesidad de los mismos.

Si los trabajos de cimentación debieran interrumpirse, se recomienda cortar en escalones la junta vertical para lograr una correcta unión con el tramo siguiente. Asimismo colocar unos hierros de armadura reforzará esta unión.

Las Zapatas Corridas son, según el Código Técnico de la Edificación (CTE), aquellas zapatas que recogen más de tres pilares. Las considera así distintas a las zapatas combinadas, que son aquellas que recogen dos pilares. Esta distinción es objeto de debate puesto que una zapata combinada puede soportar perfectamente tres pilares.<sup>8</sup>

**Zapatas combinadas.** Una zapata combinada es un elemento que sirve de cimentación para dos o más pilares. En principio las zapatas aisladas sacan provecho de que diferentes pilares tienen diferentes momentos flectores. Si estos se combinan en un único elemento de cimentación, el resultado puede ser un elemento más estabilizado y sometido a un menor momento resultante.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> *Ibíd.*, p.3

<sup>8</sup> *Ibíd.*, p.4

<sup>9</sup> *Ibíd.*, p.4

**Losas de cimentación.** Una losa de cimentación es una placa flotante apoyada directamente sobre el terreno. Como losa está sometida principalmente a esfuerzos de flexión. El espesor de la losa será proporcional a los momentos flectores actuantes sobre la misma.<sup>10</sup>

### 2.3 MARCO TEÓRICO

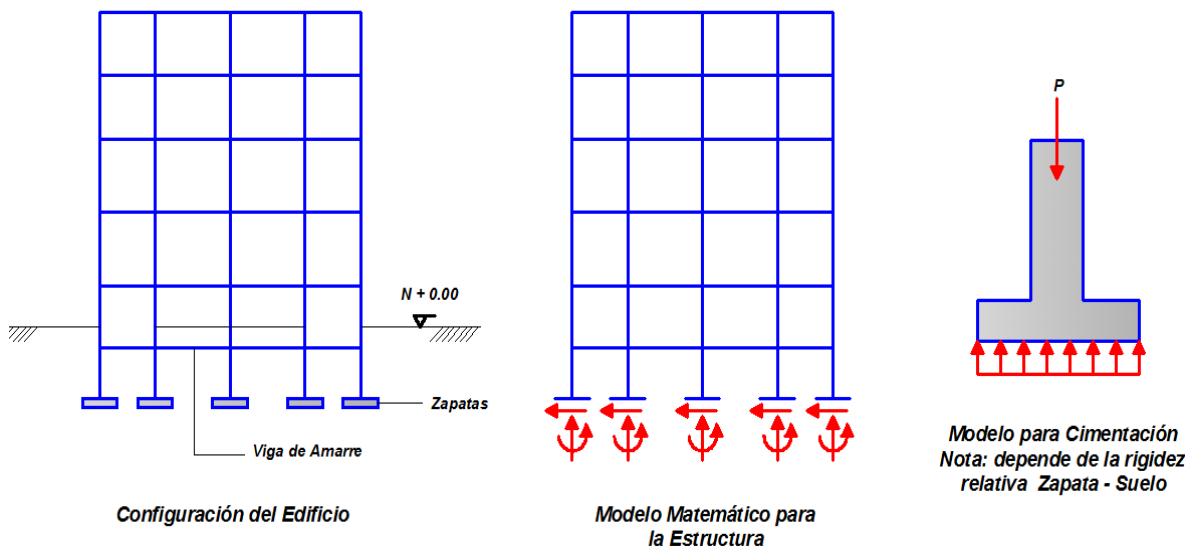
Para el desarrollo del proyecto se manejarán programas diseñados Visual Basic, para agilizar los cálculos matemáticos y los estudios de cantidades de obra de los modelos de análisis de este proyecto.

El desarrollo de este software tendrá la función de realizar los cálculos y diseños de las características específicas que el usuario del programa estipule.

El procedimiento común, es el de realizar un modelo matemático para estudiar independientemente la estructura de la cimentación y luego con las cargas obtenidas en los apoyos se analiza y se diseña esta.

Si Asentamientos Diferenciales  $\Rightarrow$  Debe considerarse el efecto de la interacción del suelo con la estructura

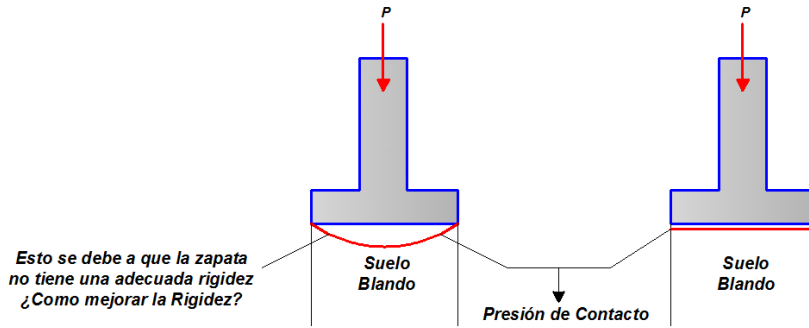
**Figura 1.** Asentamientos diferenciales



Fuente: Afanador, Nelson, Notas de diseño estructural

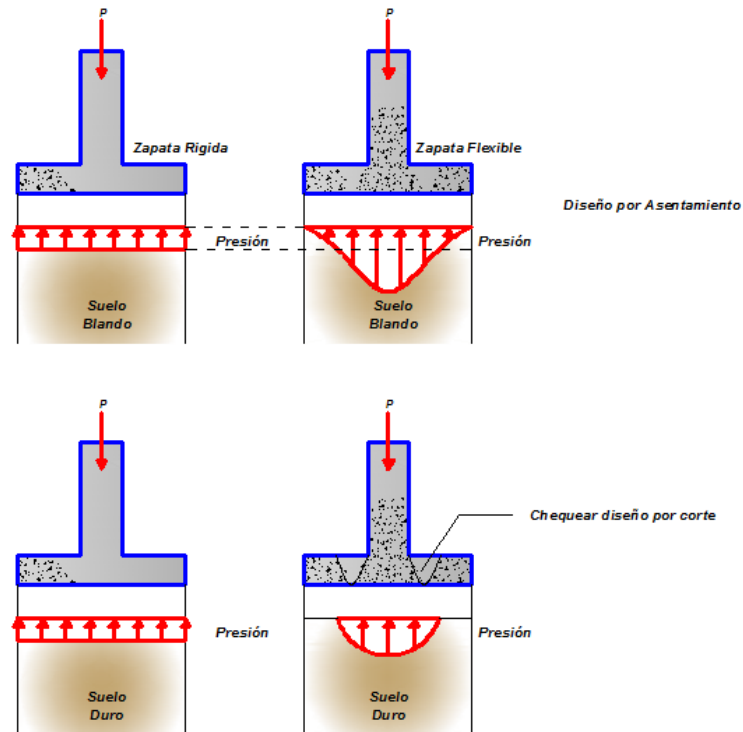
<sup>10</sup> *Ibíd.*, p.5

**Figura 2.** Rigidez Relativa 2 Elementos 1 Carga



Fuente: Afanador, Nelson, Notas de diseño estructural

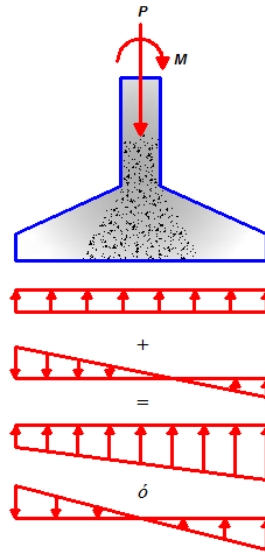
**Figura 3.** Rigideces Relativa 2 Elementos, 1 Carga y Asentamiento



Fuente: Afanador, Nelson, Notas de diseño estructural

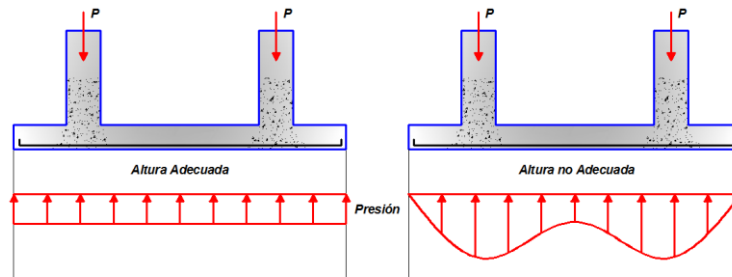
Se debe asegurar que la zapata tenga una adecuada altura para garantizar que la zapata sea rígida respecto al terreno

**Figura 4.** Rigidez Relativa 2 Elementos 1 Carga, Momento



Fuente: Afanador, Nelson, Notas de dise\u00f1o estructural

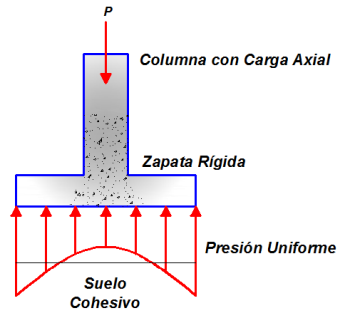
**Figura 5.** Rigideces Relativas 2 Elementos 2 Cargas



Fuente: Afanador, Nelson, Notas de dise\u00f1o estructural

**Zapatas R\u00edgidas sobre Suelo Cohesivo.** Modelando el suelo como un espacio Semi – Infinito, homog\u00e9neo e isotr\u00f3pico indica que se presenta una concentraci\u00f3n de esfuerzos muy alta en los bordes de la zapata. Carga el suelo localizado en los bordes de la zapata se desplaza ligeramente hacia afuera reduci\u00e9ndose as\u00ed el valor de los esfuerzos en los bordes, adicionalmente el suelo localizado en los bordes se plastifica y desplaza las presiones hacia el centro de la zapata, con lo cual se tiene a un esfuerzo uniforme.

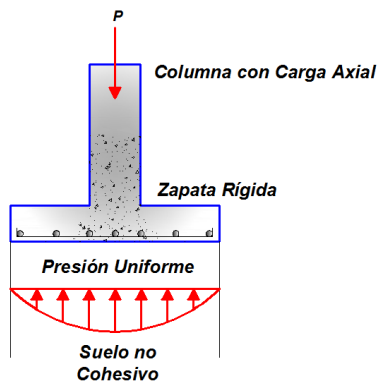
**Figura 6.** Zapata sobre suelo cohesivo



Fuente: Afanador, Nelson, Notas de diseño estructural

**Zapatas Rígidas sobre Suelos no Cohesivos.** La rigidez aumenta con el confinamiento a que están sometidas las partículas de suelo, las presiones son casi nulas en los bordes de la zapata donde las partículas tienen la posibilidad de desplazarse hacia afuera. Las presiones son máximas hacia el centro donde el confinamiento de las partículas de suelo es mayor. Cuando el nivel de carga aumenta el suelo sometido a presiones altas se plastifica en el centro de la zapata, y las presiones tienden a ser uniformes.

**Figura 7.** Zapata sobre suelo no cohesivo

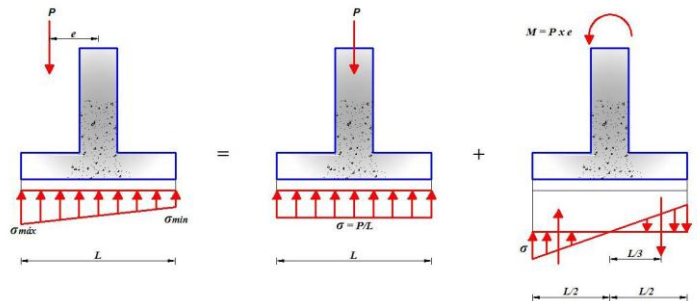


Fuente: Afanador, Nelson, Notas de diseño estructural

Zapatas que transmiten Carga Axial “P” con una excentricidad “e”

La distribución de presiones se analiza una variación lineal.

