



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**Comparativa entre el Diseño de Zapatas Aisladas
Utilizando el Método Convencional de las Normas
Técnicas Complementarias 2004 y los programas SAP
Ver. 14 y SAFE Ver. 12**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

DAVID EDUARDO GONZALEZ RAMIREZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ARTURO MACÍAS FERREIRA

MÉXICO, 2014



FES Aragón



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



CONTENIDO

Capítulo I. Generalidades	6
1.1. Clasificaciones de las Cimentaciones.....	6
1.2. Cimentaciones Superficiales.....	8
1.2.1. Zapatas.....	8
1.2.2. Tipos de Zapatas.....	9
1.2.2.1. Zapatas Aisladas	9
1.2.2.2. Zapatas Corridas	10
1.2.3. Losas de Cimentación	12
1.3. Cimentaciones Someras.....	12
1.4. Cimentaciones Profundas	12
1.5. Mecánica de suelos para zapatas	13
1.5.1. Generalidades.....	13
1.6. Capacidad de carga y asentamientos.....	13
1.6.1. Capacidad de Carga	13
1.6.2 Asentamientos.....	17
1.7. Distribución de esfuerzos debajo de las zapatas.....	17



Capítulo II. Revisión a las NTC- 2004.....	19
<i>2.1. Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Cimentaciones</i>	20
<i>2.1.2 Factores de Carga</i>	20
<i>2.1.3. Factores de Reducción de la resistencia (F_R)</i>	21
<i>2.1.4. Límites Máximos para deformaciones en el Terreno.....</i>	22
<i>2.2. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto</i>	23
<i>2.2.1. Factores de reducción de resistencia (F_R) para elementos de Concreto</i>	23
<i>2.2.2. Estados Límite de Falla (Resistencia a Compresión del Concreto).....</i>	23
<i>2.2.3.- Flexión.....</i>	24
<i>2.2.4. Fuerza cortante como Viga Ancha (V_{CR})</i>	25
<i>2.2.5. Cortante como losa</i>	25
<i>2.2.6. Cortante por punzonamiento.....</i>	26
<i>2.2.7. Aplastamiento.....</i>	29
<i>2.2.8. Clasificación de Exposiciones.....</i>	30
<i>2.2.9. Recubrimiento necesario.....</i>	31
<i>2.3. Constante de Balasto (K_s).....</i>	32



Capítulo III Diseño Estructural de Zapatas Aisladas Según las NTC-04..... 34

3.1. *Generalidades*..... 35

3.1.1. *Cálculo de la presiones de contacto* 35

3.2. *Procedimiento de Diseño* 43

3.3. *Resumen de las NTC-04 para el diseño de zapatas* 55

Capítulo IV Programas de Asistencia en la ayuda de Cálculo de Zapatas Aisladas (SAP Ver. 14 y SAFE Ver. 12)..... 70

4.1. *SAP 2000 Ver. 14*..... 71

4.1.2. *Diseño de una zapata aislada utilizando SAP 2000 Ver. 14*..... 73

4.1.3.- *Obtención de los Resultados* 92

4.2. *SAFE Ver. 12*..... 100

4.2.2. *Diseño de una zapata aislada utilizando SAFE Ver. 12*..... 101

4.2.3. *Obtención de Resultados* 115

Conclusiones..... 122

Referencias..... 123



Introducción.

Sin duda para poder afrontar el gran desafío de construir y diseñar cimentaciones, es muy importante conocer los aspectos que cada programa de cómputo para la asistencia de diseño de estas nos da, esto es con el fin de poder conocer y aportar la mejor opción en el diseño de este tipo de estructuras.

En el presente trabajo de tesis se hace un análisis de acuerdo a las NTC- 2004 de una zapata aislada, considerando sus respectivos factores de carga y acciones de diseño, obteniendo así una cuantía de acero para la zapata y siendo comparada con los resultados de acero que nos arrojen los programas SAP 2000 Ver. 14 y SAFE Ver. 12.

Teniendo muy en cuenta que desde este momento se esperan que los resultados sean distintos, ya que como se sabe los programas SAP 2000 Ver. 14 y SAFE Ver. 12 utilizan el reglamento de ACI.

Estos programas serán abordados de una manera muy general ya que lo único que se quiere lograr es saber cuál método de los tres aquí utilizados es en nuestra opinión el más fácil, rápido y que sus resultados sean de igual manera confiables, por esto mismo nos basamos en obtener las áreas de acero, ya que en los demás rubros como lo son cortantes y momentos se esperaran como ya se dijo sean muy diferentes entre los tres métodos utilizados.



Objetivo.

El objetivo de este trabajo es poder identificar que método es mejor para el diseño de zapatas aisladas, ya que sobre este tipo de diseño existe poca información y más aún si es un diseño por medio de programas de cómputo, como lo es SAP 2000 Ver. 14 y SAE Ver. 12, por lo cual es hacer una comparativa entre estos programas ya mencionados y el diseño a mano.

Alcance.

El alcance de este trabajo está dirigido a los estudiantes ya que se pretende de una manera generalizada pero a su vez bien explicada de como diseñar zapatas aisladas por medio de las NTC-04 del Distrito Federal, así como también el diseño con los programas SAP 2000 Ver. 14 y SAFE Ver. 12.

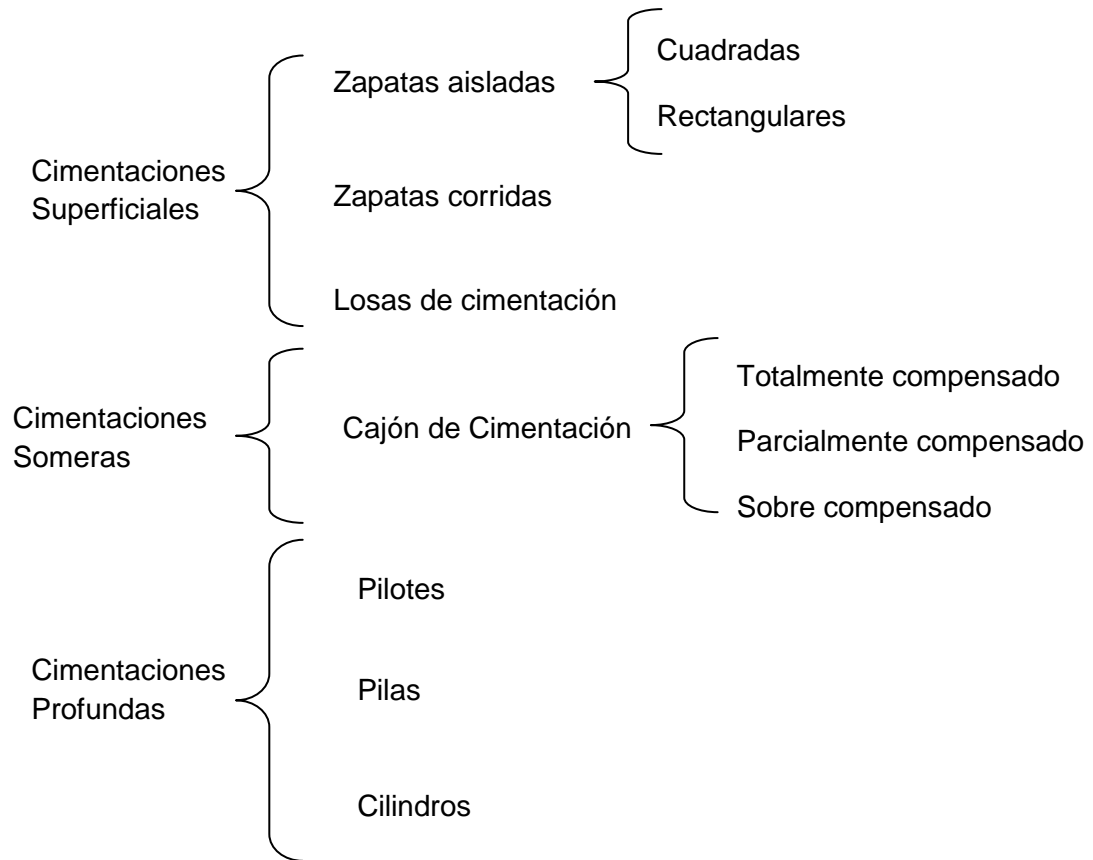


CAPITULO I

Generalidades

1.1. Clasificaciones de las Cimentaciones.

Las cimentaciones tienen diferentes clasificaciones según la profundidad a la cual están desplazadas y a la capacidad de carga de cada una de ellas, aunque en este libro es importante mencionar que solo se hablará de las Zapatas aisladas de cimentación, Pero se dará una explicación breve de todas ellas en el **cuadro (1.1)**.



Cuadro (1.1) Clasificación de las Cimentaciones



1.2. Cimentaciones Superficiales

Las cimentaciones superficiales son todas aquellas descansan sobre estratos superficiales del suelo, estas tienen la capacidad de resistir la carga de la superestructura debido al ensanchamiento de su base.

El material más utilizado para este tipo de cimentaciones es el concreto simple, concreto ciclópeo, concreto reforzado y mampostería que sea poco porosa y muy resistente.

Algunos requerimientos esenciales para los materiales utilizados en un a cimentación son:

Debe de ser resistente al desgaste, resistencia a los agentes químicos propios del terreno y debe de ser capaz de resistir las cargas que recibe, las cuales debe de transmitir al terreno.

Las cimentaciones superficiales se clasifican en zapatas y Losas de cimentación.

1.2.1. ZAPATAS.

Este tipo de cimentaciones superficiales se utiliza para cuando las cargas son lo suficientemente pequeñas y cuando existen estratos lo suficientemente resistentes, a poca profundidad para ser capaces de soportar y distribuir las cargas sin presentar ninguna falla.

Otro punto importante es que el estrato donde se apoyaran las zapatas sea lo más homogéneo posible para así poder evitar o disminuir los hundimientos diferenciales.

Cuando la cimentación sea a base de zapatas se tiene que tener cuidado que el área de estas sea menor al 50% del área de la estructura tomada en planta, si esta condición no se cumple es necesario cambiar de cimentación ya que resultaría muy poco económico seguir manejando las zapatas una solución sería poner una losa de cimentación.

En cuanto a los materiales más utilizados para este tipo de cimentaciones se utiliza Mampostería, Concreto y Concreto Reforzado. Este último es el material más utilizado para este tipo de cimentación.



1.2.2. Tipos de Zapatas

Las zapatas de cimentación se subdividen en dos clasificaciones las cuales son zapatas aisladas y zapatas corridas además pueden contar con una forma de sección constante lo cual permite su fácil construcción. Las de peralte variable las cuales reducen su sección donde los momentos y cortantes son menores lo que nos permite fácilmente el ahorro de material. Y por último un tipo de zapata raro ya que su forma es escalonada que de igual forma permiten ahorro de material, en la *Fig. (2.1)* se muestran los tipos de zapatas de cimentación y en la *Fig. (2.2)* sus formas más comunes así como sus acomodos.

A continuación se describirá cada una de ellas:

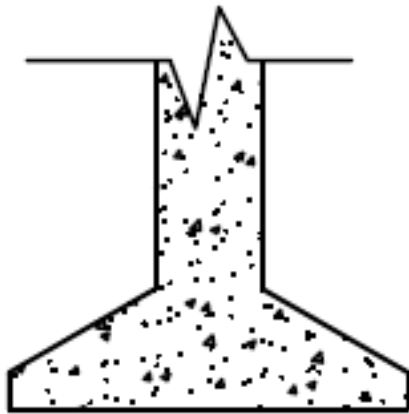
1.2.2.1. Zapatas Aisladas:

Este tipo de zapatas son independientes una con de otra sus principales características es que pueden tener una base de tipo rectangular o de tipo cuadrado, son principalmente construidas de materiales como lo es el concreto reforzado y mampostería, en estas principalmente se apoya una sola columna, utilizadas en cimentaciones de puentes o estructuras apoyadas en suelos duros o rocas, estas pueden presentar hundimientos diferenciales debido a su poca área de contacto.

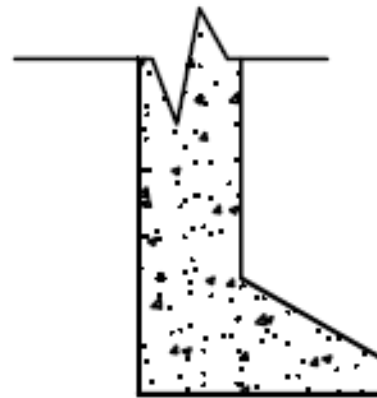
También es importante mencionar que pueden aplicarse en zapatas de lindero y zapatas de esquina.

Es importante tener en cuenta esto ya que si se piensa construir en un terreno que tenga colindancias con otras propiedades o incluso la guarnición este tipo de zapatas es la más adecuada para el perímetro de la cimentación.

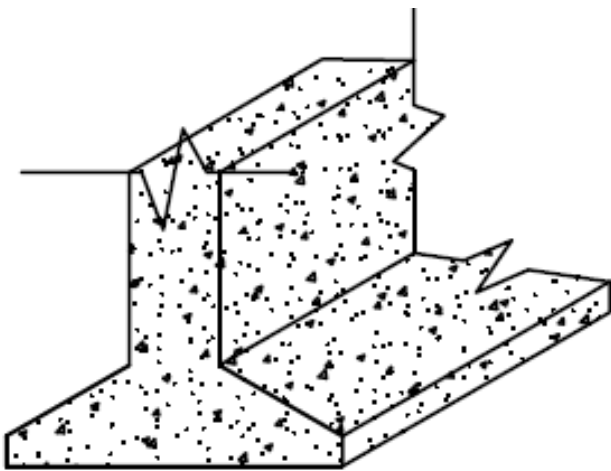
1.2.2.2. Zapatas Corridas: Estas tienen como principal característica que son rectangulares, construidas de concreto reforzado y mampostería. En estas principalmente se pueden apoyar dos a más columnas al igual que muros, dependiendo de la geometría de la zapata también son utilizadas principalmente en cimentaciones de puentes y estructuras destinadas a realizarse en suelos duros.



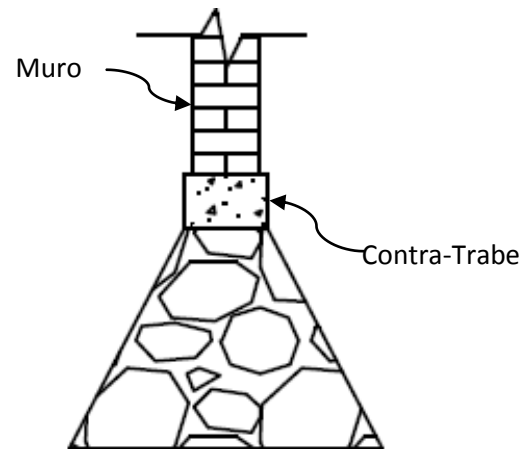
1.- Zapata Aislada de Concreto Reforzado



2.- Zapata Aislada de Lindero



3.- Zapata Corrida de Concreto Reforzado



4.- Zapata Corrida de Mampostería

FIG. 1.1. Tipos de Zapatas más comunes

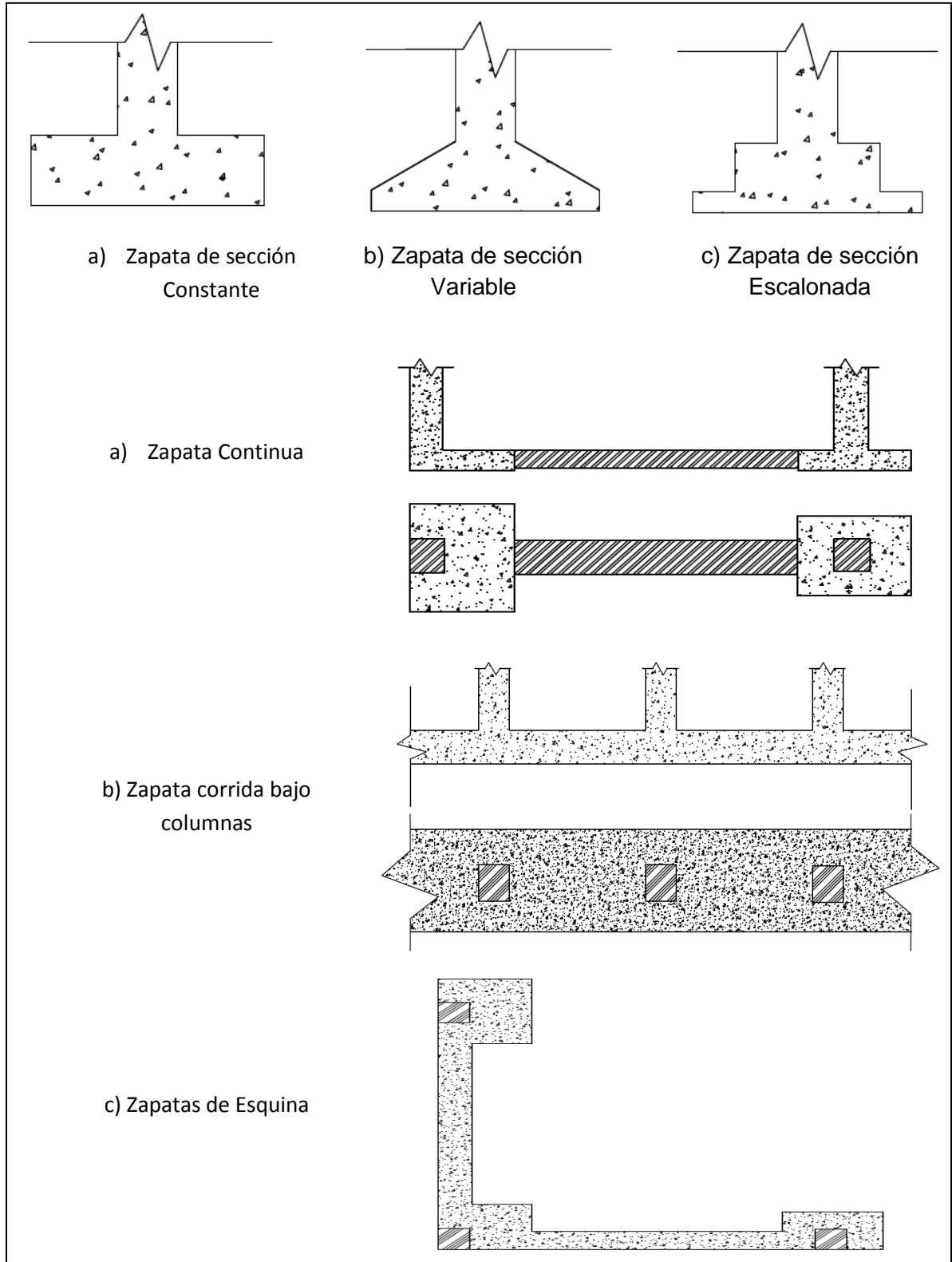


FIG. 1.2 Formas Típicas acomodados convencionales de las Zapatas aisladas y corridas de Concreto Reforzado



1.2.3. Losas de Cimentación.

Este tipo de cimentación se utiliza cuando la superficie de las zapatas necesarias supera el 50% de la superficie en planta de la estructura, son muy adecuadas para distribuir las cargas ya que cuentan con un área de contacto mayor con el suelo, son adecuadas para suelos con resistencias bajas y también son muy utilizadas para disminuir considerablemente los asentamientos diferenciales.

1.3. Cimentaciones Someras

Cuando se tiene un terreno de baja resistencia y el peso de la estructura es mayor a la capacidad del terreno, lo que se hace es un cajón de cimentación para compensar el peso de la estructura, es decir, se hace un hueco mediante el cual se libera la presión sobre el suelo y se introduce el aire, ese volumen de tierra se puede sustituir con una estructura. Un cajón de cimentación se compone de losa de fondo, paredes laterales, paredes intermedias y losa tapa. Estos son de concreto reforzado.

1.4. Cimentaciones Profundas

Cuando se va a realizar la cimentación y la cota del estrato duro se localiza a mucha profundidad se utilizan las cimentaciones profundas.

Las cimentaciones Profundas son todas aquellas las cuales necesitan de un estrato duro al cual transmitir las cargas de la estructura o pueden ayudarse de la fricción que estas forman con el suelo para que los asentamientos sean menores o parejos en el caso de que se apoyen en estratos resistentes pueden hacer desaparecer los asentamientos por completo.



1.5. Mecánica de suelos para zapatas.

1.5.1. Generalidades.

Para analizar las cimentaciones es importante determinar los hundimientos y presiones de contacto del suelo.

En el Diseño de una cimentación se deberá considerar la interacción del suelo con esta, interviniendo tanto las propiedades elásticas de la cimentación como las propiedades del suelo. Estos factores los obtendrá un estudio geotécnico el cual se abordara en los siguientes apartados de una manera muy superficial.

1.6. Capacidad de carga y asentamientos.

1.6.1. Capacidad de Carga.

Se llama capacidad de carga a la máxima intensidad de presión que una estructura transmite al suelo, que lo soporta, sin llegar a causar asentamientos que pongan en peligro la estabilidad de la construcción o se presente falla del suelo por cortante.

El análisis de la capacidad de carga es importante en la evaluación de la estabilidad y economía de las cimentaciones superficiales. Y depende de las características geométricas de la cimentación, de las propiedades mecánicas índices del terreno, así como la localización del nivel freático.

Se ha observado que la falla por capacidad de carga en las construcciones sucede como producto de una rotura por corte del suelo de desplante de la cimentación. Los tres tipos de falla principales bajo las cimentaciones son:

- 1.- Falla por corte general.
- 2.- Falla por punzonamiento.
- 3.- Falla por corte local.

