

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS  
COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN  
SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN”**

**ING. JUAN DAVID QUIROGA**

TRABAJO DE GRADO  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR: ING. JAIME E. GARZÓN MORENO

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA “JULIO GARAVITO”  
DECANATURA DE INGENIERÍA CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS  
BOGOTÁ D.C.

2015

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>8</b>
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
3.1. INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA .....	9
3.1.1. <i>DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES DE CONTACTO Y DEFLEXIONES</i> .....	9
3.1.1.1. Fundaciones flexibles .....	9
3.1.1.2. Fundaciones rígidas .....	10
3.1.2. <i>ENFOQUES DE DISEÑO PARA LOS CIMIENTOS COMBINADOS</i> .....	11
3.1.2.1. Método rígido (método convencional) .....	11
3.1.2.2. Fundación elástica con sub-rasante elástica simplificada. Modelo Winkler .....	11
3.1.2.3. Fundación y sub-rasantes elásticas .....	12
3.1.3. <i>MODELO DE WINKLER</i> .....	12
3.1.4. <i>RIGIDEZ RELATIVA FUNDACIÓN-SUELO</i> .....	13
3.1.5. <i>AJUSTE DEL MÓDULO DE REACCIÓN O EFECTO DE BORDE</i> .....	14
3.2. PLACAS DE CIMENTACIÓN .....	14
3.2.1. <i>TIPOS DE PLACAS DE CIMENTACIÓN</i> .....	15
3.2.2. <i>MÉTODOS DE ANÁLISIS</i> .....	18
3.2.2.1. Método rígido convencional .....	18
3.2.2.2. Método flexible aproximado .....	18
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>20</b>
4.1. GEOMETRÍA DE LA SUPERESTRUCTURA Y DE LA CIMENTACIÓN .....	20
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO .....	23
4.2. MODELO DE LA SUPERESTRUCTURA .....	23
4.3. CARGAS .....	25
4.4. CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN .....	25
4.4.1. <i>CÁLCULO ESFUERZO DE CONTACTO Y ANALISIS DE EXCENTRICIDAD</i> .....	25
4.4.2. <i>IDENTIFICACIÓN DEL CIMIENTO RESPECTO A SU RIGIDEZ RELATIVA</i> .....	31
<b>5. METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA EVALUAR EL EFECTO DE LOS METODOS RIGIDOS Y METODOS FLEXIBLES EN CIMENTACIONES DE PLACAS</b> .....	<b>33</b>
5.1. MODELO 1 “RIGIDO” .....	33
5.2. MODELO 2 “FLEXIBLE” .....	34
<b>6. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS</b> .....	<b>35</b>
6.1. MODELO 1 .....	35
6.2. MODELO 2 .....	36
<b>7. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

7.1.	ANÁLISIS DE LA PLACA.....	39
7.1.1.	ANÁLISIS DEL MODELO 1 "RIGIDO".....	39
7.1.1.1.	Cortante en el eje X.....	39
7.1.1.2.	Momentos en el eje X.....	39
7.1.2.	ANÁLISIS DEL MODELO 2 "FLEXIBLE".....	42
7.1.2.1.	Cortantes a lo largo del eje X.....	42
7.1.2.2.	Momentos a lo largo del eje X.....	42
7.2.	ANÁLISIS VIGAS.....	45
7.2.1.	CUADRO COMPARATIVO ENTRE MODELOS.....	45
7.2.2.	DIAGRAMAS DE CORTANTES Y MOMENTOS EN LAS VIGAS ANALIZADAS.....	47
7.2.2.1.	Modelo 1.....	47
7.2.2.2.	Modelo 2.....	54
8.	CONCLUSIONES.....	62
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	65

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Distribución de presiones de contacto para elementos flexibles. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)</i> .....	9
<i>Figura 2. Esquemas de diagramas de deflexiones y presiones de contacto cimientos muy flexibles de rigidez relativa. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)</i> .....	10
<i>Figura 3. Esquema de la distribución presiones de contacto para cimientos perfectamente rígidos en suelos cohesivos. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)</i> .....	10
<i>Figura 4. Deflexión en cimientos perfectamente rígidos. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)</i> .....	10
<i>Figura 5. Método rígido. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)</i> .....	11
<i>Figura 6. Placa plana maciza. (Fuente Braja M., 1999)</i> .....	15
<i>Figura 7. Placa plana. (Fuente Braja M., 1999)</i> .....	16
<i>Figura 8. Placas nervadas, Vigas y placas. (Fuente Braja M., 1999)</i> .....	17
<i>Figura 9. Losa con muros de sótano. (Fuente Braja M., 1999)</i> .....	17
<i>Figura 10 Principios de diseño del método rígido convencional. (Fuente Braja M., 1999)</i> .....	18
<i>Figura 11 Principios del método flexible aproximado. (Fuente Braja M., 1999)</i> .....	19
<i>Figura 12. Planta de cimentación</i> .....	22
<i>Figura 13. Planta placa primer piso</i> .....	24
<i>Figura 14 Planta placa segundo piso</i> .....	24
<i>Figura 15 Planta placa tercer piso</i> .....	24
<i>Figura 16 Planta placa cuarto piso</i> .....	24
<i>Figura 17 Modelo en 3D superestructura</i> .....	25
<i>Figura 18 Sección de la placa de cimentación</i> .....	32
<i>Figura 19. Vista en planta de la cimentación del modelo</i> .....	35
<i>Figura 20. Vista en tres dimensiones de la cimentación del modelo rígido</i> .....	35
<i>Figura 21. Vista en planta de la cimentación del modelo</i> .....	36
<i>Figura 22. Vista en tres dimensiones de la cimentación del modelo con resortes</i> .....	36
<i>Figura 23. Planta de cimentación para análisis particular</i> .....	38
<i>Figura 24. Losa de Cimentación. Cortantes a lo largo del eje X</i> .....	40
<i>Figura 25. Losa de Cimentación. Momentos a lo largo del eje X</i> .....	41
<i>Figura 26. Losa de Cimentación. Cortantes a lo largo del eje X</i> .....	43
<i>Figura 27. Losa de Cimentación. Momentos a lo largo del eje X</i> .....	44
<i>Figura 28 Cortante Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p</i> .....	47
<i>Figura 29 Momento Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p</i> .....	47
<i>Figura 30 Cortante Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p</i> .....	48
<i>Figura 31 Momentos Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p</i> .....	48
<i>Figura 32 Cortante Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p</i> .....	49
<i>Figura 33 Momentos Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p</i> .....	49

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

<i>Figura 34 Cortante Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	50
<i>Figura 35 Momentos Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	50
<i>Figura 36 Cortante Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	50
<i>Figura 37 Momentos Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	50
<i>Figura 38 Cortante Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	50
<i>Figura 39 Momentos Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	51
<i>Figura 40 Cortante Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	51
<i>Figura 41 Momentos Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	51
<i>Figura 42 Cortante Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	51
<i>Figura 43 Momentos Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	52
<i>Figura 44 Cortante Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	52
<i>Figura 45 Momentos Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	52
<i>Figura 46 Cortante Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	52
<i>Figura 47 Momentos Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	53
<i>Figura 48 Cortante Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	53
<i>Figura 49 Momentos Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	53
<i>Figura 50 Cortante Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	53
<i>Figura 51 Momentos Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	53
<i>Figura 52 Cortante Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p.....</i>	54
<i>Figura 53 Momento Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p.....</i>	54
<i>Figura 54 Cortante Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p.....</i>	55
<i>Figura 55 Momentos Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p.....</i>	55
<i>Figura 56 Cortante Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p.....</i>	56
<i>Figura 57 Momentos Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p.....</i>	56
<i>Figura 58 Cortante Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	57
<i>Figura 59 Momentos Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	57
<i>Figura 60 Cortante Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	57
<i>Figura 61 Momentos Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	57
<i>Figura 62 Cortante Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	58
<i>Figura 63 Momentos Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	58
<i>Figura 64 Cortante Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	58
<i>Figura 65 Momentos Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	58
<i>Figura 66 Cortante Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	59
<i>Figura 67 Momentos Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	59
<i>Figura 68 Cortante Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	59
<i>Figura 69 Momentos Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	59
<i>Figura 70 Cortante Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	60
<i>Figura 71 Momentos Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	60
<i>Figura 72 Cortante Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	60
<i>Figura 73 Momentos Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	60
<i>Figura 74 Cortante Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	61
<i>Figura 75 Momentos Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp.....</i>	61

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Identificación de vigas de fundación.....</i>	13
<i>Tabla 2. Porcentajes de relación de cortantes y momentos. ....</i>	45

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema de Losas de Cimentación también conocidas como placas continuas de cimentación son aquellas cimentaciones que se encarga de transmitir las cargas al suelo mediante una losa continua que abarca la superficie total del terreno que ocupa la estructura. Generalmente se recomienda que cuando la superficie de cimentación mediante zapatas aisladas supere el cincuenta por ciento de la planta de la construcción, se contemple una cimentación por placa.

El diseño estructural de las losas de cimentación se efectúa por dos métodos convencionales: ***el Método Rígido Convencional y el Método Flexible Aproximado.***

En este trabajo de grado se presentan los dos métodos de diseño para este sistema de cimentación mediante un caso real de diseño en la ciudad de Bogotá, con el fin de analizar los resultados mediante una comparación de los dos métodos y evaluar el efecto de la *Interacción Suelo-Estructura* de un edificio en estudio.

Con la ayuda del software para el cálculo estructural *ETABS*, se hicieron dos modelos, aplicando en cada uno los métodos, mediante elementos finitos, basados en expresiones matemáticas, evidencia experimental y principios teóricos, buscando representar la interacción suelo-estructura.

La superestructura a cimentar es un salón comunal de cuatro pisos, el estudio de suelos para este proyecto recomienda una cimentación superficial en zapatas aisladas, sin embargo dado que las cargas para este edificio son muy altas respecto a la capacidad portante admisible del suelo, las zapatas eran demasiado grandes, por lo cual se juntaban en varios puntos de la cimentación, lo que hizo elegir como solución al sistema de placas de cimentación

## **2. OBJETIVO GENERAL**

Analizar los dos métodos convencionales para placas de cimentación de una estructura específica, mediante dos modelos de elementos finitos, con los cuales se obtendrán resultados aproximados que permitan saber si vale la pena o no, utilizar el método de interacción *suelo-estructura* o si es mejor utilizar el método rígido, en términos de resultados menos conservadores sin que se pierda el fin la estructura, que es salvaguardar las vidas de quienes la habitan, haciendo la cimentación un sistema eficiente.

### **2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 2.1.1. Utilizar el método de interacción suelo-estructura para una placa de cimentación en un caso particular, mediante un modelo planteado en un programa de análisis estructural.
  
- 2.1.2. Mediante el mismo programa de análisis modelar la placa de cimentación por el método rígido.
  
- 2.1.3. Los resultados obtenidos en el programa ETABS V9.7.3. para los dos modelos se analizarán en términos de esfuerzos y se compararán con el fin de determinar si el uso de un análisis flexible puede disminuir los requerimientos de diseño de la fundación que por el método rígido.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA

El diseño de una fundación se hace posible, al conocer los valores de los momentos flectores y fuerzas cortantes de los elementos de fundación, que dependen de las solicitaciones propias de la superestructura y así poder determinar secciones y refuerzos, por lo cual se hace necesario en primer lugar determinar la distribución de presiones de contacto *fundación-suelo*, que es posible mediante la comprensión del mecanismo interacción *suelo-estructura*.

##### 3.1.1. DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES DE CONTACTO Y DEFLEXIONES

###### 3.1.1.1. Fundaciones flexibles

En la condición límite de perfecta flexibilidad las fundaciones no ofrecen resistencia a la flexión, por lo que las presiones de contacto y fuerzas tienen igual distribución a las cargas aplicadas sobre la fundación pero en sentido contrario. Tal como se puede observar en la siguiente imagen:

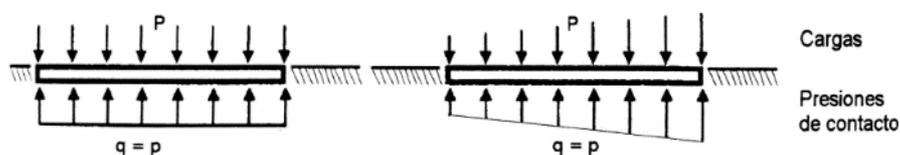


Figura 1. Distribución de presiones de contacto para elementos flexibles. Fuente:

(Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

En la siguiente figura se puede observar en una idealización de una fundación perfectamente flexible, en donde la concentración de presiones alcanza una magnitud extrema debajo de la carga.

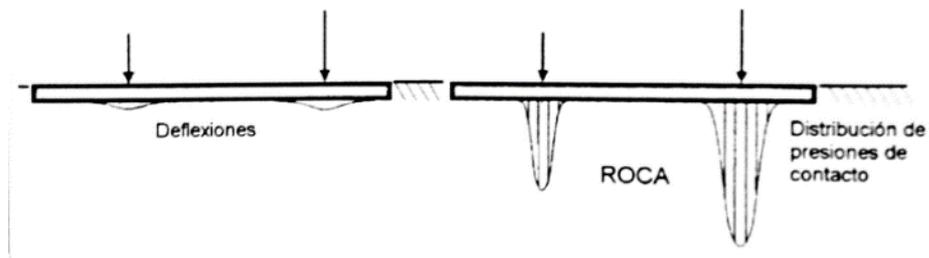


Figura 2. Esquemas de diagramas de deflexiones y presiones de contacto cimientos muy flexibles de rigidez relativa. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)

## 3.1.1.2. Fundaciones rígidas

En fundaciones de perfecta rigidez relativa los desplazamientos son uniformes debajo de la fundación, siempre y cuando la resultante de las cargas aplicadas pase por el centroide del área de soporte.

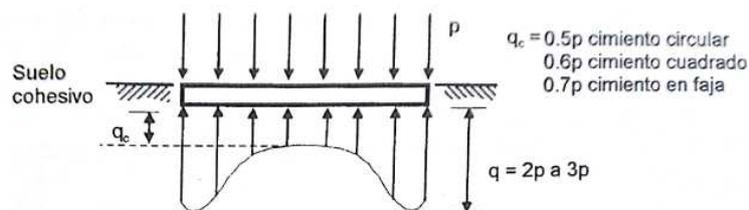


Figura 3. Esquema de la distribución presiones de contacto para cimientos perfectamente rígidos en suelos cohesivos. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)

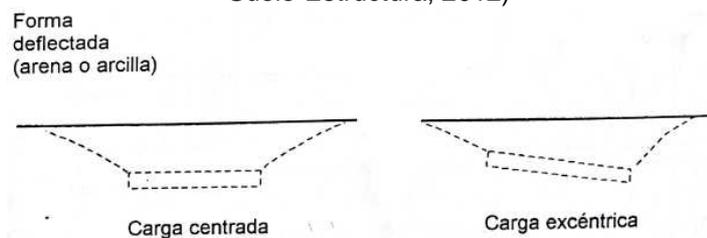


Figura 4. Deflexión en cimientos perfectamente rígidos. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

A diferencia de una fundación flexible, la presión de contacto debajo de un cimiento relativamente rígido depende del tipo de suelo y de la hipótesis usada en la reacción del suelo.

## 3.1.2. ENFOQUES DE DISEÑO PARA LOS CIMIENTOS COMBINADOS

### 3.1.2.1. Método rígido (método convencional)

Suposiciones:

- ✓ Fundación rígida, las deflexiones diferenciales no afectan la distribución de presión de contacto.
- ✓ La variación de la presión de contacto es lineal donde la resultante de las cargas aplicadas pase por el centroide del diagrama de presión de contacto.

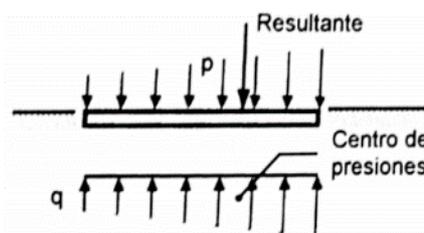


Figura 5. Método rígido. Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)

### 3.1.2.2. Fundación elástica con sub-rasante elástica simplificada. Modelo Winkler

La rigidez de la fundación se representa como  $EI$  y el suelo como una cama de resortes, actuando independientemente, es decir no hay compresión del suelo por fuera de la fundación.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

### 3.1.2.3. Fundación y sub-rasantes elásticas

Al igual que el modelo Winkler, la rigidez de la fundación se representa como  $EI$ , pero el suelo de soporte se considera perfectamente elástico e isotrópico.

Lo que significa es que el suelo se deforma por fuera de la fundación a diferencia del modelo de Winkler (Ver numeral 3.1.3. Modelo De Winkler).

### 3.1.3. MODELO DE WINKLER

Existen diferentes enfoques para el desarrollo del comportamiento suelo-estructura, pero en este trabajo de investigación se hará únicamente énfasis en el Modelo propuesto por Winkler en 1867, debido a que es el menos complejo en razón a las características matemáticas que éste le dio al comportamiento de los elementos de una fundación y muchas de sus fórmulas han sido graficadas y tabuladas.

Este modelo se enfoca en el comportamiento del suelo de soporte, incluyéndolo en los factores de análisis en la interacción *Fundación-Suelo*. Lo que se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$p = k_o y$$

Siendo,

$p$ : *presión en un punto de la interfase fundación – suelo*

$y$ : *deflexión del terreno en el mismo punto*

$k_o$ : *Constante de proporcionalidad*

*Módulo del reacción del terreno o coeficiente de balasto*

Esta constante  $k_o$ , se representa en un modelo mediante una cama de resortes actuando independientemente.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

Cabe añadir que para obtener una aproximación al comportamiento real del suelo se debe hacer una selección cuidadosa del módulo de reacción del suelo.