**Figura 8.** Zapatas que transmiten carga axial con una excentricidad



Fuente: Afanador, Nelson, Notas de diseño estructural

$$M = P \times e = \sigma \times L \times \frac{L}{6} \Rightarrow M = \frac{\sigma L^2}{6} \Rightarrow \sigma = \frac{6M}{L^2} \Rightarrow \sigma = \frac{6Pe}{L^2}$$

$$\frac{\sigma \left(\frac{L}{2}\right)}{2} = \frac{\sigma L}{4}$$

Luego:

$$\sigma_{max} = \frac{P}{L} + \frac{6Pe}{L^2} = \frac{P}{L} \left(1 + \frac{6e}{L}\right)$$

$$\sigma_{min} = \frac{P}{L} - \frac{6Pe}{L^2} = \frac{P}{L} \left(1 - \frac{6e}{L}\right)$$

## Procedimiento de Diseño

El área de la zapata debe estar acorde con la capacidad de soporte del suelo

Corte en las 2 direcciones, verificar el predimensionamiento Losa

Corte en 1 dirección, verificar la flexión Viga

Momento flexionante y requisitos de acero de refuerzo

Presión de contacto entre columna y zapata

Refuerzo que pasa la unión Columna – Zapata

Longitudes de desarrollo de las barras longitudinales<sup>11</sup>

## 2.4 MARCO LEGAL

Los estudios, el análisis y resultados de esta investigación se rigen con el título C de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10) que fue creada por la Ley 400 de 1997.

<sup>11</sup> Afanador, Nelson, Notas de diseño estructural

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Descriptiva; en la cual, se lleva a cabo el análisis cualitativo de los estudios estructurales basados en los cálculos y modelamientos realizados utilizando SAP 2000 v12 licenciado por la universidad.

#### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Para este trabajo de grado no aplica la selección de una población y una muestra, debido a que es un proyecto de tipo no experimental, y que se basa específicamente en el diseño, modelamiento y mediante el uso de investigaciones ya realizadas.

#### **3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La técnica y método de recolección de información que se utilizará en este proyecto será mediante fuentes de información primarias donde se recurrirá al Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Una vez consultada esta norma se procede con la elaboración del programa en Visual Basic, para el diseño de cimentaciones superficiales.

Como fuentes de información secundarias, se recurrirá al uso de libros, revistas, cartillas, localizando la información referente al tema del proyecto y procedimientos de cálculo y diseño de zapatas para ser tomadas como referencia en los diseños a realizar y verificar de este modo la realización de un correcto procedimiento.

Se comprueba la confiabilidad de los instrumentos de medición, verificando lo establecido en los distintos reglamentos utilizados: Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, con los diseños realizados en el programa y hechos manualmente.

Con el software a realizar, se contribuye a un ahorro en cuanto al tiempo, debido a que se podrán elaborar diseños de zapatas en un menor tiempo.

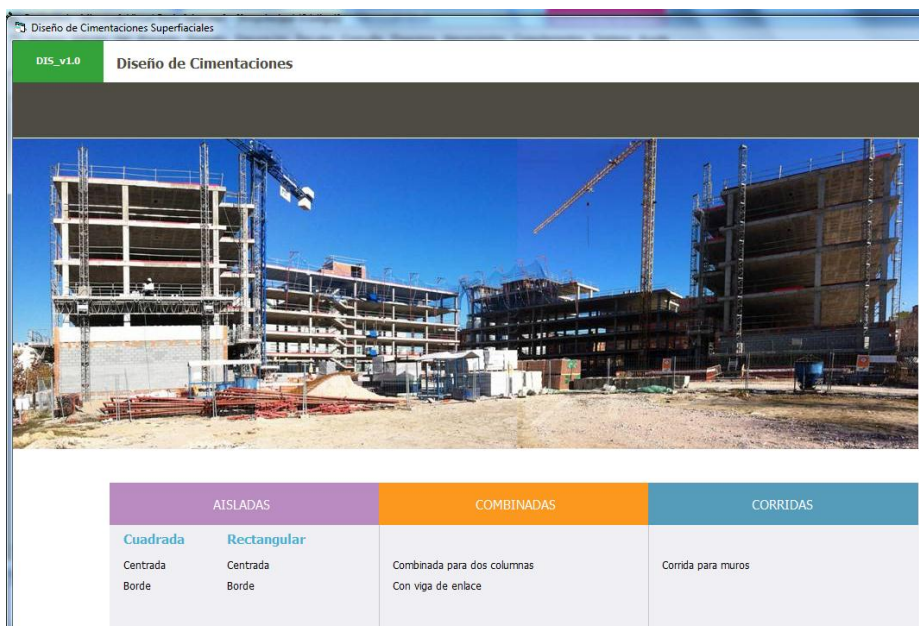
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN VISUAL BASIC PARA EL ANÁLISIS Y POSTERIOR DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES TALES COMO ZAPATAS AISLADAS, COMBINADAS Y CORRIDAS TENIENDO EN CUENTA LAS ESPECIFICACIONES DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE (NSR - 10).

La primera etapa para la realización de esta actividad consistió en la recolección de información, donde se escogieron los tipos de cimentaciones superficiales a diseñar y sus respectivas variantes.

Para la realización de las zapatas superficiales, se creó un programa llamado DIS-v1.0 (Diseño de Cimentaciones) usando Visual Basic, donde se elaboró una interfaz inicial para el software, siendo este el formulario para poder tener acceso al programa, véase figura 1.

**Figura 9.** Interfaz inicial para software programado en Visual Basic.



**Fuente.** Autor del proyecto

Esta primera interfaz del programa, es la que da el acceso al menú para iniciar con el diseño de zapatas, ya sean aisladas, combinadas o corridas.

Esta ventana muestra las tres opciones de muros que el programa permite diseñarlas zapatas, véase figura 10.



**Figura 10.** Interfaz en la que el usuario especifica el tipo de zapata a diseñar.

AISLADAS		COMBINADAS	CORRIDAS
<b>Cuadrada</b>	<b>Rectangular</b>		
Centrada	Centrada	Combinada para dos columnas	Corrida para muros
Borde	Borde	Con viga de enlace	

**Fuente.** Autor del proyecto

Una vez se pulse sobre cualquiera de estos botones se abrirá la ventana para el diseño de cimentación elegido.

Al seleccionar la opción aisladas, combinadas o corridas, el programa muestra el formulario correspondiente y le solicita al usuario las características generales de la estructura, véase figura 11.

Para esta ventana, se recurrió a la función validación de datos en un formulario. Mediante esta función el usuario puede escoger los parámetros necesarios para el diseño de una cimentación superficial, tales como alturas, anchos de columnas, resistencia a la compresión del concreto ( $f_c'$ ), el esfuerzo a la fluencia del acero  $f_y$ , y el diámetro de las varillas de acero a utilizar.

**Figura 11.** Interfaz en la que el usuario especifica las características de la zapata a diseñar

**Cargas**

Carga de servicio $P_s$ =	2050	[KN]
Carga última $P_u$ =	2720	[KN]
Magnitud del momento $M_x$ =	0.00	[KN-m]
My =	0.00	[KN-m]
Presión admisible del suelo $q_{adm}$ =	226	[KN/m <sup>2</sup> ]
Refuerzo de columna: 8 N°	15.9	[mm]

**Propiedad de los Materiales**

Resistencia del concreto $f_c'$ =	28	[MPa]
Tensión del acero $f_y$ =	420	[MPa]

**Dimensiones**

Ancho de columna $CL$ =	0.4	[m]
Ancho de columna $CB$ =	0.4	[m]
Espesor de la zapata $h$ =	0.60	[m]

Diagrama de la zapata:  $L$ ,  $B$ ,  $h$ ,  $CL$ ,  $CB$

Botones: Aceptar, Limpiar, Cancelar

**Fuente.** Autor del proyecto

Después de digitar todos los datos y dar click en el botón de aceptar, se despliega un frame donde se pueden observar algunos resultados, y también se revisa los refuerzos longitudinales, véase figura 12.

**Figura 12.** Interfaz donde se muestran algunos resultados previos del diseño

**Fuente.** Autor del proyecto

Una vez teniendo todos los parámetros listos damos click en detalle y nos muestra un formulario donde podemos ver las memorias de cálculo y podemos chequear si cumplen todos los requerimientos, véase figura 13.

**Figura 13.** Memorias de cálculo mediante un formulario de Visual Basic

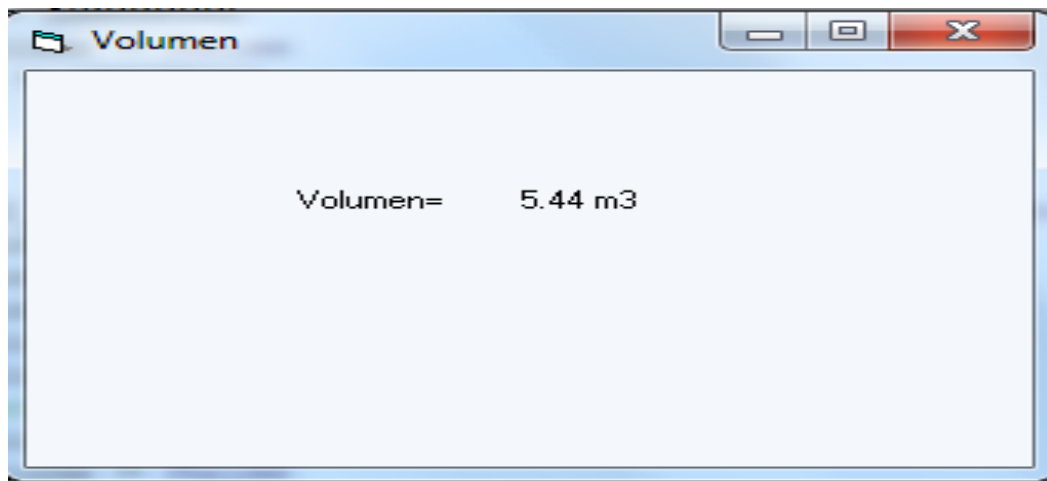
**Fuente:** Autor del proyecto

Utilizando este programa elaborado para facilitar el diseño de cimentaciones superficiales, se manejaron los diseños de este proyecto, y de esta manera, se agilizó eficazmente la comprobación del diseño de cada estructura bajo cada una de las condiciones que éstas exigieron.

#### 4.2 CÁLCULO DE LAS CANTIDADES DE OBRA DE LAS ESTRUCTURAS DISEÑADAS.

Para el diseño anterior, por tratarse de un ejemplo académico las medidas no se ajustan a la realidad, sus lados fueron de  $L \times B = 3.01$  mts para un área total de  $9.06 \text{ m}^2$  y una altura de  $0.60$  mts; su volumen sería de  $5.44 \text{ m}^3$ . Cuando damos click en el botón de volumen nos arroja el un formulario con el volumen de la zapata, véase figura 14.

