

**ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES
MEDIANTE EL USO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.**

**JOSE ANDRES PEÑA MOGOLLON
KAREN TATIANA VARGAS VESGA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES
MEDIANTE EL USO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.**

**JOSE ANDRES PEÑA MOGOLLON
KAREN TATIANA VARGAS VESGA**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil.

**Director
Ing. Wilfredo Del Toro Rodríguez
ING. CIVIL M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

*En primera estancia le doy gracias a Dios por ayudarme a lograr cada una de las metas
propuestas a lo largo de mi vida.*

*También agradezco a mis padres que me han apoyado paso a paso para alcanzar cada
uno de mis objetivos, brindándome oportunidades y enseñándome a valorar cada cosa
sencilla de la vida.*

Mi familia que son el motor y ánimo para querer y lograr ser mejor cada día.

*Agradezco una vez más a mis amigos por sus palabras de aliento cuando las circunstancias
no eran las mejores, por esos buenos momentos porque siempre había una sonrisa.*

*Gracias a todos aquellos que han hecho posible que el día de hoy pueda escribir estas
palabras.*

Karen Tatiana Vargas Vesga

*Doy gracias a DIOS, porque me guió y me dio fortaleza en los momentos que creí
desfallecer.*

*A mi madre santa Graciela Mogollón Mogollón que es lo más sagrado que tengo en mi vida
por su apoyo incondicional en todo.*

A mi padre José Edmundo Mogollón por su fe y confianza en cada uno de mis actos.

A mi hermano Miguel Ángel Rincón, porque fue mi cómplice y ejemplo a seguir.

*A la memoria de mis abuelitos Edmundo Mogollón y Ana Pascuala Mogollón, porque
siempre inculcaron en mí el amor, los valores y el emprendimiento para ser una persona
recta, a toda la familia MOGOLLÓN por sus buenos consejos.*

*A Carolina Acevedo, por su amor y apoyo, a mis amigos, porque con ellos compartí
momentos especiales y divertidos; mil gracias a todos ellos, el cual hicieron realidad mi gran
sueño.*

Jose Andrés Peña Mogollon

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1 OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
2 DEFINICIÓN DE CIMENTACIÓN O FUNDACIÓN	19
2.1 CLASIFICACION DE LAS CIMENTACIONES:	19
2.1.1 FUNDACIONES SUPERFICIALES	19
2.1.2 Cimentación ciclópea	26
2.1.3 Fundaciones profundas	27
2.1.4 Fundaciones compensadas	29
3. FACTORES PRELIMINARES QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA PARA EL DISEÑO DE UNA CIMENTACIÓN.	31
3.1 DESCRIPCION DE LOS FACTORES	32
3.1.1 Evaluación de las cargas aplicadas a nivel de la cimentación.	32
3.1.2 Perfil estratigráfico	32
3.1.3 Determinación del nivel freático máximo.	32
3.1.4 Determinación de la profundidad de la cimentación.	32
3.1.5 Determinación de la capacidad de carga del estrato de soporte	33
3.1.6 Dimensionamiento	33
3.1.7 Verificación de los esfuerzos en las capas inferiores.	33
3.1.8 Determinación de los asentamientos totales y diferenciales.	34
3.1.9 Chequeos de estabilidad.	35
3.1.10 Diseño de cimientos.	35
3.1.11 Procedimiento constructivo.	36
3.1.12 Obras adicionales.	36
4 CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO	36
4.1 MODOS DE FALLA POR CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO EN FUNDACIONES SUPERFICIALES	36
4.1.1 Falla cortante general	37

4.1.2 Falla cortante local _____	38
4.1.3 Falla punzonante _____	38
5 ASPECTOS ESTRUCTURALES _____	38
5.1 CARGAS Y REACCIONES EN UNA CIMENTACIÓN _____	38
5.1.1 Cargas aplicadas a fundaciones _____	39
5.2 Momentos en zapatas _____	40
5.3 Cortantes en zapatas _____	41
5.4 Desarrollo del refuerzo en zapatas _____	42
5.5 Altura mínima en las zapatas _____	42
5.6 Vigas de enlace de la cimentación _____	42
5.7 VIGAS DE AMARRE DE LA CIMENTACIÓN _____	43
5.7.1 Fuerzas de diseño: _____	43
5.7.2 Dimensiones mínimas: _____	43
5.7.3 Refuerzo longitudinal: _____	44
5.7.4 Refuerzo transversal: _____	44
6 METODO DE ELEMENTOS FINITOS _____	44
6.1 MODELAMIENTO ESTRUCTURA EDIFICIO _____	44
6.1.1 Descripción del proyecto _____	44
6.1.2 Método de análisis _____	46
6.1.3 Método de diseño _____	46
6.1.4 Especificaciones de los materiales _____	46
6.1.5 Estructura edificio _____	47
7 ANALISIS DE CIMENTACION POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS _____	47
7.1 COEFICIENTE DE BALASTO O MODULO DE WINKLER _____	48
7.2 DIMENSIONAMIENTO ZAPATAS _____	49
7.2.1 Cimentación combinada rectangular _____	49
7.2.2 Cimentación combinada trapezoidal. _____	52
7.3 SIMULACION DE LAS ZAPATAS _____	56
7.3.1 MODELO 1 CIMIENTO FLEXIBLE SOBRE SUELO ARENOSO _____	58
7.3.2 MODELO 2 CIMIENTO FLEXIBLE SOBRE SUELO ARCILLOSO _____	61

7.3.3 MODELO 3 CIMIENTO RIGIDO SOBRE SUELO ARENOSO	64
7.3.4 MODELO 4 CIMIENTO RIGIDO SOBRE SUELO ARCILLOSO	67
8. CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFIA	71
ANEXOS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de cimentaciones superficiales _____	20
Figura 2. cimentacion aislada cuadrada _____	21
Figura 3. cimentacion aislada rectangular _____	22
Figura 4. Losa de cimentacion _____	25
Figura 5. Tipos de losa de cimentacion _____	26
Figura 6. Relación de niveles entre zapatas _____	33
Figura 7. Falla cortante en los suelos fragiles _____	38
Figura 8. Falla punzonante en los suelos sueltos _____	39
Figura 9. Corte en alzado edificio _____	45
Figura 10. Planta tipo _____	45
Figura 11. Imagen modelamiento en sap _____	48
Figura 12. Imagen en planta cimentacion edificio _____	49
Figura 13. Dimensionamiento cimentacion combinada rectangular _____	49
Figura 14. Dimensionamiento cimentacion combinada trapezoidal _____	52
Figura 15. Dimensionamiento cimentacion combinada con viga de enlace _____	54
Figura 16. Imagen en planta de los tres tipos de zapata a estudiar _____	57
Figura 17. Imagen en 3D de las zapatas con las cargas de servicio _____	57
Figura 18. Imagen cimentación combinada rectangular suelo arenoso _____	58
Figura 19. Imagen cimentación combinada trapezoidal suelo arenoso _____	59
Figura 20. Deformacion cimentacion con viga de enlace suelo arenoso _____	60
Figura 21. Imagen cimentación combinada rectangular suelo arcilloso _____	61
Figura 22. Imagen cimentación combinada trapezoidal suelo arcilloso _____	62
Figura 23. Deformacion cimentacion con viga de enlace suelo arcilloso _____	63
Figura 24. imagen cimentacion rectangular suelo arenoso _____	64
Figura 25. imagen cimentacion trapezoidal suelo arenoso _____	65
Figura 26. imagen cimentacion con viga de enlace suelo arenoso _____	66
Figura 27. imagen cimentacion rectangular suelo arcilloso _____	67
Figura 28. imagen cimentacion trapezoidal suelo arcilloso _____	68
Figura 29. imagen cimentacion con viga de enlace suelo arcillosos _____	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores maximos de asentamiento _____	35
Tabla 2. Valores tomado de módulo de balasto _____	48
Tabla 3. Datos de entrada cimentación rectangular _____	50
Tabla 4. Datos de entrada cimentación trapezoidal _____	52
Tabla 5. Datos de entrada cimentación con viga de enlace _____	54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. TABLA DE DEFORMACIONES ZAPATA FLEXIBLE EN ARCILLA RIGIDA _____ **72**

ANEXO B TABLA DE DEFORMACIONES ZAPATA FLEXIBLE EN ARCILLA RIGIDA _____ **75**

RESUMEN

TITULO: ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES MEDIANTE EL USO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.

**AUTORES: PEÑA MOGOLLON, Jose Andrés
VARGAS VESGA, Karen Tatiana**

PALABRAS CLAVES: estructural, superficial, cimentación combinada, suelo, coeficiente de balasto, reacción, esfuerzo, deformación.

DESCRIPCIÓN:

El modelamiento estructural del edificio es la base inicial del estudio del análisis del comportamiento de las cimentaciones. En el modelo se plantearan las combinaciones de cargas establecidas por la normativa vigente NSR-10, tomando como referencia los valores críticos de la envolvente generada por el programa. Se dimensionaron las zapatas con las reacciones obtenidas en el modelo, diseñando con estos valores los diferentes tipos de cimentación que serán analizadas variando los tipos de suelo.

Las simulaciones en el software de análisis por elementos finitos se realizaron variando los módulos de soporte del suelo o coeficiente de balasto, de tal forma que se represente las diferentes condiciones de las arcillas y de las arenas contempladas en el estudio; simultáneamente se realizara un comparativo entre un cimiento rígido y flexible para cada una de las condiciones expuestas anteriormente.

Con base en lo anterior se pretende establecer las diferentes condiciones a las que se puede realizar una cimentación con el fin de establecer una relación directa entre el tipo de suelo y la cimentación tratada sin tener una dependencia directa de la carga ya que esta no se varía a lo largo de la simulación, por lo que se busca es optimizar el diseño para disminuir las deformaciones unitarias y totales.

La finalidad del estudio pretende obtener con las gráficas de esfuerzo-deformación los puntos críticos de las zapatas dependiendo del tipo de suelo.

*Proyecto de grado

**Facultad de ingenierías Físico-mecánica. Escuela de ingeniería civil. Director. Wilfredo Del Toro
M SC

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF SUPERFICIAL FOUNDATIONS BY MEANS OF THE USE OF THE FINITE ELEMENTS

**AUTORES: PEÑA MOGOLLON, José Andrés
VARGAS VESGA, Karen Tatiana**

KEYWORDS: Structural, superficial, combined foundation, soil, coefficient of ballast, reaction, effort, deformation.

DESCRIPTION:

The modelamiento structural of the building is the initial base of the study of the analysis of the behaviour of the cimentaciones. In the model posed the combinations of loads established by the valid rule NSR-10, taking like reference the critical values of the envolvente generated by the program. Dimensioned The zapatas with the reactions obtained in the model, designing with these values the different types of foundation that will be analysed varying the types of soil.

The simulations in the software of analysis by finite elements to make varying the modules of support of the soil or coefficient of balasto, of such form that represent the different conditions of the clays and of the sands contemplated in the study; Simultaneously there will be a comparison between a rigid and flexible foundation for each of the conditions described above.

With base in the previous pretends establish the different conditions to which can make a foundation with the end to establish a direct relation between the type of floor and the foundation treated without having a direct dependency of the load since this no varied along the simulation, By what looks for is to optimize the design to diminish the unitary and total deformations.

The goal of the study tries to obtain with the graphs of effort - deformation the critical points of the shoes depending on the type of soil.

The purpose of the study pretends to obtain with the graphic of effort-deformation the critical points of the zapatas depending of the type of soil.

*Grade work

**Physical Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director. Wilfredo Del Toro M SC

INTRODUCCION

En particular para este proyecto se debe tener en cuenta la transmisión de cargas entre la estructura y el terreno. Para que esto sea posible se busca conocer las propiedades geotécnicas de los suelos, el origen, naturaleza de la estratificación y el comportamiento de cada uno de sus componentes, logrando así una buena compresión durante y después de su ejecución.

Al apoyarse la estructura sobre el terreno, este pasa a conformar una parte más de la misma, dado que el suelo por sus condiciones naturales, presenta menos resistencia y mayor deformación que los demás componentes que conforman la edificación, por esta razón se buscan artificios que transmitan las cargas sobre el terreno de una manera adecuada para que el mismo no falle o se deforme al exceder su resistencia puntual, este artificios son la cimentaciones o apoyos de la estructura.

Las cimentaciones o apoyos deben ser dimensionados en base a las características del terreno y las cargas de la estructura, las cuales son de distinto tipo de acuerdo a la utilidad que se busca y al comportamiento natural.

Por medio de este proyecto se obtendrá respuesta a la necesidad de verificar el comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos y su interacción con la cimentación. Esta verificación se pretende realizar mediante la utilización del método de los elementos finitos, con base en los parámetros de los tipos de suelos involucrados.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar el análisis del comportamiento de cimentaciones superficiales, mediante el uso de elementos finitos.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar la cimentación combinada trapezoidal, combinada rectangular, cimientos vinculados con vigas de enlace y el tipo de suelo para los análisis.
- Considerar las deformaciones totales que se presentan en la cimentación dependiendo de la carga que solicita la estructura, clase de cimentación y tipo de suelo.
- Analizar el resultado de la cimentación en cuanto a deformaciones diferenciales.
- Realizar un análisis comparativo de los tres casos de modelamiento realizados

2 DEFINICIÓN DE CIMENTACIÓN O FUNDACIÓN

Es el conjunto de los elementos estructurales destinados a transmitir las cargas actuantes de una estructura al suelo o roca de apoyo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible y que no produzcan cargas zonales. Los cimientos en general son elementos de volumen considerables, con respecto al volumen de los elementos de la estructura.

En algunos casos, los cimientos no solo transmiten cargas a compresión, sino que mediante esfuerzos de rozamiento y adherencia llegan a soportar cargas horizontales y de tracción, anclando la estructura al suelo, si fuese necesario.

El suelo juega un papel importante, es por eso que la interacción suelo-estructura es transcendental para el cálculo de la cimentación y a su vez depende de las deformaciones relativas del suelo y del cimiento.