La falla por corte general se caracteriza por la existencia, dentro del terreno, de una superficie de deslizamiento continuo, que se inicia desde un borde de la cimentación hasta la superficie del terreno.



La falla por punzonamiento se identifica por un movimiento vertical de la cimentación, debido a la compresión del suelo, inmediatamente debajo de dicha cimentación. El terreno que queda fuera del área de carga presenta pequeñas alteraciones, quedando el equilibrio de la cimentación tanto vertical como horizontal.

La falla por corte local presenta una marcada tendencia al bufo del suelo a los lados de la cimentación, presentándose compresiones verticales fuertes debajo de ella, las superficies de deslizamiento terminan en algún punto dentro de la misma masa de suelo. Este tipo de falla es una transición entre las dos mencionadas anteriormente.

Se puede establecer, en términos generales, que el tipo de falla depende de la compresibilidad relativa del suelo en cuanto a las condiciones geométricas y de carga actuante, se tendrá falla por corte general en suelos incompresibles, con una resistencia al esfuerzo cortante finita. Y falla por punzonamiento, cuando se tenga suelos muy compresibles en relación a su resistencia no obstante, resulta interesante hacer notar que el tipo de suelo no determina el tipo de falla. **Ref. (1)**

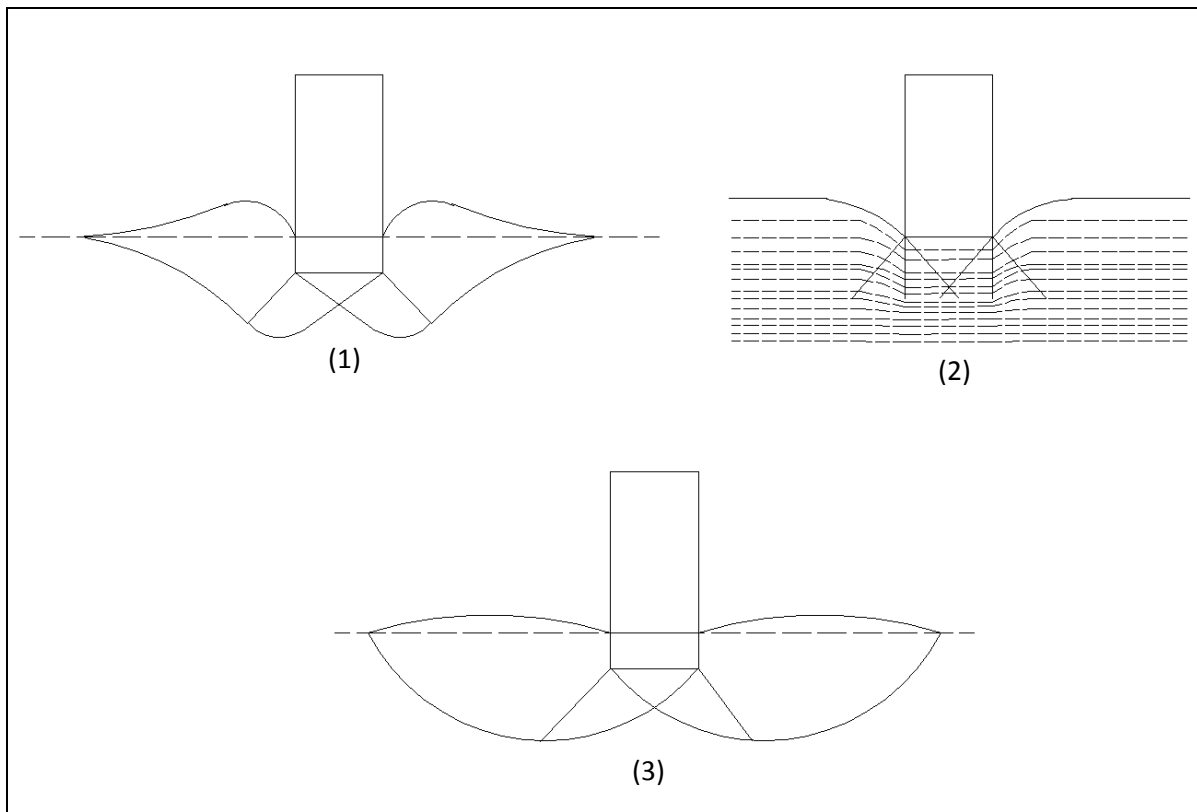


FIG. 1.3. Tipos de Falla por capacidad de carga.



Para la determinación de la capacidad de carga de las cimentaciones superficiales existen diferentes postulados de los cuales se dará una breve descripción de las fórmulas utilizadas en ellos.

Karl Von Terzaghi, Postulo las ecuaciones de la tabla (1.1) para determinar la capacidad de carga en una cimentación

Tipo de Zapatas	Falla por Corte	Formula
Corrida	Corte General.	$q_d = cN_c + \gamma ZN_q + 0.5 \gamma B N_w$
Corrida	Corte Local y Punzonamiento.	$q_d = c' N'_c + \gamma ZN'_q + 0.5 \gamma B N'_w$
Aislada, Cuadrada	Corte General	$q_d = 1.3 c N_c + \gamma ZN_q + 0.4 \gamma B N_w$
Aislada. Cuadrada	Corte Local y Punzonamiento	$q_d = 1.3 c' N'_c + \gamma ZN'_q + 0.4 \gamma B N'_w$
Circulares	Corte General	$q_d = 1.3 c N_c + \gamma ZN_q + 0.6 \gamma R N_w$
Circulares	Punzonamiento	$q_d = 1.3 c' N'_c + \gamma ZN'_q + 0.6 \gamma R N'_w$

De las formulas anteriores:

q_d = Capacidad de carga limite en Kg/m^2

c = Cohesión del suelo en Kg/m^2

γ = Peso volumétrico del suelo en Kg/m^3

Z = Profundidad de desplante de la cimentación en mts.

B = Ancho de la zapata.

N_c, N_q, N_w =Factores de carga, adimensionales que dependen únicamente del ángulo de fricción interna del suelo.

$C' = \frac{1}{3}c$ = Cohesión del suelo.

N'_c, N'_q, N'_w = Factores de carga.



Un factor importante a calcular en la mecánica de suelos es la capacidad de carga admisible (q_a), la cual es un cociente entre la capacidad de carga límite y un factor de seguridad el cual Terzaghi recomienda como 3, a continuación se dará la fórmula:

$$q_a = \frac{q_d}{3}$$

Skempton propuso una fórmula para obtener la capacidad de carga en suelos cohesivos la cual es la siguiente:

$$q_d = cN_c + \gamma Z$$

En donde:

N_c = Varia con la relación Z/B .

Z = Profundidad de desplante de la cimentación.

B = ancho de la cimentación.

Para la obtención de la capacidad de carga de las cimentaciones sobre arenas, es muy importante calcular la presión neta del terreno la cual se mencionara a continuación.

$$q_d = q'_d - \gamma Z = 0.5 B \gamma N_\gamma + \gamma Z(N_q - 1)$$

La capacidad de carga para cimentaciones desplantadas en terrenos inclinados puede obtenerse con la siguiente expresión:

$$q_d = cN_{cg} + 0.5 B \gamma N_{wq}$$



Para zapatas cuadradas:

$$q_d = 1.3 cN_{cg} + 0.4 B \gamma N_{wq}$$

El factor de seguridad también se recomienda de 3.

1.6.2 Asentamientos.

Los asentamientos son el resultado de varias o una de las causas siguientes: deformaciones elásticas (asentamientos inmediatos), asentamientos catastróficos, consolidación del terreno, desplome minero y otras causas.

Los asentamientos diferenciales son más importantes que los asentamientos totales, así por ejemplo, cuando una columna cede 5 cm más que las próximas a ella, producirá un efecto de mayor trascendencia en la estructura que si toda la estructura se hundiera 15 cm uniformemente. Razón por la cual se le da una atención mayor a los asentamientos diferenciales.

Cuando una estructura se ve sujeta a hundimientos diferenciales, se genera en ella acciones internas o elementos mecánicos que pueden tener gran importancia. Generalmente los hundimientos diferenciales se efectúan con relativa lentitud, de manera que para evaluar su efecto deben considerarse módulos de elasticidad bajos, que tomen en cuenta los efectos de flujo plástico del concreto. **Ref. (2)**

1.7. Distribución de esfuerzos debajo de las zapatas.

Por medio de análisis elásticos y observaciones se demuestra que la distribución de esfuerzos debajo de las zapatas cargadas simétricamente, no es uniforme. La distribución de los esfuerzos depende del tipo de material debajo de la zapata y de la rigidez de la zapata misma. Para zapatas sobre material suelto y poco cohesivo, las partículas de suelo tienden a desplazarse hacia los extremos, quedando relativamente confinado en el centro, como se ve en la Fig. (4.1 a). en el caso general de zapatas rígidas sobre suelos cohesivos la Fig. (4.1.b), muestra la distribución teórica de las presiones. Debido a que las intensidades de la presión debajo de las zapatas dependen de la rigidez, del tipo de suelo y las condiciones del mismo, el problema es generalmente indeterminado. **Ref. (3)**



En diseños prácticos se recomienda las siguientes hipótesis:

- 1.- La distribución de presiones es lineal, Fig. (4.1.c).
- 2.- La losa de la zapata se considera rígida.
- 3.- No se admiten tensiones en el terreno.

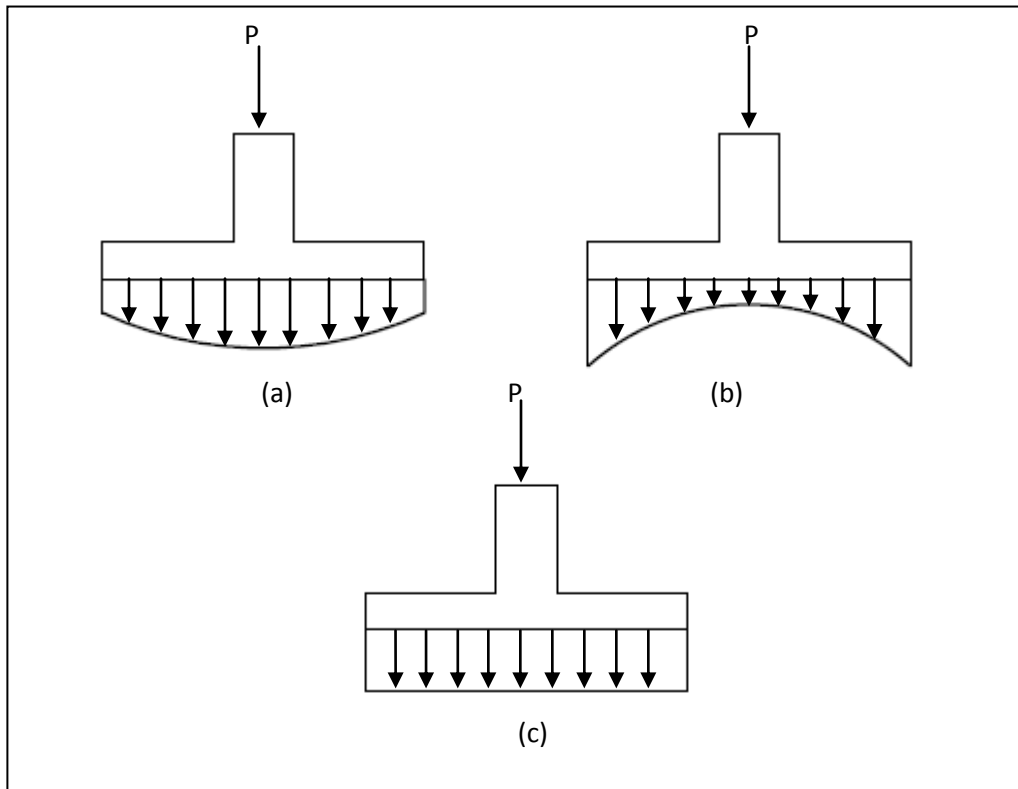


FIG. 1.4. Distribución de esfuerzos debajo de la zapatas



CAPITULO II

Revisión a las NTC - 2004



2.1 Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

2.1.2 Factores de Carga.

En el apartado 3.2. De las NTC-04 para diseño y construcción de cimentaciones nos menciona los factores de carga que se deben de tener en cuenta que son los siguientes:

a.- Para combinaciones que estén sujetas a cargas vivas (C_v) (fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y no sean de carácter permanente) más cargas muertas (C_m) (llámese a estas losas, muros, columnas, etc.) que sean del tipo A. El Factor de Carga (F_c) se tomara como 1.5.

$$F_c C_m + C_v \quad F_c = 1.5$$

b.- Para combinaciones de cargas que la anterior pero que sean estructuras menos importantes como del tipo B, el factor de carga será de 1.4.

$$F_c C_m + C_v \quad F_c = 1.4$$

c.- Para Combinaciones de cargas que incluyan acciones permanentes, variables y accidentales (como lo son sismos y viento), se considerara un factor de carga de 1.1 a cada una de las acciones que intervengan en la combinación. Es importante mencionar que en este análisis se tomaran todas las acciones permanentes y las acciones variables con su valor instantáneo y únicamente una acción accidental.

$$F_c C_m + C_v + C_A \quad F_c = 1.1$$



2.1.3. Factores de Reducción de la Resistencia (F_R).

En el apartado 3.2. De las NTC-04 para diseño y construcción de cimentaciones nos menciona Los factores de reducción y serán los siguientes para todos los límites de falla:

a.- Se utilizara un factor de reducción de $F_R = 0.35$ en cualquier combinación de cargas ($C_m + C_v$ ó $C_m + C_v + C_A$) en la base de la zapata solo para zonas de tipo I. y en zapatas de colindancia desplatadas a menos de 5mts. De profundidad en zonas tipo II y tipo III.

b.- Se utilizara un Factor de reducción de $F_R = 0.7$ para los demás casos.

Es importante mencionar que estos factores solo se aplicaran a la capacidad de carga neta de la cimentación.

Dónde:

Zona I: Zona de lomas formada por rocas o suelos muy resistentes.

Zona II: Zona de transición formada por estratos arenosos este tipo de zona se encuentra intermedicamente entre las zonas I y III.

Zona III: Zona de lago formada por depocitos lacustres de arcilla altamente compresible.



2.1.4. Límites Máximos para Deformaciones en el Terreno.

En el apartado 3.1. De las NTC-04 para diseño y construcción de cimentaciones destaca la tabla que se pondrá a continuación donde nos dice que el hundimiento máximo para construcciones aisladas es de 5 cm.

Tabla 3.1 Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación¹

a) Movimientos verticales (hundimiento o emersión)		
Concepto	Límite	
En la zona I:		
Valor medio en el área ocupada por la construcción:		
Asentamiento: Construcciones aisladas	5 cm ⁽²⁾	
Construcciones colindantes	2.5 cm	
En las zonas II y III:		
Valor medio en el área ocupada por la construcción:		
Asentamiento: Construcciones aisladas	30 cm ⁽²⁾	
Construcciones colindantes	15 cm	
Emersión: Construcciones aisladas	30 cm ⁽²⁾	
Construcciones colindantes	15 cm	
Velocidad del componente diferido	1 cm/semana	
b) Inclinación media de la construcción		
Tipo de daño	Límite	Observaciones
Inclinación visible	$100 / (100 + 3h_c)$ por ciento	h_c = altura de la construcción en m
Mal funcionamiento de grúas viajeras	0.3 por ciento	En dirección longitudinal
c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas		
Tipo de estructuras	Variable que se limita	Límite
Marcos de acero	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro	0.006
Marcos de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro	0.004
Muros de carga de tabique de barro o bloque de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial entre extremos y el claro	0.002
Muros con acabados muy sensibles, como yeso, piedra ornamental, etc.	Relación entre el asentamiento diferencial entre extremos y el claro	0.001
		Se tolerarán valores mayores en la medida en que la deformación ocurra antes de colocar los acabados o éstos se encuentren desligados de los muros.
Paneles móviles o muros con acabados poco sensibles, como mampostería con juntas secas	Relación entre el asentamiento diferencial entre extremos y el claro	0.004
Tuberías de concreto con juntas	Cambios de pendiente en las juntas	0.015

¹ Comprende la suma de movimientos debidos a todas las combinaciones de carga que se especifican en el Reglamento y las Normas Técnicas Complementarias. Los valores de la tabla son sólo límites máximos y en cada caso habrá que revisar que no se cause ninguno de los daños mencionados al principio de este Capítulo.

² En construcciones aisladas será aceptable un valor mayor si se toma en cuenta explícitamente en el diseño estructural de los pilotes y de sus conexiones con la subestructura.



2.2. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

2.2.1. Factores de reducción de resistencia (F_R) para elementos de Concreto.

En el apartado 1.7 de las NTC-04 para diseño y construcción de estructuras de concreto nos marca lo siguiente:

De acuerdo con las NTC-04 sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones las resistencias deben de ser afectadas por unos factores de reducción (F_R), para los factores de resistencia se tomaran los siguientes valores:

- a.- $F_R = 0.9$ para flexión.
- b.- $F_R = 0.8$ para cortante y torsión.
- c.- $F_R = 0.7$ para aplastamiento.

2.2.2. Estados Límite de Falla (Resistencia a Compresión del Concreto).

Para poder determinar el índice de refuerzo y el porcentaje de acero que debemos utilizar se darán algunos parámetros de las NTC-04 en el artículo 1.5.1.2. y en la sección 2.1. Para diseño y construcción de estructuras de concreto:

Donde:

$$f_c^* = 0.8 f_c' \qquad f_c'' = f_c^* \beta_1$$

$$\text{Para } f_c' \leq 280 \frac{Kg}{cm^2} \qquad \beta_1 = 0.85 f_c^*$$

$$\text{Para } f_c' > 280 \frac{Kg}{cm^2} \qquad \beta_1 = 1.05 - \frac{f_c^*}{1400} \geq 0.65$$

f_c' = Resistencia especificada del concreto a compresión.

f_c^* = Resistencia nominal del concreto a compresión.

f_c'' = Magnitud del bloque equivalente de esfuerzos del concreto a compresión.



2.2.3.- Flexión.

Las NTC-04 en el apartado 2.2. Nos da las especificaciones para el diseño a flexión los cuales son los siguientes:

El área mínima de refuerzo de secciones rectangulares de concreto reforzado de peso normal puede calcularse con la siguiente expresión aproximada.

$$A_{s\min} = \frac{0.7 \sqrt{f'_c}}{f_y} bd$$

Para poder determinar el área de acero máxima necesitamos calcular tendrá su falla balanceada, esta se presenta cuando su área de acero es igual a:

$$\rho_{bal} = \frac{f_c''}{f_y} \frac{6000\beta_1}{f_y + 60000} bd$$

El área máxima de acero se obtendrá multiplicando por un factor la falla balanceada.

$$A_{s\max} = \rho_{bal} * 0.75 \text{ si la zapata es afectada por sismo}$$

$$A_{s\max} = \rho_{bal} * 0.9 \text{ si no hay sismo}$$

La condicionante será que la ρ calculada no sea mayor que la máxima ni menor que la mínima en caso de que la cuantía de acero sea menor que la mínima se tomara la mínima:

$$\rho_{\min} \leq \rho_{calc} \leq \rho_{\max}$$



La fórmula para calcular la resistencia para secciones rectangulares sin acero a compresión será:

$$MR = FR bd^2 f_c'' q (1 - 0.5q)$$

2.2.4. Fuerza cortante como Viga Ancha (V_{cR}).

Estas fórmulas nos ayudaran a determinar el peralte de la zapata como viga ancha, más adelante se podrán ver más detalladamente, estas se encuentran en las NTC-04 en el apartado 2.5.1.1.

$$\text{Si } P < 0.015 \quad V_{cR} = F_R bd (0.2 + 20P) \sqrt{f_c^*}$$

$$\text{Si } P \geq 0.015 \quad V_{cR} = 0.5 F_R bd \sqrt{f_c^*}$$

Dónde:

$$P = \frac{A_s}{bd}$$

2.2.5. Cortante como losa.

Las NTC-04 en el apartado 2.5.1.2. Nos dice:

En elementos anchos como losas, zapatas y muros, en los que el ancho, b , no sea menor que cuatro veces el peralte efectivo, d , el espesor no sea mayor de 600mm y la relación M/Vd no exceda de 2.0, la fuerza resistente, V_{cR} puede tomarse igual a.

$$V_{cR} = 0.5 F_R bd \sqrt{f_c^*}$$

Cabe mencionar que hay muy pocas probabilidades el calcular una zapata como losa ya que si se hacen los cálculos pertinentes se podrá dar cuenta que si se obtiene un peralte como losa y un peralte como viga ancha el peralte que



Predominara será el de viga ancha por esta razón ya no se adentra mas en el tema de cortante como losas.