## 3.1.4. RIGIDEZ RELATIVA FUNDACIÓN-SUELO

Factor de amortiguación,

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{Bk_s}{4EI}} [L^{-1}]$$

Siendo,

*B*: Longitud de la base de la cimentación

*EI*: Rigidez de la cimentación

Y la longitud característica es el inverso de este,  $1/\lambda$ , la cual es un parámetro de medida de la interacción viga-suelo. Hetenyi en 1946 propuso un relación del parámetro  $\lambda L$  para identificar si la viga es rígida o no. La cual se presenta a continuación.

Tabla 1. Identificación de vigas de fundación

Intervalo de $\lambda L$	Identificación de la viga	Criterio para la distribución de la presión de contacto
$\lambda L < \frac{\pi}{4}$	Viga rígida	Distribución lineal de la presión
$\frac{\pi}{4} \leq \lambda L \leq \pi$	Viga de flexibilidad intermedia	Determinarla como viga sobre fundación elástica
$\lambda L > \pi$	Viga flexible	Determinarla como viga sobre fundación elástica

Fuente: (Delgado Vargas, Interacción Suelo-Estructura, 2012)

El American Concrete Institute (1966), en el criterio del comité 436, expresa que si el promedio de dos luces adyacentes  $l_m$  en una franja continua que soporta columnas cuya separación no varíe más del 20% de la luz mayor, es menor a

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

$1.75/\lambda$ , el cimiento es rígido, y la distribución de presiones de contacto es lineal en la fundación. Si el promedio  $l_m$  de luces adyacentes es mayor que  $1.75/\lambda$ , se debe considerar la rigidez relativa en la fundación.

## 3.1.5. AJUSTE DEL MÓDULO DE REACCIÓN O EFECTO DE BORDE

Los asentamientos producidos por un área flexible uniformemente cargada son mayores debajo del centro que en los bordes, esta afirmación contradice el método de modelar con un  $K_s$  constante y también el de obtener un asentamiento también constante, por lo que podría resultar incorrecto utilizar los resortes planteados por Winkler para representar la reacción del suelo.

Bowles (1998), propuso como solución a este error en la utilización de Winkler, duplicando el módulo de reacción  $K_s$  del suelo en los bordes de la placa de cimentación.

## 3.2. PLACAS DE CIMENTACIÓN

Las cimentaciones con placas son generalmente de tipo superficial y es una de los cuatro tipos de zapatas combinadas. Se recomienda que cuando la superficie de cimentación mediante zapatas aisladas supere el cincuenta por ciento de la planta de la construcción se considere como sistema de cimentación, una losa.

Este tipo de cimentación es una zapata combinada que cubre toda el área bajo una estructura que soporta varias columnas y muros. Las cimentaciones con placas son a veces preferidas en suelos que tienen que soportar cargas pesadas de columnas y/o muros. Bajo algunas condiciones, las zapatas aisladas tendrán

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

que cubrir más de la mitad del área construida y entonces una cimentación con losa resulta más económica.

La capacidad de carga total última de una placa de cimentación se calcula con la ecuación usada para cimentaciones superficiales. Sin embargo en este capítulo no voy a detenerme a explicar las fórmulas para su cálculo ya que no es interés de este trabajo.

## 3.2.1. TIPOS DE PLACAS DE CIMENTACIÓN

Existen varios tipos de placas de cimentación:

- Placa plana. La losa es de espesor uniforme, son losas o placas de hormigón armado cuya sección es constante y pareja, sobre la cual apoyan directamente los pilares; se usan generalmente para las estructuras que poseen cargas y luces equilibradas.

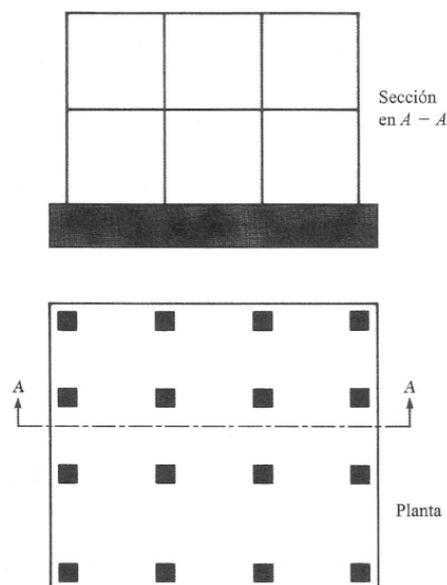


Figura 6. Placa plana maciza. (Fuente Braja M., 1999)

- Placa plana con mayor espesor bajo las columnas. Se utilizan cuando existen cargas importantes, de modo que entre la placa y el pilar se

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

construye un capitel (superior e inferior) que optimiza el trabajo de la losa, tanto a los esfuerzos de flexión como de corte. Su armado es similar a las de losas de espesor constante.

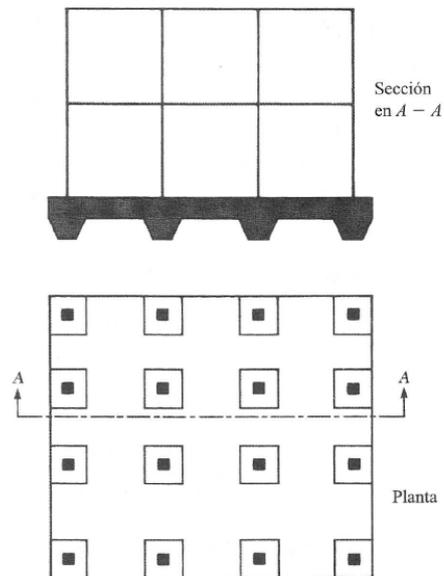


Figura 7. Placa plana. (Fuente Braja M., 1999)

- Vigas y placa. Las vigas van en ambas direcciones y las columnas se localizan en la intersección de las vigas. Las losas Nervadas son un tipo de Cimentaciones por Losa que, como su nombre lo indica, están compuestas por vigas a modo de nervios que trabajan en colaboración ofreciendo gran rigidez y enlazan los pies de los pilares del edificio, dichos nervios están constituidos por vigas longitudinales y transversales. Se construyen para estructuras de cargas desequilibradas, en donde las vigas de unión de los pilares se calculan como zapatas continuas bidireccionales.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

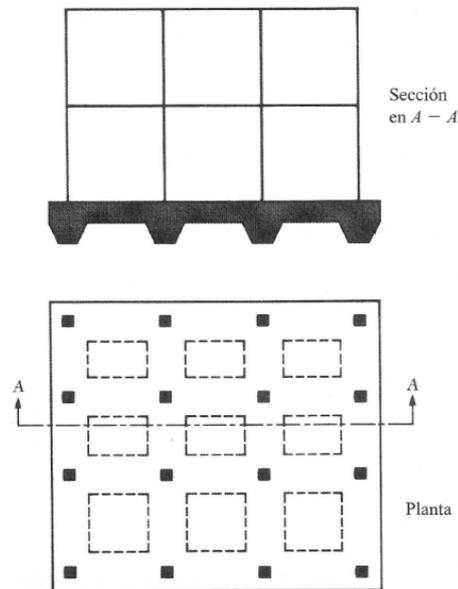


Figura 8. Placas nervadas, Vigas y placas. (Fuente Braja M., 1999)

- Losa con muros de sótano como parte de la losa. Los muros actúan como rigidizadores de la losa.

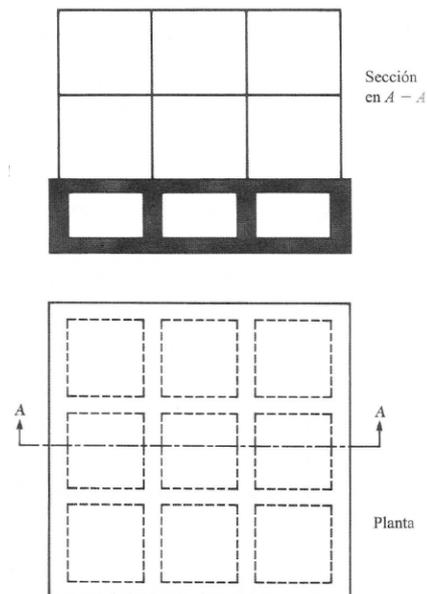


Figura 9. Losa con muros de sótano. (Fuente Braja M., 1999)

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Las losas de cimentación se analizan por dos métodos convencionales, el primero es el método rígido convencional y el segundo el método flexible aproximado.

### 3.2.2.1. Método rígido convencional

En este método de diseño, la losa se supone infinitamente rígida, y la presión del suelo coincide con la línea de acción de las cargas resultantes de las columnas. Como se observa en la siguiente figura:

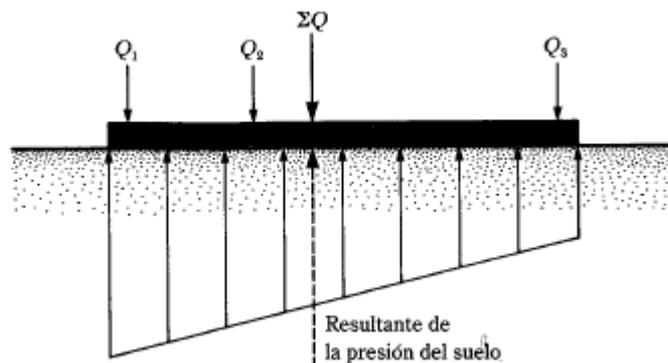


Figura 10 Principios de diseño del método rígido convencional. (Fuente Braja M., 1999)

El método rígido convencional trabaja con más exactitud cuando la losa de cimentación es rígida, permitiendo así que este elemento trabaje como un todo en cuanto a las deformaciones del mismo. Este método da resultados que se acercan a la realidad cuando no hay mucha variación en los valores de carga aplicados, con lo cual, el centro de gravedad geométrico de la losa de cimentación casi coincide con el centro de gravedad de la resultante de la carga. (Braja M Das "Cimentaciones" pag. 310).

### 3.2.2.2. Método flexible aproximado

Este método de diseño, representa al suelo mediante un número infinito de resortes elásticos, por lo que es conocido como *cimentación de Winkler*, los fundamentos de esta teoría fueron expuestos en el capítulo 3.1.3., la constante

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

elástica de esos resortes supuestos se denomina el coeficiente  $k$  de reacción del suelo.

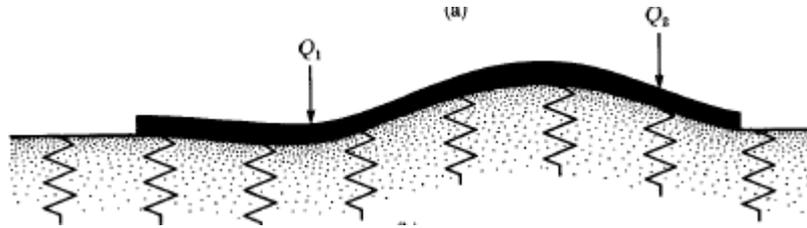


Figura 11 Principios del método flexible aproximado. (Fuente Braja M., 1999)

## **4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **4.1. GEOMETRÍA DE LA SUPERESTRUCTURA Y DE LA CIMENTACIÓN**

El proyecto consiste en una estructura de 3 pisos más una cubierta, los cuales servirán como salón comunal, la estructura se localiza en la zona sur-occidental de la ciudad de Bogotá D.C.

El proyecto arquitectónico contempla la construcción de una estructura de plazoletas, en donde uno de los sectores será utilizado para la construcción del salón comunal, el cual se plantea dilatado de la estructura de plazoletas y el cual servirá de apoyo para las mismas.

El sistema estructural utilizado es combinado entre pórticos en concreto y muros de concreto reforzado con capacidad moderada de disipación de energía (DMO).

Las placas de entrepiso son macizas con vigas descolgadas y tienen una altura de placa de 50cm con placas macizas de 12 a 15cm de espesor.

La cimentación del proyecto es de tipo combinado, teniendo en cuenta que la zona de las plazoletas se van a cimentar por medio de zapatas aisladas con vigas de amarre y el salón comunal va a contar con una placa de cimentación de 1.10m de altura, y van a estar unidas por medio de vigas de amarre, aunque actúan de manera aislada teniendo en cuenta que las estructuras se encuentran dilatadas en la parte superior, según lo especificado en el estudio de suelos del proyecto realizado por el Ingeniero Alfonso Uribe.

El cálculo de la estructura se realizó por el método de Análisis Dinámico utilizando como plataforma, el programa de análisis y diseño de edificios en tres dimensiones ETABS.

# **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN**

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

A continuación se muestra la planta de la cimentación para darnos una idea más clara del armado de la placa y la cimentación que se encuentra anexa y que comprende las plazoletas:

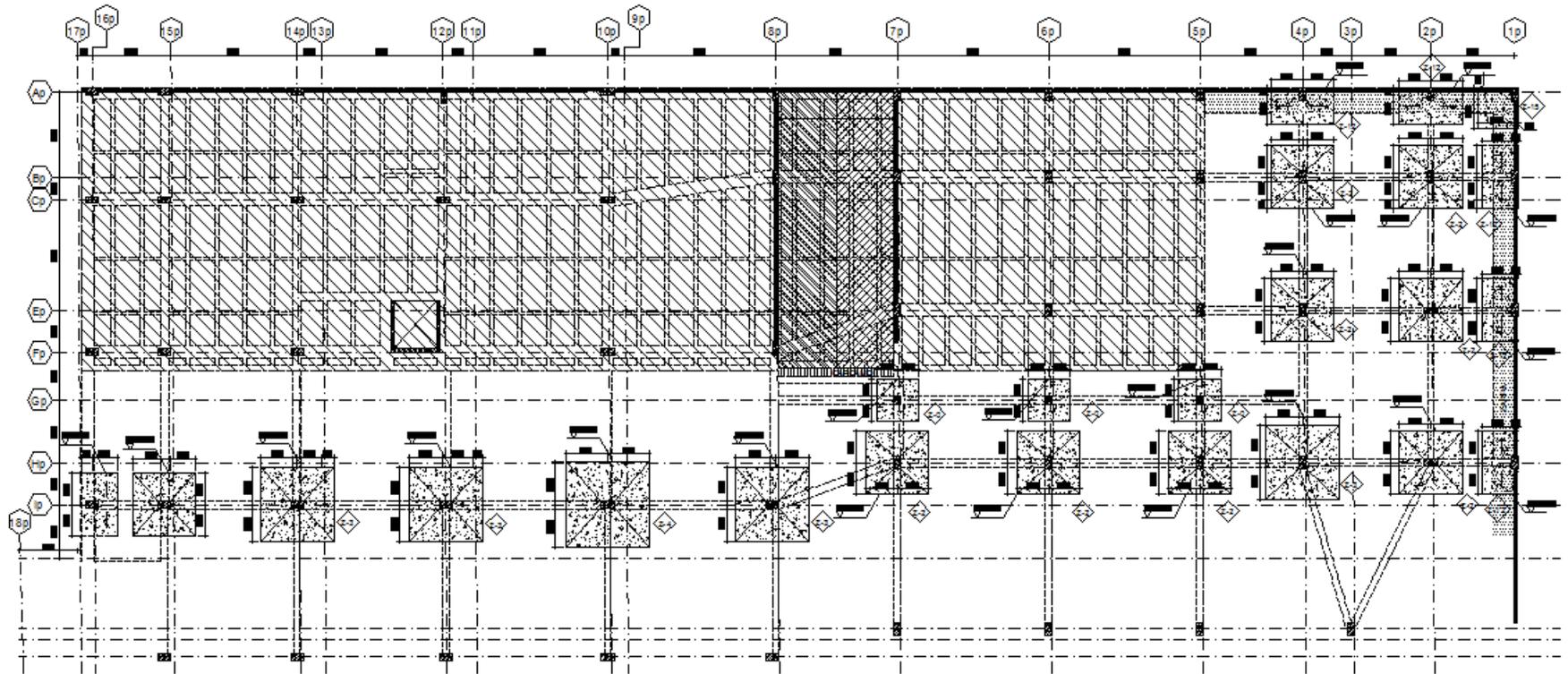


Figura 12. Planta de cimentación

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

## 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

El geotecnista concluyó que la cimentación más conveniente para el edificio es una placa de cimentación, la cual se apoyara sobre arcillas de color café, a una profundidad como mínimo de 0.60m bajo el nivel del piso fino del semisótano.

Con las características del salón comunal se propone diseñar una placa que reparta uniformemente las cargas al suelo de apoyo, siempre y cuando se logre una coincidencia total entre el centro de aplicación de la resultante de las cargas, el centro de gravedad de la losa de fundación y se alcance el nivel de suelo natural, sin exceder un peso total de la edificación, incluida su cimentación, de 5 Ton/m<sup>2</sup>.

Con este sistema de cimentación se han calculado asentamientos teóricos de máximos de 3cm, con asentamientos diferenciales despreciables.

## 4.2. MODELO DE LA SUPERESTRUCTURA

En este capítulo se presenta el modelo de la súper-estructura, el cual fue desarrollado en el paquete de análisis computacional ETABS V9.7.4.

Inicialmente el modelo se concibió para el análisis de la superestructura utilizando un modelo rígido, en donde los apoyos para las columnas se asumieron como apoyos empotrados, teniendo en cuenta la rigidez que aporta la cimentación y el grado de empotramiento que puede generar sobre las mismas.