**Figura 14.** Volumen de una zapata



**Fuente.** Autor del proyecto

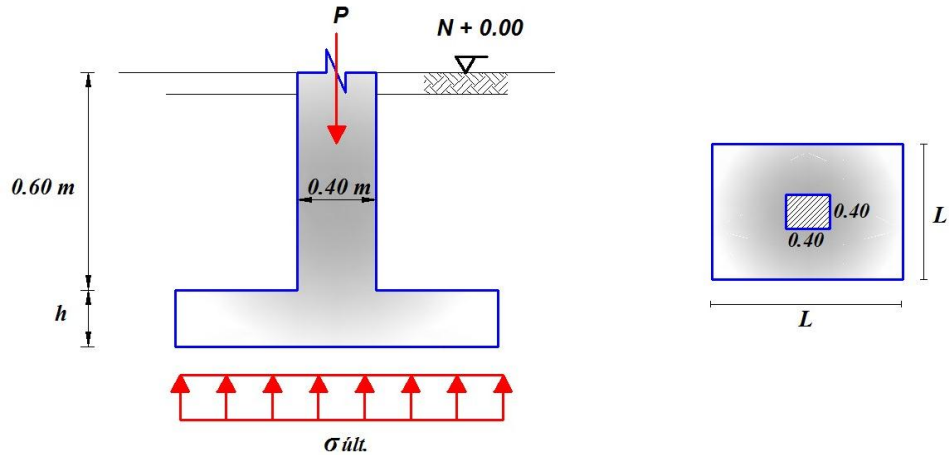
#### 4.3 CALIBRACIÓN UN MODELO EN FORMA MANUAL PARA EL ANÁLISIS DE DISEÑO DE CIMENTACIONES

Para la realización de esta actividad, se calibraron zapatas con DIS v\_1.0 con iguales condiciones que los diseñados mediante el programa en Visual Basic, con el propósito de hacer una comparación de los resultados obtenidos mediante los dos procedimientos y de esta manera calibrar el modelo. Además, se realizó un tutorial definiendo paso por paso el procedimiento de una cimentación, ver anexo A.

**4.3.1 Zapata aislada centrada con carga axial.** Diseñe la zapata interior para soportar una columna interior cuadrada de  $0.40$  m de lado, con  $8 \phi 7/8"$  y transmite a la zapata las siguientes cargas de servicio:  $P_{CM} = 1400 \text{ KN}$ ,  $P_{CV} = 650 \text{ KN}$ . Presión admisible del suelo  $= 226 \text{ KN/m}^2$ ,  $f'_c = 28 \text{ MPa}$  ( $4000 \text{ PSI}$ ) y  $f_y = 420 \text{ MPa}$ . Tenga en cuenta que

la zapata pertenece a un sistema de pórticos resistentes a momentos como sistema resistente ubicado en Cúcuta N. de S.

**Figura 15.** Zapata aislada.



**Fuente.** Autor del proyecto

**Solución:**

**Presión de Contacto.**

Verificaremos la necesidad o no de pedestal.

$$P_u = 1.2 P_{CM} + 1.6 P_{CV} = 2,720 \text{ KN}$$

Se deberá cumplir que:

El coeficiente de reducción de resistencia al contacto es;

$$\phi = 0.65 \quad \text{ver C. 9.3.2.4 NSR - 10}$$

$$P_u \leq \phi 0.85 f'_c A_1 = 0.65 \times 0.85 \times 28 \times 400 \times 400 = 2,475.2 \text{ KN} < 2,720 \text{ KN}$$

$$P_u = 2,720 \text{ KN} > 2,475.2 \text{ KN}$$

Luego requiere pedestal, sea el pedestal de 450 mm x 450 mm, reemplazando

$$P_u \leq \phi 0.85 f'_c A_1 = 0.65 \times 0.85 \times 28 \times 450 \times 450 = 3,132.68 \text{ KN} > P_u$$

Luego, el requerimiento de que los esfuerzos al aplastamiento en el concreto no sean excedidos ha sido cumplido.

**Área de zapata, presión última del suelo ( $\sigma_{ult}$ ).** En este caso no hay excentricidad de la carga, el centroide de la zapata coincide con el punto de aplicación de la carga.

Se asume  $h = 600 \text{ mm}$ , es decir que la altura efectiva  $d$ ,  $d = h - 85 = 515 \text{ mm}$

La carga de servicio P, es;

$$P = P_{CM} + P_{CV} = 2,050 \text{ KN}; \text{ y el Area de la Zapata} = A$$

$$A = \frac{P}{\sigma_{adm}} = \frac{2,050}{226} = 9.07 \text{ m}^2; \text{ lado de la zapata } L \times L = A, \text{ para el caso de una zapata cuadrada, donde}$$

$$L = \sqrt{A} \cong 3.01 \text{ m}, \text{ se asume una longitud de lado } L = 3.05 \text{ m} \text{ con un un area real} = 9.30 \text{ m}^2$$

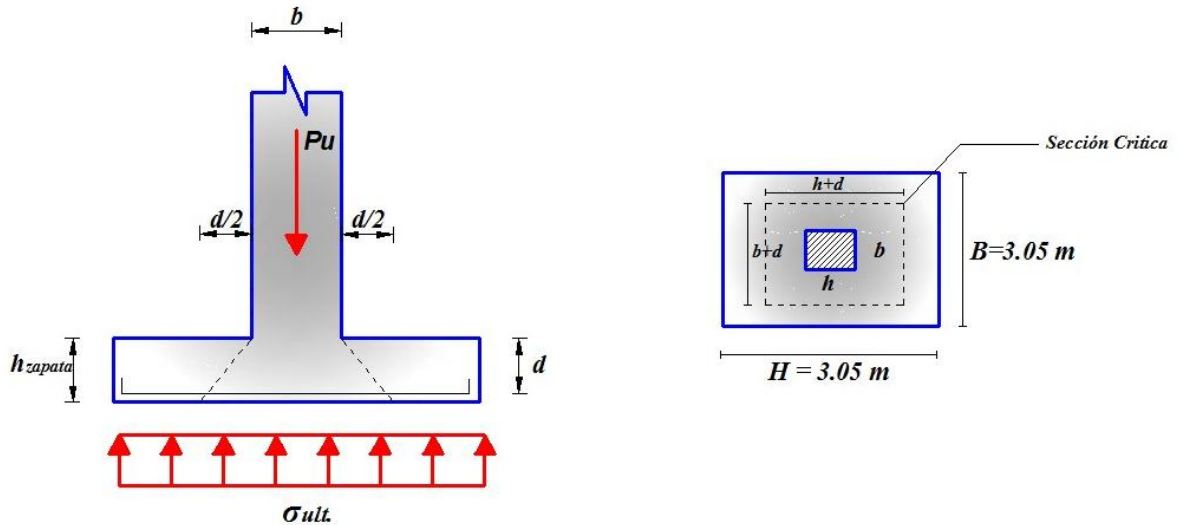
$$\text{Presion Ultima del suelo} = \sigma_{ult} = \frac{P_u}{A_{real}} = \frac{2,720}{9.30} = 292.39 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

**Verificación al punzonado en la zapata.** Se debe verificar el cortante en las dos (2) direcciones, pero por ser una zapata cuadrada basta con realizar la verificación en una dirección a  $d/2$  de la cara de la columna en la dirección de análisis.

$$\beta = \frac{3,05}{3,05} = 1.0 \text{ (pues es una zapata cuadrada)}$$

El coeficiente de reducción de resistencia al punzonado;  $\phi = 0.75$

**Figura 16.** Verificación de cortante a  $d/2$ .

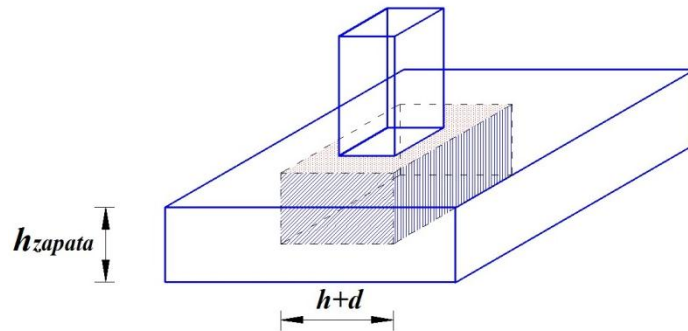


**Fuente.** Autor del proyecto

$$b_o = 2[(h + d) + (b + d)] = 3.86 \text{ m}$$

$$V_u = P_u - \sigma_{ult} \cdot (h + d)(b + d) = 2,720 \text{ KN} - 292.39 (0.45 + 0.515)^2 = 2,447.72 \text{ KN}$$

**Figura 17.** Fuerza admisible por punzonamiento



**Fuente.** Autor del proyecto

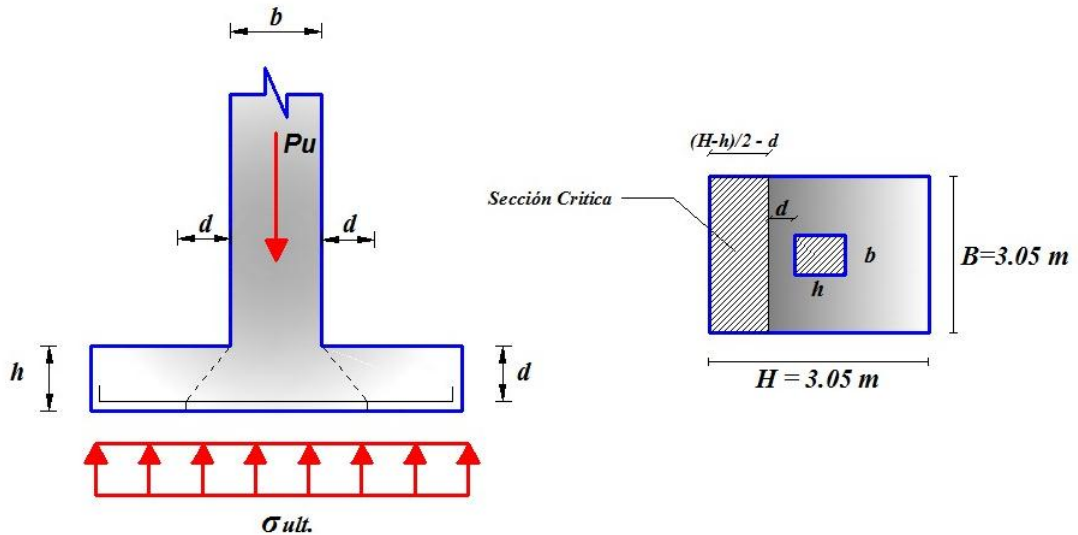
Fuerza admisible en el concreto por punzonado, se debe verificar la menor de las siguientes contribuciones, establecidas en la NSR-10 C.11.11.2.1 sea superior al requerimiento por punzonado

$$\begin{aligned}
 i) \phi V_c &= \phi 0.17 \lambda \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d = 4,023.51 \text{ KN} \\
 ii) \phi V_c &= \phi 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d = 4,804.18 \text{ KN} \\
 iii) \phi V_c &= \phi 0.33 \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d = 2,603.45 \text{ KN} > V_u \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Dónde:  $\lambda = 1.0$  ,  $\alpha_s = 40$

**Verificación a cortante en cada dirección.**

**Figura 18.** Verificación a cortante a una distancia d



**Fuente.** Autor del proyecto

La fuerza cortante está definida en la sección crítica  $d$ , y debe medirse desde la cara de la columna o pedestal, el cual es hallada teniendo en cuenta el esfuerzo último y el área de corte.

$$V_u = \sigma_{ult} \times B \times \left( \frac{H-h}{2} - d \right) = 292.39 \times 3.05 \times \left( \frac{3.05 - 0.45}{2} - 0.515 \right) = 700.05 \text{ KN}$$

Resistencia al corte proporcionado por el concreto (C.11.2 NSR-10)

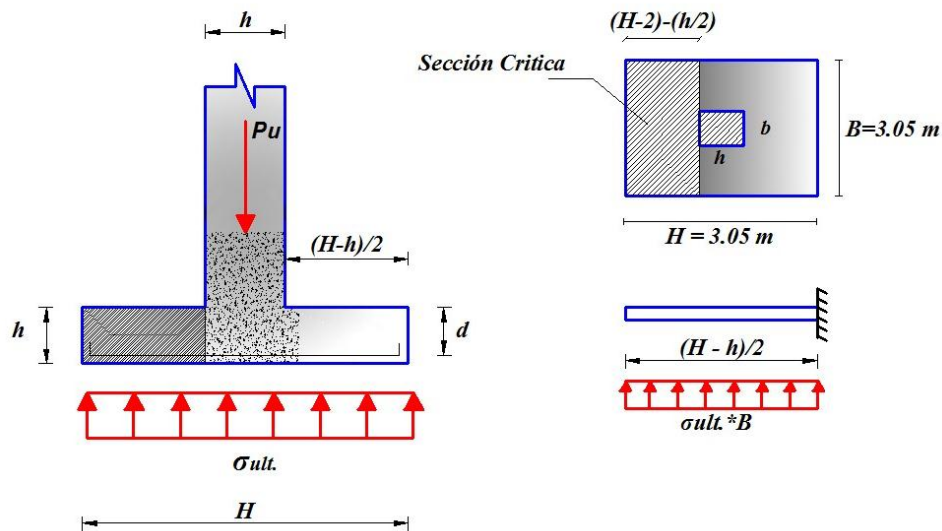
$$\phi V_c = \phi 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d = 1,341.17 \text{ KN}$$

$$\phi V_c > V_u \quad OK$$

Es decir, el concreto está en capacidad de absorber el cortante y punzonado, luego las dimensiones asumidas son las adecuadas y pueden continuar hacia el diseño por flexión.