2.2.6. Cortante por punzonamiento.

En las NTC-04 en el apartado 2.5.9.2 nos marca que si no hay una transmisión de momento o si se cumple con:

$$M_u \leq 0.2 V_u d$$

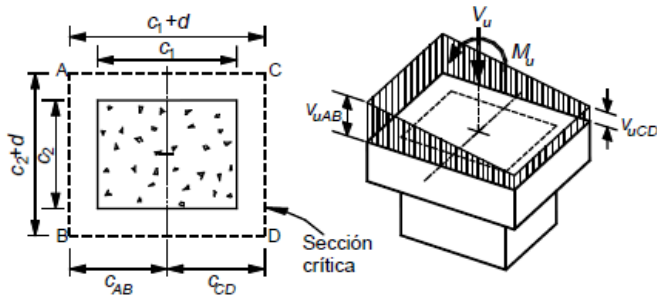
El cortante de diseño se calculara con:

$$V_u = \frac{V_u}{b_o d}$$

Cuando haya transferencia de momentos se supondrá que una fracción de momento se transmite por excentricidad de la fuerza cortante total, con respecto al centroide de la sección crítica, esta fracción está dada por:

$$\alpha_{x,y} = 1 - \frac{1}{1 + 0.67 \sqrt{(c_1 + d)/(c_2 + d)}}$$

y en donde el cortante de diseño se tomara como:



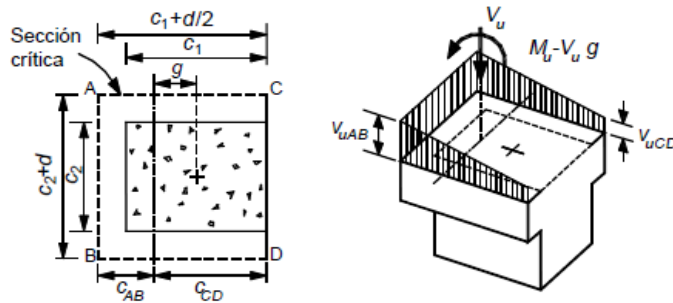
$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_{cr}} + \frac{\alpha M_u c_{AB}}{J_c}$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_{cr}} - \frac{\alpha M_u c_{CD}}{J_c}$$

$$A_{cr} = 2d(c_1 + c_2 + 2d)$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + d)^3}{6} + \frac{(c_1 + d)d^3}{6} + \frac{d(c_2 + d)(c_1 + d)^2}{2}$$

a) columna interior



$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_{cr}} + \frac{\alpha (M_u - V_u g) c_{AB}}{J_c}$$

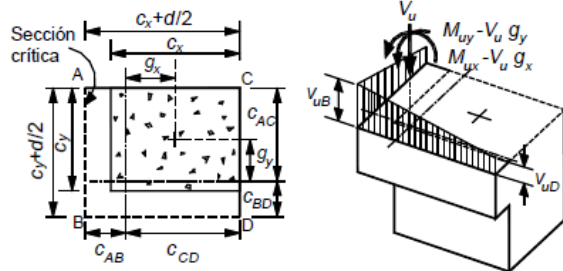
$$v_{uC} = v_{uD} = \frac{V_u}{A_{cr}} - \frac{\alpha (M_u - V_u g) c_{CD}}{J_c}$$

$$A_{cr} = d(2c_1 + c_2 + 2d)$$

$$c_{AB} = \frac{(c_1 + d/2)^2 d}{A_{cr}}; \quad g = (c_1 + d)/2 - c_{AB}$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + d/2)^3}{6} + \frac{(c_1 + d/2)d^3}{6} + (c_2 + d)d c_{AB}^2 + 2(c_1 + d/2)d \left(\frac{c_1 + d/2}{2} - c_{AB} \right)^2$$

b) columna de borde



$$v_{uA} = \frac{V_u}{A_{cr}} + \frac{\alpha_x (M_{ux} - V_u g_x) c_{AB}}{J_{cx}} - \frac{\alpha_y (M_{uy} - V_u g_y) c_{AC}}{J_{cy}}$$

$$v_{uB} = \frac{V_u}{A_{cr}} + \frac{\alpha_x (M_{ux} - V_u g_x) c_{AB}}{J_{cx}} + \frac{\alpha_y (M_{uy} - V_u g_y) c_{BD}}{J_{cy}}$$

$$v_{uD} = \frac{V_u}{A_{cr}} - \frac{\alpha_x (M_{ux} - V_u g_x) c_{CD}}{J_{cx}} + \frac{\alpha_y (M_{uy} - V_u g_y) c_{BD}}{J_{cy}}$$

$$A_{cr} = d(c_x + c_y + d)$$

$$c_{AB} = \frac{(c_x + d/2)^2 d}{2A_{cr}}; \quad c_{BD} = \frac{(c_y + d/2)^2 d}{2A_{cr}}$$

$$g_x = (c_x + d)/2 - c_{AB}; \quad g_y = (c_y + d)/2 - c_{BD}$$

$$J_{cx} = \frac{d(c_x + d/2)^3}{12} + \frac{(c_x + d/2)d^3}{12} + (c_y + d/2)d c_{AB}^2 + (c_x + d/2)d \left(\frac{c_x + d/2}{2} - c_{AB} \right)^2$$

$$J_{cy} = \frac{d(c_y + d/2)^3}{12} + \frac{(c_y + d/2)d^3}{12} + (c_x + d/2)d c_{BD}^2 + (c_y + d/2)d \left(\frac{c_y + d/2}{2} - c_{BD} \right)^2$$

c) columna de esquina



En ningún caso el cortante máximo de diseño obtenido con los criterios anteriores no excederá de:

$$V_{CR} = F_R \sqrt{f_c^*}$$

$$V_{CR} = F_R \left(0.5 + \frac{C_1}{C_2} \right) \sqrt{f_c^*}$$

Dónde:

c_1 es el lado mayor de la columna y c_2 es el lado menor.

En estas ecuaciones al considerar las combinaciones de las acciones permanentes, variables y sísmicas el factor de resistencia se considerara un factor de resistencia de 0.7 en lugar de 0.8.



2.2.7. Aplastamiento.

En las NTC-04 en el apartado 2.4. Diseño por aplastamiento marca lo siguiente:

En apoyos de miembros estructurales y otras superficies sujetas a presiones de contacto o aplastamiento, el esfuerzo de diseño no se tomará mayor que:

$$F_R f_c^*$$

Cuando la superficie que recibe la carga tiene un área mayor que el área de contacto, el esfuerzo de diseño puede incrementarse en la relación:

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2$$

Donde A_1 es el área de contacto y A_2 es el área de la figura de mayor tamaño, semejante al área de contacto y concéntrica con ella, que puede inscribirse en la superficie que recibe la carga.



2.2.8. Clasificación de Exposiciones.

En la tabla 1.2 se mostraran las clasificaciones que las NTC-04 en el apartado 4.2 da las exposiciones que podemos encontrar en el medio ambiente para el recubrimiento de concreto.

Tabla 1.2 Clasificación de las exposiciones

Superficies y ambiente de exposición	Clasificación de exposición
a) Superficie de miembros en contacto con el terreno:	
1) Protegida por una membrana impermeable	A1
2) En suelos no agresivos	A2
3) En suelos agresivos ¹	D
b) Superficies de miembros en ambientes interiores:	
1) Encerrado totalmente dentro de un edificio, excepto por breve periodo de exposición al ambiente durante la construcción ²	A1
2) En edificios o sus partes donde los miembros pueden estar sujetos a humedecimiento y secado repetido ²	B1
c) Superficies de miembros no en contacto con el terreno y expuestos a ambientes exteriores ³ que son:	
1) No agresivos	A2
2) Ligeramente agresivos	B1
3) Agresivos	B2
d) Superficies de miembros en agua ⁴ :	
1) En contacto con agua dulce (dura)	B1
En agua dulce a presión (dura)	B2
En agua dulce corriente (dura)	B2
2) En contacto con agua dulce (suave)	B2
En agua dulce a presión (suave)	D
En agua dulce corriente (suave)	D
3) En agua con más de 20 000 ppm de cloruros:	
– Sumergida permanentemente	B2
– En zonas con humedecimiento y secado	c
e) Superficies de miembros en otros ambientes:	
En cualquier ambiente de exposición no descritos en los incisos de (a)	
a (d)	D



- 1.- Se deben considerar agresivos los suelos permeables con $\text{pH} < 4.0$ o con agua freática que contiene más de un gramo (1 g) de iones de sulfato por litro. Suelos ricos en sales con pH entre 4 y 5 deben considerarse como clasificación de exposición C;
- 2.- Cuando se emplee en aplicaciones industriales, se deben considerar los efectos sobre el concreto de los procesos de manufactura que allí se realicen; en tales casos se puede requerir una reclasificación de la exposición a D;
- 3.- La frontera entre los diferentes ambientes exteriores depende de muchos factores los cuales Incluyen distancia desde la fuente agresiva, vientos dominantes y sus intensidades
- 4 Para establecer las características de dureza del agua se requiere analizarla

2.2.9. Recubrimiento necesario.

De acuerdo a las NTC-04 en el apartado 4.9.3 el recubrimiento en vigas, traveses y contra traveses no será en ningún caso menor al valor especificado en la tabla 1.3, de acuerdo a la exposición y la resistencia especificada del concreto.

Tabla 1.3 recubrimiento mínimo requerido.

Clasificación de exposición	Resistencia a compresión en Kg/cm^2							
	150	200	250	300	400	500	600	700
A1	30	25	25	20	20	20	15	15
A2	50	40	35	30	25	25	20	20
B1	65	50	40	35	30	30	25	25
B2	-	-	50	45	40	35	30	30
C	-	-	-	-	-	70	65	60

Todo lo tratado y relacionado con el apartado de las NTC-04 se describen fielmente de estas y se podrán encontrar con facilidad gracias a las referencias dadas en cada tema antes de su información, cabe mencionar que solo en este apartado las referencias se darán de esta manera.



2.3. Constante de Balasto (K_s).

La constante de amortiguamiento será necesaria para realizar los modelos pertinentes en SAP 2000 ver. 14 y en SAFE ver. 12 cabe mencionar que esta prueba es realizada por la mecánica de suelos y no se abordara el tema a profundidad.

Es uno de los métodos de cálculo más utilizado para poder crear un modelo de la interacción entre estructuras de cimentación y terreno es el que supone el suelo equivalente a un número infinito de resortes elásticos -muelles o bielas biarticuladas- cuya rigidez, denominada módulo o coeficiente de balasto.

$$K_s = \frac{q}{\delta}$$

En donde:

K_s = coeficiente de balasto.

q = presión de contacto.

δ = asentamiento.

La siguiente tabla muestra los coeficientes de balasto para diferentes tipos de suelo:

COEFICIENTE DE BALASTO Valores orientativos para placa de carga de 30x30cm² (K30).

Clases de suelo	(K/cm ³)	Clases de suelo	(K/cm ³)
Suelo ligero de turba y cenagoso	0,5 - 1,0	Humus firmemente estratificado con arena y pocas piedras	8,0 - 10,0
Suelo pesado de turba y cenagoso	1,0 - 1,5	Humus firmemente estratificado con arena y muchas piedras	10,0 - 12,0
Arena fina de ribera o playa	1,0 - 1,5	Gravilla arenosa floja	4,0 - 8,0
Arena floja seca	1,0 - 1,3	Gravilla arenosa compacta	9,0 - 25,0
Arena floja húmeda	0,8 - 1,0	Grava fina con mucha arena fina	8,0 - 10,0
Arena media seca	3,0 - 9,0	Grava media con arena fina	10,0 - 12,0
Arena media húmeda	2,0 - 6,0	Grava media con arena gruesa	12,0 - 15,0
Arena compacta seca	9,0 - 20,0	Grava gruesa con arena gruesa	15,0 - 20,0
Arena compacta húmeda	7,0 - 13,0	Grava gruesa con poca arena	15,0 - 20,0
Capa de humus, arena y grava	1,0 - 2,0	Rocas blandas o algo alteradas	>30,0
Arcilla mojada	2,0 - 3,0	Rocas sanas	>500,0
Arcilla húmeda	4,0 - 5,0		
Arcilla seca	6,0 - 9,0		
Arcilla seca dura	> 10,0		
Margas arcillosas	20,0 - 40,0		

UNIDADES: 1 K/cm³ ≈ 10³ T/m³ ≈ 10⁴ kN/m³



A continuación se complementara el tema del coeficiente de balasto con una tabla la cual nos da los valores a utilizar en el programa SAFE ver. 12 y también aplicable para SAP 2000 ver.14. Estos valores de módulo de balasto se toman partir de el esfuerzo admisible del terreno.

Modulo de Reaccion del Suelo <i>Datos para SAFE</i>					
Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)	Esf Adm (Kg/Cm ²)	Winkler (Kg/Cm ³)
0.25	0.65	1.55	3.19	2.85	5.70
0.30	0.78	1.60	3.28	2.90	5.80
0.35	0.91	1.65	3.37	2.95	5.90
0.40	1.04	1.70	3.46	3.00	6.00
0.45	1.17	1.75	3.55	3.05	6.10
0.50	1.30	1.80	3.64	3.10	6.20
0.55	1.39	1.85	3.73	3.15	6.30
0.60	1.48	1.90	3.82	3.20	6.40
0.65	1.57	1.95	3.91	3.25	6.50
0.70	1.66	2.00	4.00	3.30	6.60
0.75	1.75	2.05	4.10	3.35	6.70
0.80	1.84	2.10	4.20	3.40	6.80
0.85	1.93	2.15	4.30	3.45	6.90
0.90	2.02	2.20	4.40	3.50	7.00
0.95	2.11	2.25	4.50	3.55	7.10
1.00	2.20	2.30	4.60	3.60	7.20
1.05	2.29	2.35	4.70	3.65	7.30
1.10	2.38	2.40	4.80	3.70	7.40
1.15	2.47	2.45	4.90	3.75	7.50
1.20	2.56	2.50	5.00	3.80	7.60
1.25	2.65	2.55	5.10	3.85	7.70
1.30	2.74	2.60	5.20	3.90	7.80
1.35	2.83	2.65	5.30	3.95	7.90
1.40	2.92	2.70	5.40	4.00	8.00
1.45	3.01	2.75	5.50		
1.50	3.10	2.80	5.60		



CAPITULO III

Diseño estructural de Zapatas
aisladas según las NTC-04



3.1. Generalidades.

3.1.1. Cálculo de la presiones de contacto.

Tomando en cuenta que la losa de la zapata ha sido considerada rígida, la presión del suelo puede ser calculada por la fórmula de la escuadría:

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{M_c}{I} \quad (1)$$

$$\text{Si } \frac{I}{c} = S = \frac{BL^2}{6}; A = BL; M = P_e$$

Entonces:

$$q = \frac{P}{BL} \pm \frac{6M}{BL^2} = \frac{P}{BL} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) \quad (2)$$

En donde:

P= Carga axial.

e= Excentricidad de la carga axial o fuerza resultante.

B,L= Dimensiones de la Zapata.

q= Intensidad de la presión del suelo.

En la ecuación (2), si “e” es lo suficientemente grande, la presión del suelo sobre la zapata, actúa como si este tratara de separarse del suelo. Los esfuerzos de tensión no son posibles, por lo que son ignorados, dando como resultado una reducción en el área efectiva de la zapata. Resolviendo la ecuación (2) para $q = 0$, se obtiene $e = L/6$, que es la máxima excentricidad de la presión del suelo, para ser soportado por toda el área de la zapata y con ningún esfuerzo de tensión debajo de está.



Las presiones máximas y mínimas se calcularán con las expresiones siguientes.

$$q_{\text{mín}} = \frac{P}{BL} - \frac{6M}{BL^2} \quad \text{Y} \quad q_{\text{máx}} = \frac{P}{BL} + \frac{6M}{BL^2}$$

Cuando se tenga excentricidades en dos direcciones las presiones de contacto se calcularán con:

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{M_X C_Y}{I_x} \pm \frac{M_Y C_X}{I_Y} \quad (3)$$

En donde:

q= intensidad de la presión del suelo.

M_X, M_Y = Momentos en el eje X e Y.

I_X, I_Y = Momentos de inercia con respecto a los ejes X e Y.

C_X, C_Y =Distancias perpendiculares entre los ejes centroidales principales a los bordes de la losa.

$$q_{\text{mín}} = \frac{P}{A} - \frac{M_X C_Y}{I_x} - \frac{M_Y C_X}{I_Y}$$

$$q_{\text{máx}} = \frac{P}{A} + \frac{M_X C_Y}{I_x} + \frac{M_Y C_X}{I_Y}$$

Para $q_{\text{mín}} = 0$, tenemos:

$$e_x = \frac{B}{6} \quad \text{Y} \quad e_y = \frac{L}{6}$$



Las líneas que unen estos valores forman un área que llamaremos núcleo central como se ve en la Fig. (2.1).

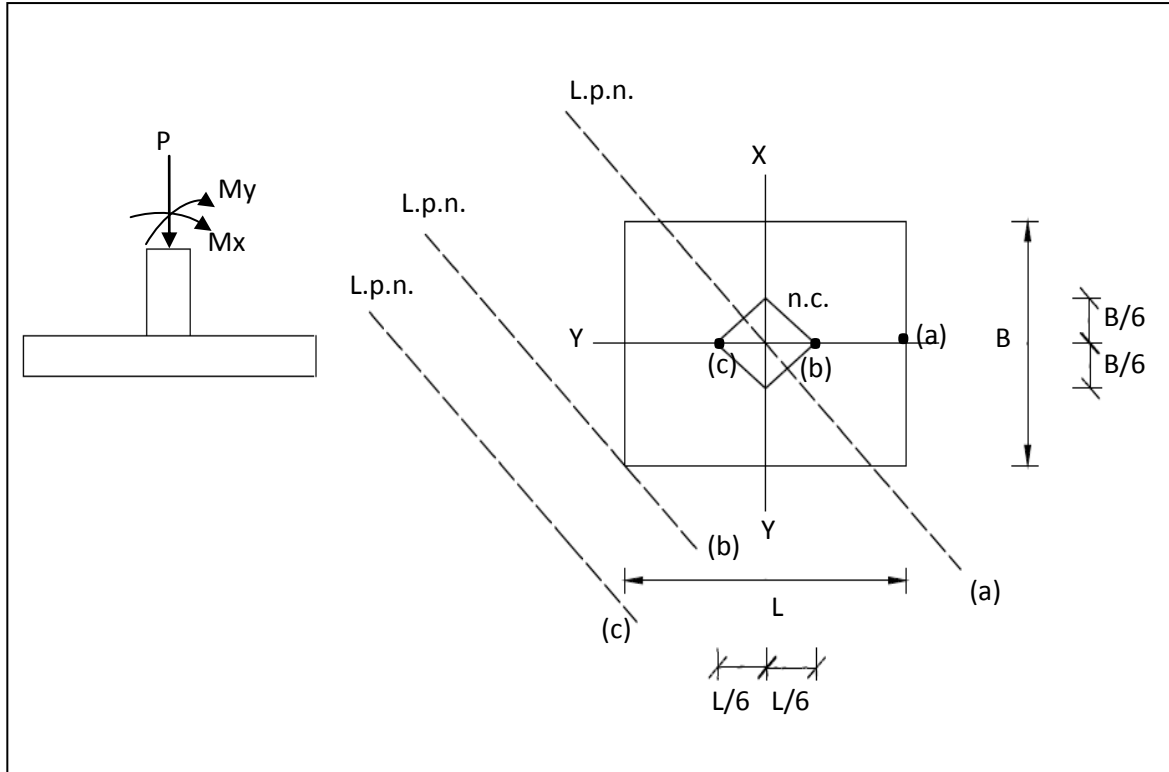


FIG. 3.1. Núcleo central y línea de presiones nula.

Considerando diferentes alternativas en la posición de una carga axial, tenemos cuando la carga esté dentro del núcleo central, debajo de la zapata solamente se presentarán presiones de compresión incluyendo el caso cuando actúa en el perímetro del núcleo central, se presentarán tensiones teóricamente. En la Fig. (4.2) se ilustran con diferentes tipos de líneas los diagramas de presiones de estas alternativas, tomando como referencia la excentricidad en el sentido Y .

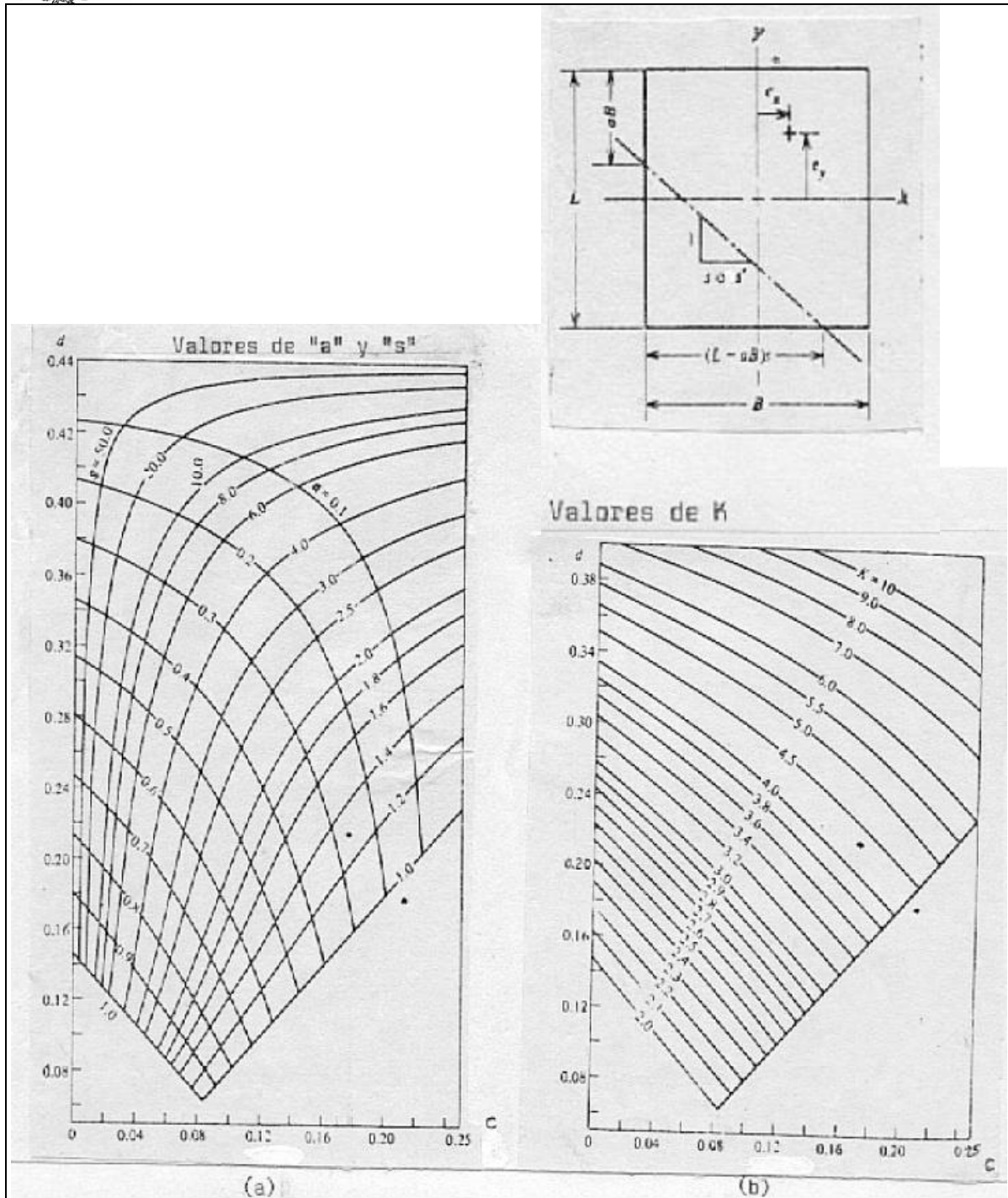
Los puntos donde las presiones valen cero, forman una línea que se denomina "línea de presiones nula", como se muestra en la Fig. (2.1). de acuerdo a la posición de la línea de presiones nula se tendrán los diferentes diagramas de presiones de contacto ya mencionadas, esto es:



- a.- Si la línea de presiones nulas pasa por el núcleo central, el diagrama de presiones tendrá parte de tensiones. En la Fig. (2.1), se marca la línea con la letra *a* y el punto donde actuaría la carga axial con la misma letra.
- b.- Cuando la línea de presiones nulas es tangente al perímetro de la losa de la zapata, el diagrama de presiones es de forma triangular.
- c.- Y si la línea de presiones nulas esta fuera de la losa, el diagrama es trapecial o sea que solo se tendrán esfuerzos de compresión.