2.1 CLASIFICACION DE LAS CIMENTACIONES:

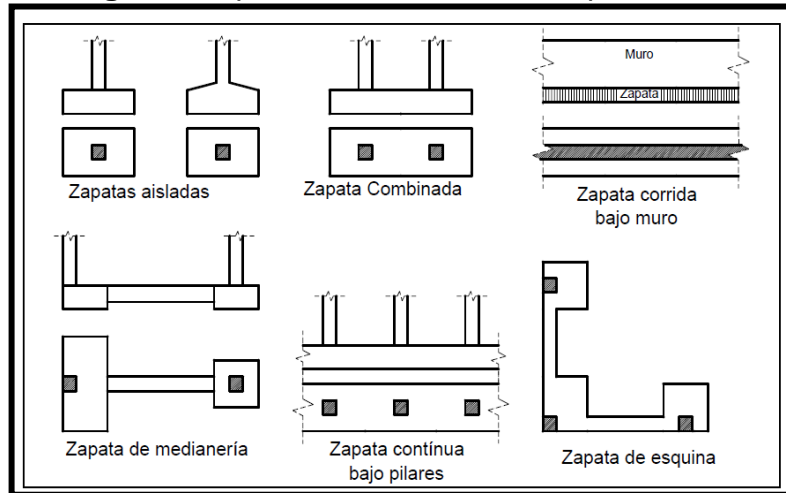
2.1.1 FUNDACIONES SUPERFICIALES

Cuando a nivel de la zona inferior de la estructura o próximo a él, el terreno presenta características adecuadas desde los puntos de vista técnico y económico para cimentar sobre él, la cimentación se denomina superficial o directa.

Una cimentación superficial es un elemento estructural cuya sección transversal es de dimensiones grandes con respecto a la altura y cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades relativamente cortas, menores de 4 m aproximadamente con respecto al nivel de la superficie natural de un terreno o de un sótano.

Este tipo de cimentación, cuyo sistema constructivo generalmente no presentan mayores dificultades pueden ser de varios tipos, según su función: zapata aislada, zapata combinada, zapata corrida y losa de cimentación.

Figura1: Tipos de cimentaciones superficiales



Fuente: Autores del proyecto (autocad)

2.1.1.1 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 hace referencia al asentar la carga de un único pilar. Es el tipo de zapata más simple, aunque cuando el momento flector en la base del pilar es excesivo no son adecuadas.

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.

Podemos encontrar diferentes tipos de zapatas aisladas:

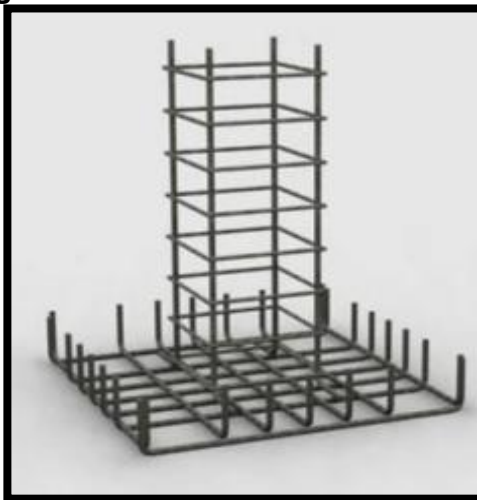
2.1.1.2 Zapata aislada cuadrada.

La zapata aislada comúnmente se utiliza para transportar la carga concentrada de una columna cuya función principal consiste en aumentar el área de apoyo en ambas direcciones.

En general, su construcción se aconseja cuando la carga de la columna es aproximadamente 75% más baja que la capacidad de carga admisible del suelo. Se recomienda que la zapata aislada deba emplearse cuando el suelo tenga una capacidad de carga admisible no menor de 10000 kg/m², con el fin de que sus lados no resulten exageradamente grandes.

El cálculo de estas zapatas se basa en los esfuerzos críticos a que se encuentran sometidas, pero su diseño lo determinan el esfuerzo cortante de penetración, la compresión de la columna sobre la zapata, el esfuerzo de flexión producido por la presión ascendente del suelo contra la propia zapata, los esfuerzos del concreto en el interior de la zapata, así como el deslizamiento o falta de adherencia del acero con el concreto.

Figura 2: Cimentación aislada cuadrada



Fuente: Autores del proyecto (autocad)

2.1.1.3 Zapata aislada rectangular.

Las zapatas aisladas rectangulares son prácticamente iguales a las cuadradas; ambas trabajan y se calculan en forma similar, se recomienda construirla en aquellos casos donde los ejes entre columnas se encuentran limitados o demasiado juntos. Por su forma rectangular presenta dos secciones críticas distintas para calcular por flexión. En zapatas que soporten elementos de concreto, será el plomo vertical tangente a la cara de la columna o pedestal en ambos lados de la zapata.

En zapatas aisladas rectangulares en flexión en dos direcciones, el refuerzo paralelo al lado mayor se distribuirá uniformemente.

La zapata se organiza de igual forma si es rectangular, aunque en este caso el emparrillado deja de ser simétrico.

Figura 3: Cimentación aislada rectangular



Fuente: Autores del proyecto

2.1.1.4 Zapata aislada descentradas.

Las zapatas aisladas descentradas tienen la particularidad de que las cargas que sobre ellas recaen, lo hacen en forma descentrada, por lo que se producen unos momentos de vuelco que habrá de contrarrestar. Pueden ser de medianería y de esquina.

Las formas de trabajo se solucionan y realizan como la zapata aislada con la salvedad de la problemática que supone el que se produzcan momentos de vuelco, debido a la excentricidad de las cargas. Algunas de las soluciones para evitar el momento de vuelco sería utilizando una viga centradora o bien vigas o forjados en planta primera. Utilizando viga centradora, está a través de su trabajo a flexión, tiene la misión de absorber el momento de vuelco de la zapata descentrada. Deberá tener gran inercia y estar fuertemente armada.

Con vigas o forjados en planta primera, para centrar la carga podemos recurrir a esta opción. La viga o forjado deberá dimensionarse o calcularse para la combinación de la flexión propia más la tracción a la que se ve sometida con el momento de vuelco inducido por la zapata.

2.1.1.5 Zapatas continuas

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 arrostramiento, 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.

Con el fin de darle rigidez lateral al sistema de cimentación, las zapatas aisladas siempre deben interconectarse en ambos sentidos por medio de vigas de amarre.

2.1.1.6 Zapatas combinadas

Una zapata combinada es un elemento estructural que se caracteriza por soportar y trasladar al suelo la carga de 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.

Las zapatas combinadas se plantean en casos intermedios, esto es, suelos de mediana compresibilidad y cargas no muy altas. Con esta solución se busca una reducción de esfuerzos, dándole cierta rigidez a la estructura, de modo que se restrinjan algunos movimientos relativos.

2.1.1.7 Losas de cimentación

Una losa de cimentación es una placa flotante apoyada directamente sobre el terreno o grupo de pilotes que sirve de cimentación la cual reparte el peso y las cargas del edificio sobre toda la superficie de apoyo.

Esta puede ocupar superficies iguales o aún mayores que la proyección horizontal de la superestructura y conformar verdaderas infraestructura continuas de fundación. Son apropiadas para controlar asentamientos diferenciales y disminuir esfuerzos, en variadas situaciones de carga, disposición estructural y condiciones del suelo portante.

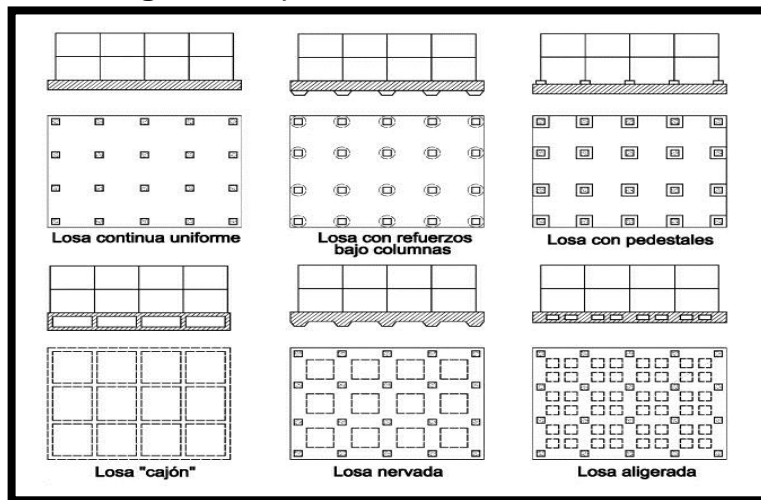
Generalmente es empleada cuando la cimentación se encuentra por debajo del nivel freático, la resistencia del terreno es baja, las estructuras son poco deformables con objeto de disminuir los asentamientos diferenciales en terrenos poco homogéneos.

Figura 4: losa de cimentación



Fuente: Autores del proyecto

Figura 5: Tipos de losa de cimentación



Fuente: Autores del proyecto

2.1.2 Cimentación ciclópea

En terrenos cohesivos donde la zanja puede hacerse con parámetros verticales y sin desprendimiento de tierras, el cimiento de concreto ciclópeo es sencillo y económico.

La técnica del hormigón ciclópeo o el procedimiento para su construcción consiste en ir vaciando dentro de la zanja roca (roca rajón) de diferentes tamaños al tiempo que se vierte la mezcla de concreto en proporción 60:40, procurando mezclar perfectamente el concreto con las rocas, de tal forma que se evite la continuidad en sus juntas

- Que las piedras no queden amontonadas.
- Alternar en capas el hormigón y las piedras.
- Cada piedra debe quedar totalmente envuelta por el hormigón.

2.1.3 Fundaciones profundas

Se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o más exactamente en la fricción vertical entre la cimentación y el terreno. Por eso deben ser más profundas, para poder proveer sobre una gran área de la cual distribuir un esfuerzo suficientemente grande para soportar la carga. Este tipo de cimentación se utiliza cuando se tienen circunstancias especiales: Una construcción determinada extensa en el área de austerar. Una obra con una carga demasiado grande no pudiendo utilizar ningún sistema de cimentación especial.

Una cimentación profunda es una estructura cuya sección transversal es pequeña con respecto a la altura y cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades comprendidas aproximadamente entre 4 m y 40 m.

En una cimentación profunda, no solamente se presentan reacciones de compresión en el extremo inferior del elemento sino también laterales. En efecto, la cimentación profunda puede estar sometida a momentos y fuerzas horizontales, en cuyo caso, no solo se desarrollará una distribución de esfuerzos en el extremo inferior del elemento, sino también lateralmente, de modo que se equilibren las fuerzas aplicadas. En consecuencia, el comportamiento estructural de una cimentación profunda se asimila al de una columna.

Las cimentaciones profundas pueden ser:

2.1.3.1 Pilotes

Se denomina pilote a un elemento constructivo utilizado para cimentación profunda de obras, que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo, cuando este se encuentra a una profundidad tal que hace inviable,

técnica o económicamente, una cimentación más convencional mediante zapatas o losas.

Los pilotes son elementos estructurales más esbeltos que las pilas, los cuales pueden alcanzar grandes profundidades.

Son construidos de diferentes formas, tamaños y materiales (madera, concreto y acero).

2.1.3.2 Pilas

En la ingeniería de cimentaciones el termino pila tiene dos significados diferentes. De acuerdo con uno de sus usos la pila es un miembro estructural subterráneo que tiene la función que cumple una zapata, es decir transmitir las cargas que soporta al suelo. Sin embargo, en contraste con una zapata, la relación de la profundidad de la cimentación con respecto a la base de las pilas es por lo general mayor que cuatro, mientras que para las zapatas, esta relación es menor que la unidad.

Cuando se utilizan pilas como sistema de cimentación, generalmente se emplea un elemento por apoyo. Las pilas están asociadas a cargas muy altas, a condiciones del suelo superficialmente desfavorables y a condiciones aceptables en los estratos profundos del suelo, a donde se transmitirán las cargas de la estructura. Estas siempre son pre-excavadas y vaciadas en el sitio. El sistema constructivo empleado, tendrá incidencia en el diseño.

2.1.3.3 Caisson

Conocido por su nombre en francés caisson, es un tipo de cimentación profunda, utilizada cuando los suelos no son adecuados para cimentaciones superficiales por ser blandos.

La particularidad del pozo de cimentación es la de que se va construyendo a medida que se va hundiendo en el terreno. La sección transversal del *caisson* generalmente es circular, pero existen también secciones cuadradas, rectangulares o elípticas.

Se emplean cuando las cargas son significativamente altas en grandes estructuras como puentes. Pueden ser abiertos, cerrados o neumáticos. Estos son de sección hueca con un gran anillo de concreto reforzado.

2.1.4 Fundaciones compensadas

La compensación radica en el balance total o solo parcial de pesos. Este tipo de fundación consiste en remover permanentemente mediante excavación un peso del suelo equivalente a una fracción debidamente estudiada del peso total de la edificación y cimentar a la profundidad conveniente, preferiblemente por una placa.

Dentro del análisis de fundaciones compensadas se puede concluir que este tipo de cimentaciones necesita una gran profundidad de empotramiento, pues, se necesita disminuir los asentamientos que sean nocivos para la edificación.

2.1.4.1 Tipo I

La resistencia del suelo de fundación es tal que no constituye un problema la falla por corte para las cargas del edificio, pero se pueden presentar asentamientos en especial los diferenciales que al ser tan grandes constituyen una falla de cimentación.

2.1.4.2 Tipo II

La resistencia del suelo es tan baja que se producen fallas por cortante del suelo si la estructura se cimentara sobre la superficie del primer manto portante.

Factores que determinan la selección del tipo de cimentación:

El tipo de cimentación más adecuado para una estructura dada, depende de varios factores, como su función, las cargas que debe soportar, las condiciones del subsuelo y el costo de la cimentación comparado con el costo de la superestructura.

En ocasiones se selecciona un tipo de fundación por su conveniencia desde los puntos de vista de la economía y el procedimiento constructivo, no obstante funcionalmente hubiera sido acertado elegir otro tipo de fundación.

Al elegir el tipo de cimentación se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Obtener información aproximada con respecto a la naturaleza de la estructura y de las cargas que se van a transmitir a las cimentaciones.
- Determinar las condiciones del suelo en forma general.
- Considerar cada uno de los tipos de cimentaciones empleados y así determinar si puede soportar las cargas necesarias y si puede experimentar asentamientos perjudiciales.