**Diseño a Flexión.** Considerando un tramo de zapata como un elemento empotrado.

**Figura 19.** Diseño a flexión considerando elemento empotrado.



**Fuente.** Autor del proyecto

La demanda de momento debido al esfuerzo último del suelo sobre la sección crítica de la zapata definida en la cara de la columna es independiente de la dirección de análisis debido a que es una zapata cuadrada y puede ser hallada como se indica a continuación

$$M_u = \sigma_{ult} \times B \times \frac{(H-h)^2}{2} = 753.56 \text{ KN} - \text{m}$$

La capacidad de la zapata de absorber el momento último actuante, es:

$$\phi M_u \geq M_u = \phi \rho f_y \left( 1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right) b d^2$$

Donde el coeficiente de reducción de resistencia a flexión  $\phi$ ,  $\phi=0.90$  C.9.3.2 (NSR-10)

$$753.56 = 0.9 \times \rho \times 420000 \left(1 - 0.59 \times \rho \times \frac{420}{28}\right) \times 3.05 \times (0.515)^2$$

$\rho = 0.002521$ , se cumple que  $\rho_{min} > \rho$  pues la cuantía es  $\rho_{min} = 0.0033$ .

$$As = \rho b d \Rightarrow As = 5,183.48 \text{ mm}^2, 26 \text{ N5} \quad \text{ó} \quad 1 \phi 5/8'' @ 0.12 \text{ m}$$

Pues el área de acero deberá ser superior a la mínima.

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \geq \frac{1.4}{f_y} = 0.0033$$

**Longitud del gancho del refuerzo longitudinal.** La tracción o compresión debida al refuerzo en cada sección debe desarrollarse mediante una longitud embebida, gancho (únicamente a tracción) o dispositivos mecánicos o bien mediante una combinación de los mismos, C.15.6.2 NSR-10.

Gancho estándar a tracción del refuerzo longitudinal.

$$l_{dh} = \frac{0.24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \geq \begin{cases} 8 d_b \\ 150 \text{ mm, el mayor} \end{cases}$$

$\psi_e = \lambda = 1.0$  para concreto de peso normal. (C.15.5.2 NSR-10)

$$d_b = 22.2 \text{ mm} (\phi 7/8'')$$

$$8d_b = 177.6 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0.24 * 1.0 * 420}{1.0 * \sqrt{28}} 22.2 = 423.37 \text{ mm, longitud del gancho de la columna igual a 423 mm}$$

La longitud de anclaje del refuerzo proveniente de la columna es igual a

el mayor entre  $l_{dc} = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$ ,  $(0.043 f_y) d_b$  donde  $0.043 [mm^2/N]$  C.12.3.2 NSR-10

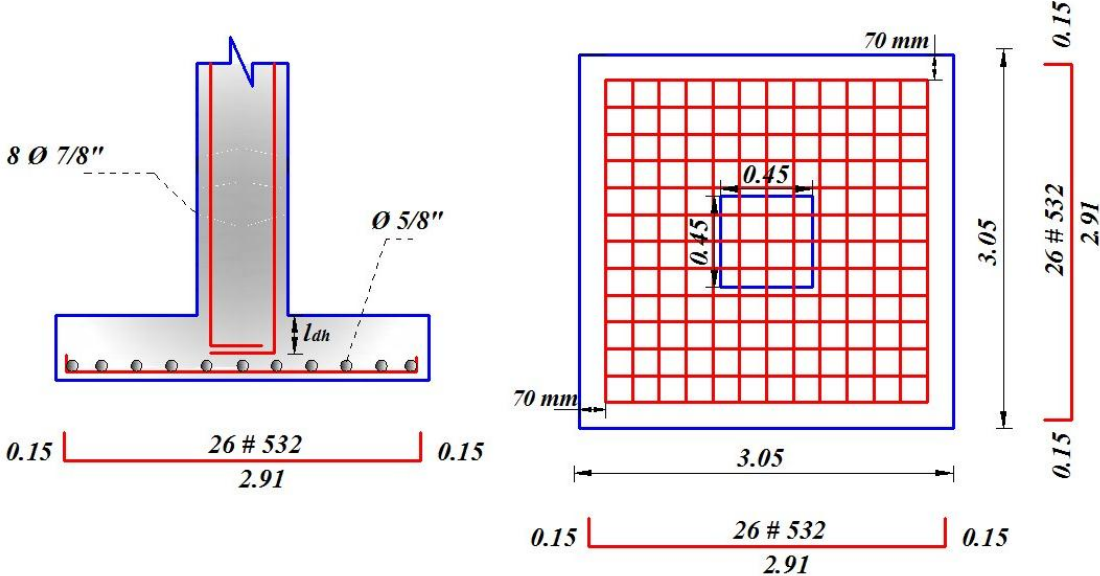
$$l_{dc} = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b = 423.37 \text{ mm} > 400.93 \text{ mm}$$

Por lo tanto la altura mínima de la zapata es igual a  $423 + 2(15.9) + 70 = 524.80 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$  asumido en ii.).

Longitud del gancho estándar a tracción del refuerzo de la zapata.



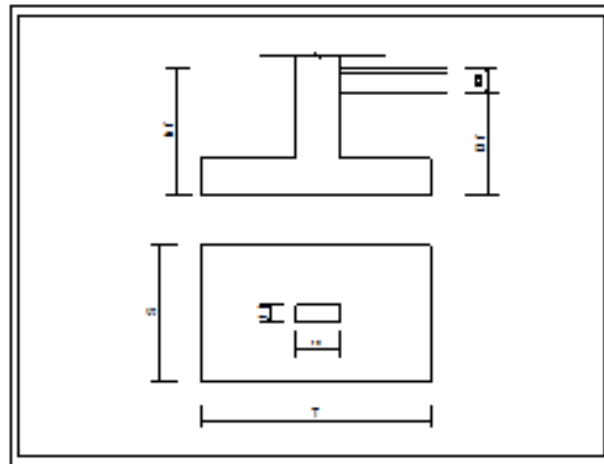
Figura 20. Detalle de la zapata.



Fuente. Autor del proyecto

4.4 DESPLGAR EN EXCEL LAS RESPECTIVAS MEMORIAS DE CÁLCULO.

**DISEÑO DE ZAPATA AISLADA**



**DATOS GENERALES:**

SECCION DE COLUMNA	t1 =	0.55	mts.
	t2 =	0.80	mts.
CARGA MUERTA:	PD =	180.00	Tn.
CARGA VIVA:	PL =	65.00	Tn.
CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO:	σt =	3.50	kg/cm <sup>2</sup>
PROFUNDIDAD DE DESPLANTE:	Df =	1.70	mts.
PESO ESPECIFICO DEL TERRENO:	γt =	2.10	Tn/m <sup>3</sup>
RESISTENCIA DEL CONCRETO DE LA ZAPATA:	fc =	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
SOBRECARGA DEL PISO:	s/c =	500.00	kg/m <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL ACERO:	Fy =	4200.00	kg/cm <sup>2</sup>
RECUBRIMIENTO:	R =	7.50	cm
DIAMETRO DE LAS VARILLAS DE REFUERZO:	Øv =	1.27	cm

ALTURA A NIVEL DE PISO TERMINADO h1 = 2.00 mts.

**ESFUERZO NETO DEL TERRENO "σn":**

σn = 30.30 Tn/m<sup>2</sup>

**AREA DE LA ZAPATA "A zap":**

Azap = 8.08 m<sup>2</sup>      S x T = 2.850 x 2.850 m<sup>2</sup>

PARA CUMPLIR Lv1 = Lv2

T = 2.975 mts. Utilizar      T = 3.000 mt

S = 2.725 mts. Utilizar      S = 2.760 mt

**USAR S x T      2.750 x 3.000**

$$Lv1 = Lv2 = \begin{matrix} 1.100 \\ 1.100 \end{matrix}$$

REACION NETA DEL TERRENO " Wnu ":

$$Pu = \begin{matrix} 320 \\ 8.25 \end{matrix} \begin{matrix} Tn \\ m2 \end{matrix}$$

$$Wnu = \begin{matrix} 38.79 \\ Tn/m2 \end{matrix}$$

DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTURA " h " DE LA ZAPATA POR PUNZONAMIENTO:  
CONDICION DE DISEÑO:

$$Vo = Vu/\phi = (Pu - Wnu \cdot n) / \phi \dots ( I )$$

TAMBIEN:

$$\phi = \begin{matrix} 0.85 \end{matrix}$$

$$Vo = 1.08 \cdot (fb) \cdot \phi \dots ( II )$$

I = II

Formando una ecuacion de segundo Grado

$$\text{Entonces } d = \begin{matrix} 0.4187 \end{matrix} \text{ m}$$

$$h = 50.44 \text{ cm} \quad \text{usar} \quad h = \begin{matrix} 80.000 \end{matrix} \text{ cm}$$

$$d_{prom} = \begin{matrix} 0.510 \end{matrix} \text{ m}$$

VERIFICACION DE CORTANTE:

$$\begin{matrix} Lv = 1.100 & \text{mts.} \\ Vdu = 62.93 & Tn. \\ Vh = 74.04 & Tn. \end{matrix}$$

$$Vc = \begin{matrix} 124.38 \\ Tn \end{matrix} > Vh \quad \text{CONFORME}$$

SENTIDO LONGITUDINAL:

DISEÑO POR FLEXION:

$$\begin{matrix} Mu = 64.53 & Tn \cdot m \\ b = 275.00 & \text{cm} \end{matrix}$$

ITERANDO:

$\phi d$  = FACTOR DE REDUCCION DE DISEÑO IGUAL A 0.9<sup>99</sup>

$$\phi d = \begin{matrix} 0.90 \end{matrix}$$

$$\text{Usar } As = \begin{matrix} 34.21 \\ \text{cm}^2 \end{matrix}$$

$$a = \begin{matrix} 2.186 \end{matrix}$$

VERIFICACION DE ACERO MINIMO:

$$As_{min} = (\rho_{temp}) \cdot (b) \cdot (d)$$

$$As_{min} = \begin{matrix} 25.25 \\ \text{cm}^2 \end{matrix}$$

$$< \begin{matrix} 34.21 \\ \text{cm}^2 \end{matrix} \quad \text{OK!}$$

$$As = \begin{matrix} 34.21 \\ \text{cm}^2 \end{matrix}$$

CALCULO DE VARILLA 3:

## **5. CONCLUSIONES**

DIS v\_1.0 es una herramienta que permite el análisis y diseño de cimentaciones superficiales tales como zapata céntrica, excéntrica, combinada y corridas.