Se advierte, que cuando la carga axial está en el centro del núcleo, teóricamente la línea de presiones nulas esta en infinito o no existe.

A continuación se presentan unas gráficas para determinar las líneas de presiones (Grafica 2.1.a) y obtener las presiones máximas (Grafica 2.1.b), (del Prof. H. J. Plock). **Ref. (4)**



Grafica (3.1) gráficas para ubicar la línea de presiones (a) y grafica para ubicar la presión máxima del suelo (b).

De donde:

$$c = \frac{e_x}{B} \quad y \quad d = \frac{e_y}{L}$$



Se podrán intercambiar valores de c y d si $c > d$ para zapatas rectangulares $s' = B/L$.

Para el cálculo de la presión máxima del suelo se usa:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{KP}{BL}$$

Ejemplo 1.- Cálculo de las líneas de presión nulas en una zapata aislada.

Determinar la línea de presiones y la presión de contacto máxima de la siguiente zapata:

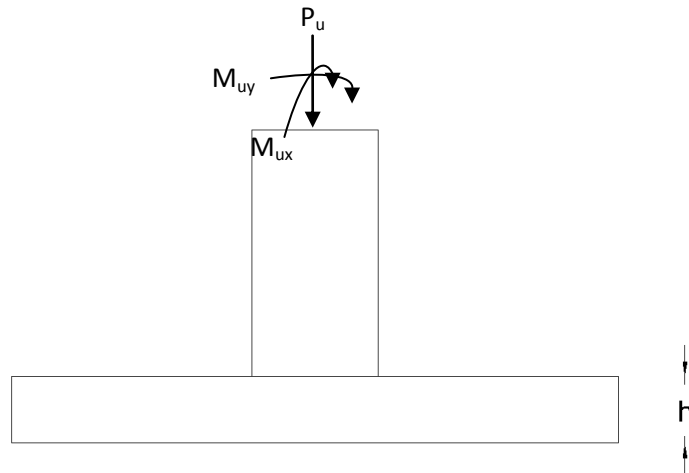
Datos:

$$P_u = 90.14 \text{ ton.}$$

$$M_{ux} = 40 \text{ ton-m.}$$

$$M_{uy} = 48 \text{ ton-m.}$$

$$q_a = 18 \text{ ton/m}^2$$



1.- se proponen las dimensiones o se calculan.

Zapata cuadrada.

$$B=L= 3.5\text{mts.}$$

2.- se calculan las excentricidades.

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u} \quad y \quad e_y = \frac{M_{uy}}{P_u}$$

$$e_x = \frac{40 \text{ ton-m.}}{90.14 \text{ ton.}} = 0.444 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{48 \text{ ton-m.}}{90.14 \text{ ton.}} = 0.533 \text{ m}$$



3.- Se determinan las constantes c y d.

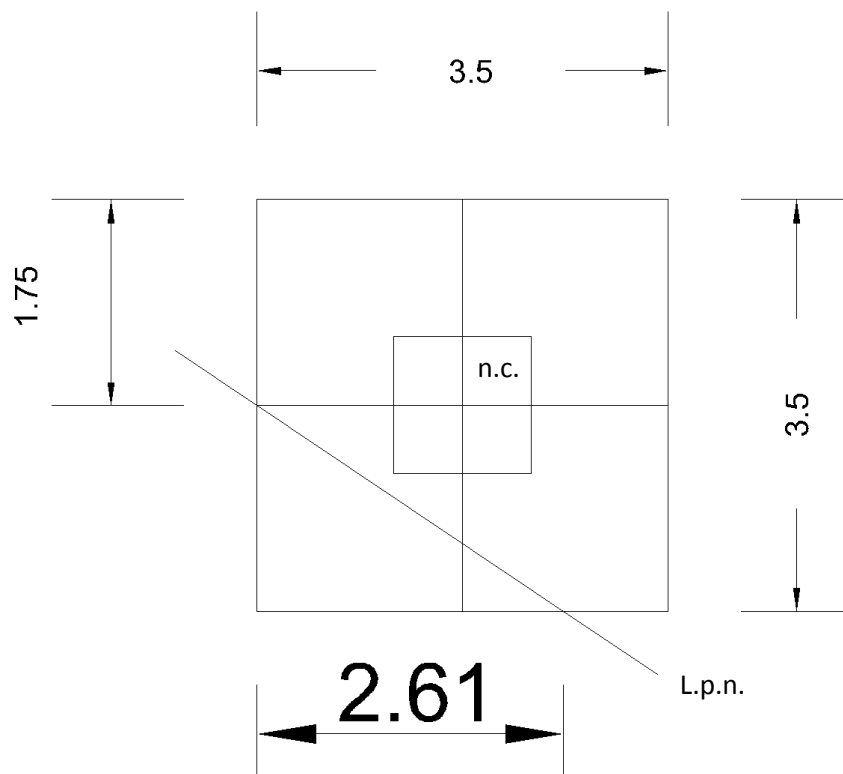
$$c = \frac{e_x}{B} \quad y \quad d = \frac{e_y}{L}$$

$$c = \frac{0.444 \text{ m}}{3.5 \text{ m}} = 0.127 \quad d = \frac{0.533 \text{ m}}{3.5 \text{ m}} = 0.152$$

4.- se buscan los valores de a y s en la tabla (2.1)a.

$$a = 0.5 \quad s = 1.49$$

5.- se toman los valores de a*B y de (L-a*B) y se grafican en el diagrama de la zapata como se ve a continuación.





La línea de presiones no toca el núcleo confinado lo que quiere decir que no existen tensiones en el terreno.

Si la L.p.n. tocará el núcleo confinado se tendría que hacer otra vez el dimensionamiento de la zapata ya que existirían tensiones en el terreno y como ya se dijo anteriormente el terreno no acepta tensiones.

6.- Calculo de presión máxima.

Con los valores de c y d se ingresa en la tabla (2.1b) y se obtiene el valor de k.

K= 3.19

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{KP}{BL}$$

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{3.19 * 90.14}{3.5 * 3.5} = 23.47 \text{ ton/m}^2$$

Esta presión se tendrá que comparar con la presión admisible.



3.2. Procedimiento de Diseño.

A continuación se describirá un procedimiento de diseño para zapatas aisladas.

Se aclara perfectamente que el procedimiento de diseño que se dará a continuación no es rigurosamente el que se debe seguir ya que debido a los alcances y disposiciones de otros autores hay distintos procedimientos a seguir para diseñar una zapata aislada en este método se propondrá un peralte (d) y de ahí partirá el cálculo apegándonos a las NTC-04 así que el lector puede utilizar el método que le parezca más conveniente.

a) se calculan las constantes de diseño (estados límites del concreto).

$$f_c^* = 0.8 f_c'$$

$$f_c'' = f_c^* \beta_1$$

$$\text{Para } f_c' \leq 280 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta_1 = 0.85 f_c^*$$

$$\text{Para } f_c' > 280 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{f_c^*}{1400} \geq 0.65$$

f_c' = Resistencia especificada del concreto a compresión.

f_c^* = Resistencia nominal del concreto a compresión.

f_c'' = Magnitud del bloque equivalente de esfuerzos del concreto a compresión.

Ver apartado 1.9.2. de este libro.



b) Se Obtienen las cargas y los momentos últimos multiplicados por sus factores de Carga correspondientes.

De acuerdo con el RCDDF-04 Las cargas y momentos últimos se obtendrán considerando las siguientes combinaciones de carga multiplicadas por su respectivo factor.

Ver apartado (1.8.1.) de este libro.

$$P_U = F_c (C_m + C_v) \qquad F_c = 1.5 \qquad \text{Para estructuras del tipo A}$$

$$P_U = F_c (C_m + C_v) \qquad F_c = 1.4 \dots \dots \dots \text{Para estructuras del tipo B}$$

$$P_U = F_c (C_m + C_v + C_A) \qquad F_c = 1.1$$

Dónde:

P_u = Carga Ultima.

C_m = Carga muerta.

C_v = Carga viva.

C_A = Carga Accidental (sismo).

Estos mismos términos se utilizan cuando se tengan momentos en lugar de cargas.

c) Se Propone un peralte para la zapata.

Es importante mencionar que el peralte (d) no es igual a (h) ya que el peralte se propone y el recubrimiento h es igual al peralte más el recubrimiento que se le dé a la inferior a la zapata.



d) Se determina la reacción neta del terreno (r_n).

Esta se determinara con la siguiente fórmula:

$$r_n = q_a - (P_{PS} + P_{PZ})$$

$$P_{PS} = F_c \gamma_s (Df - d)$$

$$P_{PZ} = F_c \gamma_c h$$

Dónde:

r_n = Reacción neta del terreno.

q_a = Capacidad de carga del terreno.

P_{PS} = Peso propio del suelo.

P_{PZ} = Peso propio de la zapata.

F_c = Factor de carga de acuerdo a la combinación que esté sujeta la zapata.

γ_s = Peso volumétrico del suelo.

γ_c = Peso volumétrico del concreto reforzado.

Df = Profundidad de desplante de la cimentación.

d = peralte efectivo propuesto con anterioridad.

h = peralte más recubrimiento.



e) Se encuentran las dimensiones de la zapata o en otro caso se proponen.

Este dimensionamiento se hará dividiendo las cargas de diseño entre la resistencia del suelo, esto nos dará el área que se requiere para distribuir esas cargas uniformemente esto sin sobrepasar la resistencia del suelo por lo tanto tenemos que:

$$B^2 = \frac{P_u}{r_n} \quad \text{Esto para Zapatas cuadradas.}$$

$$BL = \frac{P_u}{r_n} \quad \text{Para Zapatas Rectangulares.}$$

Dónde:

B= Ancho de la zapata.

L= largo de la zapata.

P_u = Carga ultima.

r_n = reacción neta del terreno.

En zapatas con momento biaxial cabe mencionar que sus dimensiones serán iguales a:

$$A_z = L'B' = \frac{P_u}{r_n}$$

Donde se puede apreciar que el largo y el ancho están afectados por las excentricidades debidas a los momentos, las excentricidades son iguales a:

$$e_x = \frac{M_{Ux}}{P_{Ux}} \qquad e_y = \frac{M_{Uy}}{P_{Uy}}$$

Entonces podremos decir que el largo y ancho de la zapata reales será igual a:

$$L = L' + 2e_x$$

$$B = B' + 2e_y$$



Y obteniendo la reacción actuante del área efectiva de la zapata esta tendrá q ser menor que la reacción neta del terreno.

$$r_a = \frac{P_u}{L'B'} \leq r_n$$

f) Se calculan las reacciones actuantes sobre el terreno (r_a).

$$r_{aA} = \frac{P_u}{B'L'}$$

$$r_{aG} = \frac{P_u}{BL}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

$$L' = L - 2e$$

$$B' = B - 2e$$

Dónde:

r_{aA} = Reacción actuante debido a la carga accidental.

r_{aG} = Reacción actuante debido a la carga gravitacional.

e = excentricidad.

L' = longitud reducida debido a la excentricidad.

B' = ancho reducido debido a la excentricidad.

De estas dos se determina cual domina el diseño y se diseña con ella.

Cabe mencionar que si solo hay excentricidad de un lado solo se verá reducido ese lado ya sea o el ancho o el largo.



g) Se obtienen las presiones de contacto.

Ver apartado (2.1.1.) de este libro.

$$q_{\frac{máx}{mín}} = \frac{P}{BL} \pm \frac{6M}{BL^2}$$

En donde:

P= Carga axial.

M= momento.

B, L= Dimensiones de la Zapata.

Y para zapatas cargadas con cargas y momentos biaxiales será:

$$q_{mín} = \frac{P}{BL} \left(1 - \frac{6e_x}{L} - \frac{6e_y}{B} \right) \geq 0$$

$$q_{máx} = \frac{P}{BL} \left(1 + \frac{6e_x}{L} + \frac{6e_y}{B} \right) \leq q_a$$

h) Se hace la revisión por flexión del peralte propuesto.

Longitud de volado en dirección al momento flector

$$a = \frac{B - C_1}{2} \qquad a = \frac{L - C_1}{2}$$

Dónde:

C₁= Lado de la columna paralelo al momento.

Momento flector de diseño en la sección crítica por flexión en donde primero sacaremos la carga en donde b= 100 cm.

$$w = r_a * b$$



Después obtendremos el momento que llamaremos M_z simplemente para fines de este trabajo como se dijo con anterioridad hay distintas maneras para el diseño de zapatas este método es el que se recomienda.

$$M_z = \frac{w a^2}{2}$$

Obtenido esto el momento último será el M_z multiplicado por su factor de carga dependiendo de qué tipo de cálculo se esté realizando.

$$M_U = M_z * FC$$

Este cálculo anterior de momento ultimo tendrá que ser menor al momento resistente donde $b=100$ cm

$$MR = FR bd^2 f_c'' q (1 - 0.5q)$$

Si el momento resistente es mayor al momento último se procederá con lo siguiente, pero si el momento último es mayor al momento resistente se tendrá que proponer un nuevo peralte.

Después de esto se verificara el índice de refuerzo.

El índice de refuerzo este debe de ser mayor al mínimo y menor al máximo según las NTC-04.

$$\rho = \frac{f_c''}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{FR bd^2 f_c''}} \right]$$

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$



i) Revisión por tensión diagonal como viga ancha.

La reacción actuante se multiplicara por la unidad de longitud $b=100\text{cm}$. para obtener la carga:

$$w = r_a * b$$

Fuerza cortante última se obtendrá de la siguiente manera.

$$V_Z = w (a - d)$$

Entonces la fuerza cortante última será igual a:

$$V_U = V_Z * FC$$

Las NTC-04 nos da unas formulas, estas fórmulas nos ayudaran a determinar si el peralte propuesto de la zapata como viga ancha es idóneo, estas se encuentran en las NTC-04 en el apartado 2.5.1.1.

$$\text{Si } P < 0.015 \qquad V_{CR} = F_R bd (0.2 + 20P)\sqrt{f_c^*}$$

$$\text{Si } P \geq 0.015 \qquad V_{CR} = 0.5F_R bd \sqrt{f_c^*}$$

Dónde:

$$P = \frac{A_s}{bd} \text{ En vigas.}$$

Con $b=100 \text{ cm}$.

$$\text{Si } V_{CR} \begin{cases} \geq V_u & \text{Se acepta el peralte propuesto} \\ < V_u & \text{Debe aumentarse el peralte propuesto} \end{cases}$$



j) Se revisa el Peralte por punzonamiento.

Cortante que toma el concreto. (Revisar apartado 1.9.5. de este libro)

$$V_{CR} = F_R \sqrt{f_c^*}$$

$$V_{CR} = F_R \left(0.5 + \frac{C_1}{C_2} \right) \sqrt{f_c^*}$$

Fuerza última por punzonamiento.

$$V_Z = P_u - [(c_1 + d)(c_2 + d) * r_a]$$

El cortante último se determinará:

$$V_U = V_Z * FC$$

Después se verifica que haya transmisión de momento

$$M_u < 0.2V_u d$$

Si esta condición se cumple no hay transmisión de momentos V_u se podrá calcular con:

$$V_u = \frac{V_u}{b_o d}$$



Si esta condición no se cumple quiere decir que hay transmisión de momento y las NTC-04 nos dicen que se tomara una fracción de ella.

Ver apartado 1.9.5. De este libro.

$$F_R \begin{cases} 0.8 \text{ Para } (CM + CV) \\ 0.7 \text{ Para } (CM + CV + CA) \end{cases}$$
$$\text{si } V_{CR} \begin{cases} \geq V_u \text{ Se acepta el peralte propuesto} \\ < V_u \text{ Debe aumentarse el peralte propuesto} \end{cases}$$



k) armado de la zapata.

Si todos los cálculos anteriores son correctos y nuestro peralte propuesto satisface a todas las revisiones anteriores se podrá proceder a realizar el armado de nuestra zapata.

a) se obtiene el área de acero

$$A_s = \rho b d$$

b) si es una zapata rectangular se obtiene el refuerzo paralelo al lado largo, si es una zapata cuadrada se obtendrá un área de acero acomodada de igual forma en los dos sentidos.

$$A_{s_{total}} = A_s * B$$

c) Numero de varillas.

$$\# \text{ de varillas} = \frac{A_{s_{total}}}{a_s}$$

d) Separación.

$$s = \frac{B * 100}{\# \text{ de varillas}}$$

e) si es zapata rectangular. Refuerzo paralelo al lado largo se tomara de igual manera.

El acomodo del acero será el siguiente para el lado donde actué el momento.

$$A_{s_{central}} = \frac{2 * A_{s_{total}}}{\frac{L}{B} + 1}$$

y su separación será:

$$S_{central} = \frac{B * 100}{\# \text{ Varillas}_{central}}$$



Para la franja de los volados será el siguiente:

$$A_{s_{volados}} = \frac{A_{s_{total}} - A_{s_{central}}}{2}$$

Y su separación será:

$$S_{volado} = \frac{\frac{L - B}{2} * 100}{\# Varillas}$$

Cabe mencionar que este procedimiento es de lo más sencillo y que como a continuación se presentará en una zapata de tipo cuadrado no es necesario seguir los últimos pasos para el cálculo de acero ya que para una zapata cuadrada el armado es igual tanto para el sentido largo como para el sentido corto lo que nos hace descartar los últimos pasos.



3.3. Resumen de las NTC-04 para el diseño de zapatas.

Factor de Diseño	Artículo NTC-04	Requerimientos de las NTC-04
Constantes de diseño		
f_c^*	1.5.1.2.	$f_c^* = 0.8 f_c'$
f_c''	2.1	$f_c'' = f_c^* \beta_1$ Para $f_c' \leq 280 \frac{Kg}{cm^2}$ $\beta_1 = 0.85 f_c^*$ Para $f_c' > 280 \frac{Kg}{cm^2}$ $\beta_1 = 1.05 - \frac{f_c'}{1400} \geq 0.65$
Factores de Reducción		
F_R	1.7.	$F_R = 0.9$ Para flexión. $F_R = 0.8$ Para cortante y torsión. $F_R = 0.7$ Para aplastamiento.
Factores de carga		
F_c	3.2. –Cim.	$F_c C_m + C_v$ $F_c = 1.5$ tipo A $F_c C_m + C_v$ $F_c = 1.4$ tipo B $F_c C_m + C_v + C_A$ $F_c = 1.1$
Cortante como viga ancha		
V_{cR}	2.5.1.1.	Si $P < 0.015$ $V_{cR} = F_R bd (0.2 + 20P) \sqrt{f_c^*}$ Si $P \geq 0.015$ $V_{cR} = 0.5 F_R bd \sqrt{f_c^*}$
Modulo de Elasticidad		
E_c	1.5.1.4.	$14000 \sqrt{f_c'}$ Concretos Clase 1



		$8000\sqrt{f'_c}$ Concretos Clase 2
Cortante como losa.		
V_{cR}	2.5.1.2.	$V_{cR} = 0.5F_R bd \sqrt{f'_c}$
Diseño por flexión		
	2.2.4.	$M_R = F_R A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$ $a = \frac{A_s f_y}{f'_c b}$ $M_R = F_R A_s f_y d(1 - 0.5q)$
Refuerzo mínimo		
$A_{s,min}$	2.2.1.	$A_{s,min} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} bd$
Refuerzo máximo		
$A_{s,máx}$	2.2.2.	$A_{s,máx} = \frac{f'_c}{f_y} \frac{6000 \beta_1}{f_y + 6000} bd$ $A_s = 0.75 A_{s,máx} \text{ Con sismo.}$ $\frac{A_s}{bd} \leq P_b$
Aplastamiento.		
f_Q	2.4.	$f_Q = F_R f'_c$
Longitud de desarrollo.		
L_{db}	5.1.2.	$L_{db} = \frac{a_s f_y}{3(c + K_{tr})\sqrt{f'_c}} \geq 0.11 \frac{d_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 30 \text{ cm.}$
Refuerzo por temperatura.		
a_s		$a_s = \frac{600 x_1}{f_y(x_1 + 100)}$ <p>x_1 = la dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo en cm.</p>



Recubrimiento mínimo.		
		5 cm sin plantilla. 3 cm con plantilla.
Espaciamiento de refuerzo.		
		No menor del diámetro nominal de varilla ni de 1.5 veces al tamaño máximo del agregado no de 2 cm. No mayor de 50 cm., ni 1.5h No mayor de 2.5d en cargas concentradas.