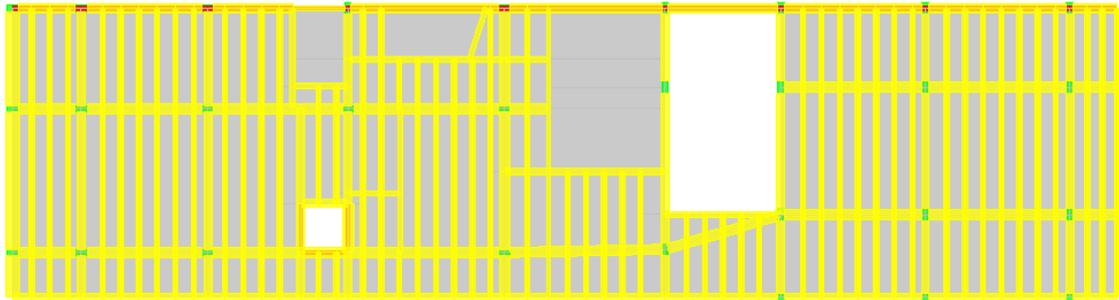
Adicionalmente, para la súper-estructura se hizo una combinación de sistemas de placa dado que para los pisos intermedios se planteó un armado de placas aligeradas y para la cubierta se utilizó un sistema de placas macizas con vigas descolgadas.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

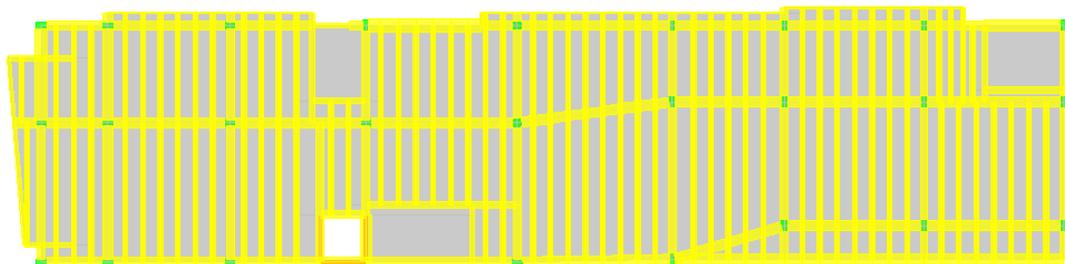
Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

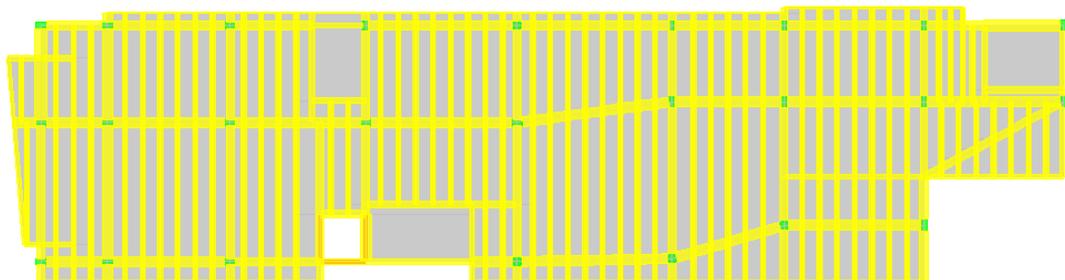
Estas características se pueden observar en el modelo de análisis, tal como se muestra a continuación:



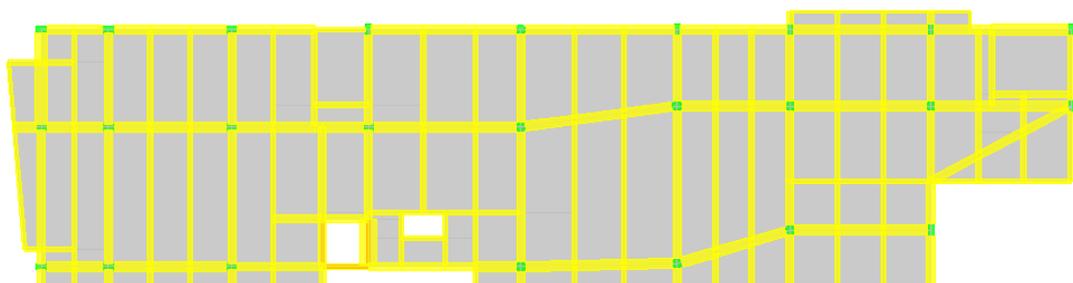
*Figura 13. Planta placa primer piso.*



*Figura 14. Planta placa segundo piso.*



*Figura 15. Planta placa tercer piso.*



*Figura 16. Planta placa cuarto piso.*

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

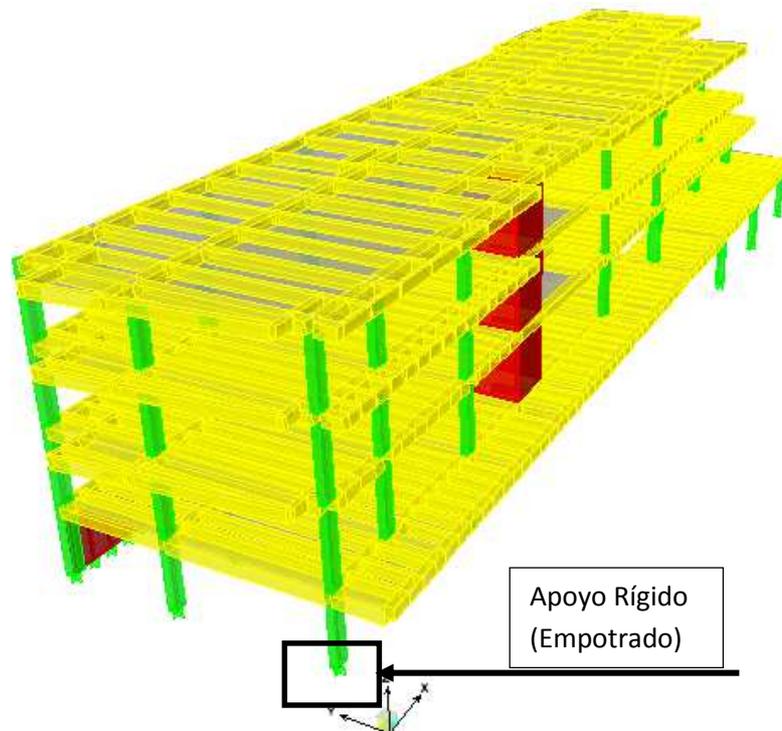


Figura 17 Modelo en 3D superestructura.

## 4.3. CARGAS

Para el análisis de la cimentación se tuvieron en cuenta las cargas de servicio a las cuales está sometida la cimentación, es decir, ante carga muerta y carga viva, especificadas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10:

## 4.4. CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN

### 4.4.1. CÁLCULO ESFUERZO DE CONTACTO Y ANALISIS DE EXCENTRICIDAD

Se realizó el análisis de excentricidad de acuerdo a la geometría del proyecto y a los centros de carga de cada piso, para este análisis se tomó en cuenta los avalúos de carga y los centros de masa de cada piso, tal como se muestra a continuación:

Avalúos de carga:

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 1. Avalúo de carga Piso 1 en zona con sobre-placa

<b>Proyecto:</b> Proyecto de Grado	<b>Fecha:</b>	1er Semestre 2015
<b>Contenido:</b> Avalúo de Carga Piso 1 Sin Sobre Placa	<b>Calculó:</b>	J.D.Q.

Parámetros Iniciales	
Altura Placa (h) =	0.50 m
Torta Superior (s) =	0.06 m
Torta Inferior (i) =	0.03 m
Viguetas (h) =	0.11 m
Separación (S) =	0.80 m
e <sub>Acabados</sub> =	0.05 m

	Sistema Internacional de Unidades	Sistema MKS de Unidades
Tortas Sup. e Inf. = $24 \times (s+i)$	2.160 kN/m <sup>2</sup>	0.216 Ton/m <sup>2</sup>
Viguetas = $24.0 \times (h-s-i) \times e / S$	1.353 kN/m <sup>2</sup>	0.135 Ton/m <sup>2</sup>
Acabados = $22.0 \times e_{Acabados}$	1.100 kN/m <sup>2</sup>	0.110 Ton/m <sup>2</sup>
Casetones	<b>0.350 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.035 Ton/m<sup>2</sup></b>
Muros y/o Particiones	0.315 kN/m <sup>2</sup>	0.031 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Muerta (C.M.) =	<b>5.278 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.528 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Viva (C.V.) =	<b>5.000 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.500 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Total (C.M. + C.V.) =	<b>10.278 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.028 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Ultima (1.2xC.M. + 1.6xC.V.) =	<b>14.334 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.433 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga Real de Cimentación</b>		
Densidad de Vigas =	1.808 kN/m <sup>2</sup>	0.181 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Columnas =	0.574 kN/m <sup>2</sup>	0.057 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Muros =	0.780 kN/m <sup>2</sup>	0.078 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Real a Cimentación (C.R.C.) =	<b>13.440 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.344 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga de Sismo</b>		
Carga de Sismo (C.R.C. - C.V.) =	<b>8.440 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.844 Ton/m<sup>2</sup></b>

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

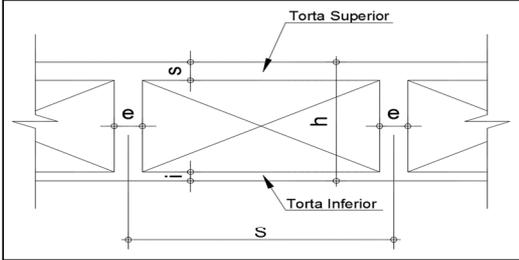
Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 2. Avalúo de carga Piso 1 en zona sin sobre placa

<b>Proyecto:</b> Proyecto de Grado	<b>Fecha:</b>	1er Semestre 2015	
<b>Contenido:</b> Avalúo de Carga Piso 1 Con Sobre Placa	<b>Calculó:</b>	O.O.C.	

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros Iniciales</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura Placa (h) =</td> <td style="text-align: right;">0.09 m</td> </tr> <tr> <td>Torta Superior (s) =</td> <td style="text-align: right;">0.09 m</td> </tr> <tr> <td>Torta Inferior (i) =</td> <td style="text-align: right;">0.00 m</td> </tr> <tr> <td>Viguetas (h) =</td> <td style="text-align: right;">0.00 m</td> </tr> <tr> <td>Separación (S) =</td> <td style="text-align: right;">2.50 m</td> </tr> <tr> <td>e<sub>Acabados</sub> =</td> <td style="text-align: right;">0.00 m</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetros Iniciales		Altura Placa (h) =	0.09 m	Torta Superior (s) =	0.09 m	Torta Inferior (i) =	0.00 m	Viguetas (h) =	0.00 m	Separación (S) =	2.50 m	e <sub>Acabados</sub> =	0.00 m
Parámetros Iniciales															
Altura Placa (h) =	0.09 m														
Torta Superior (s) =	0.09 m														
Torta Inferior (i) =	0.00 m														
Viguetas (h) =	0.00 m														
Separación (S) =	2.50 m														
e <sub>Acabados</sub> =	0.00 m														

	Sistema Internacional de Unidades	Sistema MKS de Unidades
Tortas Sup. e Inf. = $24 \times (s+i)$	2.040 kN/m <sup>2</sup>	0.204 Ton/m <sup>2</sup>
Viguetas = $24.0 \times (h-s-i) \times e / S$	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
Acabados = $22.0 \times e_{Acabados}$	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
Casetones	<b>0.000 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>
Muros y/o Particiones	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Muerta (C.M.) =	<b>2.040 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.204 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Viva (C.V.) =	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
Carga Total (C.M. + C.V.) =	<b>2.040 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.204 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Ultima (1.2xC.M. + 1.6xC.V.) =	<b>2.448 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.245 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga Real de Cimentación</b>		
Densidad de Vigas =	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Columnas =	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Muros =	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Real a Cimentación (C.R.C.) =	<b>2.040 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.204 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga de Sismo</b>		
Carga de Sismo (C.R.C. - C.V.) =	<b>2.040 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.204 Ton/m<sup>2</sup></b>

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

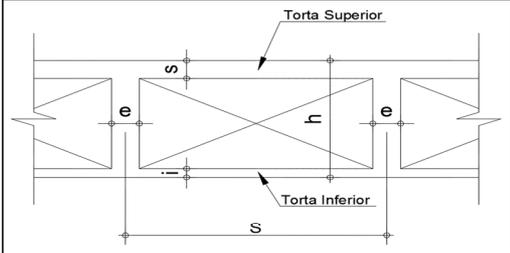
Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 3. Avalúo de carga Piso 2

<b>Proyecto:</b> Proyecto de Grado	<b>Fecha:</b>	1er Semestre 2015
<b>Contenido:</b> Avalúo de Carga Piso 2	<b>Calculó:</b>	O.O.C.

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros Iniciales</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura Placa (h) =</td> <td style="text-align: right;">0.50 m</td> </tr> <tr> <td>Torta Superior (s) =</td> <td style="text-align: right;">0.05 m</td> </tr> <tr> <td>Torta Inferior (i) =</td> <td style="text-align: right;">0.03 m</td> </tr> <tr> <td>Viguetas (h) =</td> <td style="text-align: right;">0.11 m</td> </tr> <tr> <td>Separación (S) =</td> <td style="text-align: right;">0.80 m</td> </tr> <tr> <td>e<sub>Acabados</sub> =</td> <td style="text-align: right;">0.05 m</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetros Iniciales		Altura Placa (h) =	0.50 m	Torta Superior (s) =	0.05 m	Torta Inferior (i) =	0.03 m	Viguetas (h) =	0.11 m	Separación (S) =	0.80 m	e <sub>Acabados</sub> =	0.05 m
Parámetros Iniciales															
Altura Placa (h) =	0.50 m														
Torta Superior (s) =	0.05 m														
Torta Inferior (i) =	0.03 m														
Viguetas (h) =	0.11 m														
Separación (S) =	0.80 m														
e <sub>Acabados</sub> =	0.05 m														

	Sistema Internacional de Unidades	Sistema MKS de Unidades
Tortas Sup. e Inf. = $24 \times (s+i)$	1.920 kN/m <sup>2</sup>	0.192 Ton/m <sup>2</sup>
Viguetas = $24.0 \times (h-s-i) \times e / S$	1.386 kN/m <sup>2</sup>	0.139 Ton/m <sup>2</sup>
Acabados = $22.0 \times e_{Acabados}$	1.100 kN/m <sup>2</sup>	0.110 Ton/m <sup>2</sup>
Casetones	<b>0.350 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.035 Ton/m<sup>2</sup></b>
Muros y/o Particiones	0.335 kN/m <sup>2</sup>	0.033 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Muerta (C.M.) =	<b>5.091 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.509 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Viva (C.V.) =	<b>5.000 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.500 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Total (C.M. + C.V.) =	<b>10.091 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.009 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Ultima (1.2xC.M. + 1.6xC.V.) =	<b>14.109 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.411 Ton/m<sup>2</sup></b>
 <b>Carga Real de Cimentación</b>		
Densidad de Vigas =	1.800 kN/m <sup>2</sup>	0.180 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Columnas =	0.562 kN/m <sup>2</sup>	0.056 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Muros =	0.124 kN/m <sup>2</sup>	0.012 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Real a Cimentación (C.R.C.) =	<b>12.576 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.258 Ton/m<sup>2</sup></b>
 <b>Carga de Sismo</b>		
Carga de Sismo (C.R.C. - C.V.) =	<b>7.576 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.758 Ton/m<sup>2</sup></b>

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

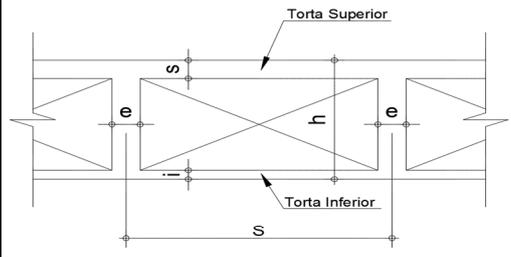
Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 4. Avalúo de carga Piso 3

<b>Proyecto:</b> Proyecto de Grado	<b>Fecha:</b>	1er Semestre 2015
<b>Contenido:</b> Avalúo de Carga Piso 3	<b>Calculó:</b>	O.O.C.



Parametros Iniciales	
Altura Placa (h) =	0.50 m
Torta Superior (s) =	0.05 m
Torta Inferior (i) =	0.03 m
Viguetas (h) =	0.11 m
Separación (S) =	0.80 m
eAcabados =	0.05 m

	Sistema Internacional de Unidades	Sistema MKS de Unidades
Tortas Sup. e Inf. = $24 \times (s+i)$	1.920 kN/m <sup>2</sup>	0.192 Ton/m <sup>2</sup>
Viguetas = $24.0 \times (h-s-i) \times e / S$	1.386 kN/m <sup>2</sup>	0.139 Ton/m <sup>2</sup>
Acabados = $22.0 \times e_{Acabados}$	1.100 kN/m <sup>2</sup>	0.110 Ton/m <sup>2</sup>
Casetones	<b>0.350 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.035 Ton/m<sup>2</sup></b>
Muros y/o Particiones	0.317 kN/m <sup>2</sup>	0.032 Ton/m <sup>2</sup>
<hr style="border: 1px solid black;"/>		
Carga Muerta (C.M.) =	<b>5.073 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.507 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Viva (C.V.) =	<b>5.000 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.500 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Total (C.M. + C.V.) =	<b>10.073 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.007 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Ultima (1.2xC.M. + 1.6xC.V.) =	<b>14.087 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.409 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga Real de Cimentación</b>		
Densidad de Vigas =	1.716 kN/m <sup>2</sup>	0.172 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Columnas =	0.536 kN/m <sup>2</sup>	0.054 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Muros =	0.119 kN/m <sup>2</sup>	0.012 Ton/m <sup>2</sup>
<hr style="border: 1px solid black;"/>		
Carga Real a Cimentación (C.R.C.) =	<b>12.444 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.244 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga de Sismo</b>		
Carga de Sismo (C.R.C. - C.V.) =	<b>7.444 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.744 Ton/m<sup>2</sup></b>

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

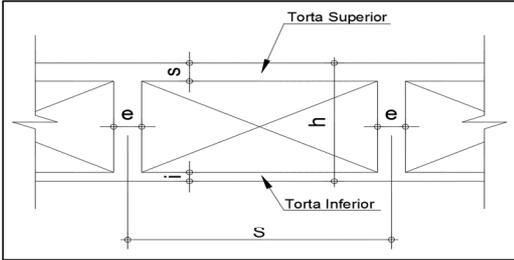
Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 5. Avalúo de carga Cubierta

Proyecto: Proyecto de Grado	Fecha:	1er Semestre 2015	
Contenido: Avalúo de Carga Cubierta	Calculó:	O.O.C.	