La utilización de Visual Basic en la realización del software, agilizó considerablemente los cálculos necesarios para el diseño de cimentaciones superficiales. Este programa generó todas las operaciones necesarias para el cálculo de fuerzas, momentos, cortantes y otros, garantizando de manera eficaz el reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR - 10. Se facilitaron también los diseños, debido a que el software proporcionó inmediatamente la separación del acero de refuerzo, quedando únicamente a cargo del usuario realizar el despiece. De esta manera, la implementación de este software es de suma importancia si se requiere disminuir tiempo, y su aplicación se amplía ya que está programado para todas las zonas geográficas de Colombia.

Esta aplicación se convirtió en una herramienta de verificación de las cantidades de obra, pues el usuario puede consultar el volumen de concreto de la estructura diseñada.

Al momento de comparar un ejercicio manual versus con el software, se pudo notar que hay pequeñas diferencias en los resultados debido a la precisión en cuanto a los decimales.

Se pudo representar en Excel los resultados obtenidos y se pudo analizar que el factor que gobernaba los diseños fueron los esfuerzos en el suelo de fundación. Motivo por el cual se hacía necesario el incremento en las dimensiones de la estructura, para de esta manera garantizar la completa estabilidad de las cimentaciones y cumplir con lo establecido por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

## 6. RECOMENDACIONES

Dentro de las cimentaciones superficiales también se analizan las vigas de cimentación y losas, se recomienda buscar otras soluciones para sus respectivos diseños.

Complementar el software de manera que arroje el correspondiente despiece del acero de refuerzo de las zapatas que se diseñen, pues actualmente el programa finaliza con la obtención de las separaciones del acero de refuerzo, quedando a cargo del usuario realizar el despiece del mismo.

Perfeccionar este proyecto para que no solamente sean cantidades de obra, sino que pueda arrojar el presupuesto para cada estructura

Las pequeñas variaciones de decimales pueden arrojar resultados no esperados, se debe condicionar el software a trabajar con cuatro decimales para mejorar su exactitud.

Cuando el programa despliegue las memorias de cálculo en Excel se recomienda no editar ninguna fila o columna de la hoja de resultado, pues esto podría afectar futuros resultados; al mismo tiempo buscar una solución para que estos no se representen en Excel sino en PDF y así se evita su alteración.

## BIBLIOGRAFÍA

AFANADOR Nelson, Notas de diseño estructural,

SEGURA FRANCO Jorge. Estructuras de concreto I, 2011

ROCHEL AWAD Roberto Hormigón reforzado, 2008

Norma colombiana de construcción sismo resistente 2010, NSR-10

NILSON Arthur H. Diseño de estructuras de concreto, , Duodécima edición

MCCORMAC, Jack Diseño de concreto reforzado, 2005

GARZA VÁZQUEZ Luis Cálculo de estructuras de cimentación, , junio de 2000

OLIVELLA PASTALLÉ Sebastián, GARCÍA TORNEL José, VALENCIA Alejandro  
Cimentaciones y estructuras de contención,

## **REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRÓNICAS**

CONSTRUMATICA Conceptos básicos de cimentación. (s.l.) [On line]. Actualizado en el 2009. [Citado el 28 de enero de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones>

GARCIA GAMALLO Ana M. La evolución de las cimentaciones en la historia de la arquitectura: desde la prehistoria hasta la primera revolución industrial. (s.l.) [On line]. Actualizado en el 2009. [Citado el 28 de enero de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.mastesis.com/tesis/la+evolucion+de+las+cimentaciones+en+la+historia+de+la+arqui:65072>

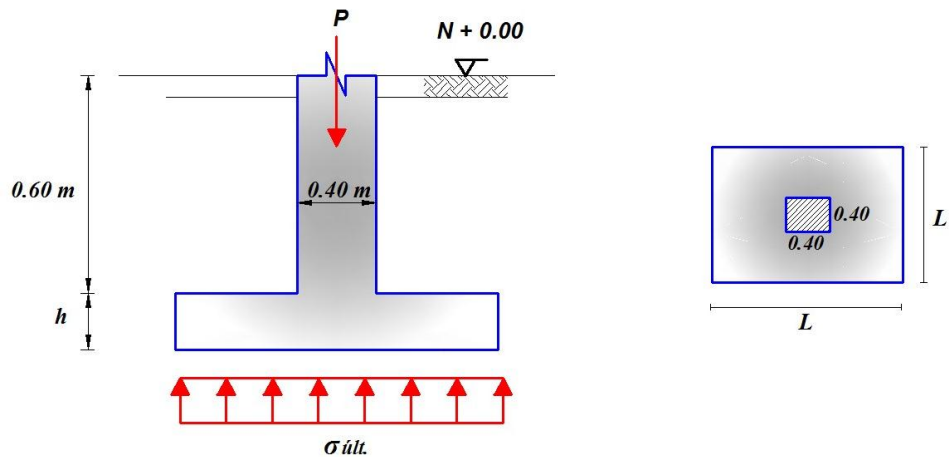
# **ANEXOS**



## Anexo A. Tutorial de ejercicios de cimentaciones superficiales

**Zapata aislada centrada con carga axial.** Diseñe la zapata interior para soportar una columna interior cuadrada de 0.40 m de lado, con  $8 \phi 7/8"$  y transmite a la zapata las siguientes cargas de servicio:  $P_{CM} = 1400 \text{ KN}$ ,  $P_{CV} = 650 \text{ KN}$ . Presión admisible del suelo  $= 226 \text{ KN/m}^2$ ,  $f'_c = 28 \text{ MPa}$  (4000 PSI) y  $f_y = 420 \text{ MPa}$ . Tenga en cuenta que la zapata pertenece a un sistema de pórticos resistentes a momentos como sistema resistente ubicado en Cúcuta N. de S.

Zapata aislada, centrada



**Solución:**

**Presión de Contacto.**

Verificaremos la necesidad o no de pedestal.

$$P_u = 1.2 P_{CM} + 1.6 P_{CV} = 2,720 \text{ KN}$$

Se deberá cumplir que:

El coeficiente de reducción de resistencia al contacto es;

$$\phi = 0.65 \quad \text{ver C. 9.3.2.4 NSR - 10}$$

$$P_u \leq \phi 0.85 f'_c A_1 = 0.65 \times 0.85 \times 28 \times 400 \times 400 = 2,475.2 \text{ KN} < 2,720 \text{ KN}$$

$$P_u = 2,720 \text{ KN} > 2,475.2 \text{ KN}$$

Luego requiere pedestal, sea el pedestal de  $450 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$ , reemplazando

$$P_u \leq \phi 0.85 f'_c A_1 = 0.65 \times 0.85 \times 28 \times 450 \times 450 = 3,132.68 \text{ KN} > P_u$$

Luego, el requerimiento de que los esfuerzos al aplastamiento en el concreto no sean excedidos ha sido cumplido.

**Área de zapata, presión última del suelo ( $\sigma_{ult}$ )**

En este caso no hay excentricidad de la carga, el centroide de la zapata coincide con el punto de aplicación de la carga.

Se asume  $h = 600 \text{ mm}$ , es decir que la altura efectiva  $d, d = h - 85 = 515 \text{ mm}$

La carga de servicio P, es;

$P = P_{CM} + P_{CV} = 2,050 \text{ KN}$ ; y el Area de la Zapata = A

$A = \frac{P}{\sigma_{adm}} = \frac{2,050}{226} = 9.07 \text{ m}^2$ ; lado de la zapata  $L \times L = A$ , para el caso de una zapata cuadrada, donde

$L = \sqrt{A} \cong 3.01 \text{ m}$ , se asume una longitud de lado  $L = 3.05 \text{ m}$  con un un area real =  $9.30 \text{ m}^2$

Presion Ultima del suelo =  $\sigma_{ult} = \frac{P_u}{A_{real}} = \frac{2,720}{9.30} = 292.39 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

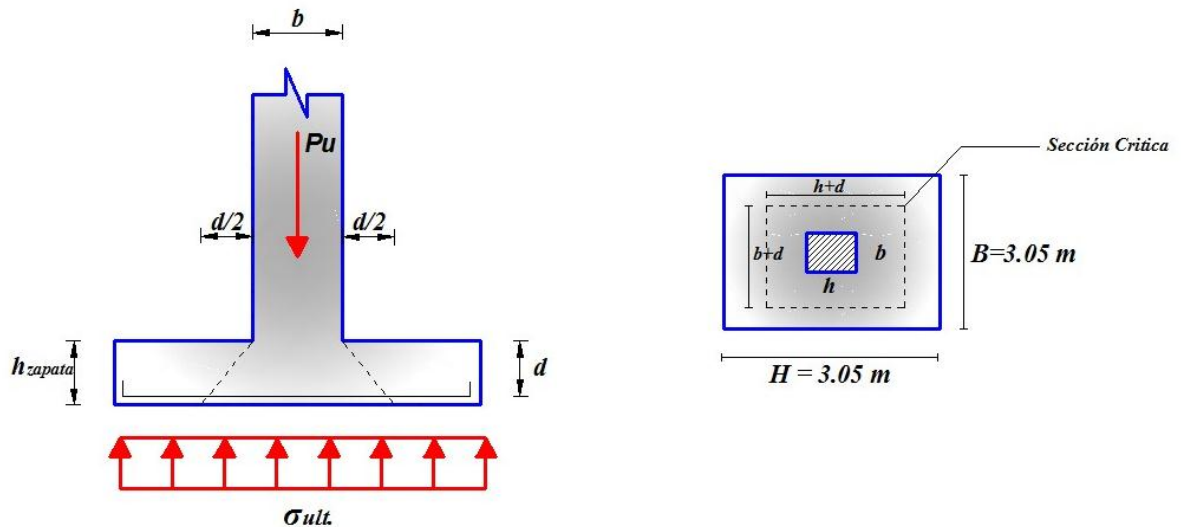
**Verificación al punzonado en la zapata.**

Se debe verificar el cortante en las dos (2) direcciones, pero por ser una zapata cuadrada basta con realizar la verificación en una dirección a  $d/2$  de la cara de la columna en la dirección de análisis.

$$\beta = \frac{3,05}{3,05} = 1.0 \text{ (pues es una zapata cuadrada)}$$

El coeficiente de reducción de resistencia al punzonado;  $\phi = 0.75$

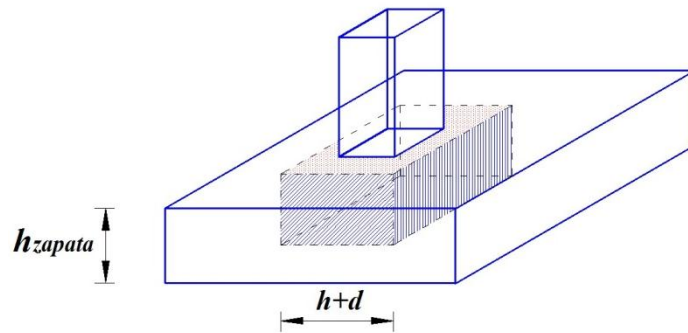
Figura 22



$$b_o = 2[(h + d) + (b + d)] = 3.86 \text{ m}$$

$$V_u = P_u - \sigma_{ult} \cdot (h + d)(b + d) = 2,720 \text{ KN} - 292.39 (0.45 + 0.515)^2 = 2,447.72 \text{ KN}$$