Ejemplo de Resolución de Zapatas aisladas según las NTC-04

Diseño de una Zapata Aislada de centro.

Datos:

$L_c = 60\text{cm}$. Ancho de la columna.

$B_c = 60\text{ cm}$. Largo de la columna

$P = 32.4\text{ ton}$.

$f_y = 4200\text{ kg/cm}^2$

$q_a = 25\text{ t/m}^2$

$f'_c = 250\text{ kg/cm}^2$

$M_x = 0\text{ ton-m}$

$M_y = 13.6\text{ ton-m}$

$D_f = 1.2\text{ mts}$.

$\gamma_s = 1.8\text{ ton/m}^3$

$\gamma_c = 2.4\text{ ton/m}^3$

Peralte propuesto= 30 cm.

$H = 35\text{ cm}$

1.- se calculan las constantes de diseño.

$$f_c^* = 0.8 f'_c;$$

$$f_c^* = 0.8 * 250\text{ kg/cm}^2 = 200\text{ kg/cm}^2$$

$$f_c'' = f_c^* \beta_1$$

$$f_c'' = (200\text{ kg/cm}^2) * 0.85 = 170\text{ kg/cm}^2$$



2.- se propone el peralte de la zapata.

$$d = 30 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 35 \text{ cm.}$$

3.- se determinan los momentos y fuerzas últimas.

$$P_U = 1.4 * (32.4 \text{ ton}) = 45.36 \text{ ton.}$$

$$M_{Uy} = 1.4 * (13.6 \text{ t} - \text{m}) = 19.04 \text{ t} - \text{m.}$$

4.- se obtiene la reacción neta del terreno.

$$r_n = q_a - F_c[\gamma_s(Df - d) + (\gamma_c h)]$$

$$r_n = 25 \text{ t/m}^2 - 1.4[1.8 \text{ t/m}^3(1.2 \text{ m} - 0.30 \text{ m}) + (2.4 \text{ t/m}^3 * 0.35 \text{ m})]$$

$$r_n = 21.556 \text{ t/m}^2$$

5.- Se obtiene el área de la zapata y la reacción actuante de esta.

$$A_z = LB' = \frac{45.36 \text{ ton}}{21.556 \text{ t/m}^2}$$

$$A_z = 2.10 \text{ m}^2$$

$$L = \sqrt{2.10} = 1.45 \text{ m} \quad \text{y} \quad B' = \sqrt{2.10} = 1.45 \text{ m}$$

$$\therefore B = B' + 2e_y$$

$$e_y = \frac{19.04 \text{ t} - \text{m}}{45.36 \text{ ton}}$$

$$e_y = 0.42 \text{ m}$$

$$B = 1.45 \text{ m} + 2(0.42 \text{ m})$$

$$B = 2.29 \text{ m}$$



$$r_a = \frac{P_u}{LB'} \leq r_n$$

Se ha decidido debido a los resultados que nos da una zapata rectangular, sumar las dimensiones y hacer un promedio de ellas y así poder obtener una medida que nos dé una zapata cuadrada $\frac{B+L}{2}$.

$$r_a = \frac{45.36 \text{ ton}}{1.8 \text{ m} * 1.45 \text{ m}} \leq r_n$$

$$r_a = 17.37 \text{ t/m}^2 \leq 21.556 \text{ t/m}^2 \quad \therefore \text{ si cumple!!}$$

Las dimensiones definitivas a tomar entonces serán 1.8 mts. X 1.8 mts. De una zapata cuadrada.

6.- Obtenemos las presiones de contacto.

$$q_1 = q_{\min} = \frac{32.4 \text{ ton}}{3.24 \text{ m}^2} \left(1 - \frac{6(0)}{1.8 \text{ m}} - \frac{6(0.42 \text{ m})}{1.8 \text{ m}} \right) = 23.99 \text{ t/m}^2$$

$$q_2 = \frac{32.4 \text{ ton}}{3.24 \text{ m}^2} \left(1 - \frac{6(0)}{1.8 \text{ m}} + \frac{6(0.42 \text{ m})}{1.8 \text{ m}} \right) = -3.99 \text{ t/m}^2$$

$$q_3 = q_{\max} = \frac{32.4 \text{ ton}}{3.24 \text{ m}^2} \left(1 + \frac{6(0)}{1.8 \text{ m}} + \frac{6(0.42 \text{ m})}{1.8 \text{ m}} \right) = 23.99 \text{ t/m}^2$$

$$q_4 = \frac{32.4 \text{ ton}}{3.24 \text{ m}^2} \left(1 + \frac{6(0)}{1.8 \text{ m}} - \frac{6(0.42 \text{ m})}{1.8 \text{ m}} \right) = -3.99 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\max} < q_a \quad \therefore \text{ si pasa!!}$$



Pero existen tensiones en el terreno lo que nos haría que no pasaran las dimensiones de la zapata pero se continuara con el cálculo y con las dimensiones para fines demostrativos con los programas, para verificar que se obtengan tensiones similares tanto en estos como en el ejercicio hecho manualmente.

7.- Se hará la revisión por flexión del peralte propuesto.

Longitud de volado en dirección al momento flector.

$$a = \frac{1.8 \text{ m} - 0.6 \text{ m}}{2} = 0.6 \text{ m}.$$

Momento flector de diseño en la sección crítica por flexión.

$$w = 17.37 \text{ t/m}^2 * 1 \text{ m}$$

$$w = 17.37 \text{ t/m}$$

$$M_z = \frac{17.37 \text{ t/m} * (0.6 \text{ m})^2}{2} = 3.13 \text{ t - m}$$

$$M_u = 3.13 \text{ t - m} * 1.4$$

$$M_u = 4.38 \text{ t - m}$$



Calculo del momento resistente con $b = 100\text{cm}$.

$$q = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(4.38 t - m * 10^5)}{(0.9 * 100\text{cm} * 30^2\text{cm} * 170\text{ kg/cm}^2)}} \right]$$

$$q = 0.03231$$

$$M_R = (0.9)(100\text{cm})(30\text{ cm})^2(170\text{ kg/cm}^2) [(0.03231)(1 - 0.5(0.03231))]$$

$$M_R = 437720.76\text{ kg} - \text{cm} = 4.38 t - m$$

$$M_R = M_u \therefore \text{se acepta el peralte propuesto}$$

Ahora deberá cumplirse con $\rho_{\text{mín}} \leq \rho \leq \rho_{\text{máx}}$ si no se cumple se diseñara con el menor según sea el caso.

Cuantía de acero.

Usando $b = 100\text{ cm}$.

$$\rho = \frac{170\text{ kg/cm}^2}{4200\text{ kg/cm}^2} (0.03231)$$

$$\rho = 0.0013077$$

Cuantía de acero mínima.

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.7 \sqrt{250\text{ kg/cm}^2}}{4200\text{ kg/cm}^2} \quad \rho_{\text{mín}} = 0.002635$$



Cuantía de acero balanceado.

$$\rho_{bal} = \frac{170 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \frac{6000(0.85)}{4200 \text{ kg/cm}^2 + 6000}$$

$$\rho_{bal} = 0.02024$$

Cuantía de acero máxima.

$$\rho_{m\acute{a}x} = 0.75 * 0.02024$$

$$\rho_{m\acute{a}x} = 0.01822$$

$$0.002635 \leq 0.001307 \leq 0.01822$$

∴ no se cumple la condición. y se diseñara con el minimo.



8.- Revisión por tensión diagonal como viga ancha.

Cortante ultimo:

$$w = 17.37 t/m^2 * 1 m$$

$$w = 17.37 t/m$$

$$V_Z = 17.37 t/m (0.6 m - 0.30 m)$$

$$V_Z = 5.211 t$$

$$V_U = 5.211 t * 1.4$$

$$V_U = 7.29 ton$$

Como $\rho < 0.015$ se utilizara:

$$V_{CR} = F_R bd (0.2 + 20P)\sqrt{f_c^*}$$

Con $b = 100 cm$.

$$V_{CR} = 0.8 * 100 cm * 30 cm * (0.2 + 20(0.002635))\sqrt{200 kg/cm^2}$$

$$V_{CR} = 8577.1 kg$$

$$V_{CR} = 8.57 ton$$

$V_{CR} > V_u \quad \therefore$ se acepta el peralte propuesto.



9.- Revisión del peralte por punzonamiento o penetración.

Cortante que recibe el concreto:

$$V_{CR} = 0.8 * \sqrt{200 \text{ kg/cm}^2}$$

$$V_{CR} = 11.314 \text{ kg/cm}^2$$

El cortante que recibe el concreto y el cortante último, ningún cortante será mayor que el que se obtendrá a continuación.

$$V_{CR} = 0.8 * \left(0.5 + \frac{0.6 \text{ cm}}{0.6 \text{ cm}}\right) \sqrt{200 \text{ kg/cm}^2}$$

$$V_{CR} = 16.97 \text{ kg/cm}^2$$

Cortante ultimo:

$$V_U = 45.36 \text{ ton} - 17.37 \text{ t/m}^2 * [(0.60 \text{ m} + 0.30 \text{ m})(0.60 \text{ m} + 30 \text{ m})]$$

$$V_U = 31.29 \text{ t}$$

Se verifica si hay transmisión de momento con la sig. Condición.

$$M_u \geq 0.2 V_u d$$

$$19.04 \text{ t} - \text{m} \geq 0.2 * (31.29 \text{ t}) * (0.3 \text{ m})$$

$$19.04 \text{ t} - \text{m} > 1.877 \text{ t} - \text{m} \quad \therefore \text{ existe transmisión de momento}$$



Cortante último de diseño:

Perímetro crítico:

$$b_0 = 2(60 \text{ cm} + 60 \text{ cm} + 2(30 \text{ cm}))$$

$$b_0 = 360 \text{ cm}$$

Área crítica:

$$A_{cr} = 360 \text{ cm} * 30 \text{ cm}$$

$$A_{cr} = 10,800 \text{ cm}^2$$

Fracción de momento:

$$\alpha_y = 1 - \frac{1}{1 + 0.67\sqrt{(60 \text{ cm} + 30 \text{ cm})/(60 \text{ cm} + 30 \text{ cm})}}$$

$$\alpha_y = 0.4011$$

Momento polar de inercia:

$$J_{cy} = \frac{30 \text{ cm} * (90 \text{ cm})^3}{6} + \frac{90 \text{ cm} * (30 \text{ cm})^3}{6} + \frac{30 \text{ cm} * 90 \text{ cm} * (90 \text{ cm})^2}{2}$$

$$J_{cy} = 14985000 \text{ cm}^4$$

$$C_{bc} = \frac{60 \text{ cm} + 30 \text{ cm}}{2}$$

$$C_{bc} = 45 \text{ cm}$$



Cortante de diseño

$$V_U = \frac{31.9 \times 10^3 \text{ Kg}}{10,800 \text{ cm}^2} + \frac{0.4011 * (19.04 \times 10^5 \text{ Kg} - \text{cm}) * 45 \text{ cm}}{14985000 \text{ cm}^4}$$

$$V_U = 5.2470 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_U = 5.2470 \text{ kg/cm}^2 * 1.4 = 7.3459 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{CR} > V_U \quad \therefore \text{se acepta el peralte propuesto}$$



10.- Armado por Flexión

Cuantía de acero a utilizar:

$$\rho_{\min} = 0.002635$$

Área de acero:

$$A_s = 0.002635 * 100 \text{ cm} * 30 \text{ cm}$$

$$A_s = 7.905 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Utilizaremos varilla del # 5:

$$\#5; a_s = 1.99 \text{ cm}^2, \text{ Diámetro; } \emptyset = 1.59 \text{ cm}$$

Refuerzo paralelo al lado largo:

$$A_{\text{total}} = 7.905 \text{ cm}^2/\text{m} * 1.8 \text{ m}$$

$$A_{\text{total}} = 14.229 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ Varillas} = \frac{14.229 \text{ cm}^2}{1.99 \text{ cm}^2} = 7.15 \text{ varillas} \approx 7 \text{ varillas}$$

$$S = \frac{1.8 \text{ m} * 100}{7 \text{ varillas}} = 25.71 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm de separación}$$



Finalmente como se trata de una zapata cuadrada no será necesario obtener el número de varillas perpendicular al lado largo no obtener sus separaciones ya que en este caso son iguales.

Nuestro armado quedara:

7 varillas del No.5 @ 25 cm en los dos sentidos.



CAPITULO IV

Programas de *Asistencia en la Ayuda*
de Cálculo de Zapatas *Aisladas* (SAP
Ver.14 y SAFE Ver. 12)



4.1. SAP 2000 Ver. 14

En el cálculo y diseño estructural de cimentaciones ya sea, en este caso que son meramente zapatas de cimentación o en cualquier otro existen programas para la ayuda de su cálculo entre ellos los más utilizados son el programa SAP 2000 y el programa SAFE, los dos anteriores de la gama de programas de ingeniería CSI.

El programa SAP 2000 ha tenido 30 años ya muy exitosos en el mercado es uno de los programas más utilizados y más recomendados para el diseño y el análisis estructural para diferentes tipos de estructuras, SAP 2000 ha sido ya sinónimo de análisis estructural y de métodos analíticos desde hace ya mucho tiempo.

Cuenta con una interfaz muy amable con el usuario muy rápida lo cual le da a los ingenieros una manera muy fácil y rápida de exportar planos y modelos a la distinta gama de programas de CSI y de más, también es fácil exportar tablas de resultados a Excel donde son fácilmente interpretables.

Es fácil en la ayuda de modelos 2D y objetos 3D es capaz de generar modelos de una manera muy rápida e integral, cuenta ya con sofisticados modos de cálculo como lo es el modelo o más bien el análisis sísmico-resistente llamado paso a paso.

Desde extensos tipos de cálculos y grandes estructuras hasta cálculos simplemente o meramente pequeños el programa SAP es de gran ayuda para los ingenieros.

En este trabajo solo se utilizó SAP 2000 Ver. 14 de una manera muy rápida y muy superficial ya que lo que se quería lograr solo era una comparativa y era ver o comprobar que este programa servía de igual manera para el diseño de una zapata aislada, ya que es muy poco común que este programa se utilice de esta manera, siempre hemos estado acostumbrados a que el programa SAP se utilice para análisis de puentes o análisis de edificios, de estructuras de gran importancia o estructuras de gran magnitud pero realmente la pregunta a contestar aquí es: realmente SAP nos podría ayudar a calcular una zapata meramente aislada?, y más aún, los resultados dados serían confiables?, en este trabajo se analizaran esas preguntas y también se dará un pequeño análisis superficial al programa, cabe mencionar que no nos adentraremos mucho en el programa solo será de una manera muy general.



En esta revisión que se hará al programa cabe mencionar que aunque ya es más que obvio que el cálculo analítico está meramente hecho de acuerdo a las NTC-04 del Distrito Federal, y el programa SAP 2000 utiliza las normas ACI por ello también se advierte que se pueden esperar resultados que difieren del cálculo hecho a con las NTC-04 ya sean solo parciales o pueden ser en su totalidad aunque no se esperan resultados muy alejados de nuestro cálculo.



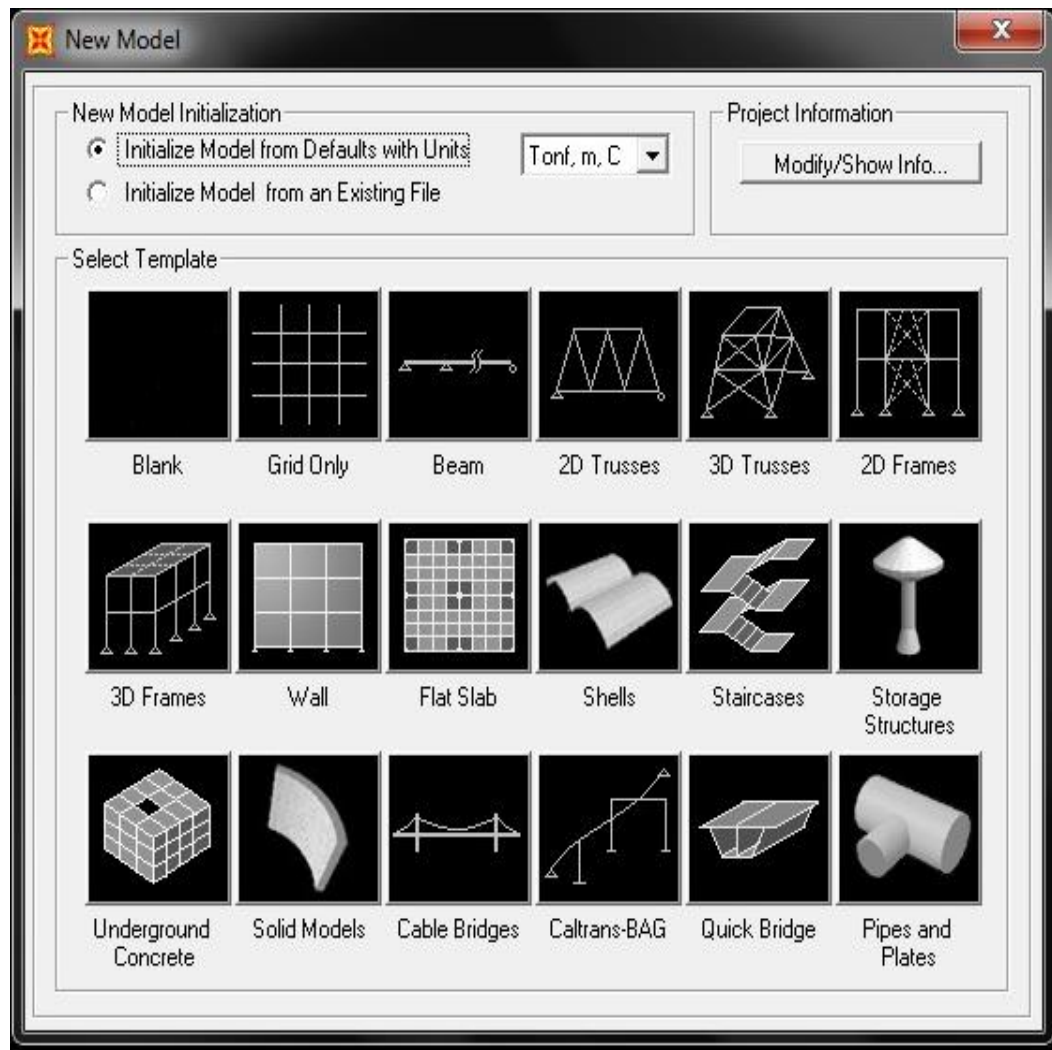
4.1.2. Diseño de una zapata aislada utilizando SAP 2000 Vr. 14.

1.- primero se deben de tener en cuenta las unidades a utilizar esto depende del proyecto o en sí de nosotros mismos con qué tipo de unidades trabajemos en este caso trabajaremos con unidades de toneladas-metros. Siempre hay que tener en cuenta antes del comienzo del cálculo las unidades,





2.- una vez ya que introducimos las unidades, nos vamos a File/New Model, donde nos desplegara el siguiente menú que como ya se dijo es muy amable con el usuario, en este menú escogeremos la opción Grid Only, ya que lo único que queremos es que nos genere una rejilla en la cual comenzaremos a darle forma a nuestra Zapata.





3.- Se nos desplegara el siguiente menú el cual es de suma importancia introducir el número de líneas a cada dirección y sus dimensiones para que así nos dé completamente las dimensiones de la zapata.

Quick Grid Lines

Cartesian | Cylindrical

Coordinate System Name
GLOBAL

Number of Grid Lines

X direction 4

Y direction 4

Z direction 2

Grid Spacing

X direction 0.6

Y direction 0.6

Z direction 1.5

First Grid Line Location

X direction 0.