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros Iniciales</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altura Placa (h) =</td> <td style="text-align: right;">0.50 m</td> </tr> <tr> <td>Torta Superior (s) =</td> <td style="text-align: right;">0.12 m</td> </tr> <tr> <td>Torta Inferior (i) =</td> <td style="text-align: right;">0.00 m</td> </tr> <tr> <td>Viguetas (h) =</td> <td style="text-align: right;">0.00 m</td> </tr> <tr> <td>Separación (S) =</td> <td style="text-align: right;">2.50 m</td> </tr> <tr> <td>e<sub>Acabados</sub> =</td> <td style="text-align: right;">0.05 m</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetros Iniciales		Altura Placa (h) =	0.50 m	Torta Superior (s) =	0.12 m	Torta Inferior (i) =	0.00 m	Viguetas (h) =	0.00 m	Separación (S) =	2.50 m	e <sub>Acabados</sub> =	0.05 m
Parámetros Iniciales															
Altura Placa (h) =	0.50 m														
Torta Superior (s) =	0.12 m														
Torta Inferior (i) =	0.00 m														
Viguetas (h) =	0.00 m														
Separación (S) =	2.50 m														
e <sub>Acabados</sub> =	0.05 m														

	Sistema Internacional de Unidades	Sistema MKS de Unidades
Tortas Sup. e Inf. = $24 \times (s+i)$	2.880 kN/m <sup>2</sup>	0.288 Ton/m <sup>2</sup>
Viguetas = $24.0 \times (h-s-i) \times e / S$	0.000 kN/m <sup>2</sup>	0.000 Ton/m <sup>2</sup>
Acabados = $22.0 \times e_{Acabados}$	1.100 kN/m <sup>2</sup>	0.110 Ton/m <sup>2</sup>
Casetones	<b>0.000 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>
Muros y/o Particiones	0.163 kN/m <sup>2</sup>	0.016 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Muerta (C.M.) =	<b>4.143 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.414 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Viva (C.V.) =	<b>5.000 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.500 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Total (C.M. + C.V.) =	<b>9.143 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.914 Ton/m<sup>2</sup></b>
Carga Ultima (1.2x C.M. + 1.6x C.V.) =	<b>12.971 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.297 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga Real de Cimentación</b>		
Densidad de Vigas =	2.506 kN/m <sup>2</sup>	0.251 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Columnas =	0.276 kN/m <sup>2</sup>	0.028 Ton/m <sup>2</sup>
Densidad de Muros =	0.061 kN/m <sup>2</sup>	0.006 Ton/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Carga Real a Cimentación (C.R.C.) =	<b>11.986 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>1.199 Ton/m<sup>2</sup></b>
<b>Carga de Sismo</b>		
Carga de Sismo (C.R.C. - C.V.) =	<b>6.986 kN/m<sup>2</sup></b>	<b>0.699 Ton/m<sup>2</sup></b>

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## - Análisis de Excentricidad

### Salón Comunal San Esteban ANÁLISIS DE EXCENTRICIDAD

PISO	AREA (m <sup>2</sup> )	C.R. (T/m <sup>2</sup> )	W ( Ton.)	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	WX	WY
PISO 4°	682.38	1.199	818.17	26.41	8.67	21607.97	7095.86
PISO 3°	701.68	1.244	872.89	26.29	8.94	22948.45	7804.68
PISO 2°	711.05	1.258	894.50	27.63	8.71	24717.92	7792.62
PISO 1°	0.00	0.000	46.71	20.64	1.77	963.93	82.46
PISO 1°	705.90	1.344	948.73	27.96	7.08	26529.52	6712.36
<b>TOTALES</b>							
<b>SUPERESTRUCTURA</b>	<b>2801.01</b>	<b>5.05</b>	<b>3581.00</b>	<b>27.02</b>	<b>8.23</b>	<b>96767.78</b>	<b>29487.98</b>
<b>CIMENTACIÓN</b>	<b>617.48</b>	<b>1.000</b>	<b>617.48</b>	<b>27.07</b>	<b>8.35</b>		
<b>TOTAL EDIFICIO</b>	<b>3418.49</b>		<b>4198.48</b>				

CIMENTACIÓN					
Ppropio cim (Wcim)=	1.00	T/m <sup>2</sup>	$\sigma$ contacto=	6.30	T/m <sup>2</sup>
Punit.suelo=	1.80	T/m <sup>3</sup>	alivio=	4.41	
Prof.sotano=	2.15	m.	$\sigma$ neto=	1.89	
Altura placa=	0.30	m.	<b>Excent. X=</b>	<b>0.0516</b>	<b>m.</b>
Area placa=	675.48	m <sup>2</sup>	<b>Excent. Y=</b>	<b>0.1156</b>	<b>m.</b>
			<b>%ex=</b>	<b>0.10%</b>	
			<b>%ey=</b>	<b>0.78%</b>	
Lx=	52.84	m.			
Ly=	14.91	m.			

Teniendo en cuenta la información anterior se diseña la cimentación con un esfuerzo de contacto de 6.30 Ton/m<sup>2</sup>, y se puede decir que las excentricidades son muy pequeñas por lo que se logra una estabilidad y una coincidencia entre el punto de aplicación de las cargas sobre las placas y el centroide de la placa de cimentación.

## 4.4.2. IDENTIFICACIÓN DEL CIMIENTO RESPECTO A SU RIGIDEZ RELATIVA

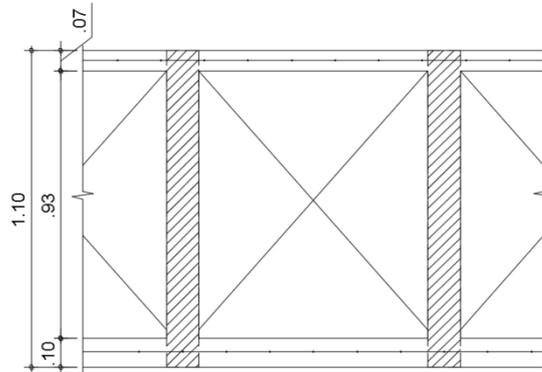
Geometría de la losa:

LUZ ENTRE APOYOS	7500	mm
COEFICIENTE DE BALASTO	2000	kN/mm <sup>3</sup>
BASE POR METRO	1000	mm

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez



MODULO DE ELASTICIDAD DEL MATERIAL	2.49E+07	kN/mm <sup>2</sup>
------------------------------------	----------	--------------------

*Figura 18 Sección de la placa de cimentación*

ELEMENTO	ALTURA (mm)	BASE (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	C. GRAVEDAD Y (mm)	dy <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	A*dy <sup>2</sup> (mm <sup>4</sup> )	I Figura (mm <sup>4</sup> )	I +A*dy <sup>2</sup> (mm <sup>4</sup> )
<b>Torta inferior</b>	100	1000	100000	50.0	1.09E+05	1.09E+10	833333333	1.097E+10
<b>Vigueta</b>	1000	150	150000	600.0	4.84E+04	7.26E+09	1.25E+10	1.976E+10
<b>SUMATORIA Σ</b>			<b>250000</b>	<b>380.0</b>	<b>Inercia I</b>			<b>3.073E+10</b>

## **5. METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA EVALUAR EL EFECTO DE LOS METODOS RIGIDOS Y METODOS FLEXIBLES EN CIMENTACIONES DE PLACAS**

Para la modelación del sistema de cimentación se van a evaluar dos metodologías de análisis de donde se plantea la necesidad de realizar dos modelos, uno para un análisis teniendo en cuenta el comportamiento rígido de la placa y otro para realizar el análisis teniendo en cuenta un comportamiento flexible de la placa.

Para ambos modelos fue necesario realizar el análisis de excentricidad para revisar la concordancia entre los centros de carga y el centroide de la cimentación.

### **5.1. MODELO 1 “RIGIDO”**

De acuerdo al Capítulo 3.2.2.1 Método rígido convencional, se construye el modelo de la siguiente manera:

La losa de cimentación se modelara como un elemento tipo Shell, con vigas embebidas como elementos tipo Frame, para este caso se asignan a la losa subdivisiones por medio del método de elementos finitos asociado en el paquete computacional Etabs como MESH, los cuales nos servirán para distribuir de mejor forma las cargas sobreimpuestas sobre la losa y sobre las vigas.

Para realizar el análisis se va a tener como carga de diseño el esfuerzo actuante sobre la placa debido a la acción de la estructura sobre el suelo de soporte.

Como condiciones de apoyo se van a tomar apoyos rígidos los cuales producen un empotramiento restringiendo tanto los desplazamientos como las rotaciones en los nudos de las columnas y pantallas. De esta forma, solo se van a producir acciones en los elementos que componen la cimentación (Vigas y losa).

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

El esfuerzo de contacto se toma como el peso total de la estructura sobre el área de proyección de la cimentación y está definido como:

$$\sigma_{Contacto} = \frac{W_{Estructura}}{A_{Proyectada}}$$

## 5.2. MODELO 2 “FLEXIBLE”

De acuerdo al Capítulo 3.2.2.2 Método flexible aproximado, se construye el modelo de la siguiente manera:

El modelo flexible se construye a partir del mismo principio de carga, pero lo que cambia es la concepción de la condición de apoyo no solamente de los elementos verticales (Columnas y muros) sino de la losa de cimentación.

Otra condición importante es que no se hace una auto división de los elementos tipo SHELL por medio de un MESH, sino que se hace una división de los elementos de manera manual y se asignan resortes a todas las esquinas de los mismos para simular el efecto del suelo sobre los elementos de la cimentación.

## 6. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS

### 6.1. MODELO 1

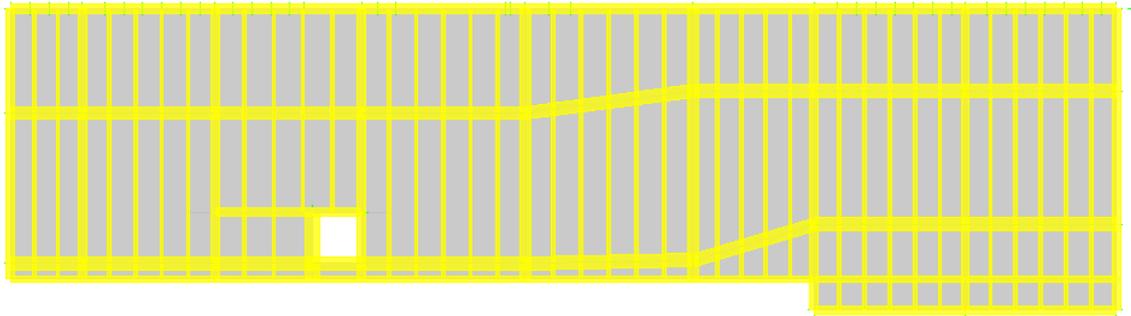


Figura 19. Vista en planta de la cimentación del modelo.

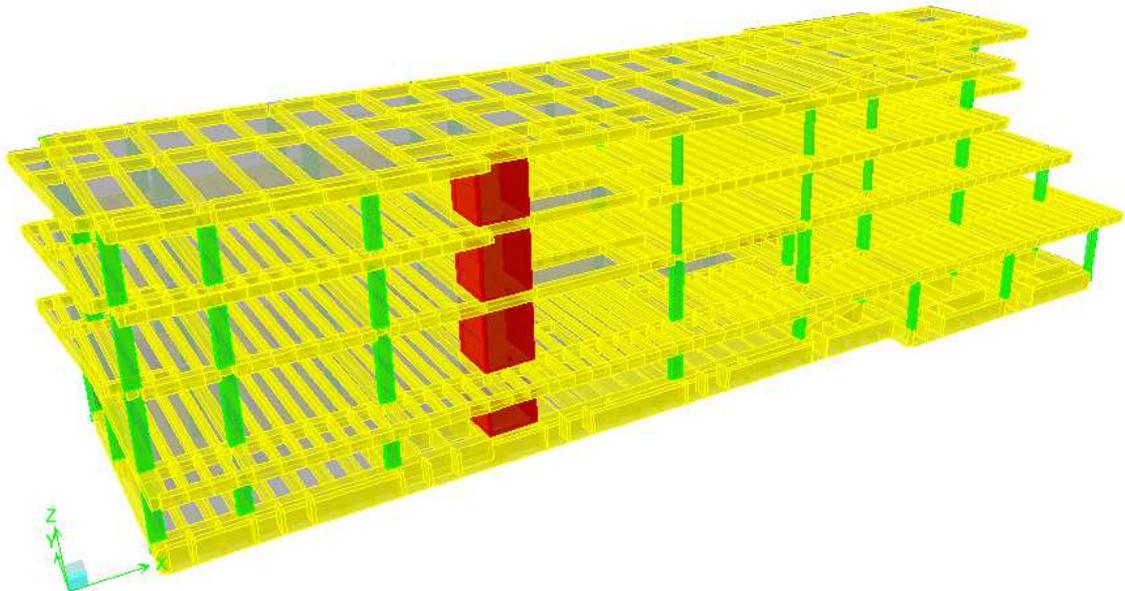


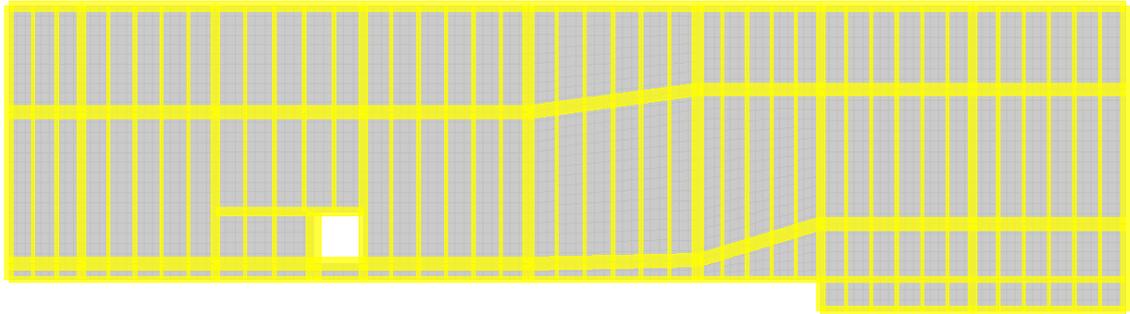
Figura 20. Vista en tres dimensiones de la cimentación del modelo rígido.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

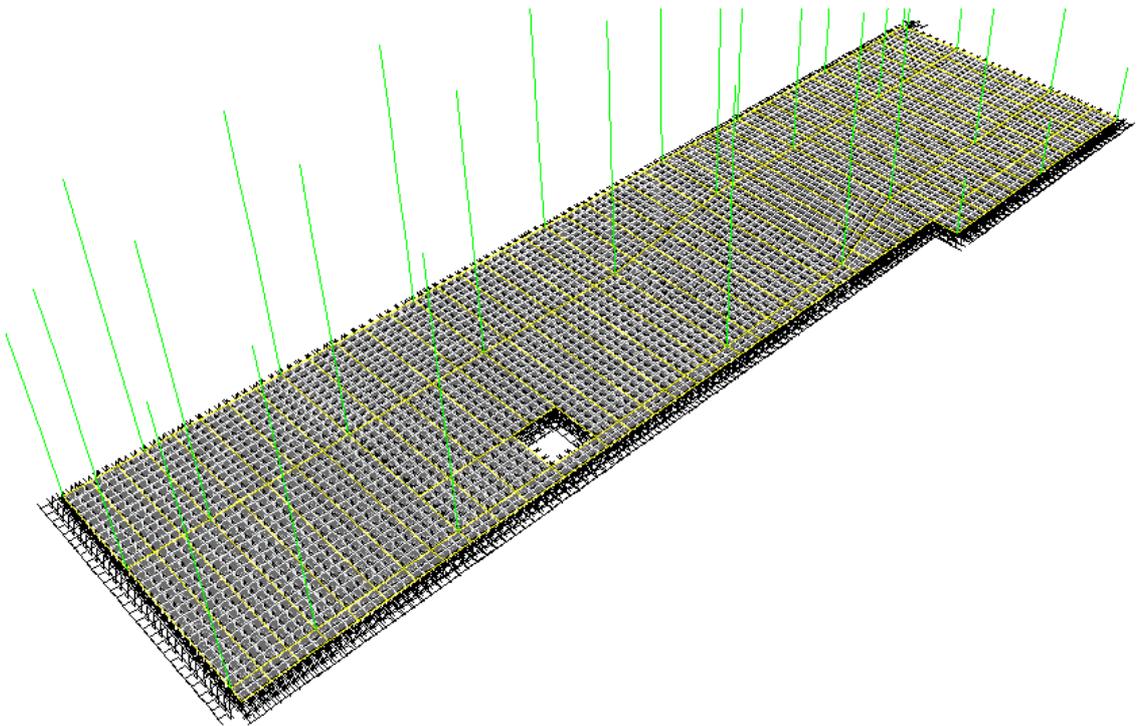
Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 6.2. MODELO 2



*Figura 21. Vista en planta de la cimentación del modelo.*



*Figura 22. Vista en tres dimensiones de la cimentación del modelo con resortes.*

## **7. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para el análisis de resultados se deben tener en cuenta las acciones sobre los dos elementos importantes de la cimentación como lo son las vigas y la losa. De acuerdo con esto se va a realizar un análisis completo tanto de cortante como de momentos sobre las vigas de carga y las vigas de rigidez, y se va a hacer un análisis unidireccional de la losa tanto en cortante como en momentos.