- Hacer estudios detallados que muestren las alternativas más prometedoras, para estos estudios se requiere de las cargas y condiciones del subsuelo, y de esta manera también se podrá determinar el tamaño aproximado de las zapatas y pilas. También puede ser necesario estimaciones de los asentamientos, con el fin de predecir el comportamiento de la estructura.
- Preparar una estimación del costo de cada alternativa viable de la cimentación y elegir el tipo que represente la transacción más aceptable entre el funcionamiento y el costo.

3 FACTORES PRELIMINARES QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA PARA EL DISEÑO DE UNA CIMENTACIÓN.

- Las cargas son transmitidas verticalmente a la zapata, esta a su vez la sostiene la presión hacia arriba del suelo.
- Cuando la carga es simétrica al área de contacto, la presión de contacto es asumida uniformemente distribuida.
- Para suelos granulares gruesos, la presión es mayor en el centro de la zapata y disminuye hacia el perímetro.
- Para suelos arcillosos, las presiones son mayores hacia el borde de la zapata y disminuyen hacia el centro debido.
- En suelos altamente compresibles las zapatas deben ser cargadas concéntricamente para evitar la inclinación si la presión de contacto es mayor en un lado, que del otro lado.
- En suelos altamente compactados o en rocas las zapatas pueden ser cargadas excéntricamente.

3.1 DESCRIPCION DE LOS FACTORES

3.1.1 Evaluación de las cargas aplicadas a nivel de la cimentación.

Carga total= CD+CL (reducida según códigos)+ C nieve + reacciones verticales de presiones laterales + sub-presiones o fuerzas hacia arriba.

Carga de servicio o de trabajo= CD+ ½ CL

3.1.2 Perfil estratigráfico

Debe conocerse la composición del perfil estratigráfico así como las características del suelo que la componen.

3.1.3 Determinación del nivel freático máximo.

Debemos conocer la posición del agua subterránea y sus fluctuaciones estacionales.

3.1.4 Determinación de la profundidad de la cimentación.

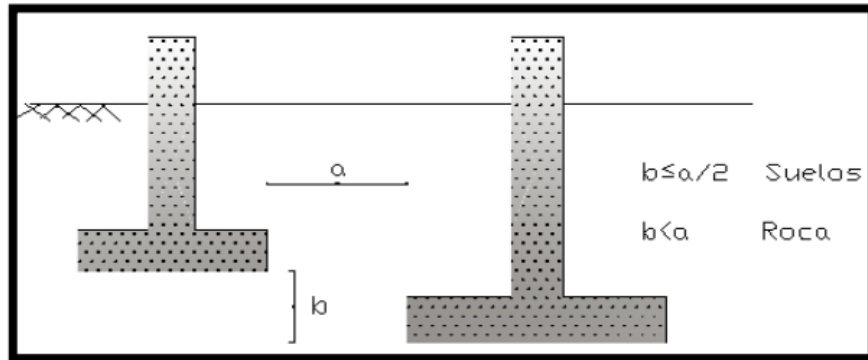
Una cimentación nunca deberá ser colocada sobre o dentro de una capa de suelo orgánico, relleno de escombros y/o basuras o sobre una cimentación abandonada. Los cimientos deben ser desplantados por debajo de la línea de congelación, en las zonas propicias para ello.

En lo posible no se deben colocar cimentaciones sobre las superficies del terreno mismo donde no se presenten problemas de congelación y capacidad de carga.

Los cimientos en taludes deben tener una protección mínima contra la erosión.

La diferencia entre las profundidades de los cimientos no debe ser tan grande como para que se produzcan una superposición de esfuerzos entre ellos.

Figura 6: Relación de niveles entre zapatas



Fuente: Autores del proyecto

3.1.5 Determinación de la capacidad de carga del estrato de soporte

Capacidad de carga a partir de ecuaciones teóricas.

Capacidad de carga a partir de ensayos de campo, SPT.

$$q_{ult} = f(D_f, B)$$

3.1.6 Dimensionamiento

El tamaño de la cimentación es determinado por medio de la capacidad de carga admisible usualmente es satisfactorio siempre y cuando los asentamientos no sean excesivos.

3.1.7 Verificación de los esfuerzos en las capas inferiores.

Se debe calcular los esfuerzos producidos por la colocación de la carga sobre el cimiento en las capas inferiores mediante los métodos de Newmark, fadum, jambú, etc. verificar si producen grandes asentamientos totales o diferenciales que pueden comprometer el funcionamiento o seguridad de la estructura.

3.1.8 Determinación de los asentamientos totales y diferenciales.

3.1.8.1 ASENTAMIENTOS TOTALES

Son los asentamientos inmediatos, por consolidación y secundarios si se llegan a considerar importantes.

3.1.8.2 ASENTAMIENTOS INMEDIATOS

Los asentamientos inmediatos dependen de las propiedades de los suelos a bajas deformaciones, en cuyo caso puede aceptarse su comportamiento elástico, y de la rigidez y extensión del cimiento mismo.

3.1.8.3 ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACIÓN

Los asentamientos por consolidación se producen por la migración del agua hacia afuera de los suelos saturados, como respuesta a una sobre carga externa.

3.1.8.4 ASENTAMIENTOS SECUNDARIOS

La consolidación secundaria puede definirse como la deformación en el tiempo que ocurre esencialmente a un esfuerzo efectivo constante. No obstante, las deformaciones propias de la consolidación primaria pueden coincidir en el tiempo, con las de la consolidación secundaria.

3.1.8.5 Límites de asentamientos totales:

Asentamientos totales calculados a 20 años

- Para construcciones aisladas 30 cm, siempre y cuando no afecten la funcionalidad de conducciones de servicios y accesos a la construcción.
- Para construcciones entre medianeros 15cm, siempre y cuando no afecten las construcciones e instalaciones vecinas.

3.1.8.6 Límites de asentamientos diferenciales:

Los valores deben ser fijados de acuerdo a la siguiente tabla. Dependiendo del tipo de estructura los valores máximos pueden ser L / 1000, L / 500 , L / 300 , L / 160.

Tabla 1. Valores máximos de asentamientos

TIPOS DE CONSTRUCCION	Δ MAX
Edificación con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L/1000
Edificaciones con muros de carga en concreto o mampostería	L/500
Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L/300
Edificaciones en estructuras metálicas, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L/160

Fuente: Autores del proyecto

3.1.9 Chequeos de estabilidad.

Contra fuerzas horizontales $F.S = \frac{P_p - P_A + R}{Q_H}$

3.1.10 Diseño de cimientos.

Se debe realizar de acuerdo con las normas vigentes en este caso siguiendo los alineamientos de la norma colombiana sismo resistente de 2010 (NSR 10).

3.1.11 Procedimiento constructivo.

Es de suma importancia la selección de materiales, los transportes, la clase de excavación, las medidas de soporte temporal estabilización de taludes y el sistema constructivo. Se refiere en general a las condiciones constructivas vinculadas a los costos y su programación.

3.1.12 Obras adicionales.

Debe ser verificada la necesidad de obras adicionales para poder garantizar la estabilidad de las cimentaciones, tales como sistemas permanentes de drenaje, impermeabilizaciones, entre otros.

4 CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

La capacidad de carga de los cimientos depende de la configuración, resistencia al corte, compresibilidad del terreno de fundación en el sitio, en los factores introducidos por la construcción y el funcionamiento de las estructuras.

Para dimensionar los cimientos en función de la magnitud de las cargas se debe determinar un valor de presión media que se aplique en el contacto suelo-fundación permitiendo un comportamiento favorable del cimiento.

La presión que se acostumbra denominar presión portante permisible constituye una medida de la capacidad de carga del suelo de soporte en un sitio dado.

4.1 MODOS DE FALLA POR CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO EN FUNDACIONES SUPERFICIALES

Analizando el comportamiento de fundaciones reales y modelos de fundación, se identificó tres modos diferentes de falla del suelo en los cimientos superficiales bajo cargas estáticas.

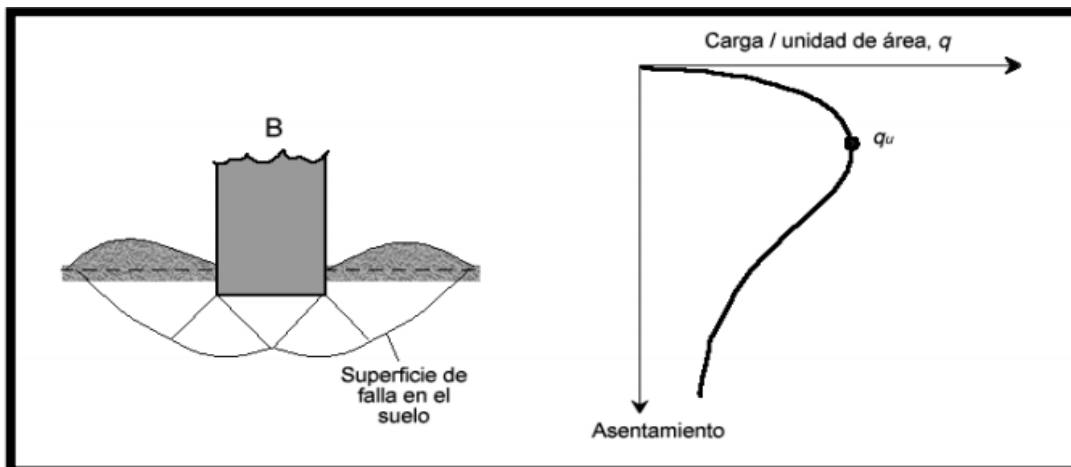
- Falla cortante general
- Falla cortante local
- Falla punzonante

Si tenemos una fundación de ancho B , cimentada sobre un depósito homogéneo de suelo granular denso o cohesivo firme, y se aplica sobre la fundación una carga gradualmente, también el asentamiento incrementará.

4.1.1 Falla cortante general

Cuando la presión de fundación es igual a q_u , tenemos una falla súbita del suelo que soporta la cimentación y la zona de falla se extenderá hasta la superficie del suelo. La magnitud de dicha presión de fundación se denomina **capacidad portante última de la fundación**. Cuando se presenta este tipo de falla se denomina falla cortante general. Esta falla ocurre en suelos frágiles como arcillas rígidas o duras y en arenas densas.

FIGURA 7: Falla cortante en suelos frágiles



Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica Braja M. Das

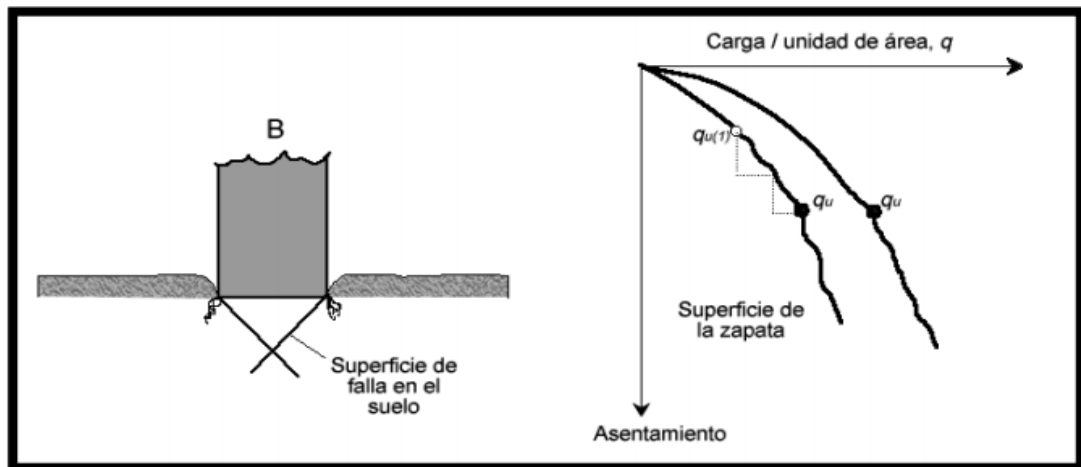
4.1.2 Falla cortante local

Cuando la cimentación descansa sobre un suelo granular con densidad media o un material cohesivo de consistencia media (suelo arenoso o arcilloso medianamente compactado) y se incrementa el asentamiento con la carga, en este caso la superficie de falla se extiende gradualmente hacia afuera desde el eje vertical de la fundación. Cuando se presenta este tipo de falla se denomina falla cortante local.

4.1.3 Falla punzonante

Cuando un suelo muy suelto soporta la cimentación, la zona de falla en el suelo no se extenderá hasta la superficie del terreno. La grafica carga – asentamiento se inclinara y prácticamente será lineal. Este tipo de falla en el suelo se denomina falla punzonante.

FIGURA 8: Falla punzonante en suelos sueltos



Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica Braja M. Das

5 ASPECTOS ESTRUCTURALES

5.1 CARGAS Y REACCIONES EN UNA CIMENTACIÓN

En el estudio y diseño de las fundaciones se debe considerar la totalidad de las cargas y las fuerzas posibles que actúan sobre la estructura y la cimentación.

Las zapatas deben diseñarse para resistir las cargas mayoradas y las reacciones inducidas.

El área base de la zapata o el número y distribución de pilotes debe determinarse a partir de las fuerzas y momentos no mayorados transmitidos al suelo o a los pilotes a través de la zapata, y debe ser determinado mediante principios de mecánica de suelos, la resistencia admisible del suelo o la capacidad admisible de los pilotes.

El cálculo de los momentos y esfuerzos de cortante para zapatas apoyadas sobre pilotes puede basarse en la suposición de que la reacción de cualquier pilote está concentrada en el centro del mismo.

Para diseñar por resistencia una zapata o cabezal de pilote, debe determinarse la presión de contacto del suelo o la reacción del pilote debido a las cargas mayoradas aplicadas.

En el caso de cargas excéntricas, los factores de carga pueden causar excentricidades y reacciones diferentes de las obtenidas con las cargas no mayoradas.

5.1.1 Cargas aplicadas a fundaciones

- Cargas verticales: cargas muertas, cargas vivas, flotación por agua subterránea, arrastre hacia abajo, expansión.
- Cargas laterales: del viento, de sismos, presiones laterales de tierra, presiones de fluidos.
- Impacto: las cargas equivalentes al efecto de impacto están relacionadas con cargas móviles y dinámicas.

5.2 Momentos en zapatas

El momento externo en cualquier sección de una zapata debe determinarse pasando un plano a través de la zapata, y calculando el momento de las fuerzas que actúan sobre el área total de la zapata que quede a un lado de dicho plano vertical.

En la cara de la columna, pedestal, o muro, para zapatas que soporten una columna, pedestal o muro de concreto.