Fuerza admisible por punzonamiento



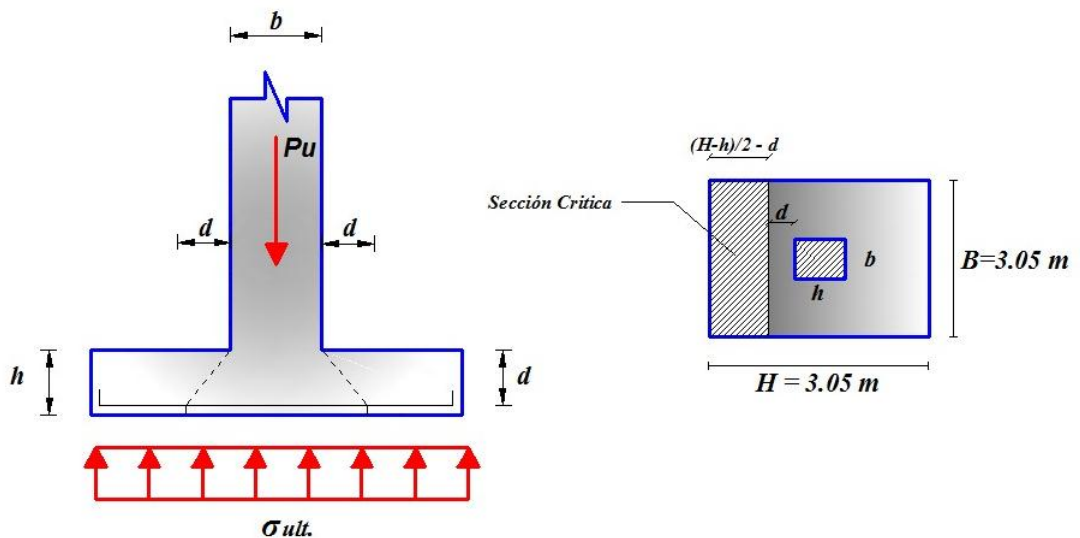
Fuerza admisible en el concreto por punzonado, se debe verificar la menor de las siguientes contribuciones, establecidas en la NSR-10 C.11.11.2.1 sea superior al requerimiento por punzonado

$$\begin{aligned}
 i) \phi V_c &= \phi 0.17 \lambda \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d = 4,023.51 \text{ KN} \\
 ii) \phi V_c &= \phi 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d = 4,804.18 \text{ KN} \\
 iii) \phi V_c &= \phi 0.33 \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d = 2,603.45 \text{ KN} > V_u \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Donde:  $\lambda = 1.0$  ,  $\alpha_s = 40$

**Verificación a cortante en cada dirección.**

. Verificación de cortante a una distancia d.



La fuerza cortante está definida en la sección crítica  $d$ , y debe medirse desde la cara de la columna o pedestal, el cual es hallada teniendo en cuenta el esfuerzo último y el área de corte.

$$V_u = \sigma_{ult} \times B \times \left( \frac{H-h}{2} - d \right) = 292.39 \times 3.05 \times \left( \frac{3.05 - 0.45}{2} - 0.515 \right) = 700.05 \text{ KN}$$

Resistencia al corte proporcionado por el concreto (C.11.2 NSR-10)

$$\phi V_c = \phi 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d = 1,341.17 \text{ KN}$$

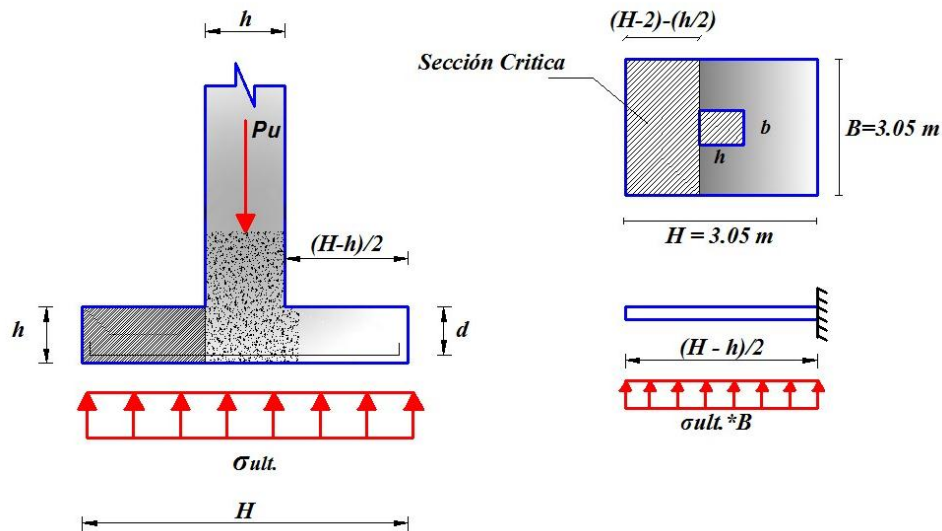
$$\phi V_c > V_u \quad OK$$

Es decir, el concreto está en capacidad de absorber el cortante y punzonado, luego las dimensiones asumidas son las adecuadas y pueden continuar hacia el diseño por flexión.

### Diseño a Flexión

Considerando un tramo de zapata como un elemento empotrado.

Diseño a flexión considerando elemento empotrado.



La demanda de momento debido al esfuerzo último del suelo sobre la sección crítica de la zapata definida en la cara de la columna es independiente de la dirección de análisis debido a que es una zapata cuadrada y puede ser hallada como se indica a continuación

$$M_u = \sigma_{ult} \times B \times \frac{\left( \frac{H-h}{2} \right)^2}{2} = 753.56 \text{ KN} - m$$

La capacidad de la zapata de absorber el momento último actuante, es:

$$\phi M_u \geq M_u = \phi \rho f_y \left( 1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right) b d^2$$

Donde el coeficiente de reducción de resistencia a flexión  $\phi$ ,  $\phi=0.90$  C.9.3.2 (NSR-10)

$$753.56 = 0.9 \times \rho \times 420000 \left( 1 - 0.59 \times \rho \times \frac{420}{28} \right) \times 3.05 \times (0.515)^2$$

$\rho = 0.002521$ , se cumple que  $\rho_{min} > \rho$  pues la cuantía es  $\rho_{min} = 0.0033$ .

$$A_s = \rho b d \Rightarrow A_s = 5,183.48 \text{ mm}^2, \text{ 26 N5 } \text{ ó } \text{ 1 } \phi \text{ 5/8" @ 0.12 m}$$

Pues el área de acero deberá ser superior a la mínima.

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \geq \frac{1.4}{f_y} = 0.003\bar{3}$$

**Longitud del gancho del refuerzo longitudinal.** La tracción o compresión debida al refuerzo en cada sección debe desarrollarse mediante una longitud embebida, gancho (únicamente a tracción) o dispositivos mecánicos o bien mediante una combinación de los mismos, C.15.6.2 NSR-10.

Gancho estándar a tracción del refuerzo longitudinal.

$$l_{dh} = \frac{0.24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \geq \begin{cases} 8 d_b \\ 150 \text{ mm, el mayor} \end{cases}$$

$\psi_e = \lambda = 1.0$  para concreto de peso normal. (C.15.5.2 NSR-10)

$$d_b = 22.2 \text{ mm } (\phi \text{ 7/8"})$$

$$8d_b = 177.6 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0.24 \times 1.0 \times 420}{1.0 \times \sqrt{28}} 22.2 = 423.37 \text{ mm, longitud del gancho de la columna igual a 423 mm}$$

La longitud de anclaje del refuerzo proveniente de la columna es igual a

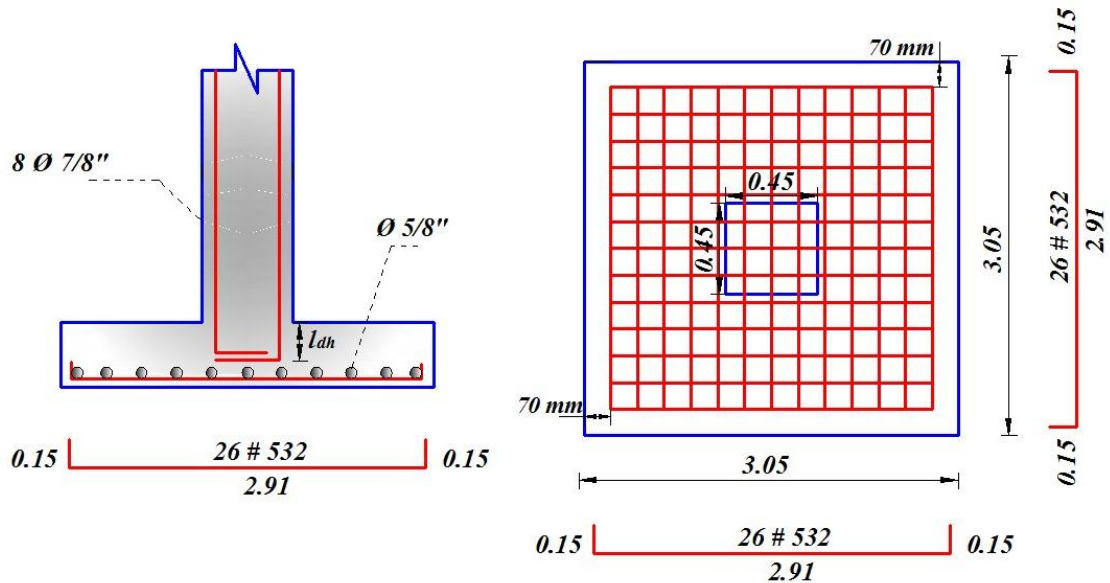
el mayor entre  $l_{dc} = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$ ,  $(0.043 f_y) d_b$  donde  $0.043 [mm^2/N]$  C.12.3.2 NSR-10

$$l_{dc} = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b = 423.37 \text{ mm} > 400.93 \text{ mm}$$

Por lo tanto la altura mínima de la zapata es igual a  $423 + 2(15.9) + 70 = 524.80 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$  asumido en ii.).

Longitud del gancho estándar a tracción del refuerzo de la zapata.

Detalle de la zapata



**Zapata de borde.** Diseñar una zapata para una columna de borde de 0.35 x 0.35 m sin restricción lateral ubicada en Ocaña y sujeta a una carga axial de 320 KN y un momento de 120 KN-m, estando reforzada con  $8 \phi 3/4"$  cimentada en un estrato de fundación con  $\sigma_{adm} = 180 \text{ KPa}$ , con materiales  $f'_c = 24.5 \text{ MPa}$  y  $f_y = 420 \text{ MPa}$  y  $FS = 1.35$ .