Para dicho análisis se va a tomar como convención para la denominación de las vigas los ejes por los cuales pasa, tal como se muestra en la figura:

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

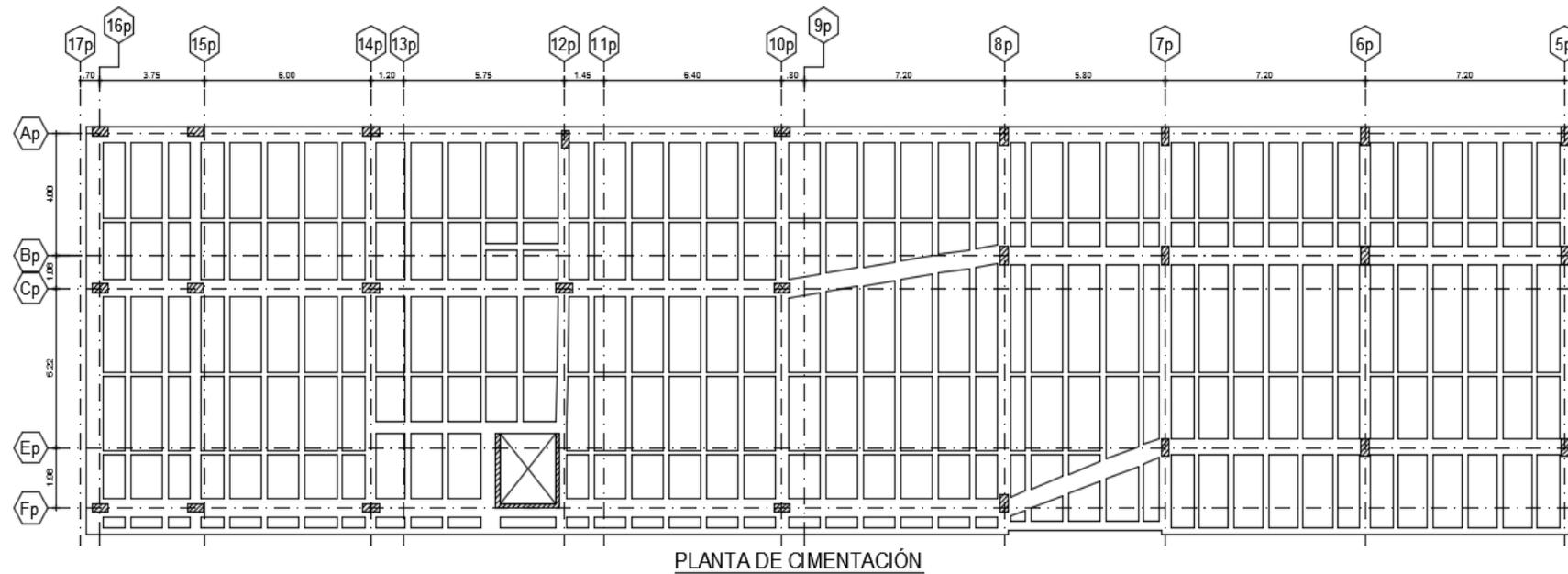


Figura 23. Planta de cimentación para análisis particular

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

Por ultimo se va a realizar un cuadro comparativo con las reacciones sobre cada uno de los elementos, para ver las características de cada uno de los metodos y la diferencia porcentual entre los mismos.

## 7.1. ANÁLISIS DE LA PLACA

### 7.1.1. ANÁLISIS DEL MODELO 1 “RIGIDO”

El análisis parte de la base de la modelación de la losa como un elemento tipo Shell el cual tiene las propiedades de la losa. Teniendo en cuenta que la losa se va a ver sometida a la acción del esfuerzo de contacto ( $W_{\text{Edificio}} / A_{\text{Cimentación}}$ ) sobre la superficie de la losa de cimentación.

#### 7.1.1.1. Cortante en el eje X

En cuanto al comportamiento del cortante en la placa, se observa una distribución uniforme a lo largo de la losa de forma unidireccional debido a su armado.

Los cortantes varían entre -2.44 ton/m y 1.68 ton/m (Ver *Figura 24*).

#### 7.1.1.2. Momentos en el eje X

En cuanto a la distribución de momentos en la placa, esta es bastante uniforme y refleja la condición de carga de la estructura prevista, pues evidencia una gran concentración de momentos en los bordes de las vigas y viguetas evidenciando la condición de losa aligerada.

Los momentos que se presentan en la losa varían entre -0.21Ton·m/m a 0.28Ton·m.(Ver *Figura 25*).

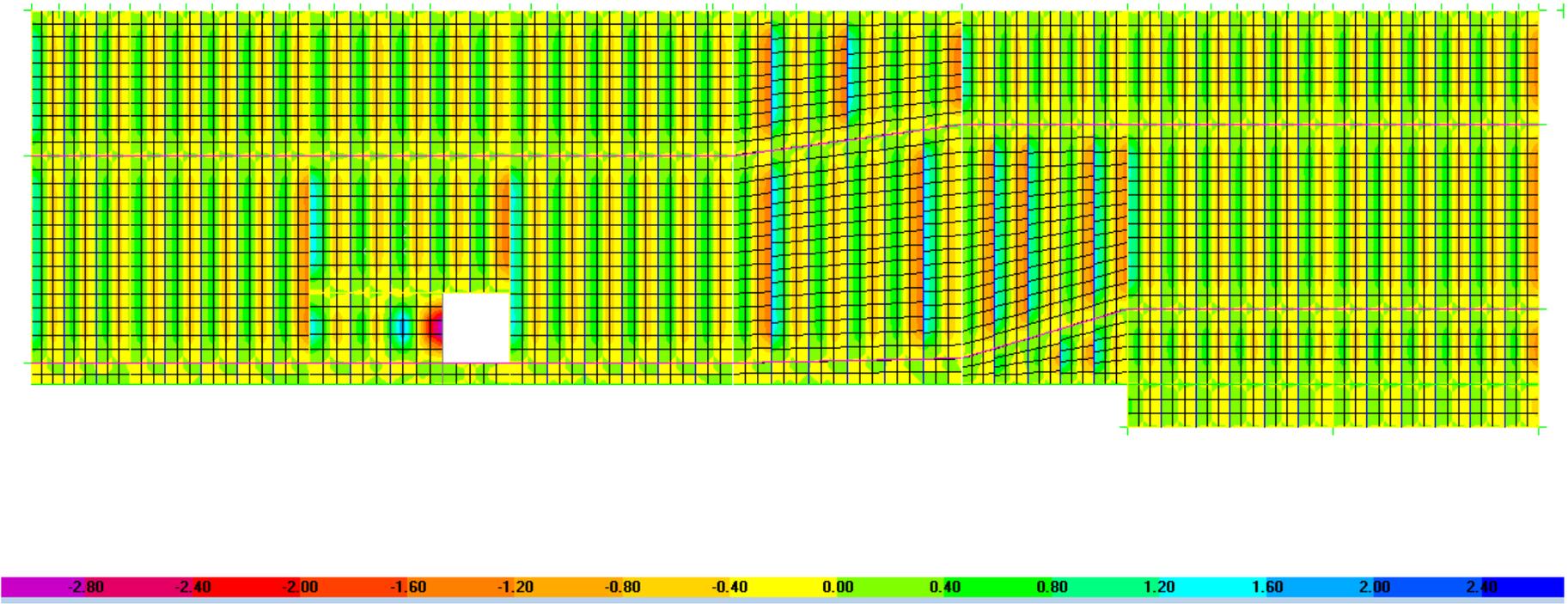


Figura 24. Losa de Cimentación. Cortantes a lo largo del eje X

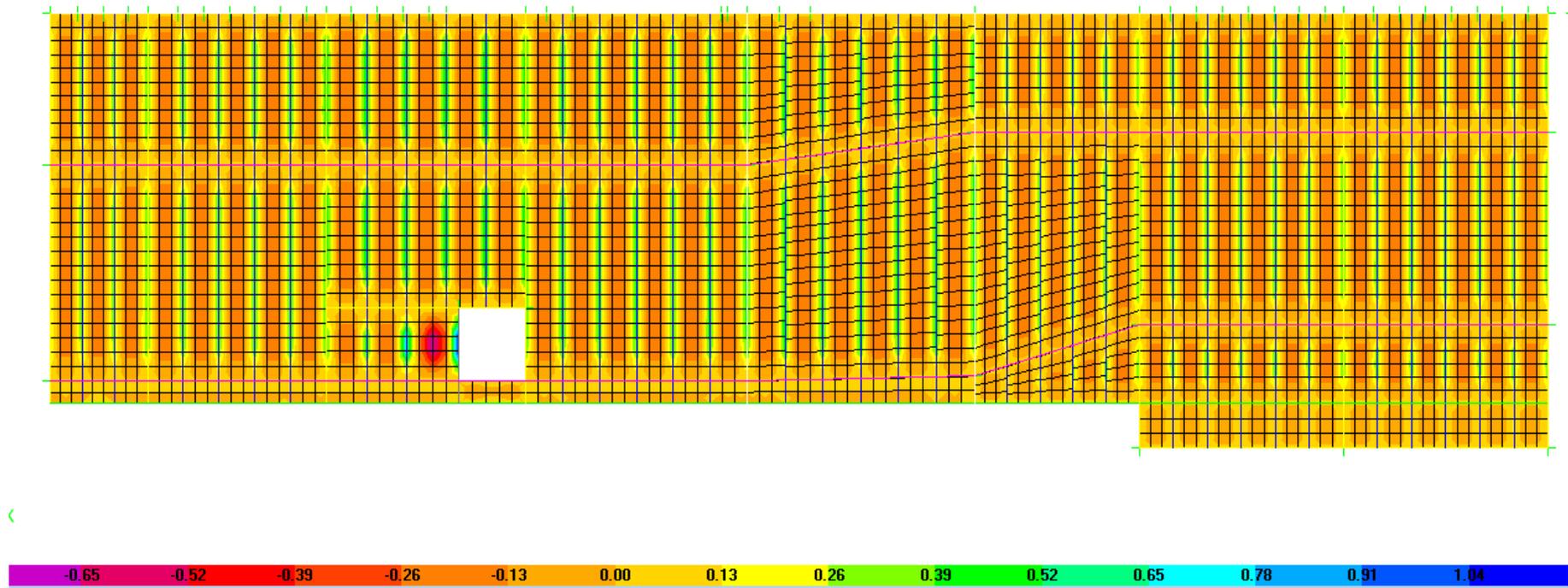


Figura 25. Losa de Cimentación. Momentos a lo largo del eje X

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

## 7.1.2. ANÁLISIS DEL MODELO 2 “FLEXIBLE”

El análisis de este modelo tiene como base la acción de los resortes debido al coeficiente de reacción del suelo, los cuales se ubican en los nudos de la losa, es bueno aclarar que la losa se modela de la misma forma que en el modelo 1, es decir, como un elemento tipo Shell con las mismas propiedades de la placa de cimentación.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho la placa va a estar sometida de igual forma a la carga real, solo que en este caso no se hace como carga adicional sino con la acción de la estructura apoyada en los resortes.

### 7.1.2.1. Cortantes a lo largo del eje X

En cuanto al comportamiento del cortante en la placa, se observa una distribución uniforme a lo largo de la losa de forma unidireccional debido a su armado.

Los cortantes varían entre  $-3.48\text{ton/m}$  y  $2.86\text{ton/m}$  (Ver *Figura 26*).

### 7.1.2.2. Momentos a lo largo del eje X

En cuanto a la distribución de momentos en la placa, esta es bastante uniforme y refleja la condición de carga de la estructura prevista, pues evidencia una gran concentración de momentos en los bordes de las vigas y viguetas evidenciando la condición de losa aligerada.

Los momentos que se presentan en la losa varían entre  $-0.96\text{Ton}\cdot\text{m/m}$  a  $0.89\text{Ton}\cdot\text{m}$ . (Ver *Figura 26*).

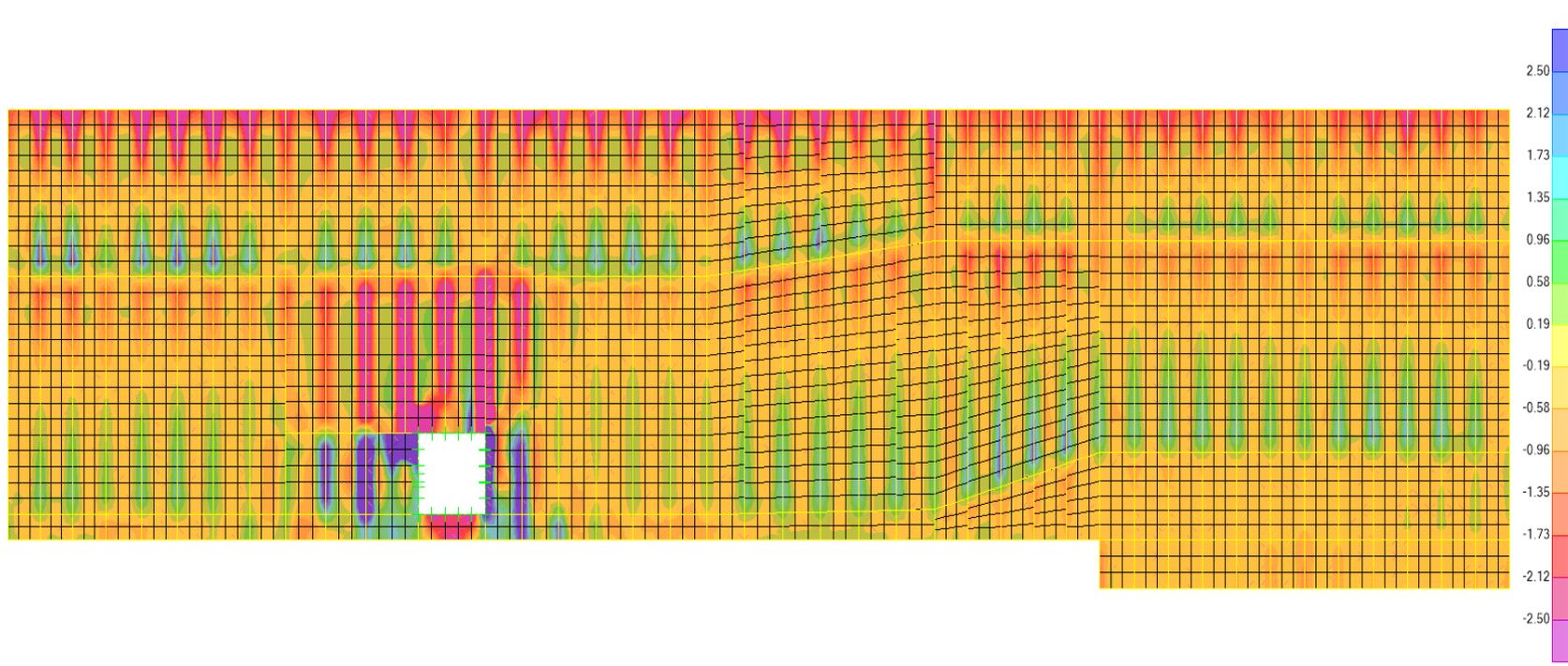


Figura 26. Losa de Cimentación. Cortantes a lo largo del eje X

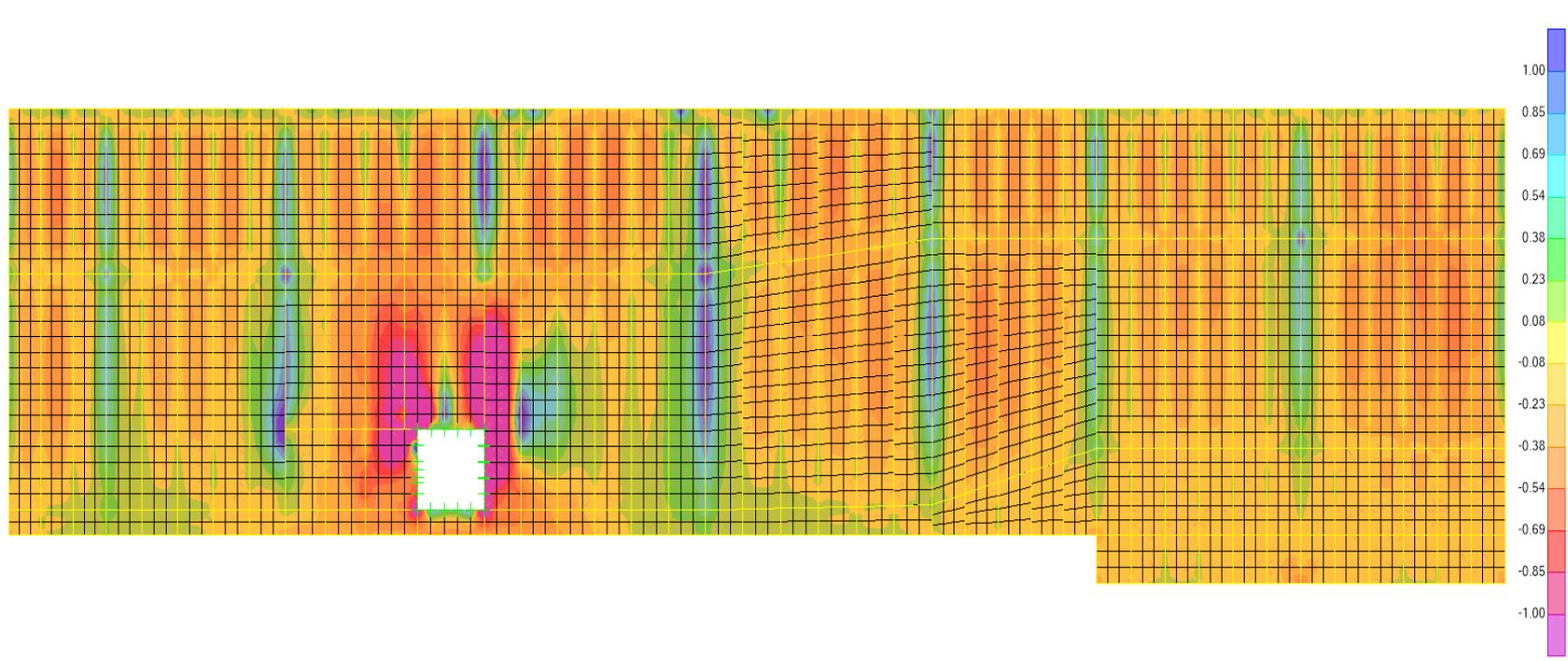


Figura 27. Losa de Cimentación. Momentos a lo largo del eje X

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

## 7.2. ANÁLISIS VIGAS

A continuación se presenta un cuadro comparativo usando como punto de referencia el Modelo 1 “Rígido”, ya que este es el más usado en la actualidad para representar este sistema de cimentación, versus el Modelo 2 “Flexible”.