En el punto medio entre el eje central y el borde del muro, para zapatas que soporten muros de albañilería.

En el punto medio entre la cara de la columna y el borde de la platina de base de acero, para zapatas que soporten una columna con platina de acero de base.

En zapatas en una dirección y en zapatas cuadradas en dos direcciones, el refuerzo debe distribuirse uniformemente a lo largo del ancho total de la zapata.

En zapatas rectangulares en dos direcciones el refuerzo debe distribuirse como se indica a continuación.

El refuerzo en la dirección larga debe distribuirse uniformemente en el ancho total de la zapata. Para el refuerzo en la dirección corta, una porción del refuerzo total, $\gamma_s A_s$, debe distribuirse en forma uniforme sobre una franja (centrada con respecto al eje de la columna o pedestal) cuyo ancho se igual a la longitud del lado corto de la zapata. El resto del refuerzo requerido en la dirección corta, $(1 - \gamma_s) A_s$, debe distribuirse uniformemente en las zonas que queden fuera de la franja central de la zapata.

$$\gamma = \frac{2}{(\beta+1)}$$

Donde β es la relación del lado largo al lado corto de la zapata.

5.3 Cortantes en zapatas

La resistencia al cortante de zapatas apoyada en suelo o en roca, debe cumplir con lo estipulado en C.11.11. del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

La ubicación de la sección crítica para cortante de acuerdo con el capítulo C.11. Debe medirse desde la cara de la columna, pedestal o muro. Para zapatas que soporten una columna o un pedestal con platina de acero de base, la sección crítica debe definirse en el punto medio entre la cara de la columna y el borde de la platina de base de acero.

El cálculo del cortante en cualquier sección de una zapata apoyada sobre pilotes debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Se debe considerar que la reacción total de todo pilote con su centro localizado $d_{pile} / 2$ o más hacia el lado de afuera de la sección produce cortante en dicha sección.
- Se debe considerar que la reacción de cualquier pilote con su centro localizado $d_{pile} / 2$ o más hacia el lado interior de una sección no produce cortante en dicha sección.
- Para posiciones intermedias del centro del pilote, la parte de la reacción del pilote que produce cortante en la sección debe basarse en una interpolación lineal entre el valor total a $d_{pile} / 2$ hacia afuera de la sección y el valor cero correspondiente a $d_{pile} / 2$ hacia adentro de la sección.

5.4 Desarrollo del refuerzo en zapatas

El desarrollo del refuerzo en zapatas debe hacerse de acuerdo con el capítulo C.12. de la NSR-10.

La tracción o compresión calculadas en el refuerzo en cada sección debe desarrollarse a cada lado de dicha sección ya sea mediante una longitud embebida, ganchos (sólo en tracción) o dispositivos mecánicos, o bien mediante una combinación de los mismos.

Las secciones críticas para el desarrollo del refuerzo deben suponerse en los mismos planos definidos para el momento máximo mayorado y en todos los demás planos verticales en los cuales se presentan cambios de sección o de refuerzo.

En elementos sometidos a flexión se debe proporcionar un anclaje adecuado para el refuerzo en tracción, cuando el esfuerzo en el refuerzo, no es directamente proporcional al momento, como ocurre en las zapatas inclinadas, escalonadas o de sección variable; en ménsulas; en elementos de gran altura sometidos a flexión; o en elementos en los cuales el refuerzo de tracción no es paralelo a la cara de compresión.

5.5 Altura mínima en las zapatas

La altura de las zapatas sobre el refuerzo inferior no debe ser menor de 150mm para zapatas apoyadas sobre el suelo, ni menor de 300mm en el caso de zapatas apoyadas sobre pilotes.

5.6 Vigas de enlace de la cimentación

La viga de enlace suele diseñarse y construirse de modo que no se apoye directamente en el suelo. Si el concreto de la viga se colara sobre el suelo compactado, también tendría que tomarse en cuenta la presión del suelo al

dimensionar la zapata. En efecto, la viga de enlace queda en voladizo sobre la zapata de la columna exterior, por lo que su flexión genera esfuerzos de tensión en la parte superior. Por tanto, necesita un refuerzo flexional superior a todo lo largo; es conveniente incluir también refuerzo flexional nominal en la parte inferior de la viga, para que pueda resistir cualquier tensión producida por asentamientos diferenciales.

5.7 VIGAS DE AMARRE DE LA CIMENTACIÓN

5.7.1 Fuerzas de diseño: en el diseño de las vigas de amarre de cimentación, deben cumplirse los siguientes requisitos:

- Los de A.3.6.4.2. con respecto a las fuerzas axiales que debe resistir la viga de amarre por efectos sísmicos.
- Las recomendaciones que al respecto contenga el estudio geotécnico.
- Las del título H del reglamento.

5.7.2 Dimensiones mínimas:

las dimensiones de las vigas de amarre deben establecerse en función de las solicitaciones que las afecten, dentro de las cuales se cuenta la resistencia a fuerzas axiales por razones sísmicas y la rigidez y características para efectos de diferencia de carga vertical sobre los elementos de cimentación y la posibilidad de ocurrencia de asentamientos totales y diferenciales.

Las vigas de amarre deben tener una sección tal que su mayor dimensión debe ser mayor o igual a la luz dividida por 20 para estructuras con capacidad especial de disipación de energía (DES), a la luz dividida por 30 para estructuras con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) y a la luz dividida por 40 para estructuras con capacidad mínima de disipación de energía (DMI).

5.7.3 Refuerzo longitudinal:

Las vigas de amarre sobre el terreno que enlacen dados o zapatas deben tener refuerzo longitudinal continuo, el cual debe ser capaz de desarrollar f_y por medio de anclaje en la columna exterior del vano final.

5.7.4 Refuerzo transversal:

Deben colocarse estribos cerrados en toda su longitud, con una separación que no exceda la mitad de la menor dimensión de la sección ó 300mm. Las vigas de amarre que resistan momentos flectores provenientes de columnas deben cumplir los requisitos de separación y cantidad de refuerzo transversal que fije el Reglamento para el nivel de capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de resistencia sísmica.

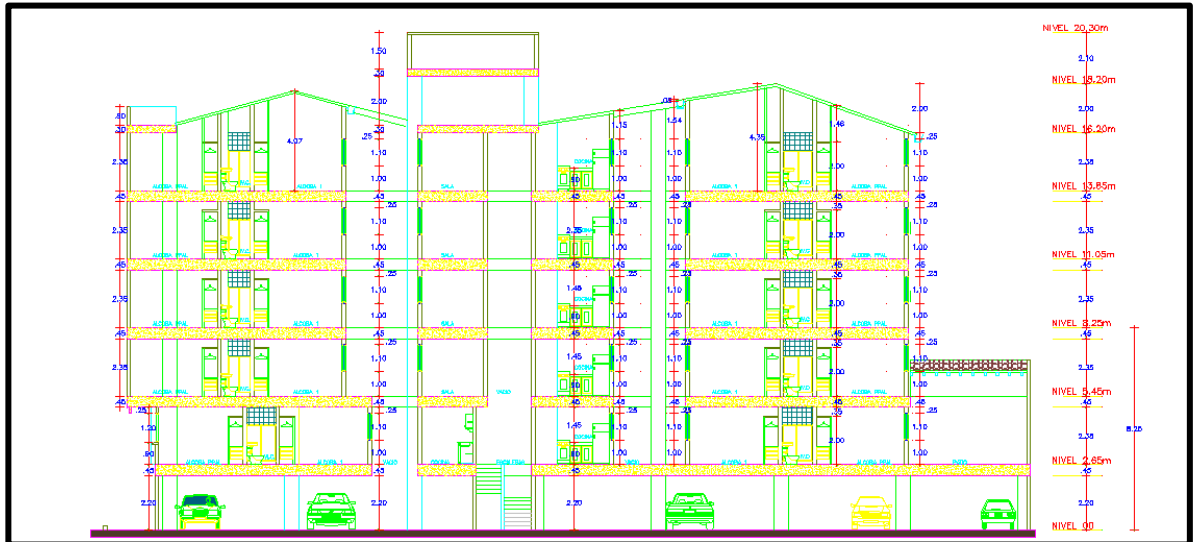
6 METODO DE ELEMENTOS FINITOS

6.1 MODELAMIENTO ESTRUCTURA EDIFICIO

6.1.1 Descripción del proyecto

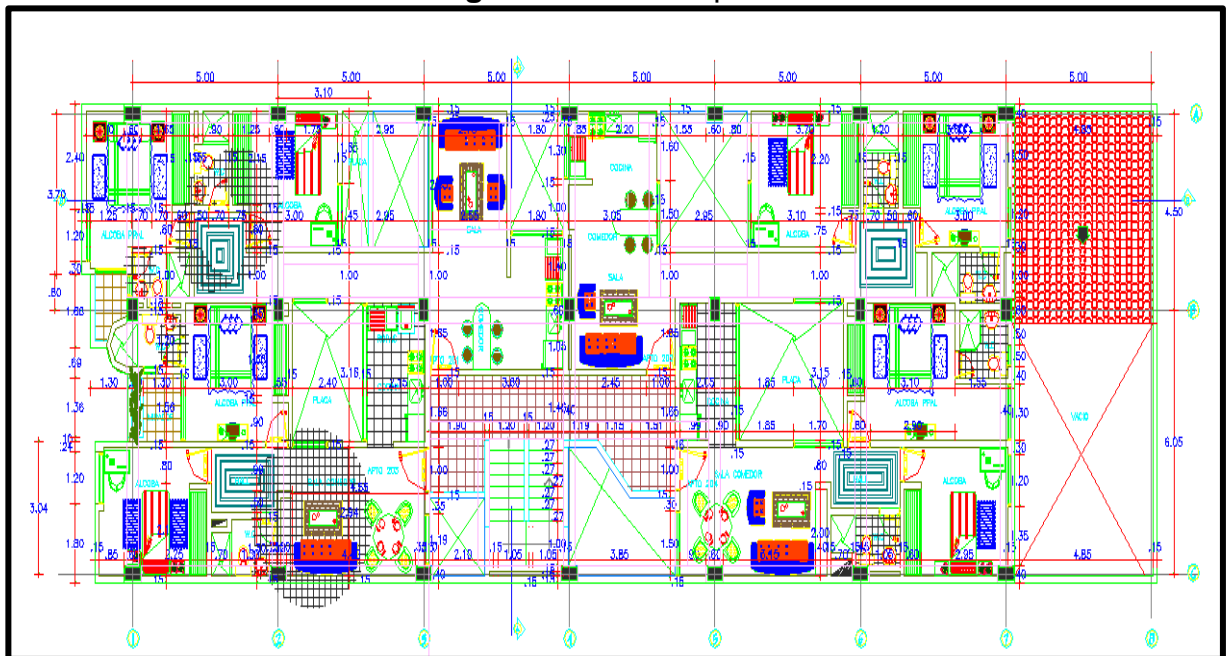
Se hace un análisis de cimentación basado en un modelado estructural previamente estudiado del cual se extrajeron las cargas a utilizar en la modelación de las cimentaciones con el fin de hallar las deformaciones diferenciales y totales.

Figura 9: Corte en alzado de edificio



Fuente: Autores del proyecto

Figura 10: Planta tipo



Fuente: autores del proyecto

6.1.2 Método de análisis

La estructura será analizada por el método matricial en el cual se tiene en cuenta las fuerzas internas inducidas por las deformaciones de los miembros; se utilizará un programa computacional para facilitar el cálculo teniendo en cuenta que se analizarán las combinaciones establecidas en el capítulo B.2 de la NSR-10, esto con el fin de diseñar los miembros para la solicitud más crítica y verificar que el diseño cumplirá las solicitaciones de las demás combinaciones.

6.1.3 Método de diseño

Método de los estados límites: Es un método para diseñar estructuras de tal manera que la probabilidad de falla para ciertos estados límites considerados importantes este dentro de valores aceptables. Por lo general se estudian los estados límites de servicio y resistencia. Este último caso se le conoce también como método de la resistencia. (Tomado NSR-10 Título B.2.1.1)

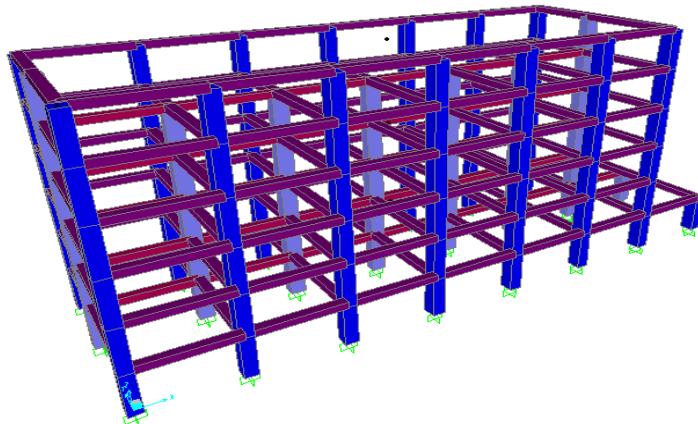
Este diseño se rige por las exigencias de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente título C, específicamente C-21 de estructuras con Capacidad de Disipación de Energía Especial (DES).

6.1.4 Especificaciones de los materiales

- Concreto de 3000 psi (21 MPa)
- Concreto ciclópeo de 2000 psi (14 MPa)
- Acero de refuerzo corrugado de 60000 psi (420 MPa) para barras mayores o iguales a 3/8".
- Acero de refuerzo liso de 36000 psi para barras N2

6.1.5 Estructura edificio

Figura 11: Imagen modelamiento en Sap



Fuente: Autores del proyecto

De este modelamiento se obtienen los valores de carga de las columnas que posteriormente se utilizarán en el dimensionamiento y simulación de las zapatas a estudiar.

7 ANALISIS DE CIMENTACION POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS

El análisis por medio de los elementos finitos permite determinar, de acuerdo a las características geomecánicas de los suelos y las cargas externas, las condiciones de esfuerzo y asentamientos para los diferentes tipos de condiciones geotécnicas.

A continuación se demuestran los parámetros y condiciones de diseño para los tres tipos de cimentación, que son: cimentación combinada trapezoidal, combinada rectangular, cimientos vinculados con vigas de enlace, para un suelo arcilloso y arenoso.