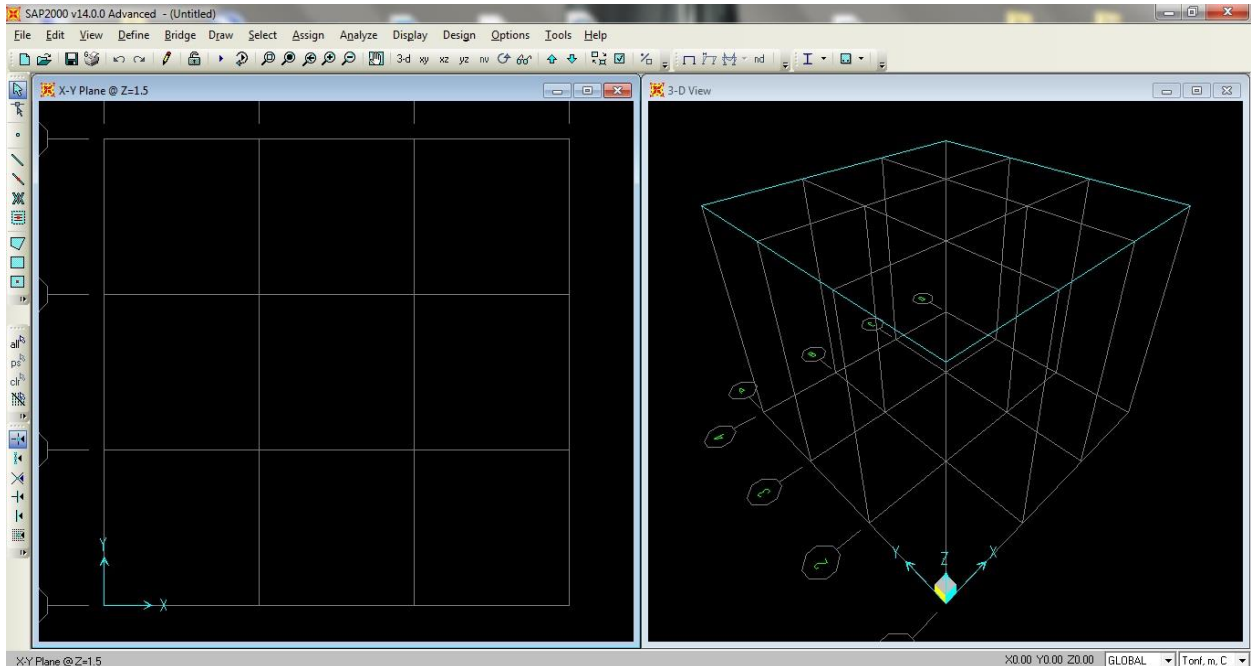
Y direction 0.

Z direction 0.

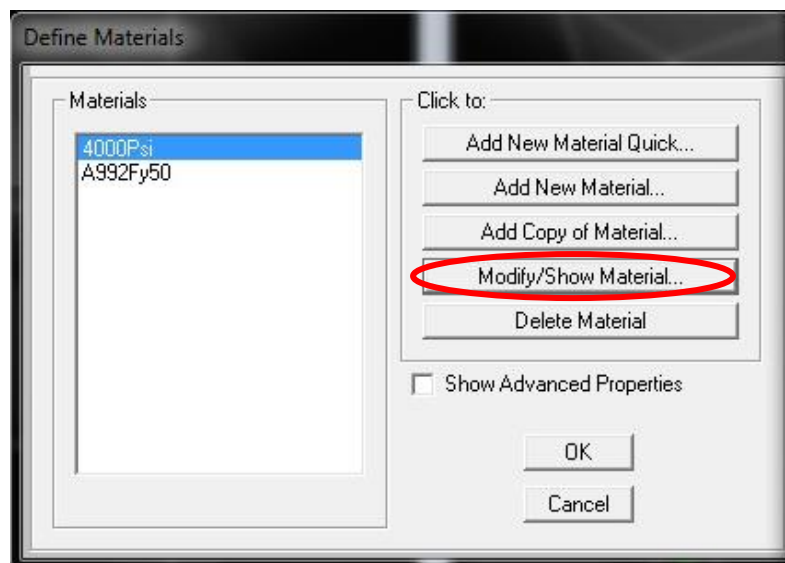
OK Cancel



4.- esto nos generará una malla con las dimensiones de nuestra zapata la cual serian de 0.6 x 0.6 cada cuadro lo que en total nos daría 1.8 mts. x 1.8 mts. x 1,5 mts. De altura.

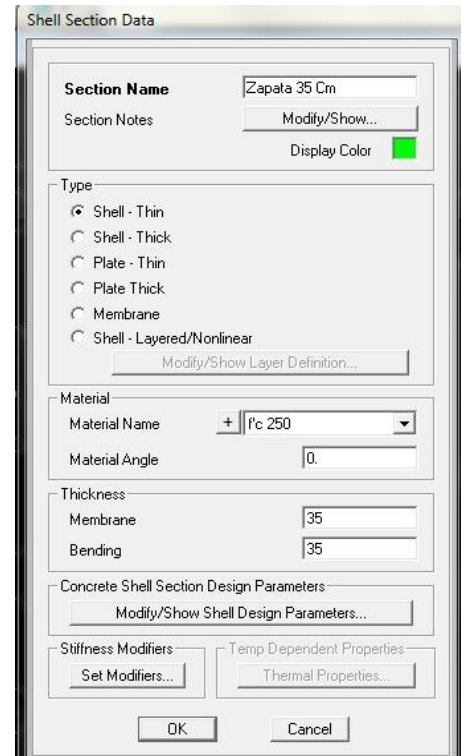
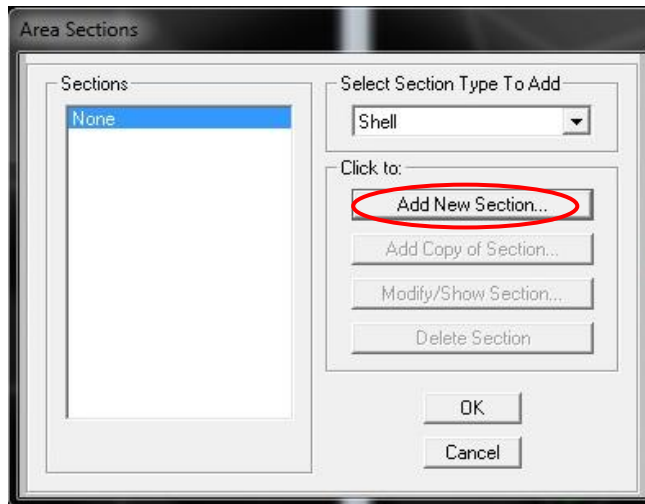


5.-Lo siguiente será definir el material a utilizar, Menú/Define-Materials, modificamos el psi y cambiamos los valores y lo renombramos $f'c$ 250 ya que es el que se utilizara en este ejercicio, y modificaremos las Propiedades del material según sea el caso.

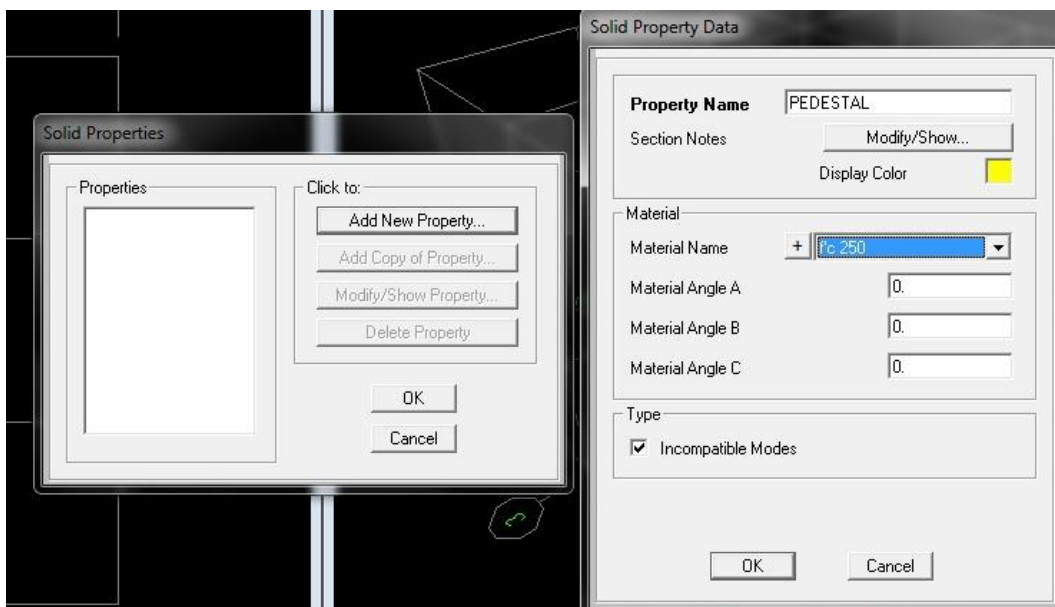




6.- Definiremos la sección de área, para esto entramos al menú /define/sección properties/área sections, Tipo de elemento Shell/Add new section. Le ponemos zapata 35 que es el espesor total de la losa de la zapata (h), y ponemos 35 cm del material concreto f'c 250

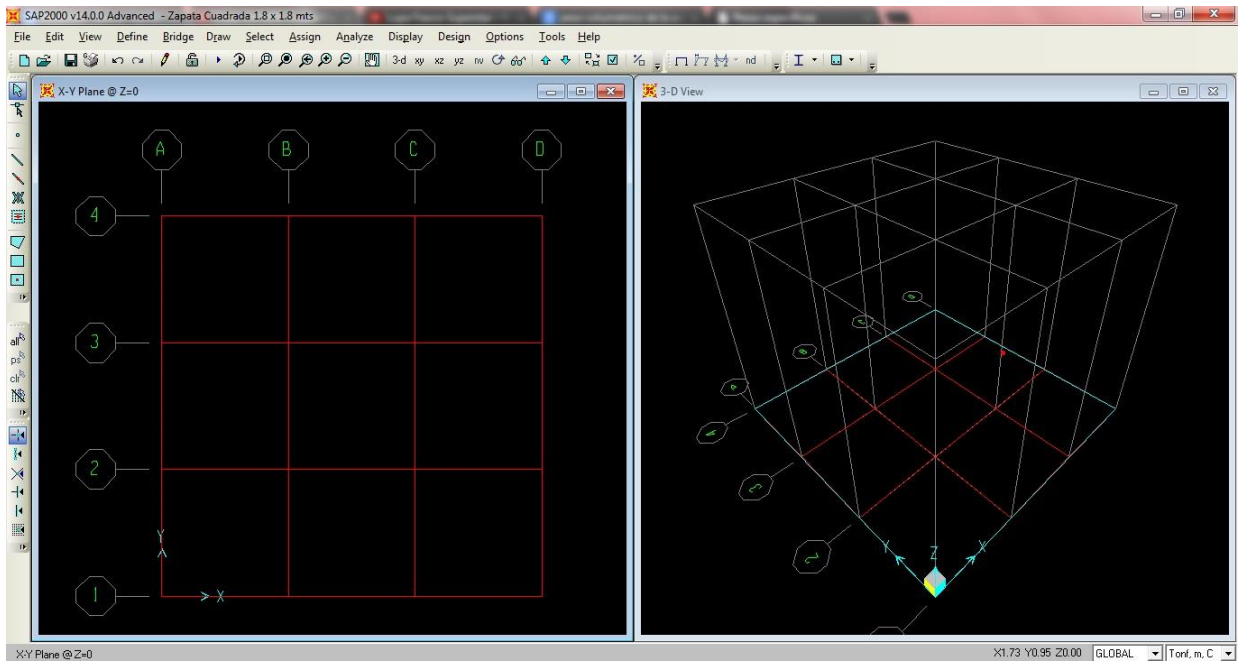


7.-Crearemos un sólido en el menú Define/sections properties/solid properties y Creamos un sólido el cual llamaremos pedestal del material f'c 250

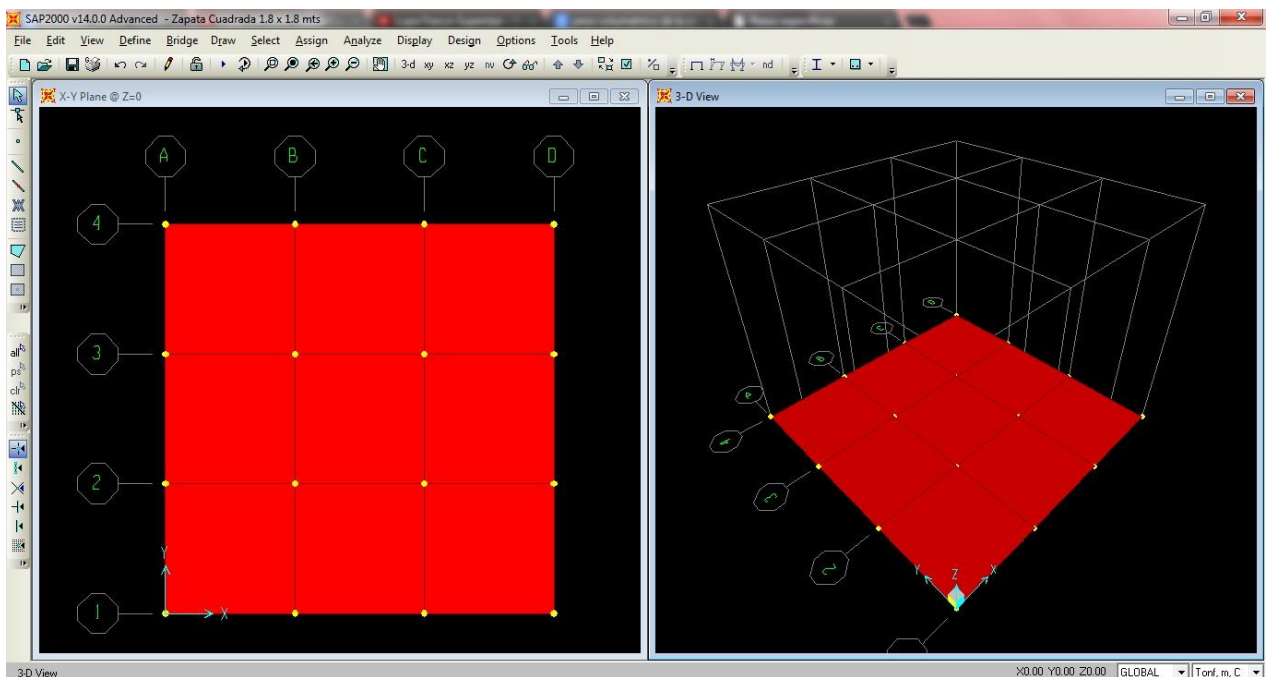




8.- Nos metemos al comando Quick Draw/Área Element, y seleccionamos una por una el área de la planta de nuestra zapata.

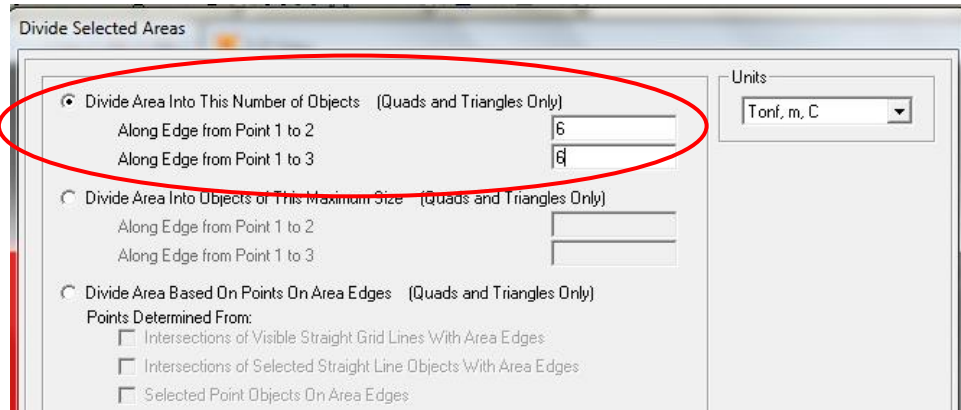


9.- En el menú Display hay una opción de Fill Objets la cual usaremos para que nos quede de una manera en la cual sea mejor visualizar ya con los nodos activados.

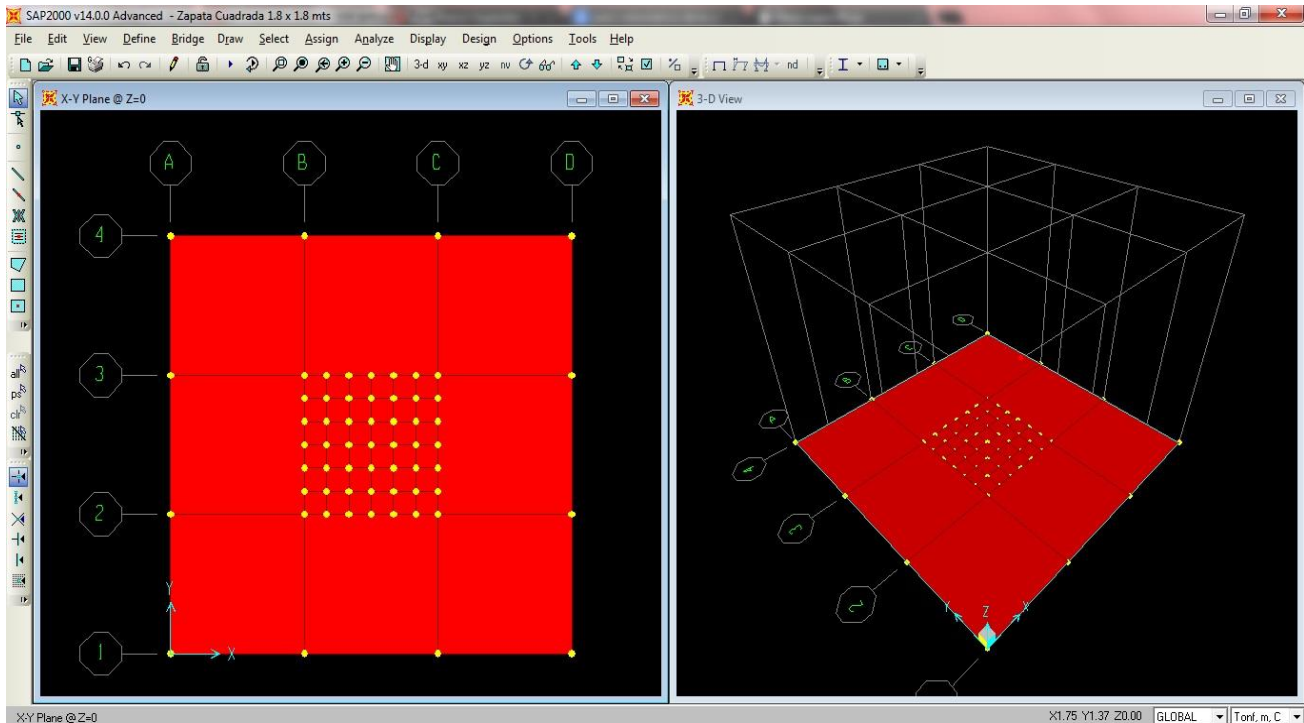




10.- El área central la vamos a dividir en el menú Edit/Edit Áreas/Divide Áreas y la dividiremos en 6 x 6 esto simplemente para poder repartir la carga de una manera eficiente y uniforme en todo el pedestal de igual manera para poder repartir el momento.

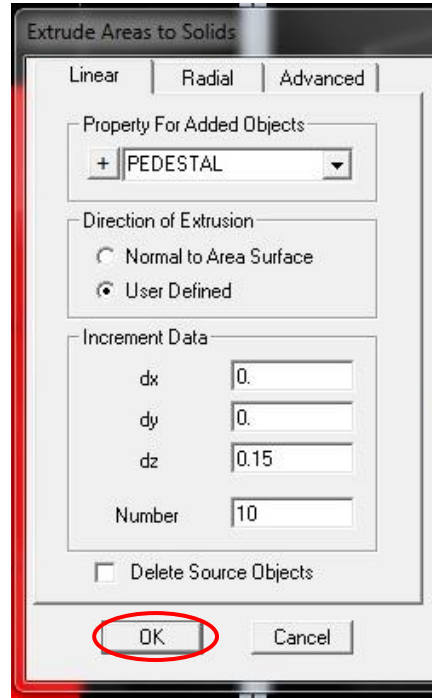


Nos quedará de la siguiente manera:

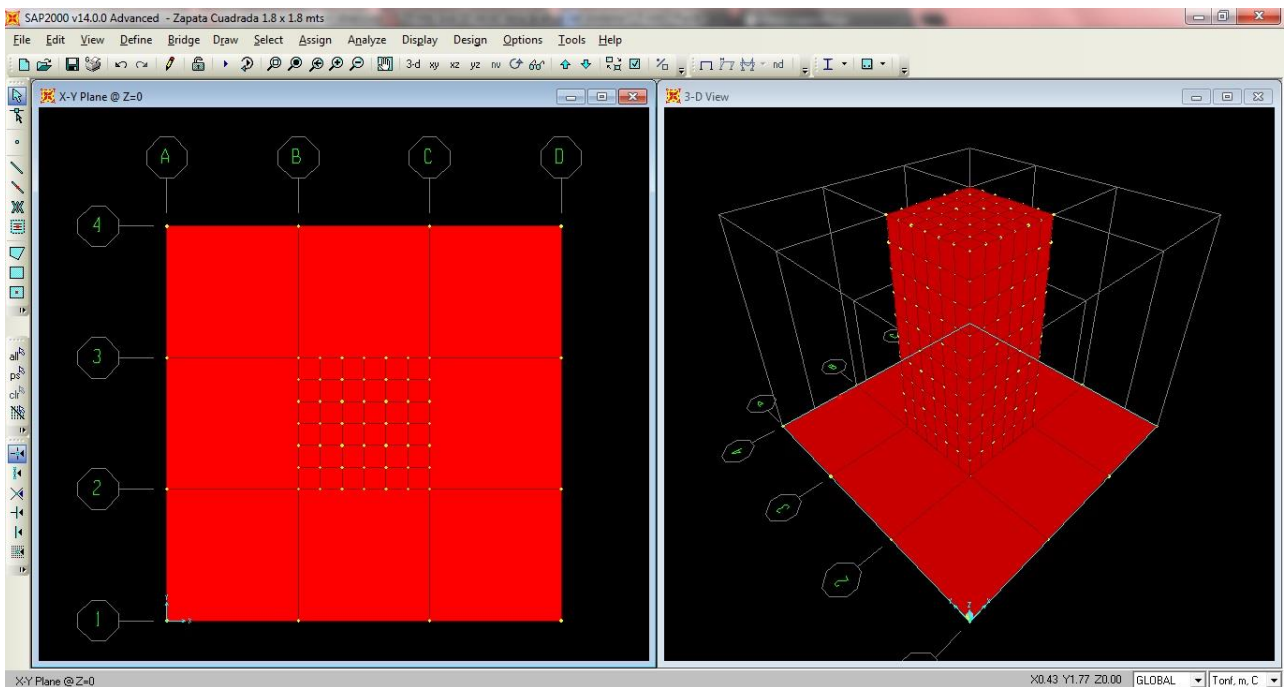




11.- después seleccionamos el área Central dividida y nos vamos al menú Edit/ extrude/ extrude Áreas to Solids, le damos en pedestal-user defined- en dirección Z 0.15 mts que 10 veces seria la altura del pedestal 1.5 mts.