La comparación se hace calculando el porcentaje del modelo (2) respecto al modelo 1, tal como se presenta continuación.

### 7.2.1. CUADRO COMPARATIVO ENTRE MODELOS

*Tabla 2. Porcentajes de relación de cortantes y momentos.*

Viga	Modelo	Item	Cortante (+) [Tom/m]	Cortante (-) [Tom/m]	Momento (+) [Tom·m/m]	Momento (-) [Tom·m/m]
Eje 16p entre ejes Ap-Fp	Modelo 1	Valor	9.220	9.220	12.230	6.180
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	Modelo 2	Valor	10.770	10.770	14.310	7.230
		%	116.81%	116.81%	117.01%	116.99%
Eje 15p entre ejes Ap-Fp	Modelo 1	Valor	23.940	23.940	31.590	16.060
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	Modelo 2	Valor	27.370	27.370	36.060	18.330
		%	114.33%	114.33%	114.15%	114.13%
Eje 14p entre ejes Ap-Fp	Modelo 1	Valor	39.530	31.950	54.380	27.860
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	Modelo 2	Valor	45.080	36.450	61.950	31.710
		%	114.04%	114.08%	113.92%	113.82%
Eje 12p entre ejes Ap-Fp	Modelo 1	Valor	17.930	17.920	17.040	8.640
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	Modelo 2	Valor	20.460	20.460	19.430	9.840
		%	114.11%	114.17%	114.03%	113.89%
Eje 10p entre ejes Ap-Fp	Modelo 1	Valor	25.200	25.320	33.450	16.850
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	Modelo 2	Valor	28.900	29.040	38.290	19.280
		%	114.68%	114.69%	114.47%	114.42%
Eje 8p entre ejes Ap-Fp	Modelo 1	Valor	27.010	27.080	40.910	20.250
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	Modelo 2	Valor	31.010	31.090	46.050	23.200

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS  
APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN**

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

		%	114.81%	114.81%	112.56%	114.57%
<i>Eje 7p entre ejes Ap-Fp</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Valor</i>	20.490	20.330	24.130	12.320
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	<i>Modelo 2</i>	<i>Valor</i>	23.450	23.260	27.560	14.070
		%	114.45%	114.41%	114.21%	114.20%
<i>Eje 6p entre ejes Ap-Fp</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Valor</i>	33.640	22.460	28.350	19.000
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	<i>Modelo 2</i>	<i>Valor</i>	38.500	25.700	32.410	20.870
		%	114.45%	114.43%	114.32%	109.84%
<i>Eje 5p entre ejes Ap-Fp</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Valor</i>	10.780	8.710	6.070	10.410
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	<i>Modelo 2</i>	<i>Valor</i>	12.440	10.140	6.970	12.140
		%	115.40%	116.42%	114.83%	116.62%
<i>Eje Ap entre ejes 16p-5p</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Valor</i>	4.160	4.100	1.210	1.080
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	<i>Modelo 2</i>	<i>Valor</i>	4.670	4.600	1.160	1.380
		%	112.26%	112.20%	95.87%	127.78%
<i>Entre ejes Bp-Cp entre ejes 16p-5p</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Valor</i>	138.140	136.670	199.180	113.170
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	<i>Modelo 2</i>	<i>Valor</i>	156.700	155.040	240.020	128.260
		%	113.44%	113.44%	120.50%	113.33%
<i>Entre ejes Ep-Fp entre ejos 16p-5p</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Valor</i>	106.480	107.600	147.530	78.330
		%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	<i>Modelo 2</i>	<i>Valor</i>	121.420	120.570	167.670	88.990
		%	114.03%	112.05%	113.65%	113.61%