**Dimensión de la zapata.**

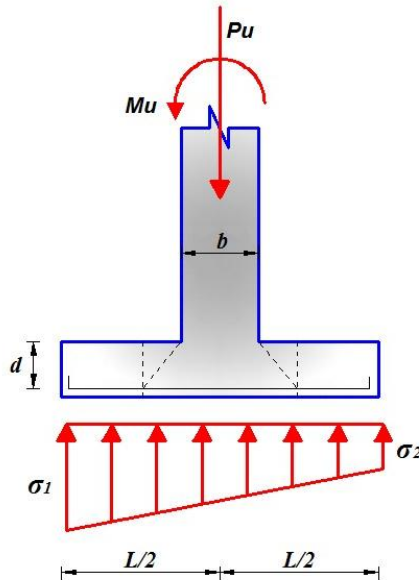
$$\begin{aligned} \text{carga} & \quad 320 \text{ KN} \\ P.P \text{ Zapata (14\%)} & \quad 45 \text{ KN valor asumido} \\ \overline{P} & = 365 \text{ KN} \\ \text{Excentricidad, } e & \\ e & = \frac{120 \text{ KN} - \text{m}}{320 \text{ KN}} = 0.375 \text{ m} \end{aligned}$$

Área requerida para soportar la carga axial únicamente.

$$A = \frac{P}{\sigma} = \frac{365 \text{ KN}}{180 \text{ KPa}} = 2.03 \text{ m}^2 \quad A = L^2, \quad L = 1.42 \text{ m}$$

Para tener en cuenta de una manera preliminar el momento aplicado se tomará  $L = 1.60 \text{ m}$ . Se asume  $h = 500 \text{ mm}$  y se verifica que los esfuerzos transmitidos al suelo debido a la zapata no exceda la capacidad admisible del suelo.

Verificación de esfuerzos en zapatas sometidas a carga axial y momento



Los esfuerzos máximos y mínimos ( $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  respectivamente), son;

$$\sigma_{1,2} = \frac{P}{A} \times \left( 1 \pm \frac{6e}{L} \right) = \frac{365}{(1.60 \times 1.60)} \left( 1 \pm \frac{6 \times 0.375}{1.60} \right)$$

$$\sigma_1 = 343.08 \frac{KN}{m^2} > \sigma_{adm} \quad \text{excede el esfuerzo admisible del suelo}$$

$$\sigma_2 = -57.92 \frac{KN}{m^2} \quad \text{esfuerzo de tracción, deben evitarse.}$$

Como la sección de la zapata es insuficiente se aumentará la longitud y el área de la zapata.

Dimensiones y esfuerzos de la zapata

L (m)	$\sigma_1$ (KN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_2$ (KN/m <sup>2</sup> )
2.10	171.44	-5.91
2.20	152.54	-1.71
2.30	136.50	1.50

Luego la sección óptima de la zapata es 2.30 x 2.30 m, pues no se presentan esfuerzos e tracción y el esfuerzo a compresión es menor que la capacidad admisible del suelo a compresión.

Es decir, la presión última del suelo  $\sigma_{ult}$

$$\sigma_{1,2} = \frac{P_u}{A} \times \left( 1 \pm \frac{6e}{L} \right) = \frac{365 \times 1.35}{2.30^2} \left( 1 \pm \frac{6 \times 0.375}{2.30} \right) = 93.1474 (1 \pm 0.9783)$$

$$\sigma_1 = 184.27 \text{ KN/m}^2$$

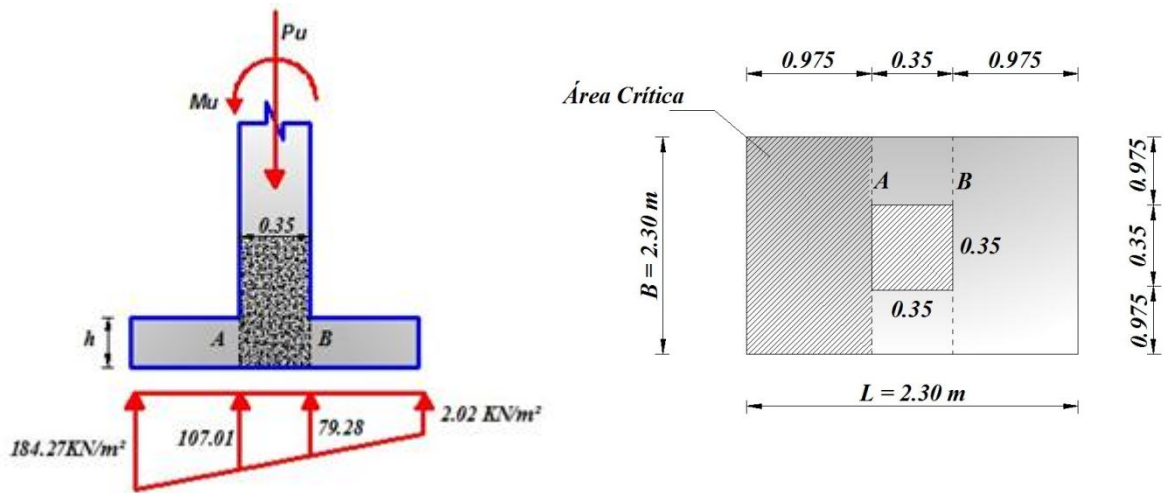
$$\sigma_2 = 2.02 \text{ KN/m}^2$$

Diseño para el corte A:

Usando relaciones de triángulos se determinan los esfuerzos en los cortes A y B.

Para un  $B = 2.30 \text{ m}$  y  $d = 500 - 85 = 415 \text{ mm}$

Esfuerzos en los cortes A y B de la zapata.



Verificaremos la necesidad o no de pedestal.

$$P_u = 365 \text{ KN}$$

Se deberá cumplir que:

El coeficiente de reducción de resistencia al contacto es;

$$\phi = 0.65 \quad \text{ver C.9.3.2.4 NSR - 10}$$

$$P_u \leq \phi 0.85 f'_c A_1 = 0.65 \times 0.85 \times 24.5 \times 350 \times 350 = 1,658.19 \text{ KN} > 365 \text{ KN}$$

Luego no requiere pedestal.

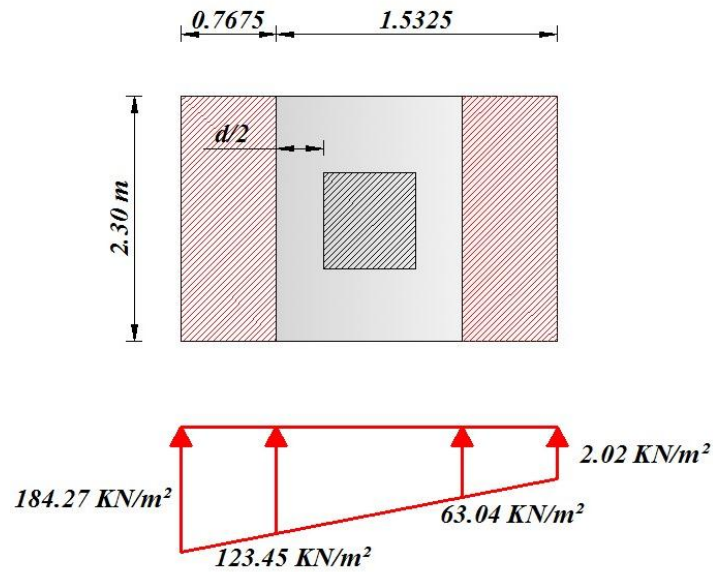
Ahora bien, veamos las verificaciones a que hay lugar en el diseño de zapatas.

**Acción en dos direcciones para sección crítica a " $d/2$ " del borde de la columna.**

Se calculan los esfuerzos a que está expuesta la zapata, a una distancia crítica debido a punzonado,  $d/2$ .



Esfuerzos a una distancia  $d/2$  de la cara de la columna.



$$\sigma_{u(d/2)} = 2.02 + \frac{1.5325}{2.30} (184.27 - 2.02) = 123.45 \text{ KN/m}^2$$

El cortante a la distancia  $d/2$  máximo es:

$$V_u = 492.75 - \left[ \frac{123.26 + 63.04}{2} \right] [(h + d)(b + d)] = 438.24 \text{ KN}$$

La contribución del concreto al punzonamiento, es;

$$i) \phi V_c = \phi 0.17 \lambda \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d = 2404.27 \text{ KN}$$

$$ii) \phi V_c = \phi 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d = 1591.99 \text{ KN}$$

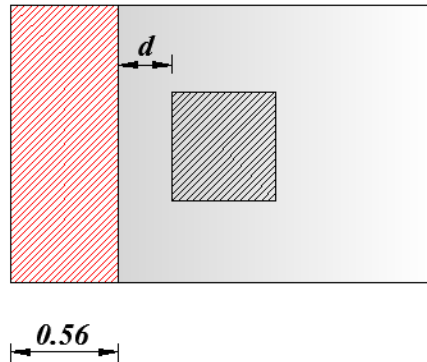
$$iii) \phi V_c = \phi 0.33 \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d = 1555.71 \text{ KN}$$

Dónde:  $\phi = 0.75$ ,  $\beta = 1.0$ ,  $\lambda = 1.0$ ,  $b_0 = 3.06 \text{ m}$ ,  $d = 0.415 \text{ m}$  y  $\alpha_s = 30$

Luego,  $\phi V_c = 1555.71 \text{ KN} > V_u$ , es decir no requiere refuerzo por punzonado.

**Acción como viga para sección crítica a " $d$ " del borde de la columna.** Al igual que la verificación por punzonado se hallan los esfuerzos a una distancia  $d$  de la cara de la columna por relaciones de triángulos.

cción crítica a una distancia  $d$ .



$$\sigma_{(d)} = 2.02 + \frac{1.74}{2.30} (184.27 - 2.02) = 139.89 \text{ KN/m}^2$$

El esfuerzo cortante es;

$$V_{(d)} = \frac{1}{2} (184.27 + 139.89) \times 2.30 \times 0.56 = 208.76 \text{ KN}, \quad \text{mientras que el esfuerzo cortante último es,}$$

$$V_{u(d)} = 1.35 \times 208.76 = 281.83 \text{ KN}$$

**Diseño a flexión.** El momento último aplicado en la zona crítica es igual al momento producido por los esfuerzos uniformes de  $107.01 \text{ KN/m}^2$  y el esfuerzo triangular restante.

$$M_u = 107.01 \times 2.30 \times \frac{0.975^2}{2} + \left( \frac{184.27 - 107.01}{2} \right) \times 2.30 \times 0.975 \times 2 \times \frac{0.975}{3}$$

$$M_u = 173.28 \text{ KN} - m$$

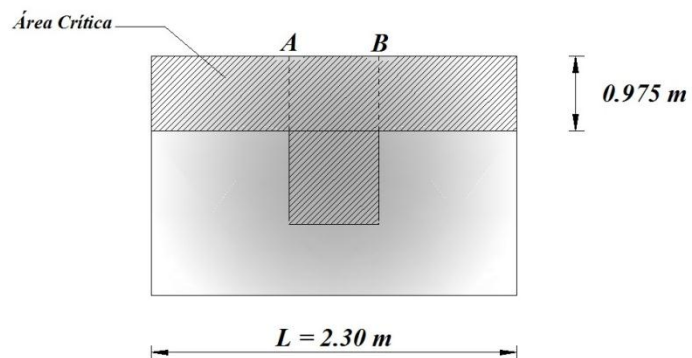
La cuantía necesaria para desarrollar este momento es,

$$\rho = 0.0017 < \rho_{min} = 0.0033, \text{ luego el área de acero, } A_s$$

$$A_s = \rho_{min} b d = 3,149.85 \text{ mm}^2, \quad 16 \text{ N } 5 \quad \text{ó} \quad 1 \text{ N5 @ } 0.14 \text{ m}$$

Diseño de la sección paralela a AB  $B = 2.30 \text{ m}$   $d = 0.415 \text{ m}$

Área crítica para diseño a flexión.