7.1 COEFICIENTE DE BALASTO O MODULO DE WINKLER

Es aquel parámetro que define la presión que actúa en un punto y el asentamiento que se produce. Se determinó según la siguiente ecuación:

- Suelo Arenoso

$$K_s = \frac{3E_s}{B}$$

- Suelo arcilloso

$$K_s = \frac{1.6 E_s}{B}$$

Tabla 2. Valores de módulo de balasto

TIPO DE SUELO	Es (MN/m ²)		VALOR TOMADO Es (MN/m ²)	VALOR TOMADO Es (KN/m ²)	Ks (KN/m ³)
ARENA SUELTA	10,35	24,15	10,35	10350	4776,923
ARENA DENSA MEDIA	17,25	27,6	22,425	22425	10350,000
ARENA DENSA	34,5	55,2	55,2	55200	25476,923
ARENA LIMOSA	10,35	17,25	17,25	17250	7961,538
ARENA Y GRAVA	69	172,5	120,75	120750	55730,769
ARCILLA SUAVE	4,1	20,7	4,1	4100	1009,231
ARCILLA MEDIA	20,7	41,4	31,05	31050	7643,077
ARCILLA FIRME	41,4	96,6	69	69000	16984,615

Fuente: Autores del proyecto

Ks= Modulo de balasto (kn/m³)

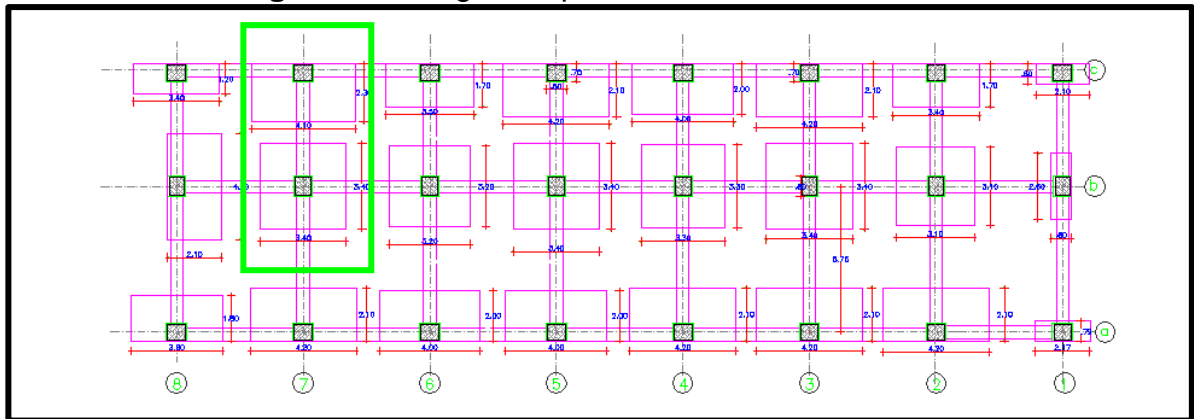
La tabla 2 muestra los valores a usar del módulo de balasto según el tipo de suelo:

- Suelo arcilloso
- Suelo arenoso
- Asumir carga admisible: 180KN/M²

7.2 DIMENSIONAMIENTO ZAPATAS

Con las cargas extraídas de la edificación anteriormente expuesta, y el diseño de la cimentación de acuerdo a la distribución de las columnas se procede a escoger los ejes de las columnas a analizar con los diferentes tipos de cimentación. Entonces las columnas tipo son las de los ejes C7- B7.

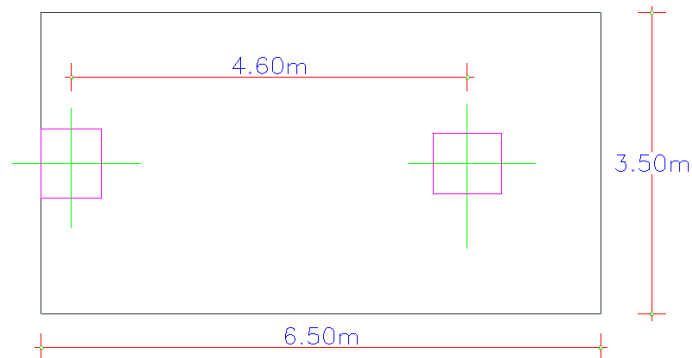
Figura 12: Imagen en planta cimentación edificio



Fuente: Autores del proyecto

7.2.1 Cimentación combinada rectangular

Figura 13: Imagen dimensionamiento cimentación combinada rectangular



Fuente: Autores del proyecto

Tabla 3. Datos de entrada cimentación rectangular

	LIVE (KN)	DEAD (KN)
CARGA COLUMNA EXCENTRICA	228.218	1178.648
CARGA COLUMNA CENTRICA	409.820	1981.848

Fuente: Autores del proyecto

$$H = 0.5m$$

$$q \text{ admisible} = 18 \text{ ton}/M^2$$

$$q \text{ admisible} = 180 \text{ KN}/M^2$$

$$\text{Carga ext } (D + L) = 228.218KN + 1178.648KN$$

$$\text{Carga ext } (D + L) = 1406.87KN$$

$$\text{Area ext} = \frac{1406.87}{180} M^2$$

$$\text{Area ext} = 7.81 \approx 8M^2$$

$$\text{Carga int } (D + L) = 409.820KN + 1981.848KN$$

$$\text{Carga int } (D + L) = 2391.668KN$$

$$\text{Area int} = \frac{2391.668KN}{180KN/M^2}$$

$$\text{Area int} = 13.287M^2$$

$$\text{Area total} = 8M^2 + 13.287M^2$$

$$\text{Area total} = 21.1M^2$$

$$\sum M = 0$$

Centroide de las cargas

$$X = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i}$$

$$X = \frac{(1406.866KN * 0.35M) + (2391.668KN * 4.95M)}{(1406.866KN + 2391.668KN)}$$

$$X = 3.25M$$

Dimensionamiento real

$$\text{Areal} = 3.25 * 6.50 = 21.13M^2$$

$$\text{Peso Propio} = 21.13M^2 * 0.5M * 24KN/M^3$$

$$\text{Peso Propio} = 253.56KN$$

$$\sum \text{cargas reales} = 1406.87KN + 253.56KN + 2391.67KN$$

$$\sum \text{cargas reales} = 4052.16KN$$

$$\text{Area requerida} = \frac{4052.16KN}{180KN/M^2} = 22.51M^2$$

Las nuevas dimensiones son:

$$B = 6.5M$$

$$L = 3.5 M$$

$$\text{Anueva dimensiones} = 6.5 * 3.5 = 22.750M^2$$

$$\text{Esfuerzo real admisible} = \frac{4052.16KN}{22.750M^2}$$

$$\text{Esfuerzo real admisible} = 178.117 KN/M^2 \leq 180KN/M^2 \text{ ok}$$

Carga ultima de la zapata

$$Pu = (1.2 * (1178.648KN + 1981.848KN + 253.56KN)) + ((1.6 * (228.218KN + 409.820KN))$$

$$Pu = 5117.728KN$$

$$\text{esfuerzos ultimo} = \frac{5117.728KN}{22.750M^2} = 224.955KN/M^2$$

$$\text{Factor de carga } Fc = \frac{Pa}{Pt}$$

$$Fc = \frac{(1.2 * 1178.648KN) + (1.6 * 228.218KN)}{(1178.648KN + 228.218KN)}$$

$$Fc = 1.26$$

$$qu = qa * fc = 180KN/M^2 * 1.26 = 226.8KN/M^2$$

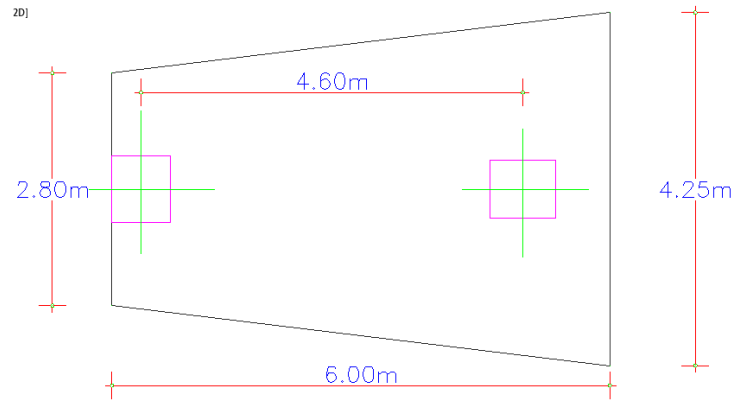
Comprobar

$$\text{Esfuerzo ultimo} < \text{carga ultima}$$

$$224.955KN/M^2 < 226.8KN/M^2 \text{ ok}$$

7.2.2 Cimentación combinada trapezoidal.

Figura 14: Imagen dimensionamiento cimentación combinada trapezoidal



Fuente: Autores del proyecto

Tabla 4. Datos de entrada cimentación trapezoidal

	LIVE (KN)	DEAD (KN)
CARGA COLUMNA EXCENTRICA	228.218	1178.648
CARGA COLUMNA CENTRICA	409.820	1981.848

Fuente: Autores del proyecto

$$q \text{ admisible} = 180 \text{ kn/m}^2$$

$$\text{Carga ext (D + L)} = 228.218\text{KN} + 1178.648\text{KN}$$

$$\text{Carga ext (D + L)} = 1406.866\text{KN}$$

$$\text{Carga int (D + L)} = 409.820\text{KN} + 1981.848\text{KN}$$

$$\text{Carga int (D + L)} = 2391.668 \text{ KN}$$

$$\text{Area total} = \frac{3798.534\text{KN}}{180\text{KN/M}^2}$$

$$\text{Area total} = 21.10\text{M}^2$$

$$\sum M = 0$$

Centroide de las cargas

$$C1 - \frac{a}{2} * (R) - (De * Pext) = 0$$

$$C1 = 3.24M$$

$$C1 = \frac{l(B1 + 2B2)}{3(B1 + 2B2)}$$

$$B1 + B2 = \frac{2A}{L}$$

$$B1 + B2 = \frac{2(21.10)}{6}$$

$$B1 + B2 = 7.03M \quad ECUACION(1)$$

$$3.2 = 2 \frac{B1 + 2B2}{B1 + B2} \quad ECUACION(2)$$

$$B1 + 2B2 = 11.24M$$

$$B1 = 2.79M$$

$$B2 = 4.24M$$

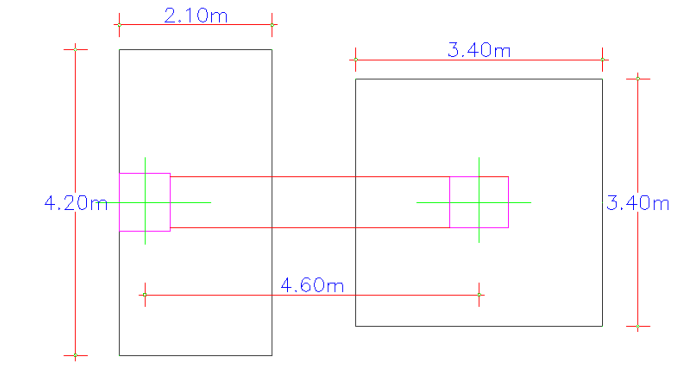
ESFUERZO ULTIMO

$$= \frac{(1.2 * (1178.648KN + 1981.84KN)) + ((1.6 * (228.218KN + 409.820KN))}{21.10M2}$$

$$ESFUERZO ULTIMO = 228.13KN/M$$

- cimentación combinada con viga de enlace

Figura 15: Imagen dimensionamiento cimentación combinada con viga de enlace



Fuente: Autores del proyecto

Tabla 5. Datos de entrada cimentación con viga de enlace

	LIVE (KN)	DEAD (KN)
CARGA COLUMNA EXCENTRICA	228.218	1178.648
CARGA COLUMNA CENTRICA	409.820	1981.848

Fuente: Autores del proyecto

$$qu = \frac{180KN}{m^2}$$

$$L2 = 2L1$$

$$\text{Distancia entre ejes de columna} = 4.6 \text{ m}$$

$$\text{Carga total } (D + L) = 1178.648KN + 228.218KN$$

$$\text{Carga total } (D + L) = 1406.866KN$$

$$\text{Carga total } (D + L) * 1.07KN$$

$$\text{Carga total } (D + L) = 1505.346KN$$

$$\text{Area} = \frac{P}{qa}$$

$$\text{Area} = \frac{1505.346KN}{180KN/M^2}$$

$$\text{Area} = 8.363M^2 = l1 * l2$$

$$8.363m^2 = 2l_1^2$$

Teniendo $l_2 = 2l_1$ se reemplaza

$$l_1 = 2.04M \approx 2.1M$$

$$l_2 = 4.2M$$

Peso propio

$$P_p = 2.1M * 4.2M * \frac{24KN}{M^2} * 0.5M = 105.84KN$$

$$e = \frac{l_1}{2} - \frac{t_1}{2}$$

$$e = \frac{2.1}{2} - \frac{0.7}{2} = 0.7M$$

Carga ultima de la zapata

$$P_{u\ exc} = (1.2 * (1178.648KN + 105.84KN)) + ((1.6 * (228.218KN)))$$

$$P_{u\ exc} = 1906.534KN$$

$$\Delta P_{u\ exc} = \frac{P_u * e}{l * e}$$

$$\Delta P_{u\ exc} = \frac{1906.534KN * 0.7}{4.6 - 0.7}$$

$$\Delta P_{u\ exc} = 342.148\ KN$$

$$P_{u\ total\ exc} = 342.148\ KN + 1906.534KN = 2248.732KN$$

$$q_u = \frac{2248.732KN}{2.1M * 4.2M} = 254.958KN/M^2$$

$$q_{u\ suelo} = q_a * f_c$$

$$\text{Donde } f_c = \frac{P_u}{(D + L) * 1.07}$$

Reemplazando

$$f_c = \frac{1906.534KN}{1505.346KN} = 1.26KN$$

$$q_{u\ suelo} = 180 * 1.266$$

$$q_{u\ suelo} = \frac{227.8KN}{M^2}$$

$$q_{u\ suelo} < q_{u\ exc}$$

$$2227.8\text{KN}/\text{M}^2 < 254.958\text{KN}/\text{M}^2 \text{ Ok}$$

7.3 SIMULACION DE LAS ZAPATAS

Para realizar el modelo de las cimentaciones se utilizó un software que permite obtener las deformaciones unitarias y totales, basado en los datos introducidos. En este caso específico se analizarán las cimentaciones en seis modelos diferentes organizados de la siguiente manera.