### 7.2.2. DIAGRAMAS DE CORTANTES Y MOMENTOS EN LAS VIGAS ANALIZADAS

#### 7.2.2.1. Modelo 1

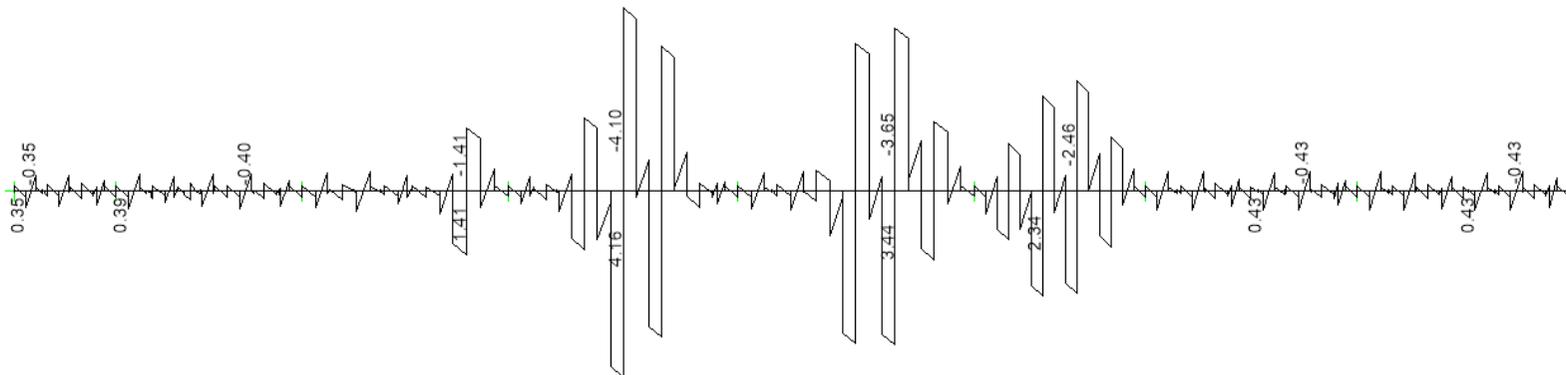


Figura 28 Cortante Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p

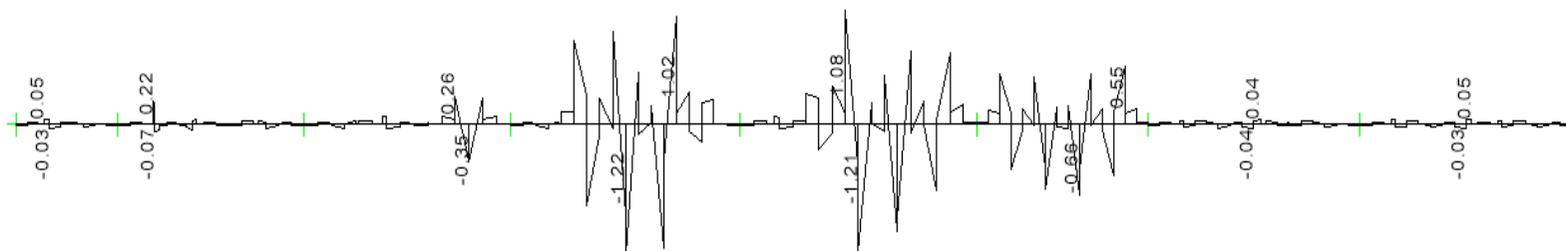


Figura 29 Momento Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p

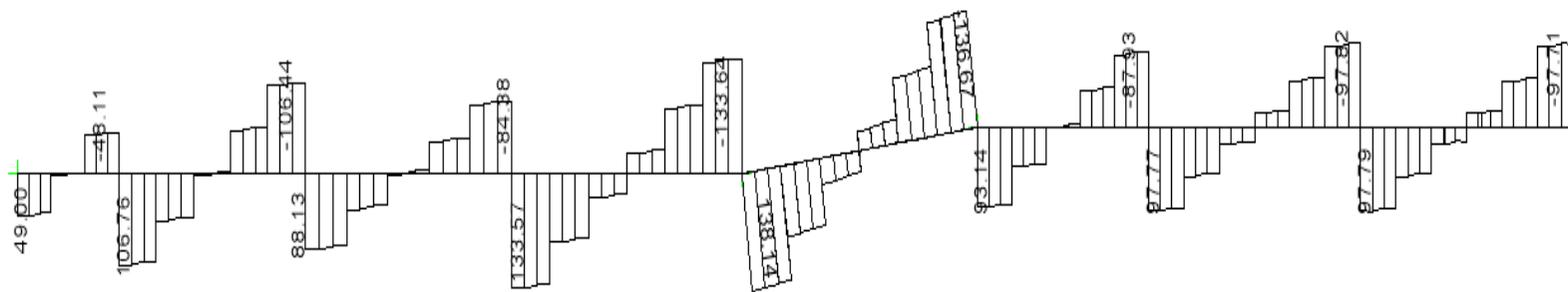


Figura 30 Cortante Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p

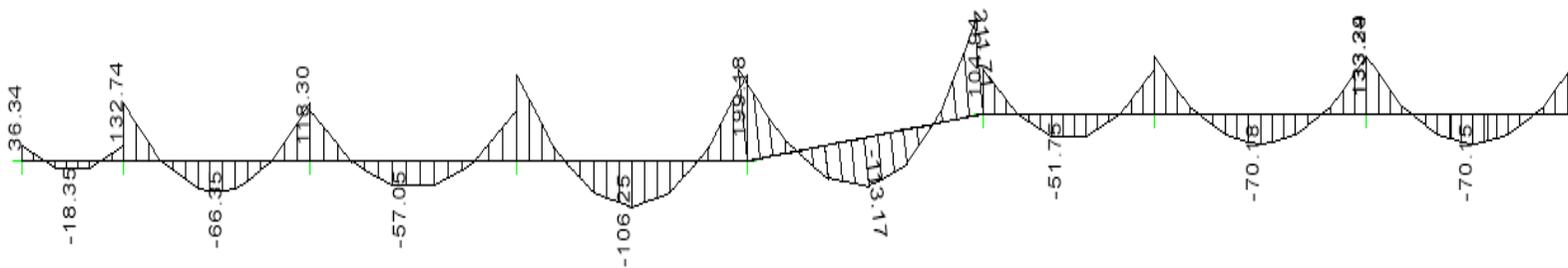


Figura 31 Momentos Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p

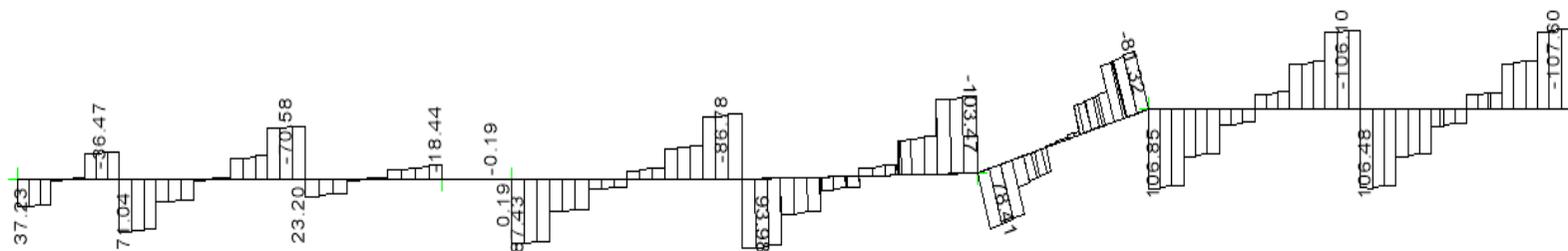


Figura 32 Cortante Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p

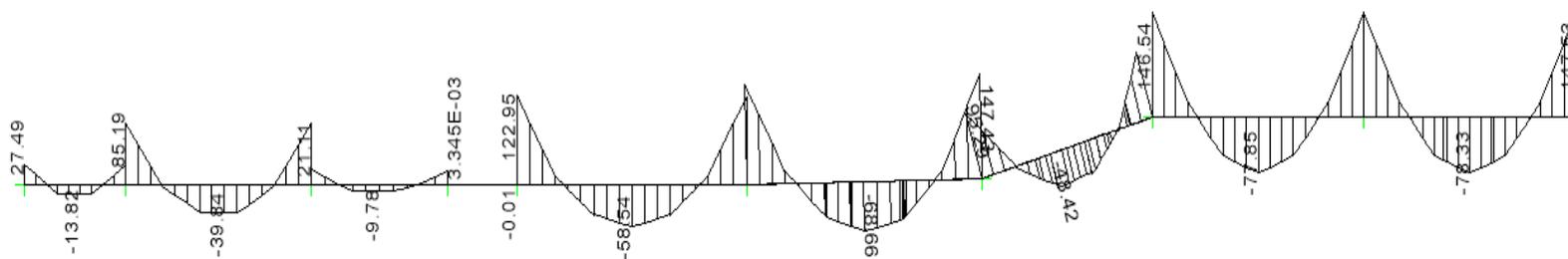


Figura 33 Momentos Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

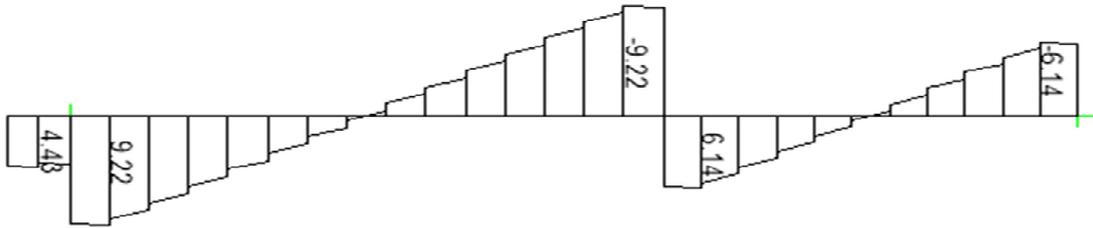


Figura 34 Cortante Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp

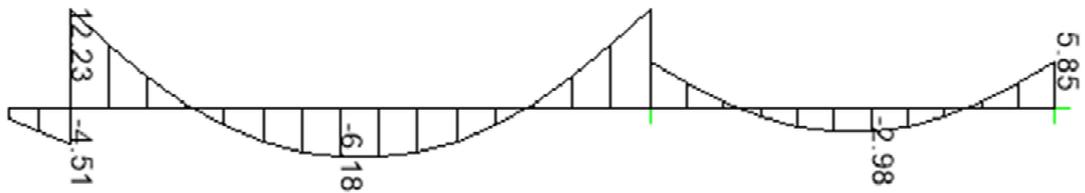


Figura 35 Momentos Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp

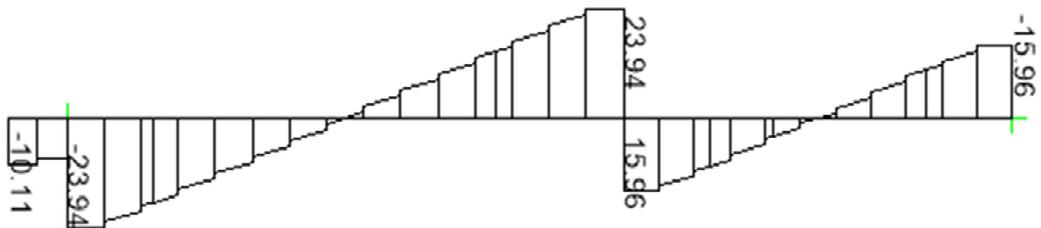


Figura 36 Cortante Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp

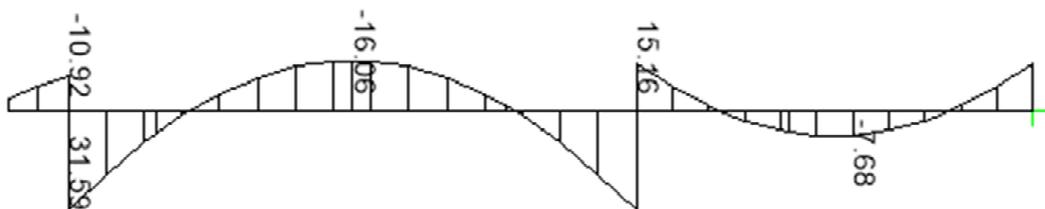


Figura 37 Momentos Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp

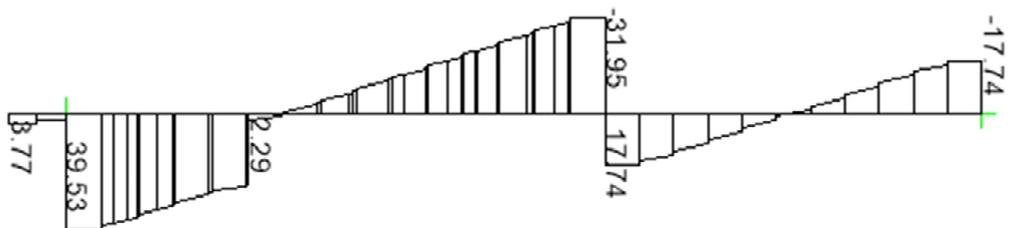


Figura 38 Cortante Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

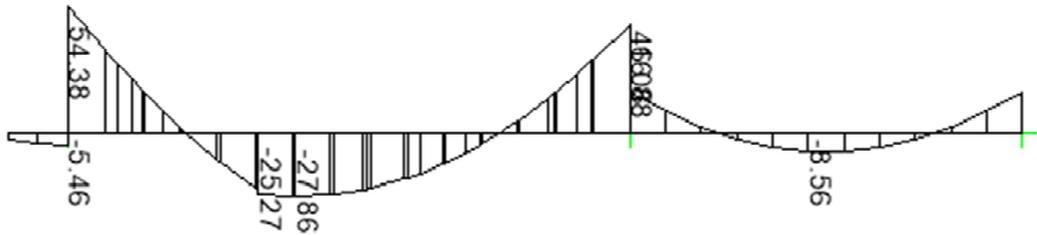


Figura 39 Momentos Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp

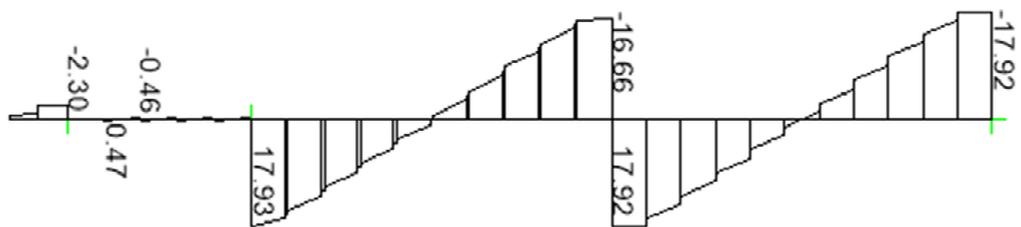


Figura 40 Cortante Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp

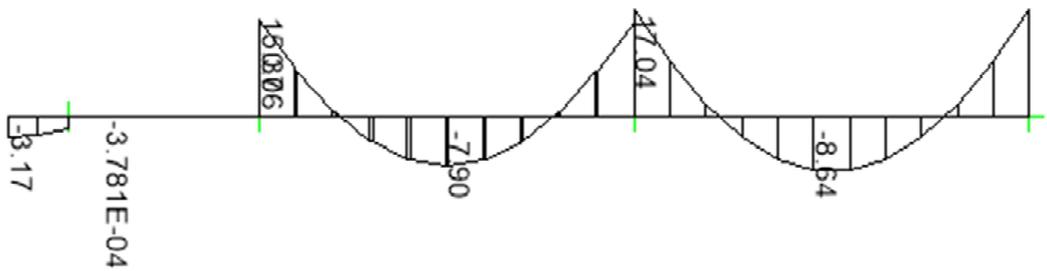


Figura 41 Momentos Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp

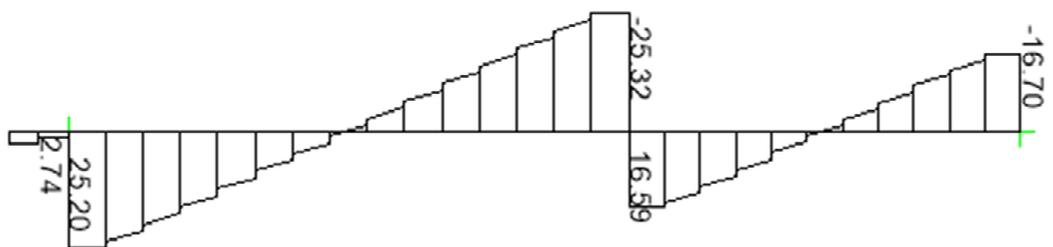


Figura 42 Cortante Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

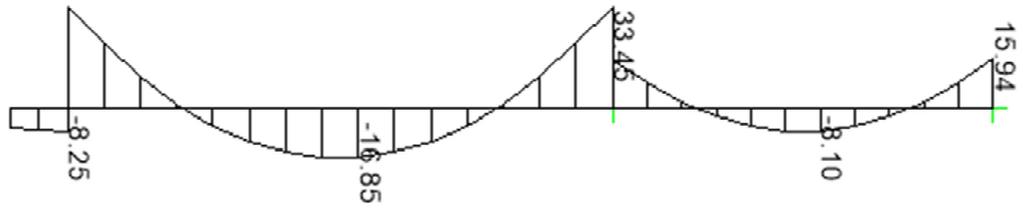


Figura 43 Momentos Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp

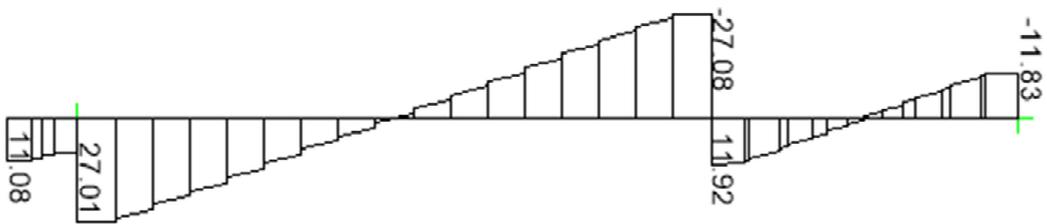


Figura 44 Cortante Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp

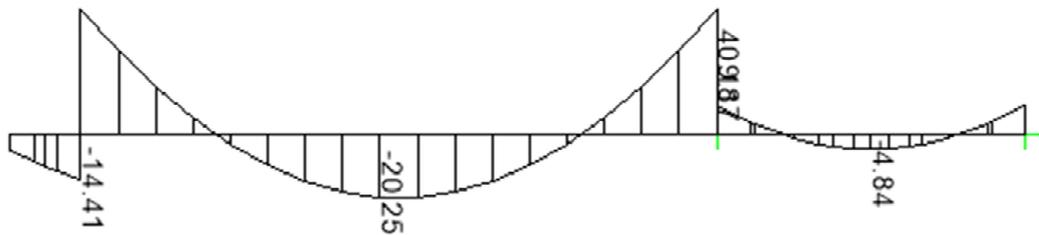


Figura 45 Momentos Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp

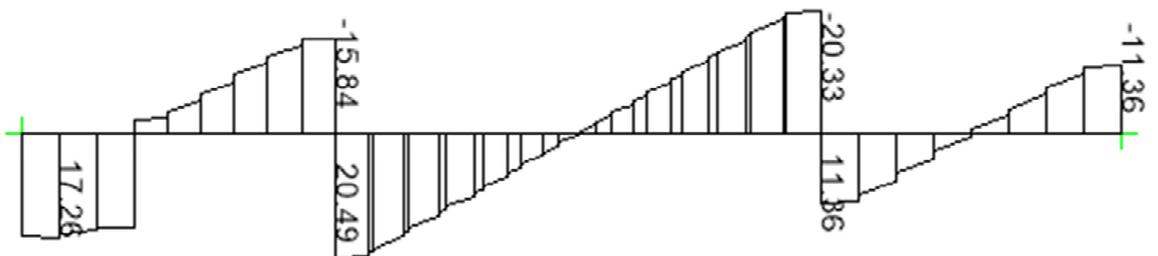


Figura 46 Cortante Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

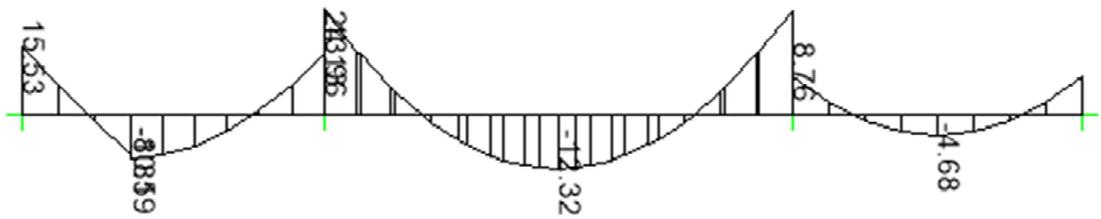


Figura 47 Momentos Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp

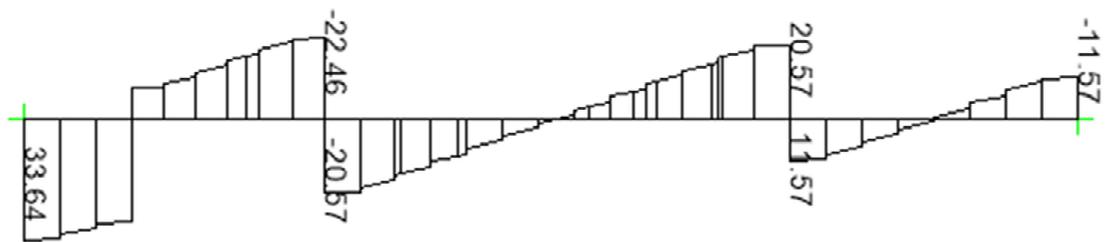


Figura 48 Cortante Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp

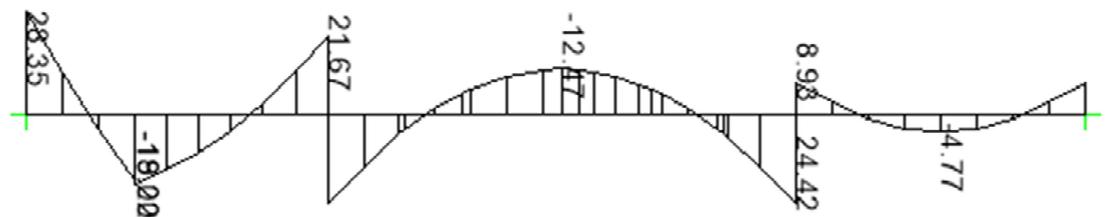


Figura 49 Momentos Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp



Figura 50 Cortante Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp

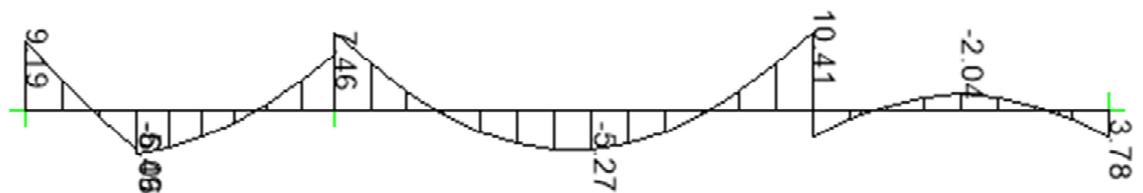


Figura 51 Momentos Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp

7.2.2.2. Modelo 2

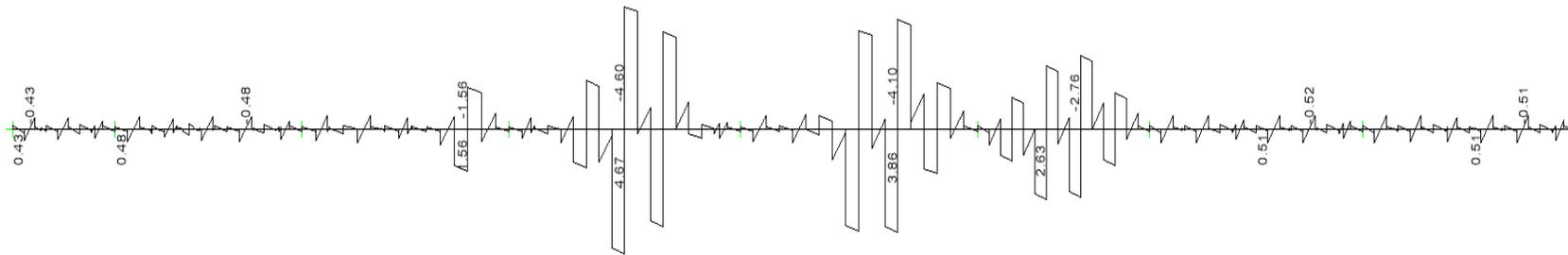


Figura 52 Cortante Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p

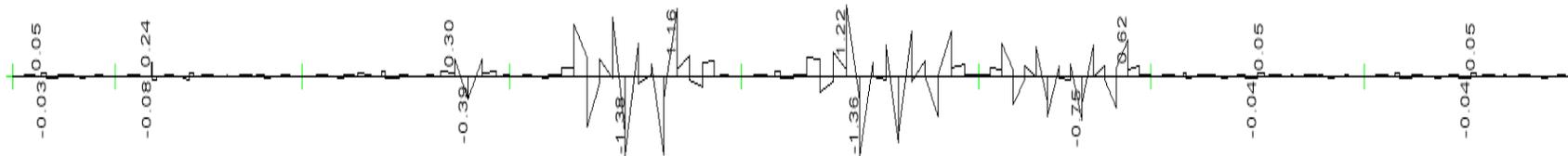


Figura 53 Momento Viga Eje Ap entre Ejes 16p y 5p

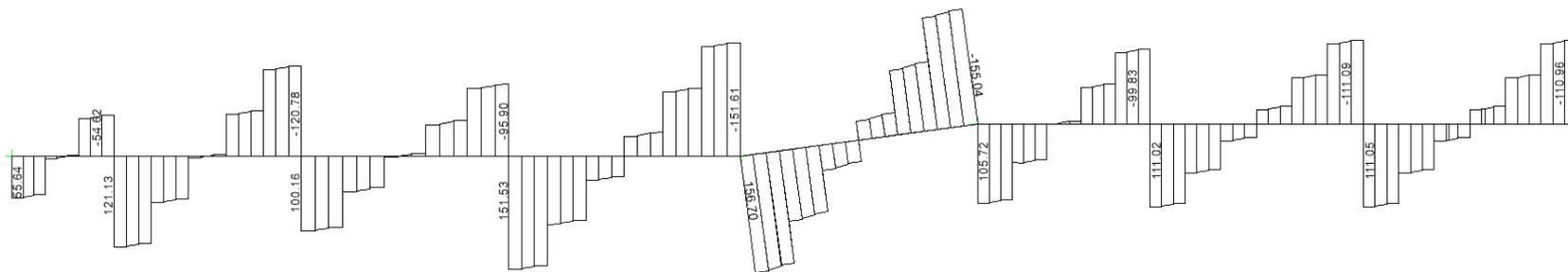


Figura 54 Cortante Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p

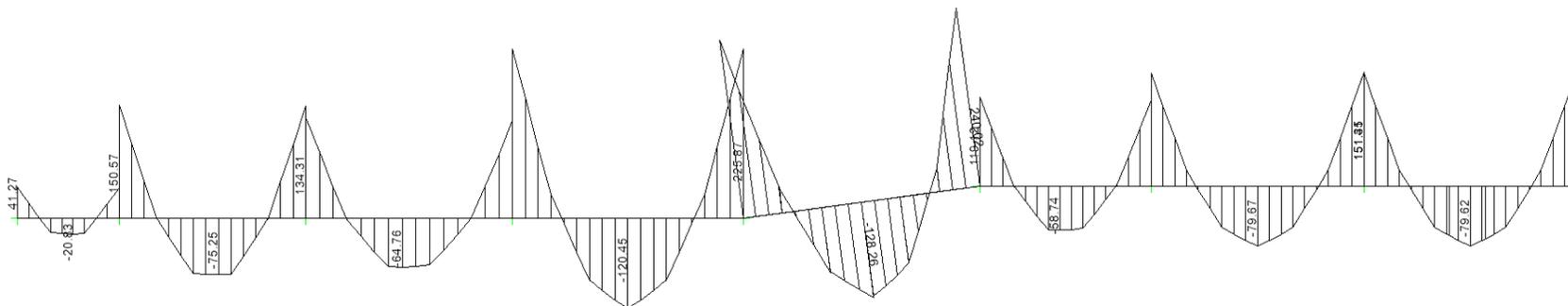


Figura 55 Momentos Viga entre Ejes Bp y Ap y entre Ejes 16p y 5p

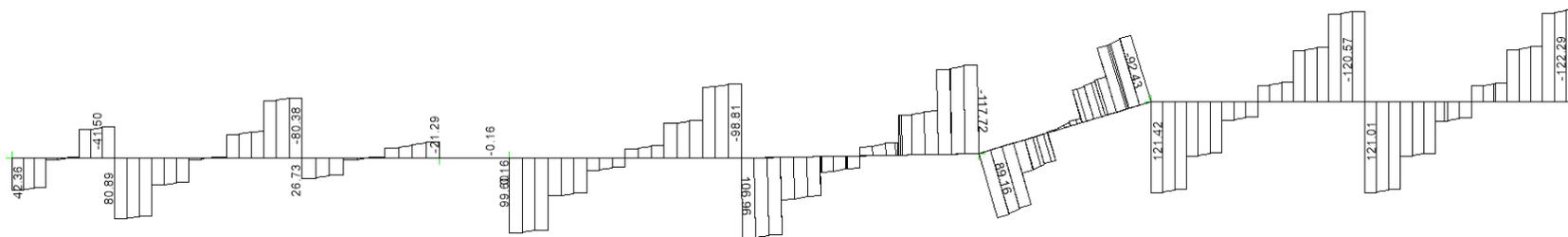


Figura 56 Cortante Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p

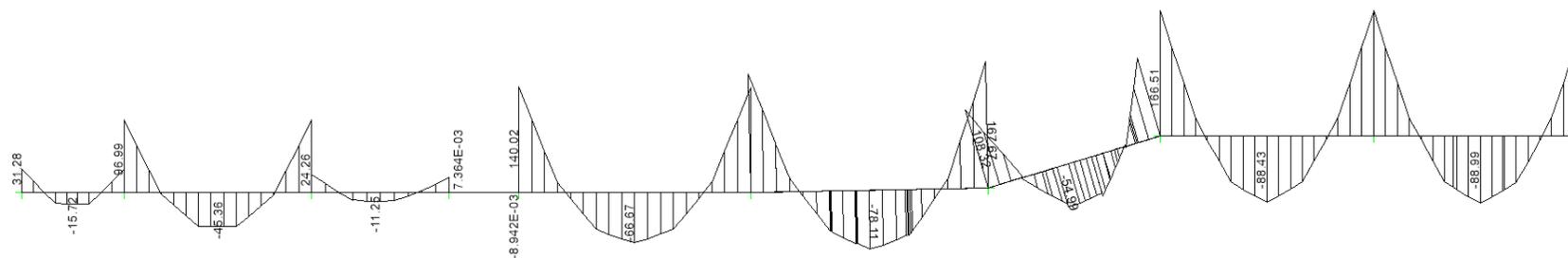


Figura 57 Momentos Viga entre Ejes Ep y Fp y entre Ejes 16p y 5p

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

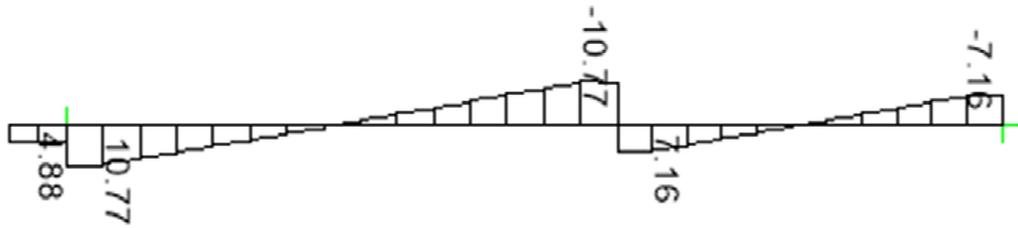


Figura 58 Cortante Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp

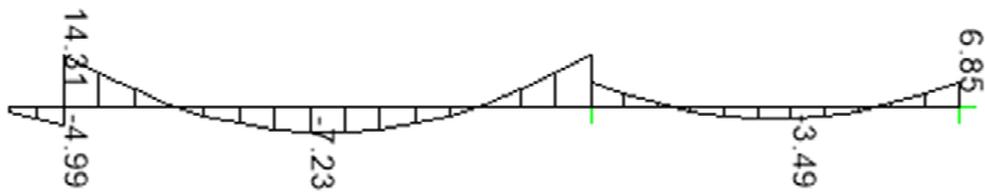


Figura 59 Momentos Viga Eje 16p entre Ejes Ap y Fp

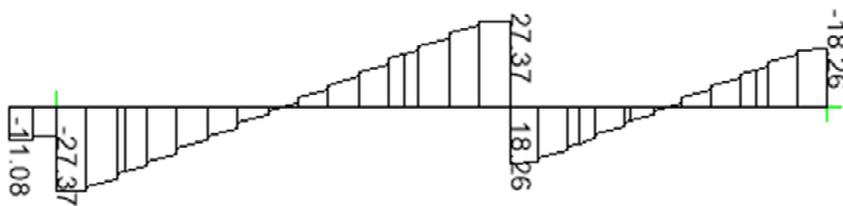


Figura 60 Cortante Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp

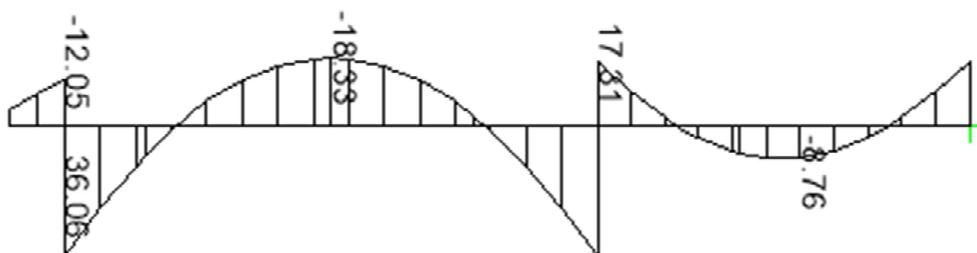


Figura 61 Momentos Viga Eje 15p entre Ejes Ap y Fp

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

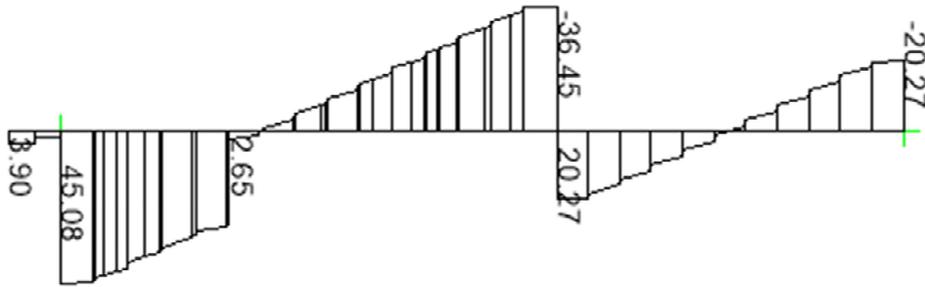


Figura 62 Cortante Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp

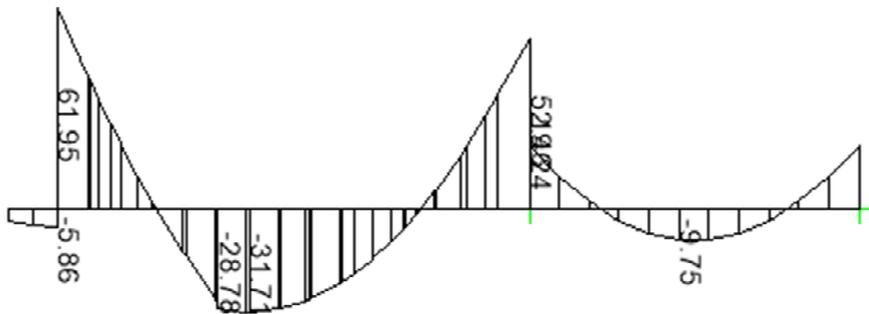


Figura 63 Momentos Viga Eje 14p entre Ejes Ap y Fp

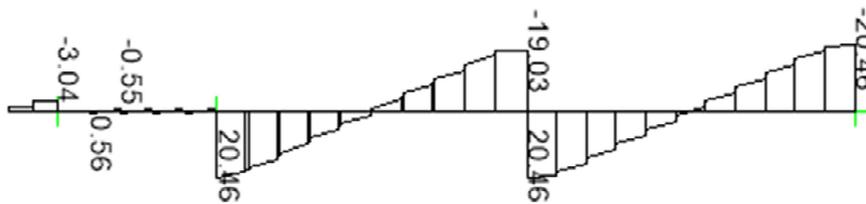


Figura 64 Cortante Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp

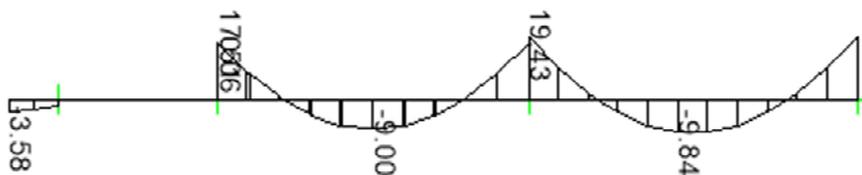


Figura 65 Momentos Viga Eje 12p entre Ejes Ap y Fp

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

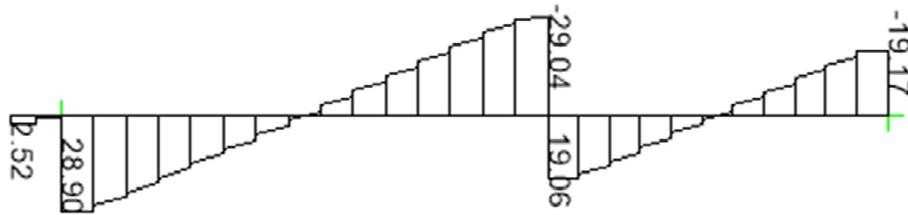


Figura 66 Cortante Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp

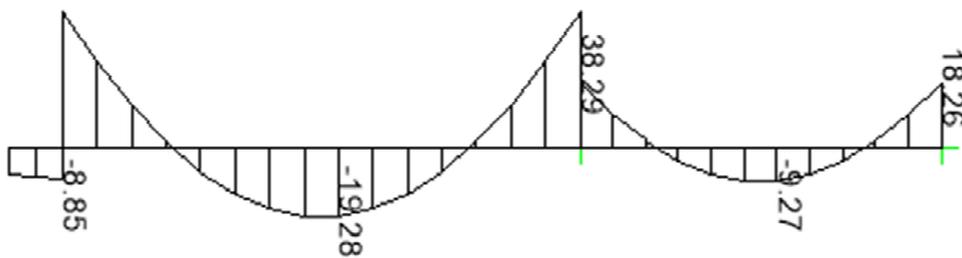


Figura 67 Momentos Viga Eje 10p entre Ejes Ap y Fp

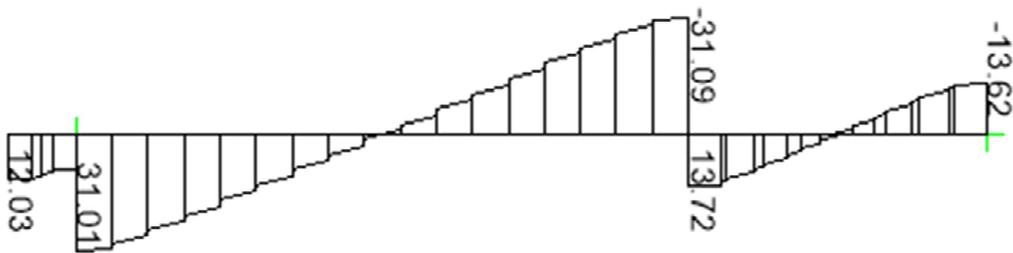


Figura 68 Cortante Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp

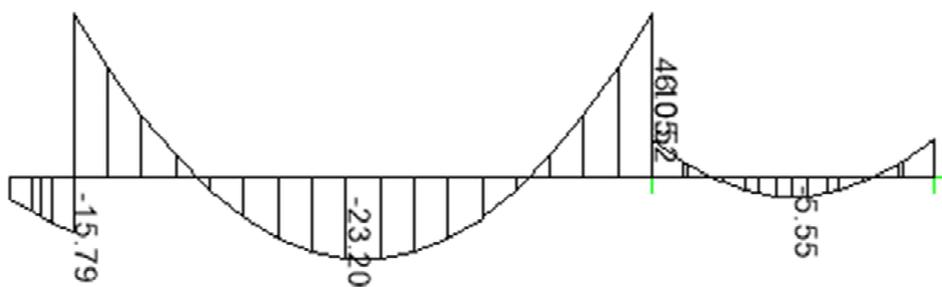


Figura 69 Momentos Viga Eje 8p entre Ejes Ap y Fp

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

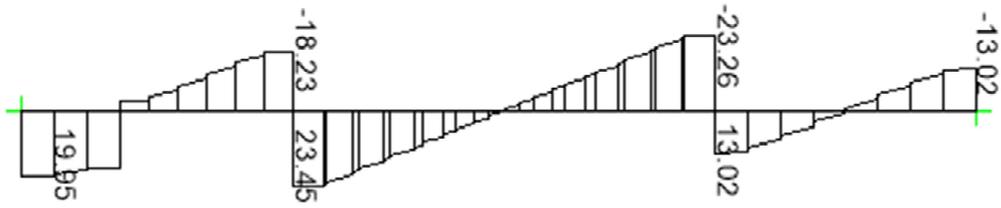


Figura 70 Cortante Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp

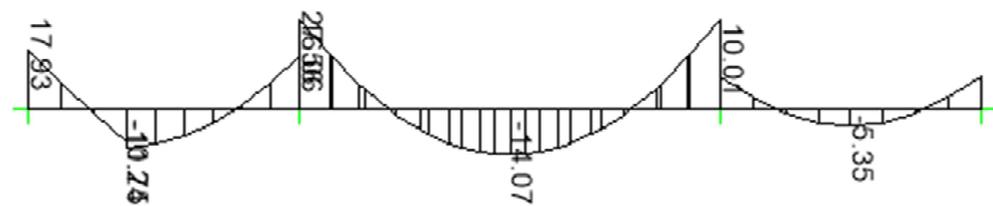


Figura 71 Momentos Viga Eje 7p entre Ejes Ap y Fp

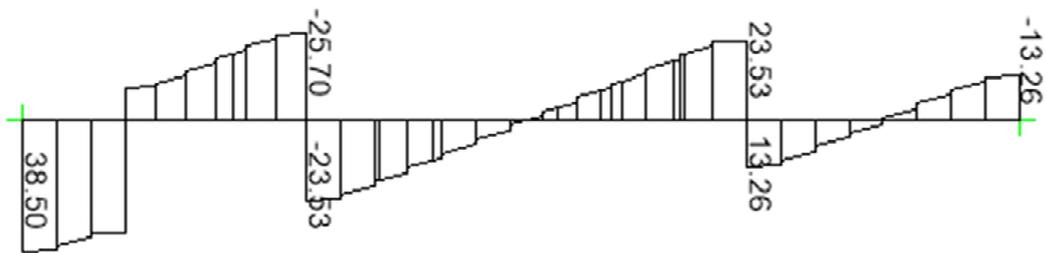


Figura 72 Cortante Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp

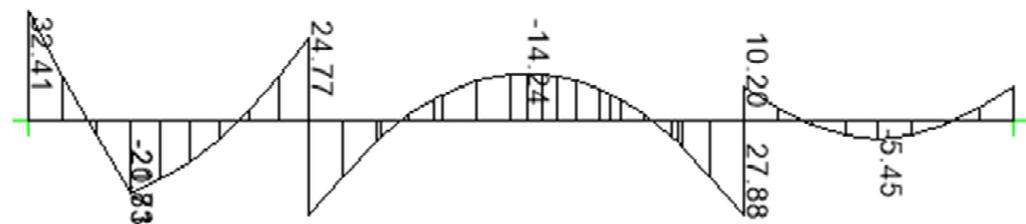