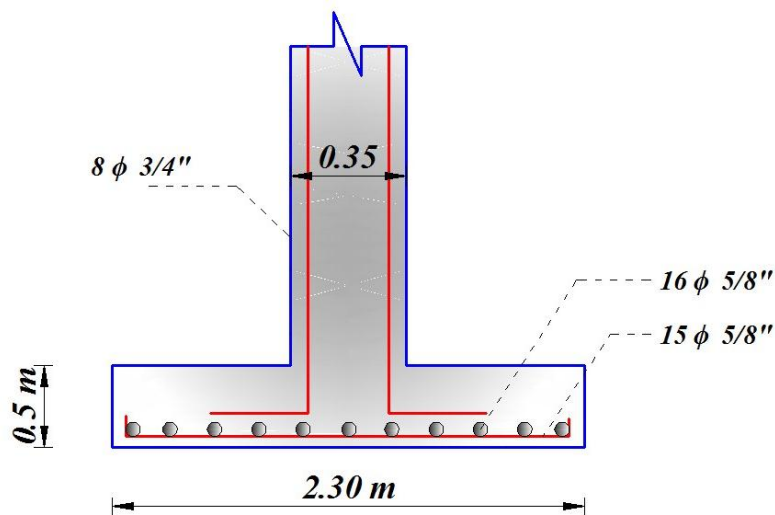
El momento último aplicado en la dirección AB es igual a la semisuma de los momentos producidos por los esfuerzos  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ .

$$M_u = \frac{184.27 + 2.02}{2} \times 2.30 \times \frac{0.975^2}{2} = 101.83 \text{ KN} - \text{m}$$

$$\rho = 0.0007787 \quad A_{s \text{ min}} = \rho_{\text{min}} b d = 3,028.41 \text{ mm}^2 ; \quad B = 2.30 \text{ m} \quad d = 399 \text{ mm},$$

15 N 5 (2,985 mm<sup>2</sup>) ó 1 N 5 @ 0.15 m

Detalle de la zapata.



**Longitud del gancho del refuerzo longitudinal.** La tracción o compresión debida al refuerzo en cada sección debe desarrollarse mediante una longitud embebida, gancho (únicamente a tracción) o dispositivos mecánicos o bien mediante una combinación de los mismos, C.15.6.2 NSR-10.

Gancho estándar a tracción del refuerzo longitudinal.

$$l_{dh} = \frac{0.24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b \geq \left. \begin{array}{l} 8 d_b \\ 150 \text{ mm, el mayor} \end{array} \right\}$$

$\psi_e = \lambda = 1.0$  para concreto de peso normal. (C.15.5.2 NSR-10)

$d_b = 19.1 \text{ mm}$  ( $\phi 3/4"$ )

$8d_b = 152.8 \text{ mm}$

$l_{dh} = \frac{0.24 * 1.0 * 420}{1.0 * \sqrt{24.5}} 19.1 = 388.97 \text{ mm}$ , longitud del gancho de la columna igual a 389 mm

La longitud de anclaje del refuerzo proveniente de la columna es igual a

el mayor entre  $l_{dc} = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$ ,  $(0.043 f_y) d_b$  donde  $0.043 \text{ [mm}^2/\text{N]}$  C.12.3.2 NSR-10

$$l_{dc} = \frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b = 388.97 \text{ mm} > 344.95 \text{ mm}$$

Por lo tanto la altura mínima de la zapata es igual a  $389 + 2(15.9) + 70 = 490.8 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$  asumido en i.).

**Muro de Carga.** Se desea diseñar una zapata corrida para un muro de carga 0.25 m de espesor de ladrillo tolete macizo que conforma una mampostería confinada la cual soporta una carga incluido su peso propio hasta el nivel de fundación de:

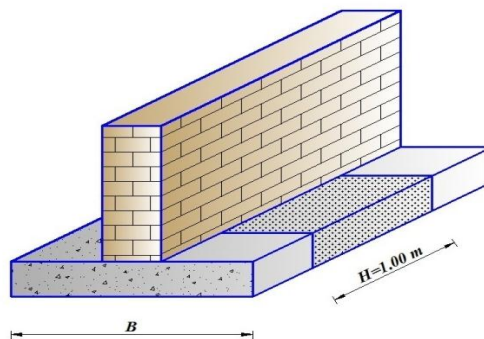
*Carga Ultima* = 150 KN/m

*Presion Admisible del Suelo* = 0.15 MPa (1.5 ton/m<sup>2</sup>)

$f'_c = 21.1 \text{ MPa}$

$f_y = 420 \text{ MPa}$  en todos los diametros

Muro de carga sobre zapata corrida.



### Área de la zapata y $\sigma_u$

Se asume una altura efectiva de zapata  $d = h - 85 = 200 \text{ mm}$  con un factor de Seguridad (F.S):  $F.s = 1.5$ , con una carga de servicio  $W_s = \frac{W_u}{F.s} = \frac{150 \text{ KN/m}}{1.5} \Rightarrow W_s = 100 \text{ KN/m}$ .

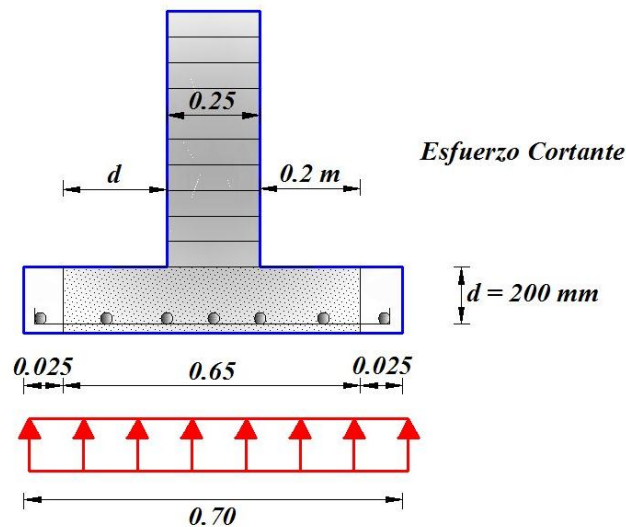
$$\text{El Área de la Zapata} = \frac{W_{serv}}{\sigma_{adm}} = \frac{100 \text{ KN/m}}{150 \text{ KN/m}^2} = 0.67 \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \text{ de longitud del muro}$$

Para  $L = 1.00 \text{ m}$  ;  $B = 0.70 \text{ m} \Rightarrow A = L * B = 0.70 \text{ m}^2 / \text{m de muro}$

$$\text{La presión última del suelo } \sigma_u = \frac{P_u}{A} = \frac{150}{0.70} = 214.3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \text{ m de muro}$$

**Revisión del espesor asumido para la zapata.** Distancia crítica, está a una distancia “d” del borde del muro (cortante)

Localización de la distancia crítica.



Fuerza cortante en la sección crítica

$$V_u = \sigma_u H \left( \frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d \right) = 214.3 (1.0) \left( \frac{0.70}{2} - \frac{0.25}{2} - 0.20 \right) = 5.36 \frac{\text{KN}}{\text{ml}}$$

Resistencia al corte del concreto

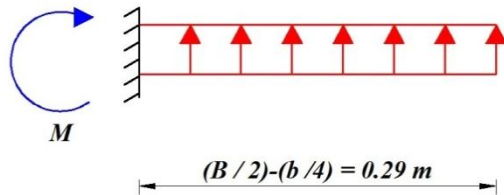
$$\phi V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_0 d$$

$$\phi V_c = 0.17 (1.0) \sqrt{21.1} (3300) (200) = 515.38774 \text{ KN}$$

Se cumple que  $\phi V_c > V_u$  OK. No requiere aumento de la altura efectiva.

**Diseño a Flexión.** La sección crítica a flexión corresponde al punto medio entre el eje central y el borde del muro (C.15.4.2 b. NSR-10).

Diseño a flexión.



$$\frac{B}{2} - \frac{b}{4} = \frac{0.70}{2} - \frac{0.25}{4} = 0.29 \text{ m}$$

Fuente: autor del proyecto

$$M_u = P_u \frac{\left[\frac{B-b}{2}\right]^2}{2} = 214.3 \frac{[0.29]^2}{2} = 9.01 \text{ KN.m, donde } b = 1.00 \text{ m } y \text{ } d = 0.20 \text{ m}$$

La cuantía de acero necesaria es:

$$\phi M_n = M_u = \phi \rho f_y \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c}\right) b d^2 9.01 =$$

$$0.9 \times \rho \times 420.000 \left(1 - 0.59 \rho \frac{420}{21.1}\right) \times 1.0 \times 0.20^2; \rho = 0.0006$$

Se recomienda colocar cuantía mínima debido a la flexión.

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \geq \frac{1.4}{f_y} = 0.003\bar{3} \Rightarrow \rho = 0.00273 < 0.003\bar{3}$$

$$A_s = \rho_{min} b h \Rightarrow h = d + 85 = 285 \text{ mm} \cong 300 \text{ mm}$$

$$A_s = 0.0033 \times 1000 \times 300 = 999.999 \text{ mm}^2$$

Si se coloca varilla de refuerzo de  $\frac{1}{2}$ " ( $A_b = 129 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Se requiere} = \frac{999.99}{129} = 7.75 \text{ barras, en } 1 \text{ m} \Rightarrow \frac{1.00}{7.7519} \cong 0.129 \text{ m}$$

Es decir  $1 \phi \frac{1}{2}$ " @ 0.13 m abajo, pues es la zona sujeta a tracción

Si se usara varillas de  $\frac{5}{8}$ " ( $A_b = 199 \text{ mm}^2$ )

$$\frac{999.99}{199} = 5.025 \text{ barras, en } 1 \text{ m} \Rightarrow \frac{1.00}{5.0251} \cong 0.199 \text{ m}$$

Es decir  $1 \phi \frac{5}{8}$ " @ 0.20 m abajo, se adopto esta separación del refuerzo.

Refuerzo Normal a la armadura principal por efectos de retracción de fraguado y cambios de temperatura

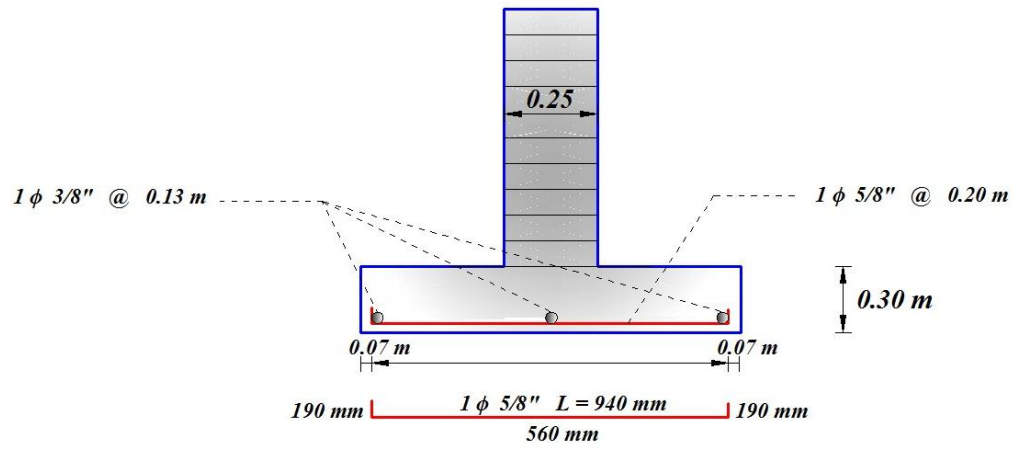
$$A_{s_{temp}} = \rho H h = 0.0018 \times 1000 \times 300 = 540 \text{ mm}^2$$

1  $\phi$  3/8" @ 0.13 m en la dirección longitudinal

Longitud del gancho:  $12 d_b = 190.8 \text{ mm}$  (5/8")  $\cong 200 \text{ mm}$

Luego la altura de la zapata es;  $h = 85 + 190 + 70 = 345 \text{ mm}$

Despiece de la zapata.



**Anexo B.** Software diseño de cimentaciones

Ver archivo adjunto