MODELO 1 CIMIENTO FLEXIBLE

- Arena Suelta
- Arena Densa Media
- Arena Densa

MODELO 2 CIMIENTO FLEXIBLE

- Arcilla Suave
- Arcilla Media
- Arcilla Firme

MODELO 3 CIMIENTO RIGIDO

- Arena Suelta
- Arena Densa Media
- Arena Densa

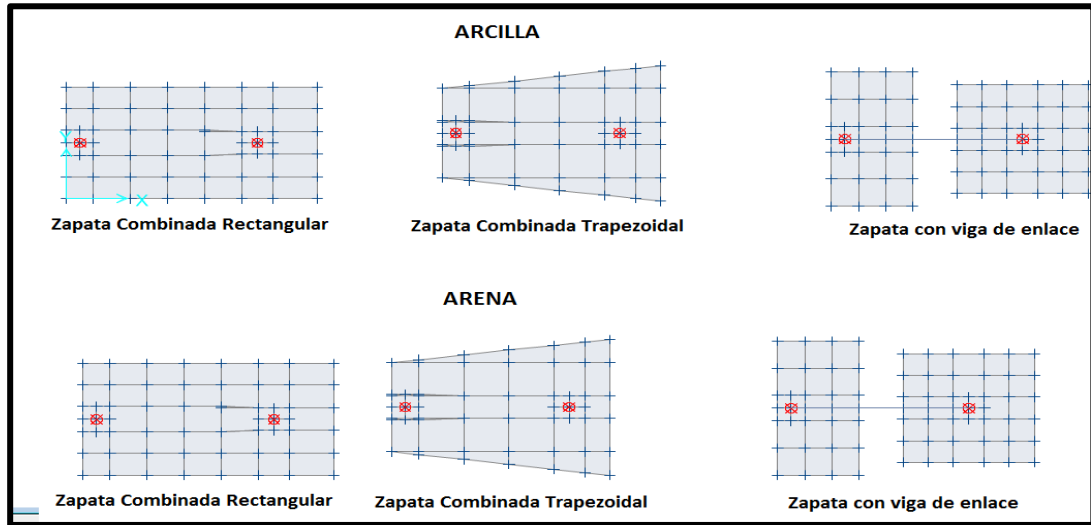
MODELO 4 CIMIENTO RIGIDO

- Arcilla Suave
- Arcilla Media
- Arcilla Firme

En los cuales varían las clases tipos de suelo (arcilla blanda y Arena densa) para lo cual se obtuvieron los coeficientes de balasto que permiten dar las características a los suelos de soporte de la estructura.

A continuación se muestra una imagen en planta de los casos de cimentación que se van a analizar.

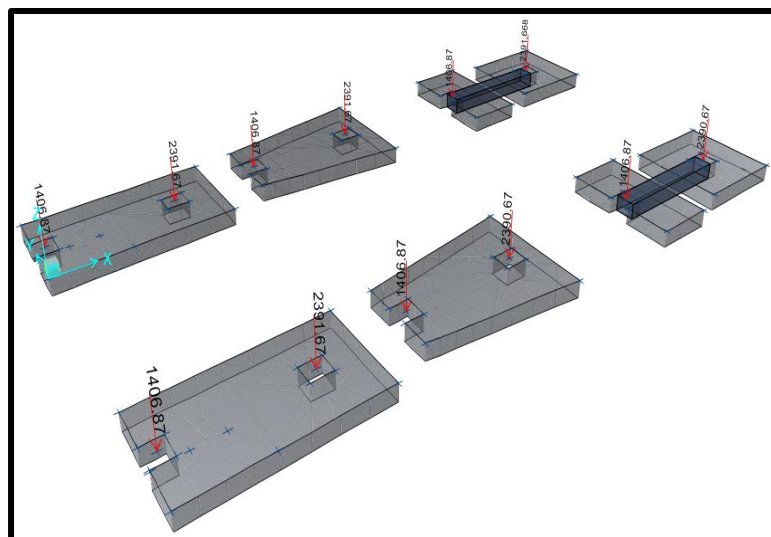
Figura 16: Imagen en planta de los tres tipos de zapata a estudiar modelada en el software



Fuente: Autores del proyecto

En la siguiente imagen observamos el modelo de las zapatas con las cargas de servicio utilizadas para el análisis.

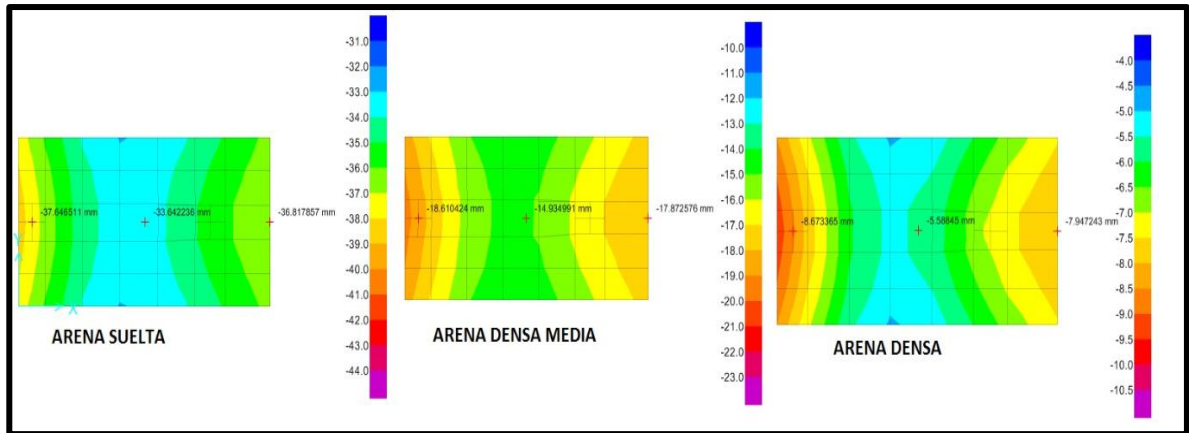
Figura 17: Imagen en 3D de las zapatas con las cargas de servicio



Fuente: Autores del proyecto

7.3.1 MODELO 1 CIMIENTO FLEXIBLE SOBRE SUELO ARENOSO

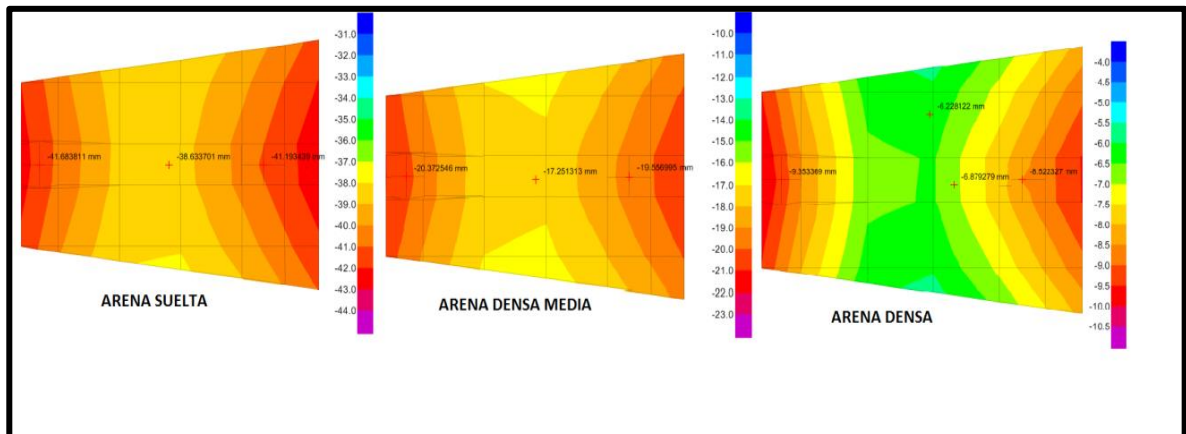
Figura 18: Imagen cimentación combinación rectangular suelo arenoso



Fuente: Autores del proyecto

En la figura 18 se puede observar que en suelo de arena suelta el rango de las deformaciones oscila en un intervalo de 37.64mm y 36.81mm; en las arena densa media este varia dentro de los valores 18.61mm y 17.87mm y en la arena densa se encuentra entre 8.67mm y 7.94mm, lo cual nos permite calcular el porcentaje de variación de desplazamientos entre suelos, en este caso se asumirá el análisis en el centroide de la zapata, para una arena densa media y una arena densa es de 62.62%, una arena densa con una arena suelta arroja un porcentaje del 83.41% y entre una arena densa media con suelta el diferencial de desplazamiento es del 55.61%. El mejor comportamiento se presenta en la arena densa ya que los desplazamientos son menores.

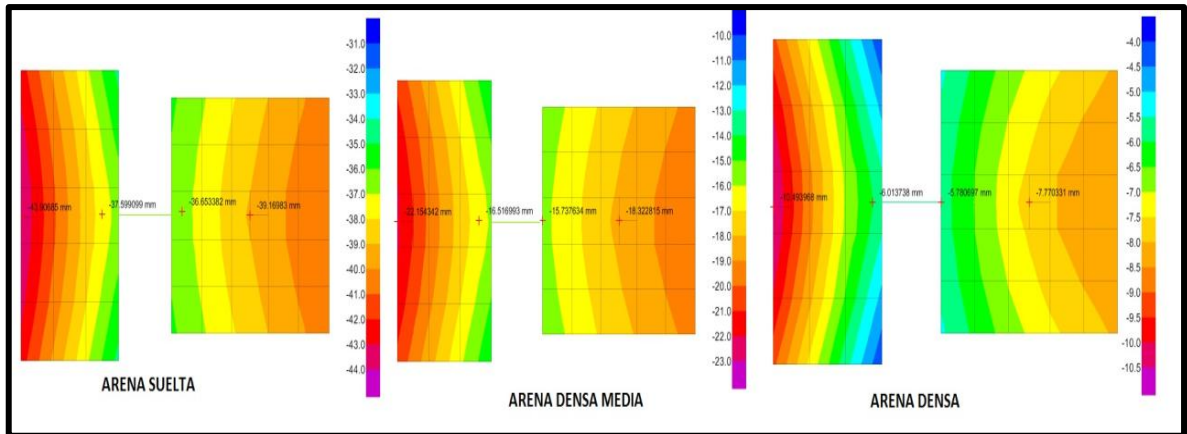
Figura 19: Imagen cimentación combinada trapezoidal suelo arenoso



Fuente: Autores del proyecto

En la figura 19 se puede apreciar que los valores de las deformaciones en los extremos de la zapata para una arena suelta son de 41.68mm y 41.19mm de izquierda a derecha, la deformación en el centroide geométrico del cimiento es 38.63mm y su diferencia porcentual es de 7.31%. En la arena densa media la reacción que tiene el suelo es mejor respecto al anterior nombrado, debido a que aumenta el módulo de balasto, presentando un porcentaje de deformación entre sus extremos de 2.16% Entre el extremo izquierdo de la zapata y el centroide se producen asentamientos de 20.37mm y 17.25mm respectivamente, que equivale a una diferencia porcentual de 15.31%. Además las arenas densas presentan deformaciones 9.35mm y 8.52mm en los extremos de la zapata, siendo en el centroide de la zapata el valor mínimo de deformación de 6.87mm y el porcentaje de variación es de 26.52%. En conclusión la cimentación se comporta de una manera óptima en un suelo de arena densa.

Figura 20: Imagen cimentación con viga de enlace para suelos arenoso

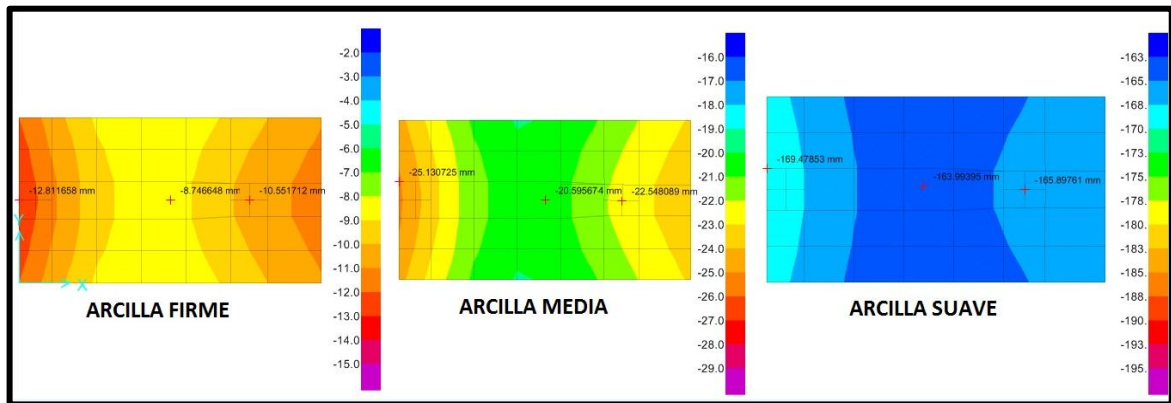


Fuente: Autores del proyecto

En la figura 20 anterior se puede observar que en suelo de arena suelta el rango de las deformaciones oscila en un intervalo de 43.90mm y36.65mm; en las arena densa media este varia dentro de los valores 22.15mm y 15.73mm y en la arena densa se encuentra 10.49mm y 5.78 mm, En este caso se trabajara con la deformación presentada en la zapata externa y así se calculara el porcentaje de variación de desplazamientos entre suelos, para una arena densa media y una arena densa es de 52,64%, una arena densa con una arena suelta arroja un porcentaje del 76.10% y entre una arena densa media con suelta el desplazamiento es de 50.45%. El mejor comportamiento se presenta en la arena densa ya que los desplazamientos son menores.