Figura 73 Momentos Viga Eje 6p entre Ejes Ap y Fp

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez



Figura 74 Cortante Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp



Figura 75 Momentos Viga Eje 5p entre Ejes Ap y Fp

## **8. CONCLUSIONES**

- Se debe aclarar que este análisis se realiza teniendo en cuenta las características de la estructura en estudio, y que no se puede hacer una generalización debido a que las condiciones de apoyo y la distribución geométrica es independiente de cada estructura, lo que hace conlleva a que la rigidez general de la estructura difiera y varíen los resultados sobre los elementos (Placa y Vigas de cimentación).
  
- Entrando en el análisis de la estructura (Placa de Cimentación) se puede estimar que la placa tiene un comportamiento muy diferente entre el modelo 1 (Modelo Rígido) y el modelo 2 (Modelo Flexible), debido a que la distribución de cortantes y momentos cambia tanto en distribución como en magnitud.

La distribución del primer modelo se asemeja a una viga continua en donde no se producen deformaciones debidas al suelo de soporte.

En la distribución del segundo modelo se puede ver, de forma muy clara que se producen rotaciones y deformaciones a lo largo de las vigas y de la placa, dado que se ve que la deformación de las viguetas tiene un efecto muy grande dentro de la distribución de momentos y de cortantes a lo largo de la placa, por lo que la placa, a pesar de tener un diagrama similar al de una viga continua, tanto los momentos como cortantes se aumentan y cambian la distribución homogénea que se percibía en el modelo rígido.

Haciendo un enfoque sobre la magnitud entre los dos modelos podemos determinar que existen variaciones muy notorias tanto en los cortantes

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

como en los momentos, esto debido a las distribuciones anteriormente mencionadas.

Con base en esto los cortantes en la placa tienen una variación aproximada del 43% (Método Rígido = -2.44 Ton/m y Método Flexible = -3.48 Ton/m) como valor mínimo y del 60% (Método Rígido = 1.68 Ton/m y Método Flexible = 2.86 Ton/m). Los momentos en la placa tienen una variación del 457% (Método Rígido = -0.21 Ton·m/m y Método Flexible = -0.96 Ton·m/m) como valor mínimo y del 318% (Método Rígido = 0.28 Ton·m/m y Método Flexible = 0.89 Ton·m/m).

- El análisis de las vigas denota una condición favorable entre los dos modelos (Método rígido y método flexible), esto en razón a que tanto los diagramas de cortante como los diagramas de momentos sufren una variación que no sobrepasa en más de un 20% tal como se pudo observar en el cuadro comparativo entre modelos (Tabla 2. Porcentaje de relación de cortantes y momentos).
- Dadas las condiciones de apoyo de cada uno de los modelos se puede establecer que los desplazamientos son de mucha importancia dentro del diseño de los elementos de cimentación, por lo que es importante mencionar que para el análisis del modelo rígido se establece que no existen desplazamientos, es decir, es cero, pero para el modelo flexible si se van a desarrollar deformaciones de acuerdo al suelo de soporte y a las características geotécnicas del mismo, por lo que se establece que para el modelo flexible se producen deformaciones aproximadas de 1.0cm en los centros de las luces.
- Dado que este documento tiene como fin el análisis de comparativo de los métodos computacionales de análisis aplicados a un sistema de placa de cimentación, se puede establecer que los dos modelos se realizaron

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

teniendo en cuenta la superestructura apoyada según la condición de la placa de cimentación, esto para establecer que las condiciones de apoyo tienen una importancia relevante en el comportamiento de la superestructura tanto en la distribución de las fuerzas internas como en el análisis de derivas, dado que las derivas tienen un aumento del 18% ( Método Rígido = 0.88% y Método Flexible = 1.03%).

- Con base en las conclusiones anteriormente mencionadas se puede establecer que el modelo de análisis que más se ajusta para la estructura en estudio, debido a que la diferencia entre los dos modelos radica esencialmente en la distribución de los cortantes y momentos sobre la placa, pero con ello se hace un análisis más realista de la acción que tiene el suelo de soporte sobre los elementos de la cimentación.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS APLICADOS A UN SISTEMA DE PLACA DE CIMENTACIÓN

Trabajo de grado de Especialización en Estructuras

Juan David Quiroga Ramírez

---

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DELGADO VARGAS, Manuel. Interacción suelo estructura. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia, 2012.

GARZÓN, Jaime. Notas de Clase. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2013.

CABRALES, Oscar. Análisis y modelación de diversos sistemas placa pilote. Tesis de Maestría. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia, 2012. Facultad de Ingeniería Civil, Santafé de Bogotá, D. C. 2007.

BERNAL, Xiomara. Análisis de interacción suelo estructura de un sistema Placa-Pilotes. Tesis Especialización. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia, 2014. Facultad de Ingeniería Civil, Santafé de Bogotá, D. C.

M. DAS, Braja. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Editorial International Thomson Editores. Sacramento, 1999.