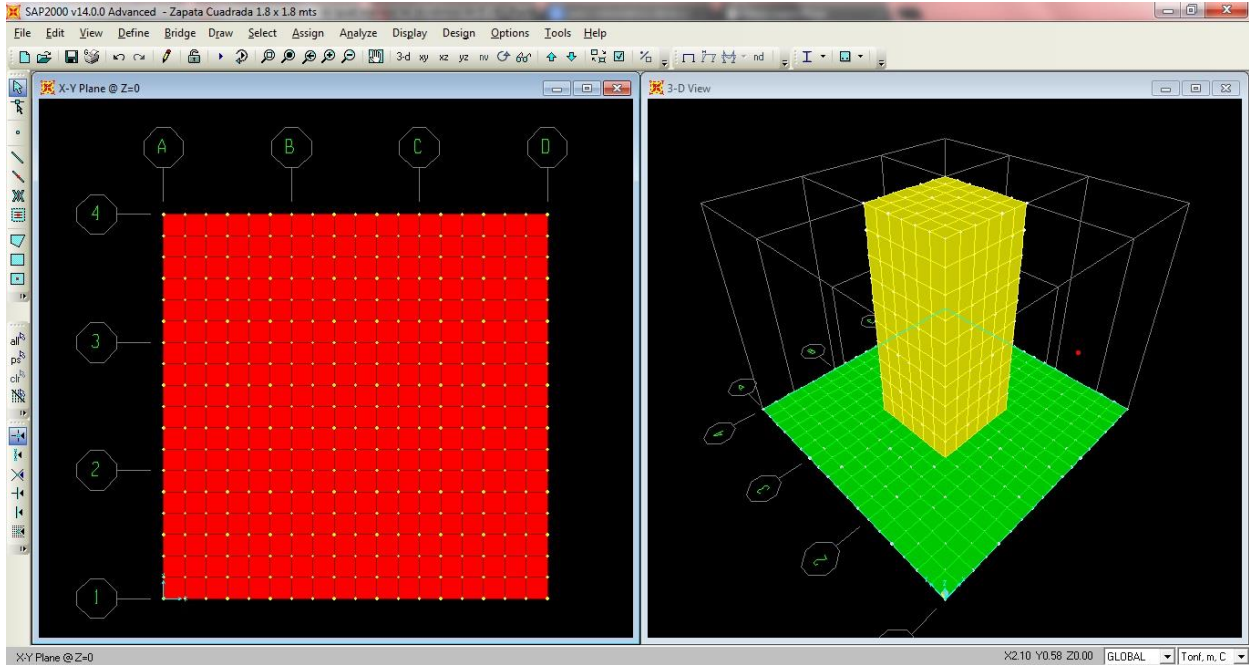


Y ya nos quedara el pedestal de nuestra zapata.

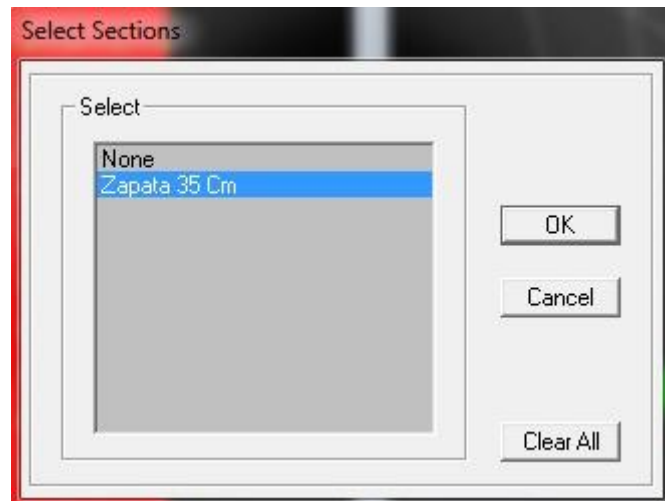




12.- Ahora seleccionaremos las 8 áreas restantes y de igual manera las dividiremos en 6 x 6 cada una y así completamos toda la malla para elementos finitos esto es muy importante para incorporar el módulo de balasto.



13.- ya teniendo todo esto incorporaremos el módulo de balasto en el menú Select/ properties/ Área sections y seleccionaremos la Zapata 35 Cm. Lo cual nos dará la selección de Áreas de la pura zapata para así poder incorporar el módulo de balasto.





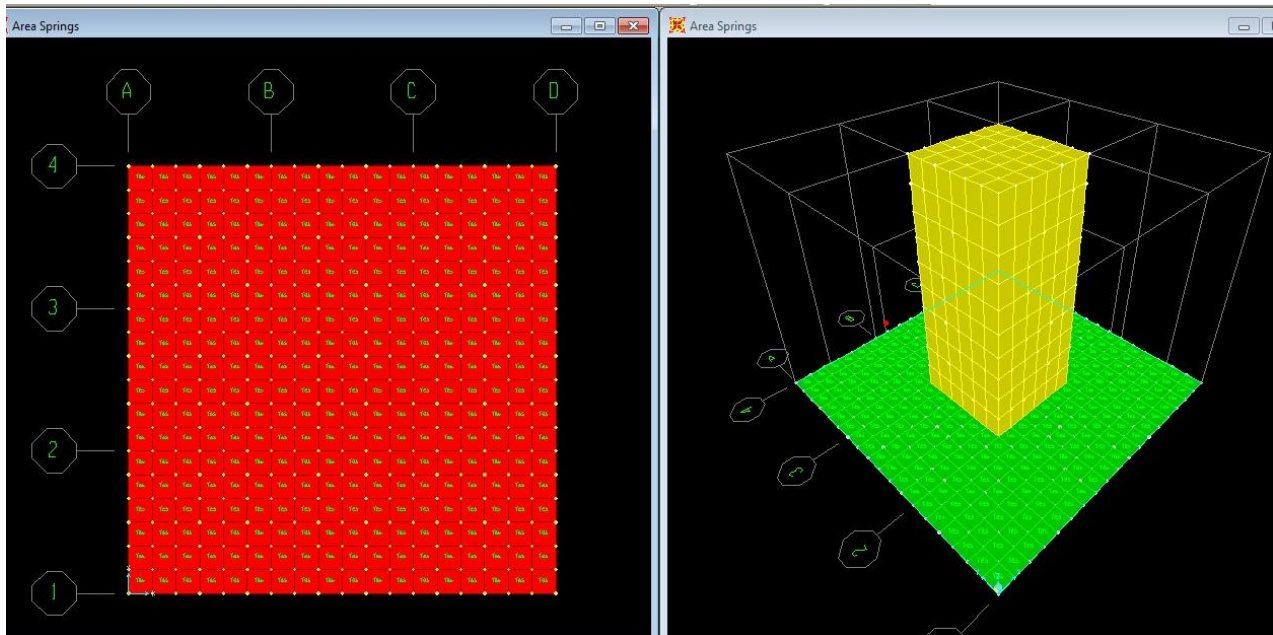
14.- nos vamos al menú –Assign/ Área/ Área Springs y nos aparecerá el menú para incorporar el módulo de balasto. Asignamos el módulo de balasto que en nuestro caso es 5 kg/cm^3 . Solo en compresión para que la tensión sea desincorporada de la matriz de rigideces, y nos interesa en el fondo, paralela al eje 3 que es el eje Z.

The screenshot shows the 'Assign Springs To Area Object Face' dialog box with the following settings:

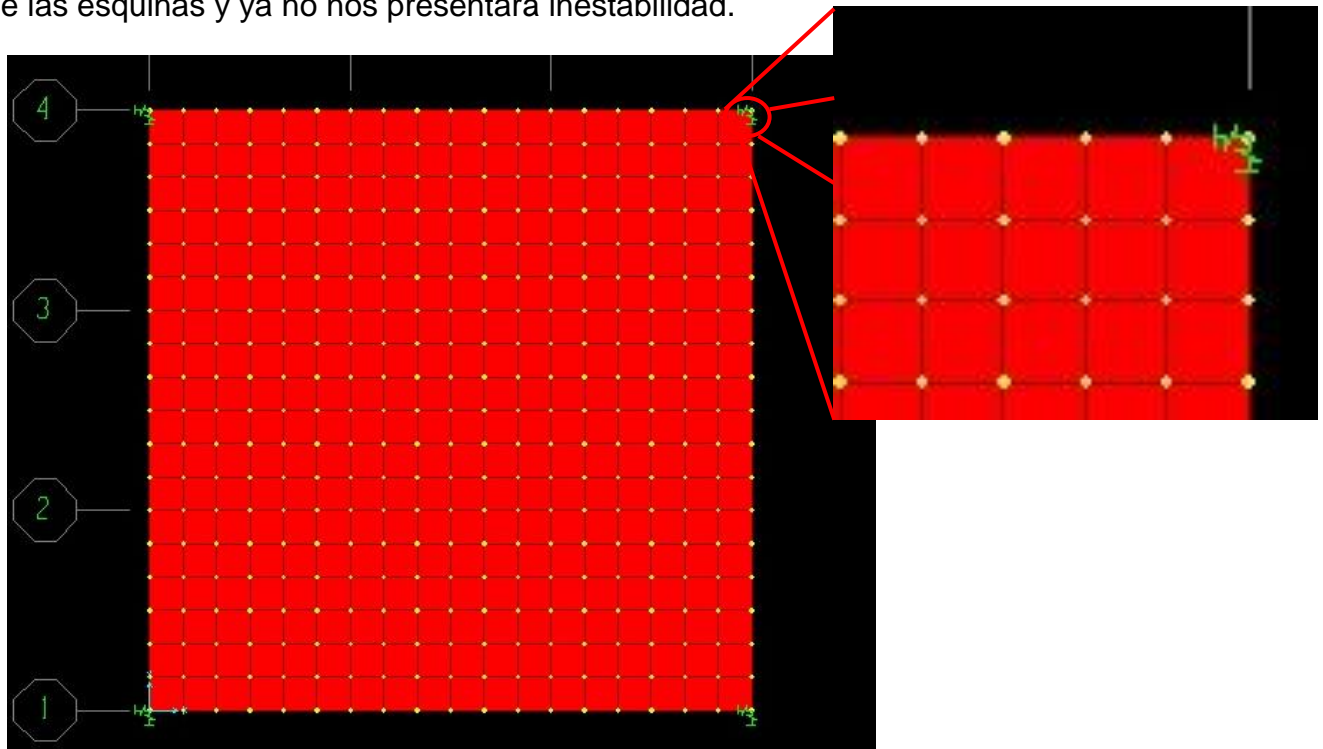
- Spring Type:**
 - Simple
 - Spring Stiffness per Unit Area: 5
 - Simple Spring Resists: Compression Only
 - Link Property: +
- Spring Location:**
 - Area Object Face: Bottom
- Spring Tension Direction:**
 - Parallel to Area Object Local Axis: 3
 - Normal To Specified Area Object Face
 - User Specified Direction Vector
 - Coordinate System: [Empty]
 - Global X Component: [Empty]
 - Global Y Component: [Empty]
 - Global Z Component: [Empty]
- Positive Local 2-Axis Orientation:**
 - Link Local 2-Axis Angle From Default Orientation: 0.
- Options:**
 - Add to Existing Springs
 - Replace Existing Springs
 - Delete Existing Springs
- Units: Kgf, cm, C
- Buttons: OK, Cancel



Y vemos como los resortes son incorporados en la base de nuestra zapata

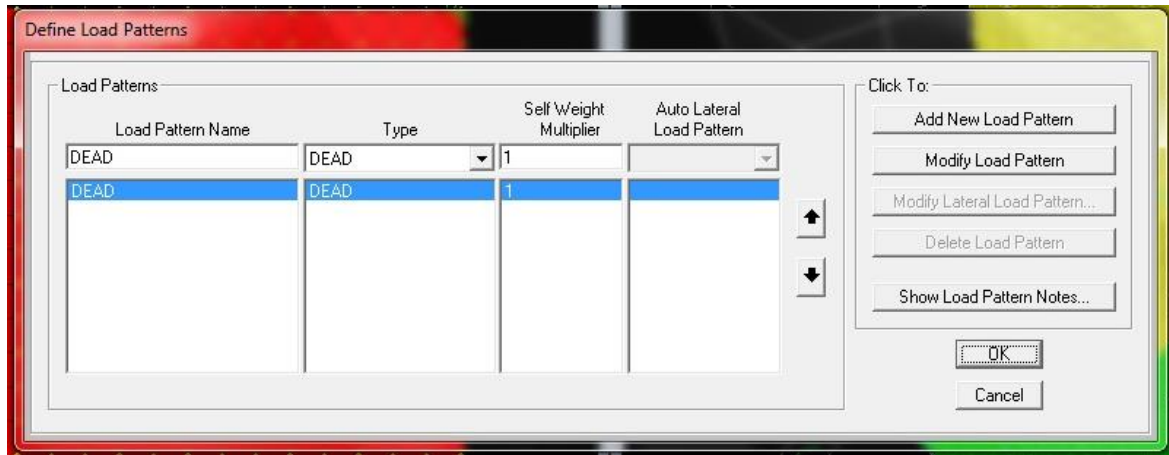


Pero como no hay ningún tipo de restricción en "X" y en "Y" para q el programa no nos reporte desplazamientos a nivel de modelo se le pondrá 1 kg/cm a los 4 nodos de las esquinas y ya no nos presentará inestabilidad.

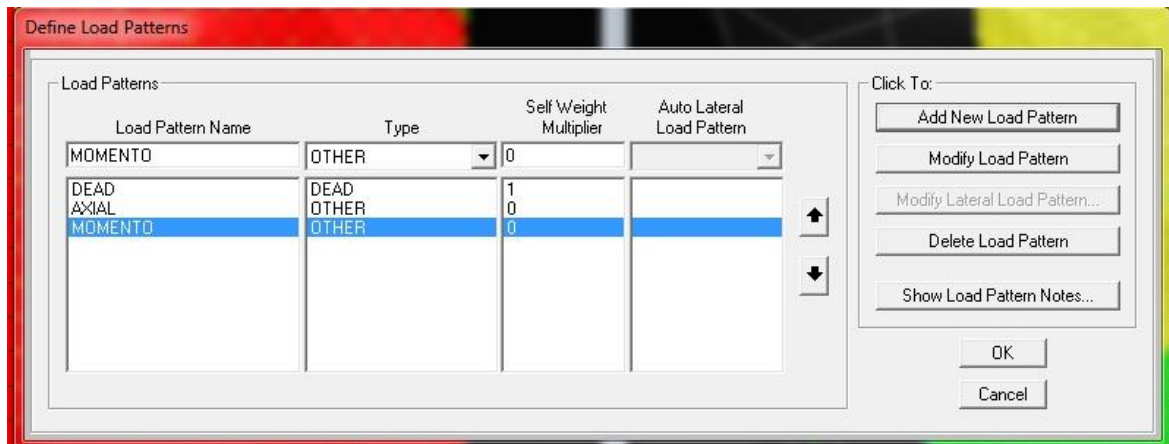




15.-Entraremos al menú Define/ Load Patterns, definiremos los casos de carga y después prepararemos un modelo no lineal para que los resortes que se traccionen sean eliminados, definiremos y después los casos se convertirán en no lineales.



Introduciremos una carga axial y un momento tipo Other

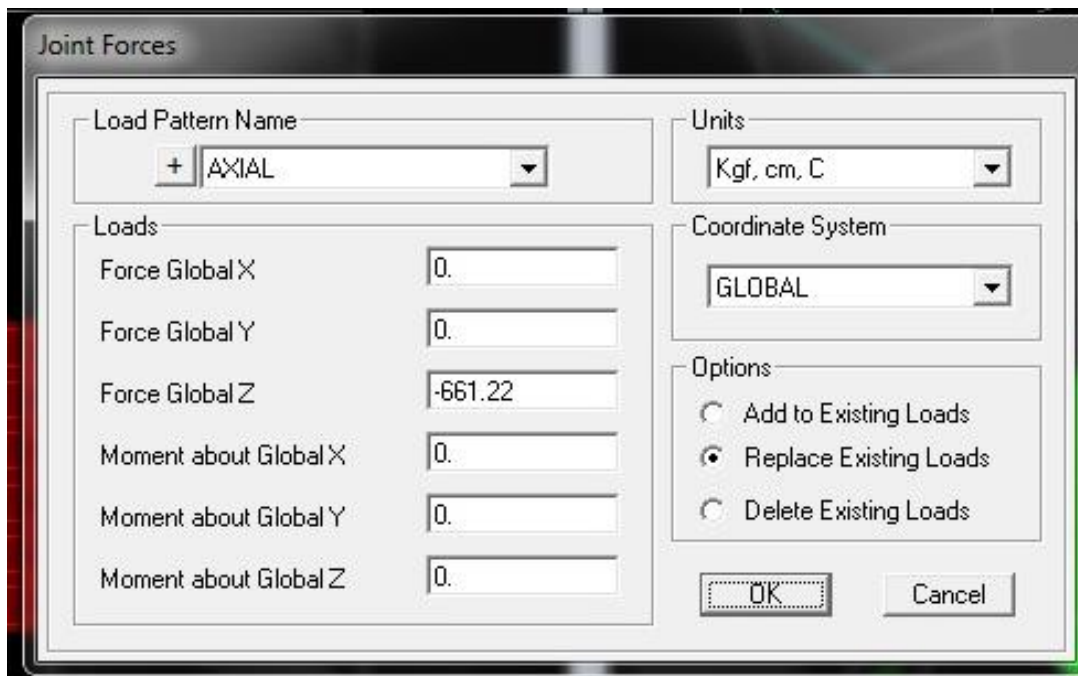




16.- Seleccionamos el tope del pedestal para incorporar la carga axial la cual con anterioridad se ha dividido entre 49 puntos para q sea distribuida lo que quiere decir que nuestra carga es de 32.4 ton entre los 49 nodos del área nos da una carga repartida de 661.22 kg la cual como ya se dijo se repartirá en toda el área del pedestal.

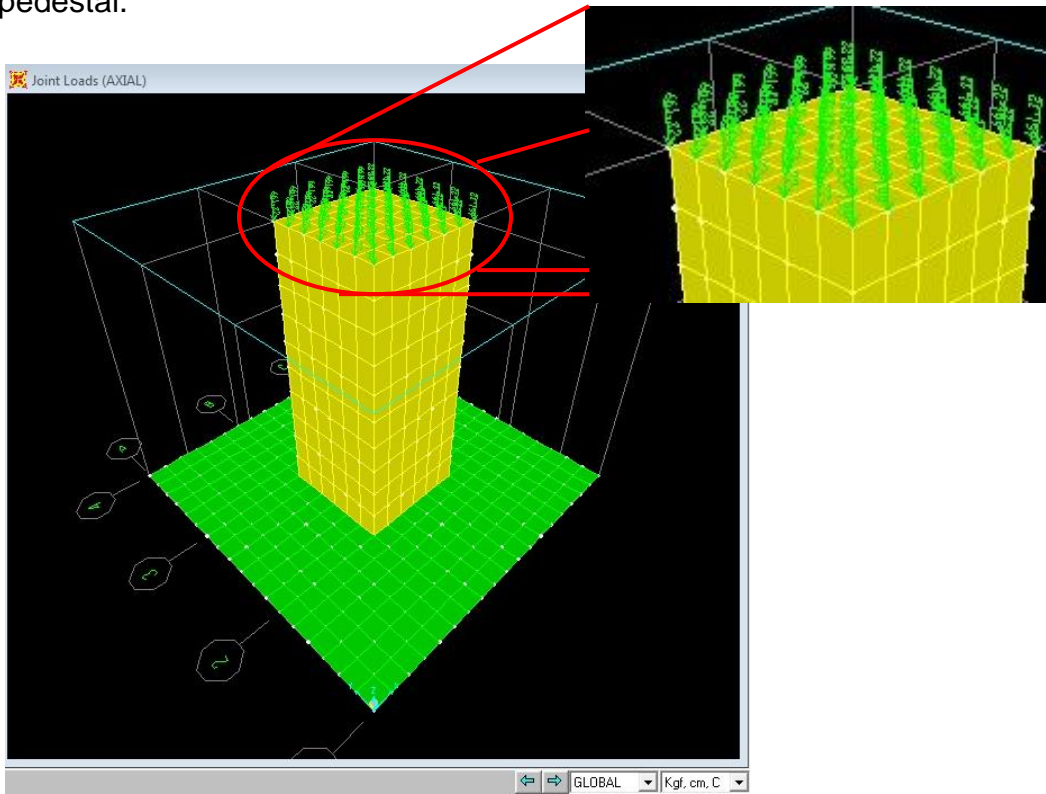
Para el momento se hará de igual manera solo que con la diferencia de que el momento actúa como dos cargas repartidas una en cada lado del pedestal una tratando de aplastar y la otra tratando de desprender lo que nos generaría un momento a la dirección actuante. Este se obtendrá con nuestro momento de 13600 kg-m dividido entre el lado del pedestal don de actué en nuestro caso 0.6 m multiplicados por en número de nodos en esa dirección el cual es 7 lo q nos da 3238.095 de carga repartida.