7.3.2 MODELO 2 CIMIENTO FLEXIBLE SOBRE SUELO ARCILLOSO

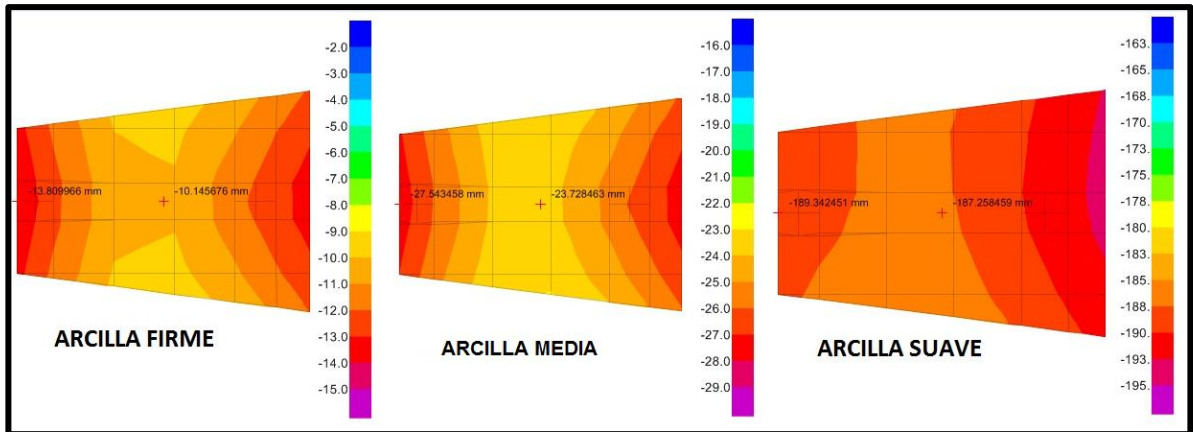
Figura 21: Imagen cimentación rectangular para suelos arcilloso



Fuente: Autores del proyecto

Las siguientes simulaciones se hicieron con una condición de flexibilidad del cimiento. Como resultado se puede apreciar que los valores de las deformaciones en los extremos de la zapata para una arcilla firme son de 12.81mm y 10.55mm de izquierda a derecha y su porcentaje de deformación es 31.77%, siendo el valor en el centroide del cimiento de 8.74mm. En la arcilla media su deformación es de 20.59mm y arcilla suave 163.99mm. Determinando un porcentaje de deformación entre los distintos tipos de suelo se arrojaron los siguientes datos arcilla suave y arcilla media 87.44%
Arcilla suave y arcilla firme 94.67%.

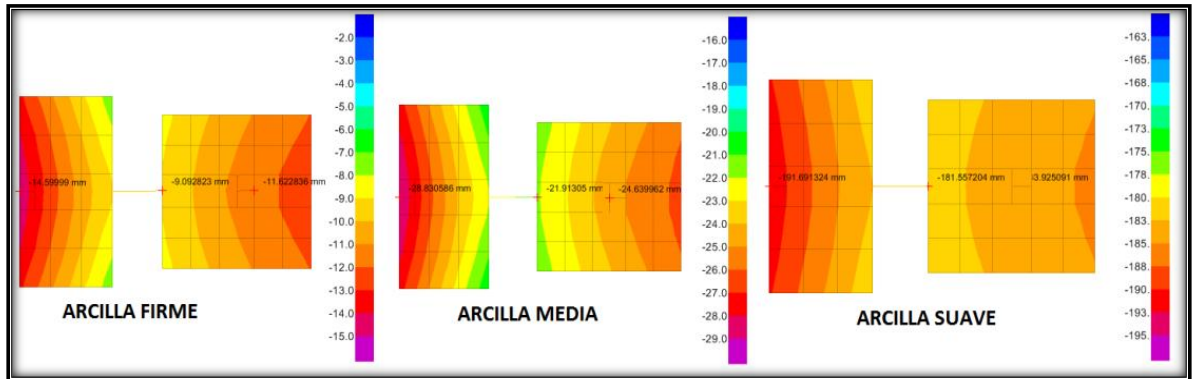
Figura 22: Imagen cimentación trapezoidal para suelos arcilloso



Fuente: Autores del proyecto

Las siguientes simulaciones se hicieron con una condición de flexibilidad del cimiento. Como resultado se puede observar que los valores de las deformaciones en uno de los extremos de la zapata para una arcilla firme es 13.80mm y en el centroide es 10.14mm, su porcentaje de deformación es 26.52%. En la arcilla media la reacción que tiene el suelo disminuye respecto al anterior nombrado debido a que decrece el módulo de balasto, presentando una variación de deformación entre uno de sus extremos de la zapata y el centroide de 27.54mm y 23.72mm respectivamente, el cual equivalen a un porcentaje de 13.87%. Además las arcillas suaves presentan deformaciones 189.34mm en uno de los extremos de la zapata, siendo en el centroide de la zapata el valor mínimo de deformación de 187.25mm y el porcentaje de variación es de 1.10%. Las arcillas suaves no son aptas para una cimentación debido a que la capacidad de soporte del suelo es baja y las deformaciones no serán mínimas.

Figura 23: Imagen cimentación con viga de enlace para suelo arcilloso

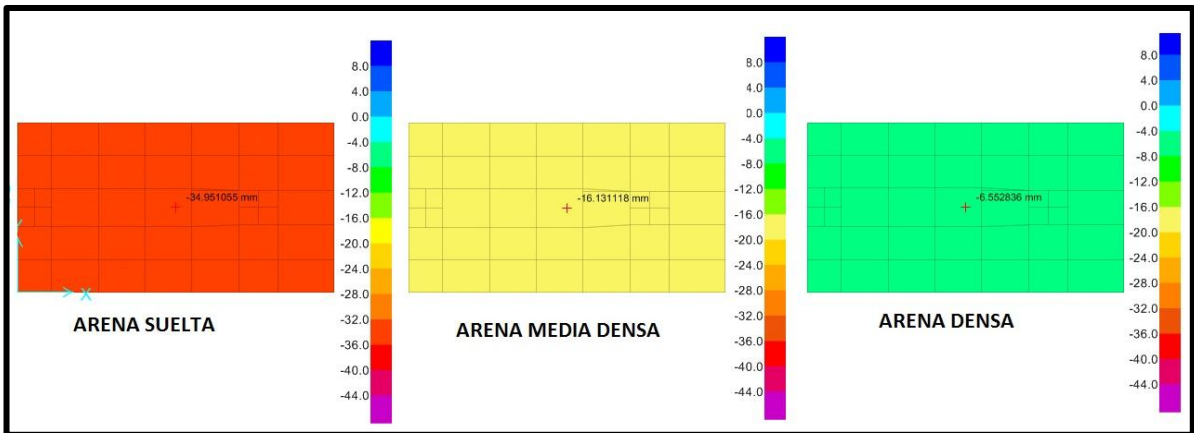


Fuente: Autores del proyecto

Se hace una simulación de las zapatas asumiendo que son flexibles, y se aprecia que las deformaciones son mínimas en los extremos de la viga de enlace. También se observan los asentamientos diferenciales que se presenta entre la zapata externa 14.59mm y la zapata interna 9.09mm para una arcilla firme presenta intervalos de 28.83mm y 21.91mm y una arcilla suave 191.69mm 181.55mm. Analizando en un porcentaje de deformación entre las arcilla suave y arcilla media es de 84.96% y entre la arcilla suave y arcilla firme de 92.38%

7.3.3 MODELO 3 CIMIENTO RIGIDO SOBRE SUELO ARENOSO

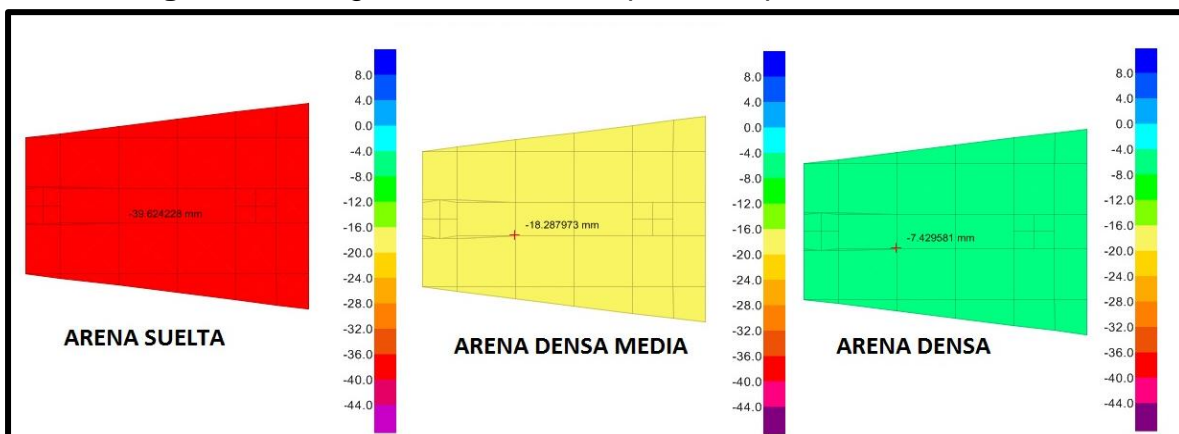
Figura 24: Imagen cimentación rectangular para suelos arenosos



Fuente: Autores del proyecto

Se realiza una simulación de las zapatas buscando una rigidez infinita, por consiguiente se aprecia que las deformaciones son aparentemente uniformes en cada tipo de suelo estudiado. Observando la deformación en el centroide de las cimentaciones tenemos un valor de 34.95mm, 16.13mm y 6.55mm para los suelos de arena suelta, arena media densa y arena densa, respectivamente. El porcentaje de variación es de 81.25% entre las arenas sueltas y arenas densas y entre arena densa y arena densa media 53.84%

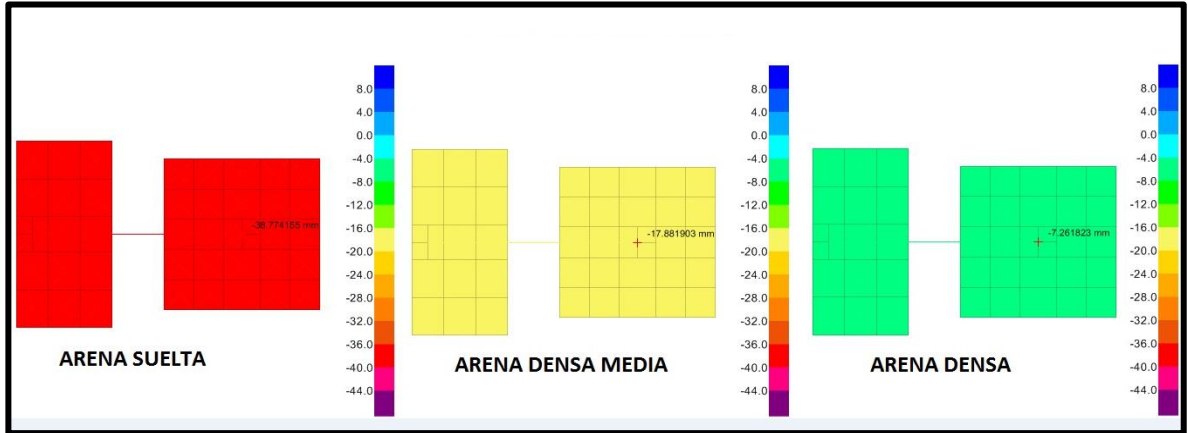
Figura 25: Imagen cimentación trapezoidal para suelos arenosos



Fuente: Autores del proyecto

De la gráfica presente se puede observar que la zapata combinada trapezoidal rígida se aprecia deformaciones de pequeñas variación para cada tipo de suelo estudiado. Los valores apreciados en la gráfica son de Observando la deformación en el centroide de las cimentaciones tenemos un valor de 39.62 mm, 18.28mm y 7.42mm para los suelos de arena suelta, arena media densa y arena densa, respectivamente. En la deformación se encuentra un porcentaje de variación de 81.27% para las arenas sueltas y arenas densas las cuales son las más críticas y entre la arena densa y arena media densa 59.40%

Figura 26: Imagen cimentación con viga de enlace para suelos arenosos



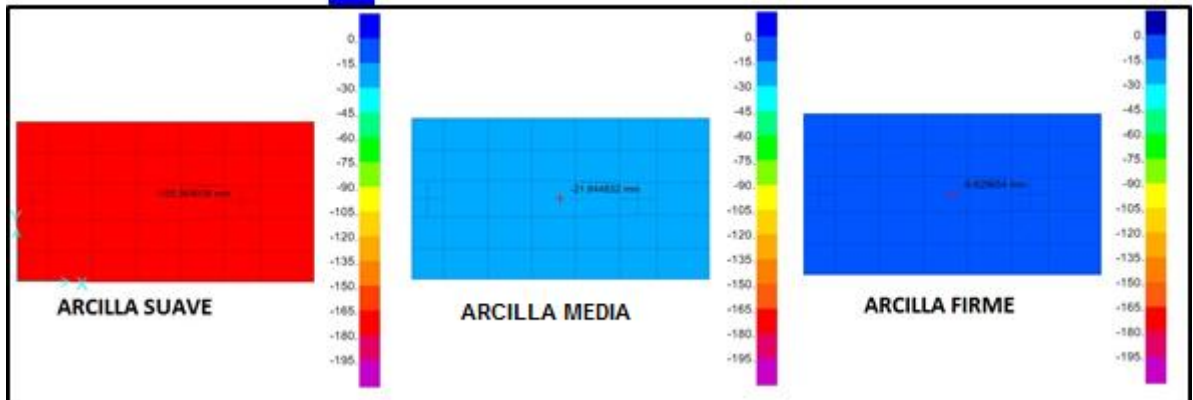
Fuente: Autores del proyecto

En el modelamiento se asumió una rigidez infinita y por consiguiente en este tipo de cimentación con viga de enlace se pueden analizar los asentamientos diferenciales que se presenta entre la zapata interna para una arena suelta es de 38.774mm, una arena densa media de 17.88 y una arena densa de 7.26 mm observándose así que el porcentaje de deformación difiere entre.

arena densa y arena suelta 81.27% y arena densa y arena densa media 55.39%

7.3.4 MODELO 4 CIMIENTO RIGIDO SOBRE SUELO ARCILLOSO

Figura 27: Imagen cimentación rectangular para suelos arcillosos

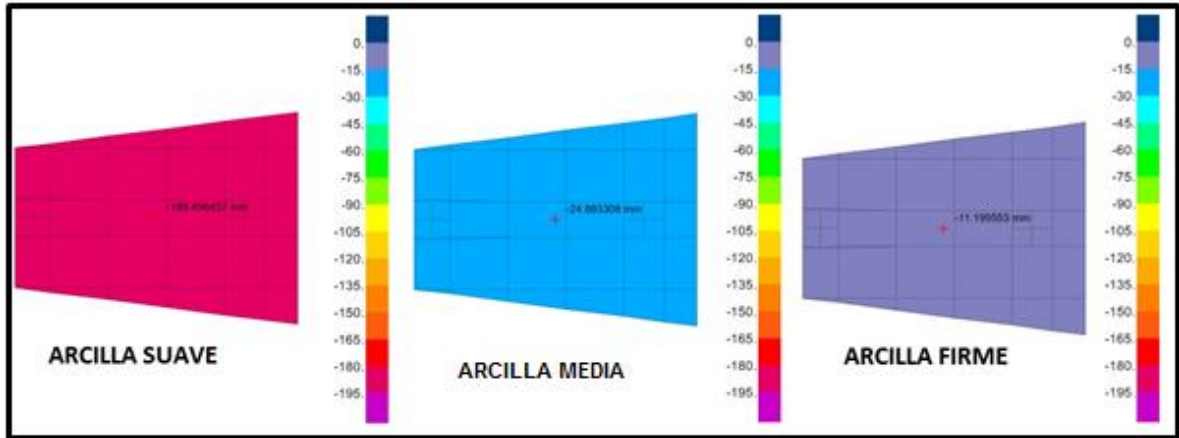


Fuente: Autores del proyecto

En el modelamiento se asumió una rigidez infinita, en la gráfica se puede observar que el comportamiento Para este tipo de cimentación la arcilla firme presenta un mejor comportamiento ya que los desplazamientos tienden a ser mínimos, en comparación con la arcilla suave que es aquella que es más crítica. Los valores de asentamiento presentados son arcilla suave 165.50mm, arcilla media 21.84mm, arcilla firme 9.82mm.

El porcentaje de deformación en el centroide de la zapata rectangular difiere entre una arcilla suave y una arcilla firme en un 94%

Figura 28: Imagen cimentación trapezoidal para suelos arcilloso

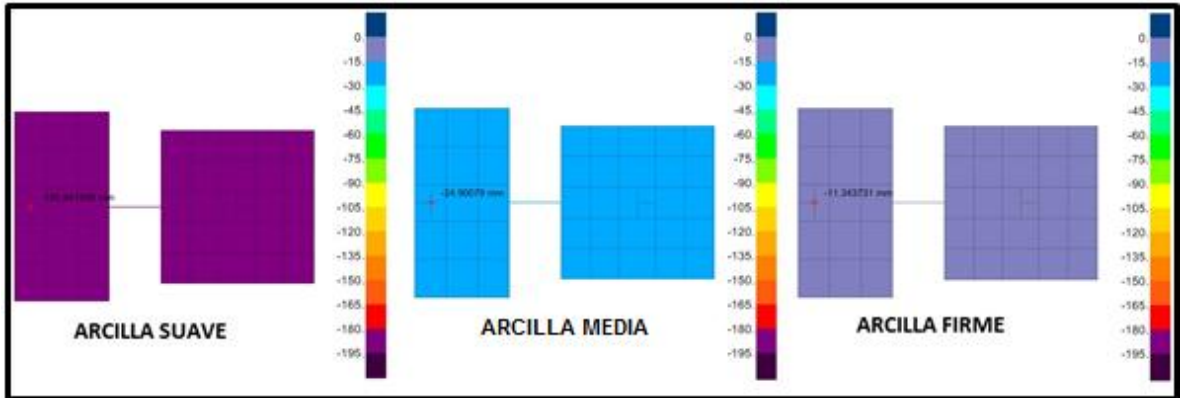


Fuente: Autores del proyecto

En la gráfica se puede observar que la arcilla firme presenta un mejor comportamiento ya que los desplazamientos tienden a ser mínimos sin ser nulos, en comparación con la arcilla suave que es aquella con mayor deformación. Los valores de asentamiento presentados son arcilla suave 188.49mm, arcilla media 24.88mm, arcilla firme 11.19mm.

El porcentaje de deformación en el centroide de la zapata trapezoidal difiere entre una arcilla densa y una arcilla firme en un 55.03%.

Figura 29: Imagen cimentación con viga de enlace para suelos arcilloso



Fuente: Autores del proyecto

En el modelamiento se asumió una rigidez infinita y por consiguiente en este tipo de cimentación con viga de enlace se pueden analizar los asentamientos diferenciales que se presenta entre la zapata externa para una arcilla suave 186.24mm, arcilla densa 24.90mm y arcilla firme 11.34mm.

El porcentaje de deformación en el centroide de la zapata difiere entre una arcilla suave y arcilla firme en un 93.91%. y entre una arcilla media y arcilla firme 54.45%.

8 CONCLUSIONES

- La distribución de deformaciones que hay en la superficie de contacto entre la cimentación y el suelo es variada y sensible a la rigidez relativa del suelo y el tipo de cimentación.
- A medida que se aumenta la carga sobre la zapata, las deformaciones se hacen más notorias hacia los extremos donde se aplica la carga y disminuyendo hacia el centroide de la cimentación.
- En el modelo podemos observar que el suelo está constituido por una cama de resortes lineales independientes, de tal modo que los desplazamientos que se presentan en el suelo serán proporcionales a los esfuerzos que sufre la cimentación, como lo prevé la teoría elástica.
- Las zapatas combinadas rectangulares presentan un mejor comportamiento para soportar las cargas ya que los asentamientos se presentan en un intervalo de menor valor.
- Los suelos arcillosos presentan mayor deformación comparados con los suelos arenosos, sin importar el tipo de geometría de la zapata a diseñar.
- Las arenas densas y arcilla firme son aquellas que presentan un menor desplazamiento demostrando de este modo que son los tipos de suelos más convenientes a usar como cimentación.

BIBLIOGRAFIA

- **BRAJA M. DAS.** Fundamentos de ingeniería geotécnica: Thompson Learning, 2001.
- **BRAJA M. DAS.** Principios de ingeniería de cimentaciones: Thompson Learning.
- **CALAVERA, José.** Cálculo de estructuras de cimentación. Cuarta edición. Intemac, 2002.
- **Duque, Gonzalo y Escobar, Carlos.** Mecánica de suelos I. Segunda edición. Mc Graw Hill, 2000.
- **Contreras, Fabio Garnica.** Influencia del suelo en las presiones y deformaciones. Punta del este: s.n., 2005.

ANEXOS

ANEXO A TABLA DE DEFORMACIONES ZAPATA FLEXIBLE EN ARCILLA RIGIDA

TABLA DEFORMACIONES ZAPATAS FLEXIBLES EN ARCILLA RIGIDA				
Panel	Node	OutputCase	CaseType	Uz
Text	Text	Text	Text	mm
1	106	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.7621
2	106	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.7621
3	~92	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.8117
4	~92	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.8117
5	109	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.7620
6	109	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.7620
7	97	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.0056
9	~93	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.9819
10	~93	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.9819
11	114	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.1297
12	114	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.1297
13	~94	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.9818
14	~94	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.9818
15	~81	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.5121
17	107	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2019
18	107	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2019
19	~91	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2054
20	~91	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2054
21	108	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2018
22	108	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2018
23	~81	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.5121
25	~58	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-9.6192
26	~97	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.3145
27	115	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.5517
28	115	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.5517
29	~98	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.3151
30	~78	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-9.6192
31	~85	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-9.2295
33	~59	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.3872
34	103	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.6894
35	~95	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.6923
36	~95	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.6923
37	104	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.6900
38	~79	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.3882
39	~86	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.0010
41	~60	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.1956
42	~88	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.4064
43	~88	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.4064
44	~89	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.4068
45	~89	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.4068
46	~80	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.1969
47	96	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.9070

49	172	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.3051
50	~88	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.4064
51	182	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.7561
52	~111	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.7677
53	~138	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.8100
54	~116	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.7833
55	173	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.3674
57	172	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.3051
59	182	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.7561
60	~111	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.7677
61	~138	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.8100
62	~116	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.7833
63	173	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.3674
65	~105	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.7846
67	~181	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.0079
68	~112	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.2635
69	210	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.1635
70	~182	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.0258
71	~121	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.8470
73	~105	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.7846
75	183	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.2605
76	~112	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.2635
77	~137	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.2738
78	~117	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.2791
79	~121	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.8470
80	~148	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.4749
81	~108	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.8526
84	~143	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.0645
85	213	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.3099
86	~144	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.0812
87	~124	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.9194
88	~148	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.4749
89	~109	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.8866
92	187	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.6050
93	~141	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.6165
94	188	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.6217
95	~125	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.9546
97	~110	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.7199
100	~115	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.4269
101	~141	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.6165
102	~120	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.4437
103	~126	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.7886
104	~134	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.3809
105	~191	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.0617
107	246	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.5644
108	~206	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.6000
109	~206	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.6000
110	249	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.5644
111	~126	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.7886
112	237	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.2275
113	~191	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.0617
115	246	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.5644

116	~206	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.6000
117	~206	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.6000
118	249	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-14.5644
120	237	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.2275
121	~192	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.9995
123	~207	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.5248
124	254	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.6325
125	254	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.6325
126	~208	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-13.5248
128	~203	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2201
129	~192	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.9995
131	247	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.4848
132	~205	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.5262
133	~205	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.5262
134	248	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.4848
136	~203	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2201
137	~157	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-8.9201
139	~163	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-9.0798
140	~210	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-9.1020
141	~210	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-9.1020
142	~167	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-9.0798
143	241	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-8.7041
144	241	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-8.7041
145	~159	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.5632
147	250	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.7798
148	~184	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.8221
149	~184	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.8221
150	253	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.7798
151	~178	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.2822
152	~178	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.2822
153	~159	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.5632
155	~185	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2049
156	255	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.3754
157	255	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.3754
158	~186	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.2049
159	~178	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.2822
160	~178	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-10.2822
161	~160	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.3767
163	251	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.6228
164	~183	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.6250
165	~183	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.6250
166	252	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.6228
167	~179	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.0720
168	~179	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.0720
169	~162	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.2819
171	~166	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.4477
172	~166	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.4477
173	~183	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-11.6250
174	~170	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.4477
175	240	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.0371
176	240	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-12.0371

ANEXO B TABLA DEFORMACIONES ZAPATA FLEXIBLE EN ARCILLA MEDIA

TABLA DEFORMACIONES ZAPATA FLEXIBLE EN ARCILLA MEDIA				
Node	Point	OutputCase	CaseType	Uz
Text	Text	Text	Text	mm
123	123	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.36248
124	124	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.14315
125	125	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.145379
126	126	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.36172
127	127	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.872681
128	128	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.74368
129	129	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.744307
130	130	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.87332
131	131	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.130873
132	132	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.403359
133	133	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.403215
134	134	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.130725
135	135	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.415117
136	136	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.548089
380	380	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.990272
381	381	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.13738
382	382	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.935334
383	383	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.477009
384	384	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.907445
385	385	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.949493
386	386	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.519057
387	387	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.252901
388	388	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.47697
389	389	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.514902
390	390	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.2908
391	391	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.859887
392	392	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.122566
393	393	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.432753
394	394	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.293085
395	395	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.45884
396	396	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.857771
397	397	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.857771
398	398	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.45884
399	399	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-28.794603
400	400	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.28181
401	401	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.28181
402	402	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-28.794603
403	403	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.919467
404	404	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.01315
405	405	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.01315
406	406	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.919467
407	407	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.646067
408	408	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.639962
409	409	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.180543
410	410	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.293085
411	411	CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.432753

~47		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.695124
~48		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.810175
~49		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-19.91234
~50		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.163724
~51		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.142607
~52		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.036963
~53		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.839312
~54		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.119162
~55		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.134094
~56		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.209583
~57		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.502702
~58		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.548208
~59		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.436663
~60		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.439476
~61		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.303908
~62		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.381956
~63		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.712156
~67		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.303485
~68		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.381799
~69		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.710092
~73		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.838928
~74		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.118572
~75		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.133288
~76		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.208533
~77		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.50092
~78		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.548289
~79		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.43779
~80		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.440862
~81		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.694121
~82		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.808818
~83		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-19.910534
~84		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.16198
~85		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.14269
~86		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.038311
~88		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.653501
~89		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.653957
~90		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-20.719021
~91		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.406854
~92		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.18086
~93		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.267013
~94		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.266863
~95		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.746635
~96		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.875642
~97		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.310714
~98		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.311336
~105		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.38805
~106		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.429685
~107		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.22246
~108		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.537829
~109		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.71598
~110		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.670511
~111		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.490226

~112		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.91196
~113		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.828261
~114		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.684333
~115		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.417963
~116		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.527012
~117		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.948761
~118		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.864955
~119		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.721548
~120		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.456023
~121		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.535278
~122		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.57711
~123		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.371587
~124		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.689764
~125		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.869126
~126		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.824337
~133		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.070464
~134		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.303546
~137		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.932921
~138		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.543458
~141		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.499128
~142		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.27508
~143		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.866421
~144		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.904339
~145		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.479463
~146		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.46588
~147		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.160992
~148		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.249029
~149		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.3219
~150		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.291099
~151		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.96663
~152		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.031384
~153		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.451078
~154		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.409366
~155		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.456179
~156		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.185413
~157		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.70012
~158		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.705851
~159		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.698814
~160		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.76573
~161		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.46654
~162		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.10446
~163		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.890912
~164		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.872696
~165		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.669608
~166		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.2712
~167		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.890912
~168		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.872696
~169		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.669608
~170		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.2712
~171		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.70012
~172		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.705851
~173		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.698814

~174		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.76573
~175		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.46654
~176		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.10446
~177		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.451078
~178		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.409366
~179		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.456179
~180		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.185413
~181		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.691862
~182		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.733911
~183		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.015329
~184		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.961183
~185		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.469739
~186		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.469739
~187		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.895093
~188		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.91305
~189		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.982518
~190		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.604426
~191		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-28.285772
~192		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.785815
~193		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.397755
~194		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.147593
~195		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.8806
~196		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.928605
~197		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.8806
~198		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.928605
~199		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-28.285772
~200		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-25.785815
~201		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.397755
~202		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-21.147593
~203		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-24.982518
~204		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.604426
~205		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-26.322863
~206		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-28.830586
~207		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.538375
~208		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-27.538375
~209		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-23.924638
~210		CARGA DE SERVICIO	LinStatic	-22.108949