Para asignar la carga nos meteremos a Assign/ Joint Loads/ Forces.

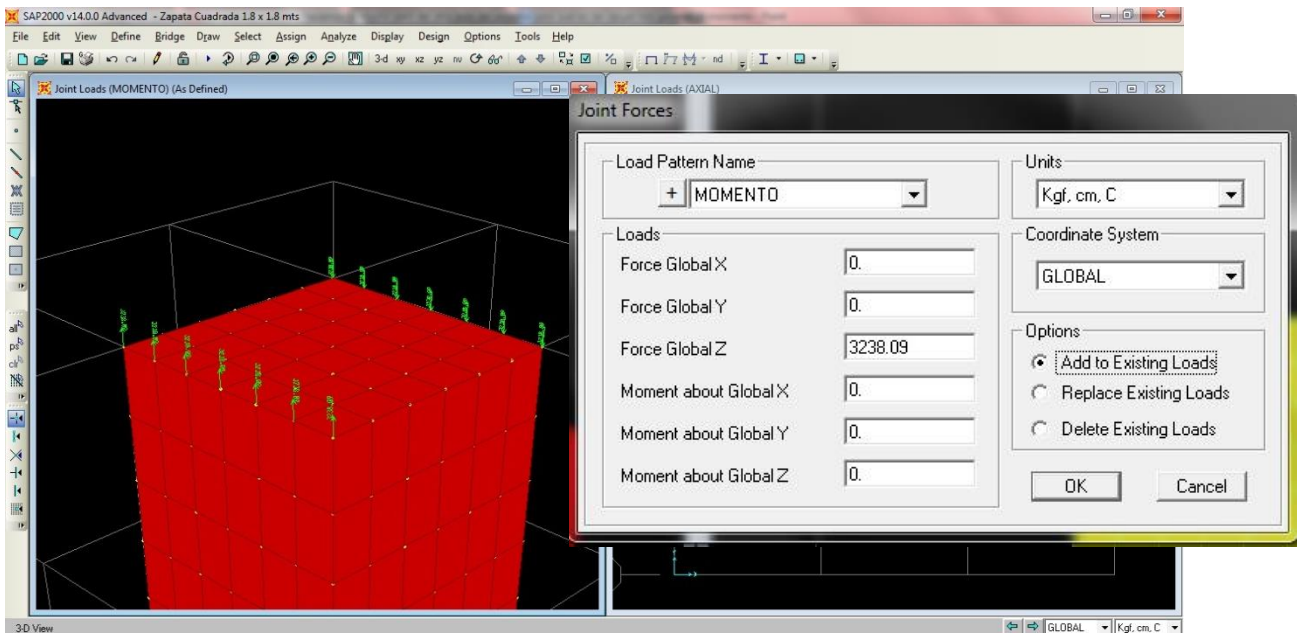




Nos quedara de la siguiente manera; las fuerzas distribuidas en todo el tope de el pedestal.

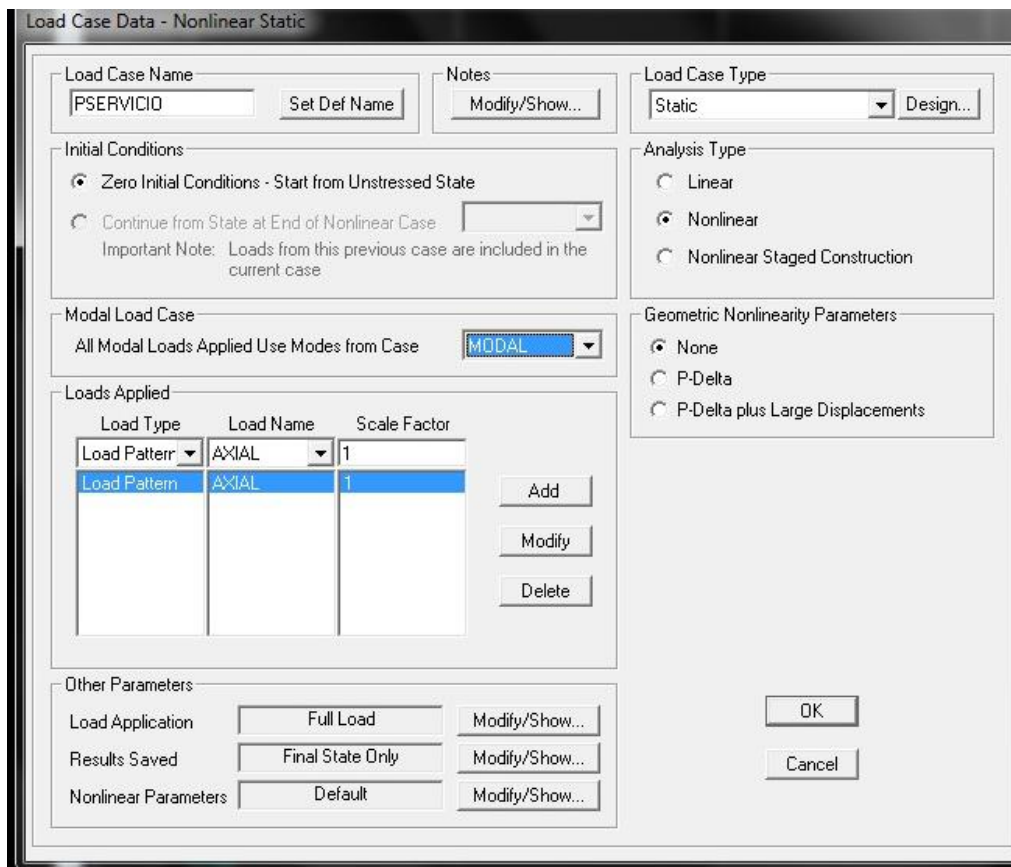
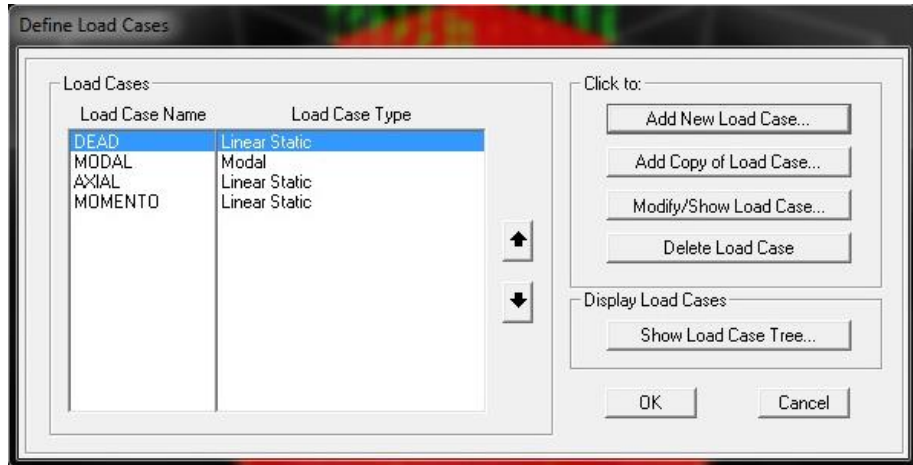


17.- hacemos lo mismo pero con los momentos.



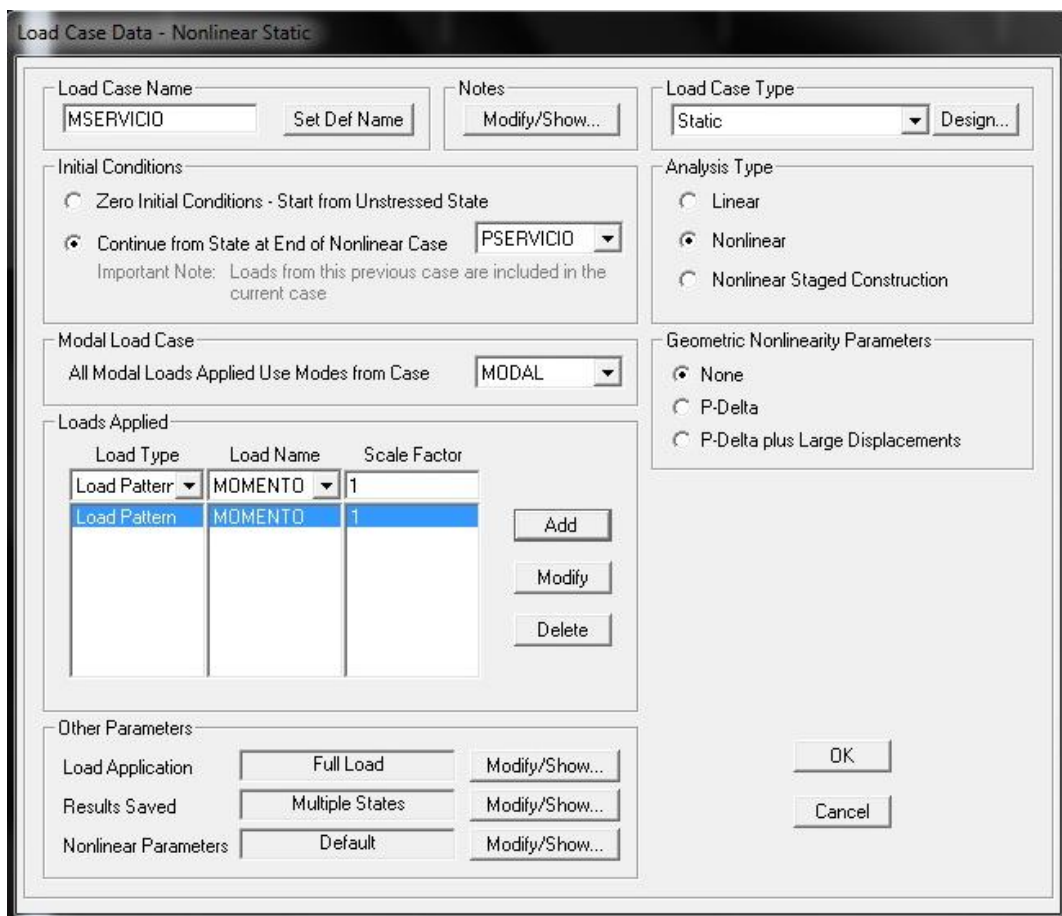
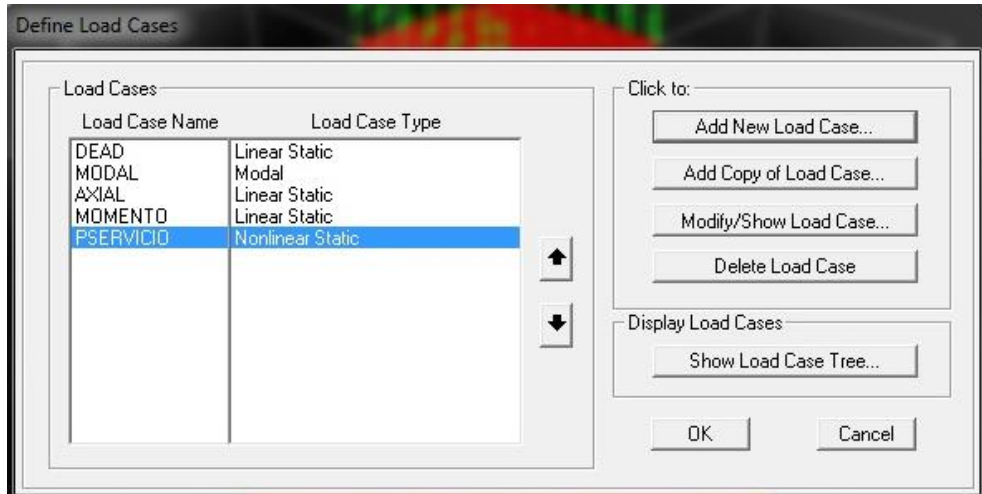


18.- Finalmente agregaremos los casos de carga, en el menú Define/ Load Cases, agregaremos los casos de carga ya que tenemos cargas de servicio y cargas últimas primero agregaremos la carga en servicio sin mayorar q sea no lineal.





Para el momento en servicio es importante marcar que continúe después de la carga en servicio ya q la carga da una deformada y el momento continúe después de esta y al final q nos de múltiples pasos de igual forma esta carga sin mayorar.





19.- hacemos una copia de carga y una de momento para las cargas y momentos últimos mayorados por su factor de carga 1.1 lo mismo para momento q continua de carga última y tenemos cargas de servicio y cargas últimas para diseño.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PULTIMA [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [PULTIMA]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	AXIAL	1.1
Load Pattern	AXIAL	1.1

Buttons: Add, Modify, Delete

Other Parameters:

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Buttons: OK, Cancel

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: MULTIMO [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [PULTIMA]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	MOMENTO	1.1
Load Pattern	MOMENTO	1.1

Buttons: Add, Modify, Delete

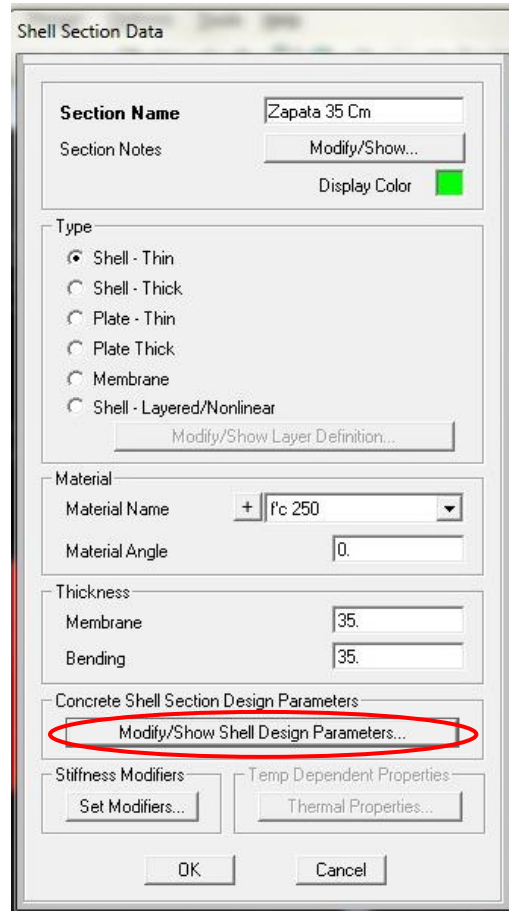
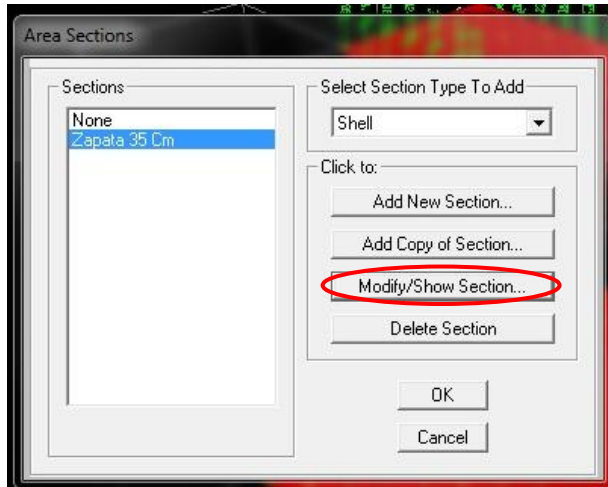
Other Parameters:

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Buttons: OK, Cancel

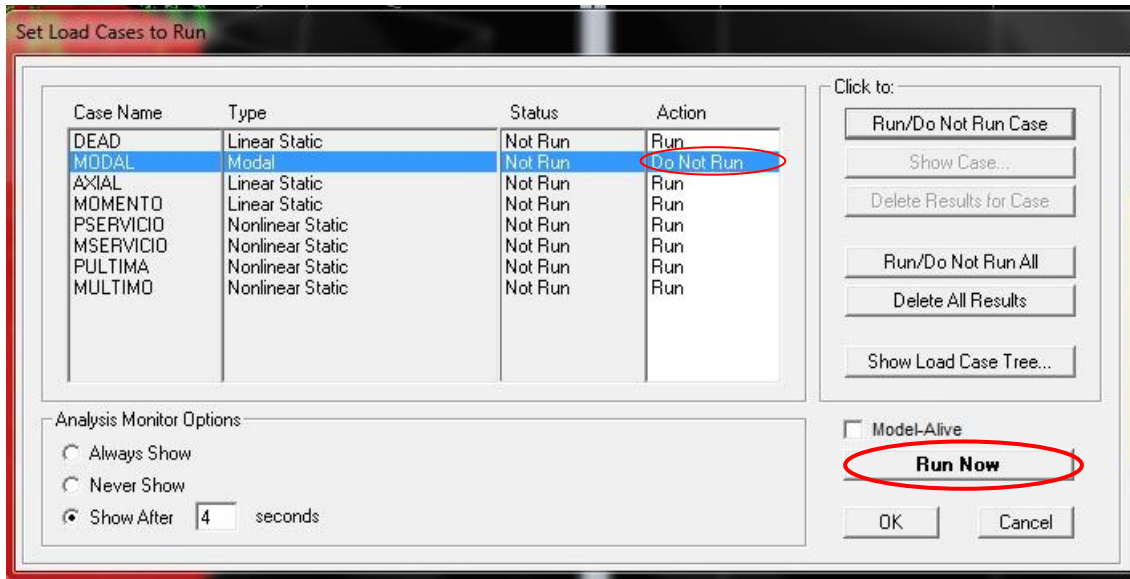


20.- como el programa toma el 10% de recubrimiento si queremos cambiarlo a 5 cm q es lo q marca el ejercicio nos metemos al menú, Define/ Section Properties/ Área sections, y lo cambiamos en 2 capas del material de barra de refuerzo la cual tenemos que incorporar





21.- Quitamos el caso modal en el menú Analyze/ Set Load Cases to Run, y podemos correr el modelo.

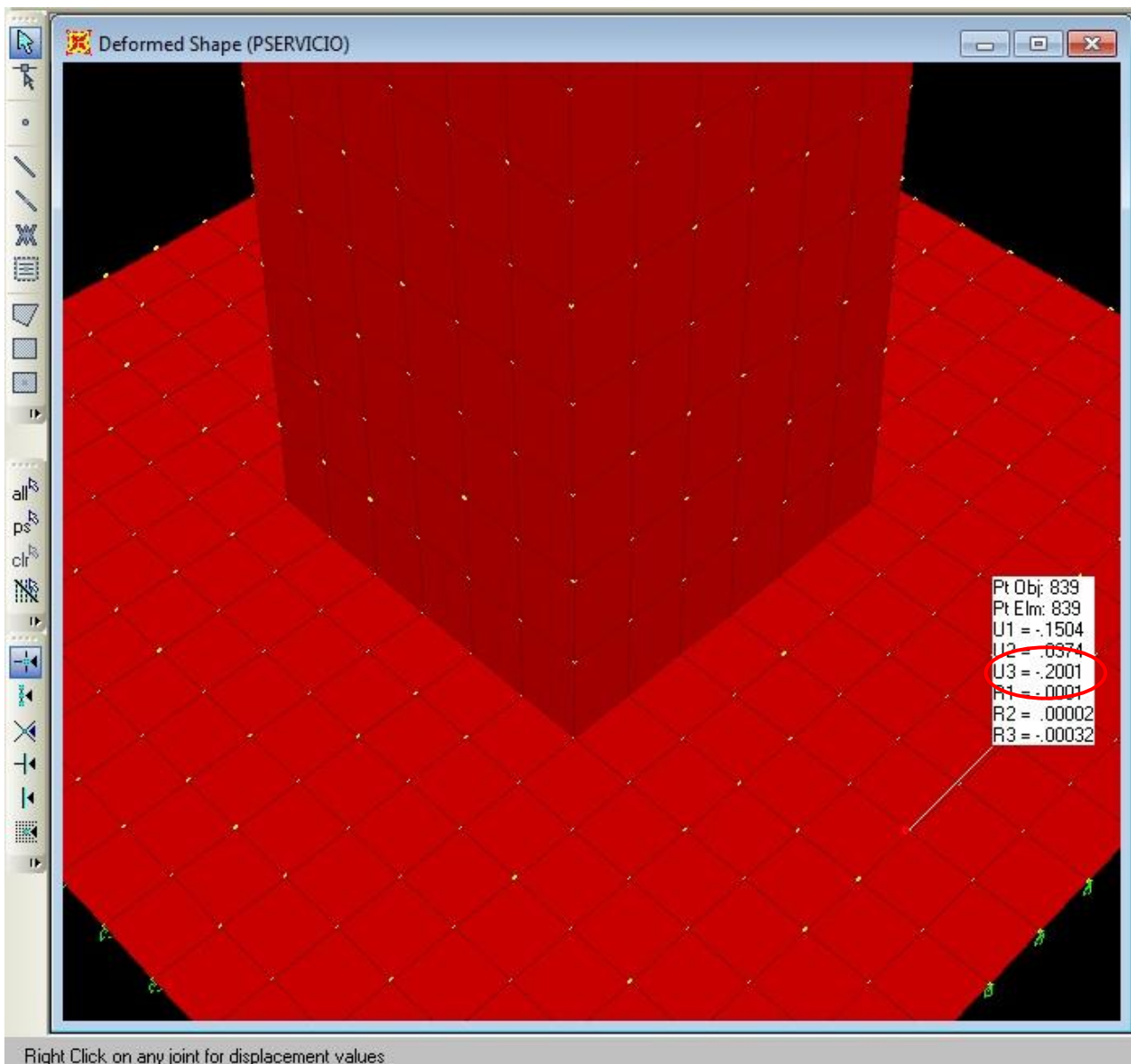




4.1.3.- Obtención de los Resultados.

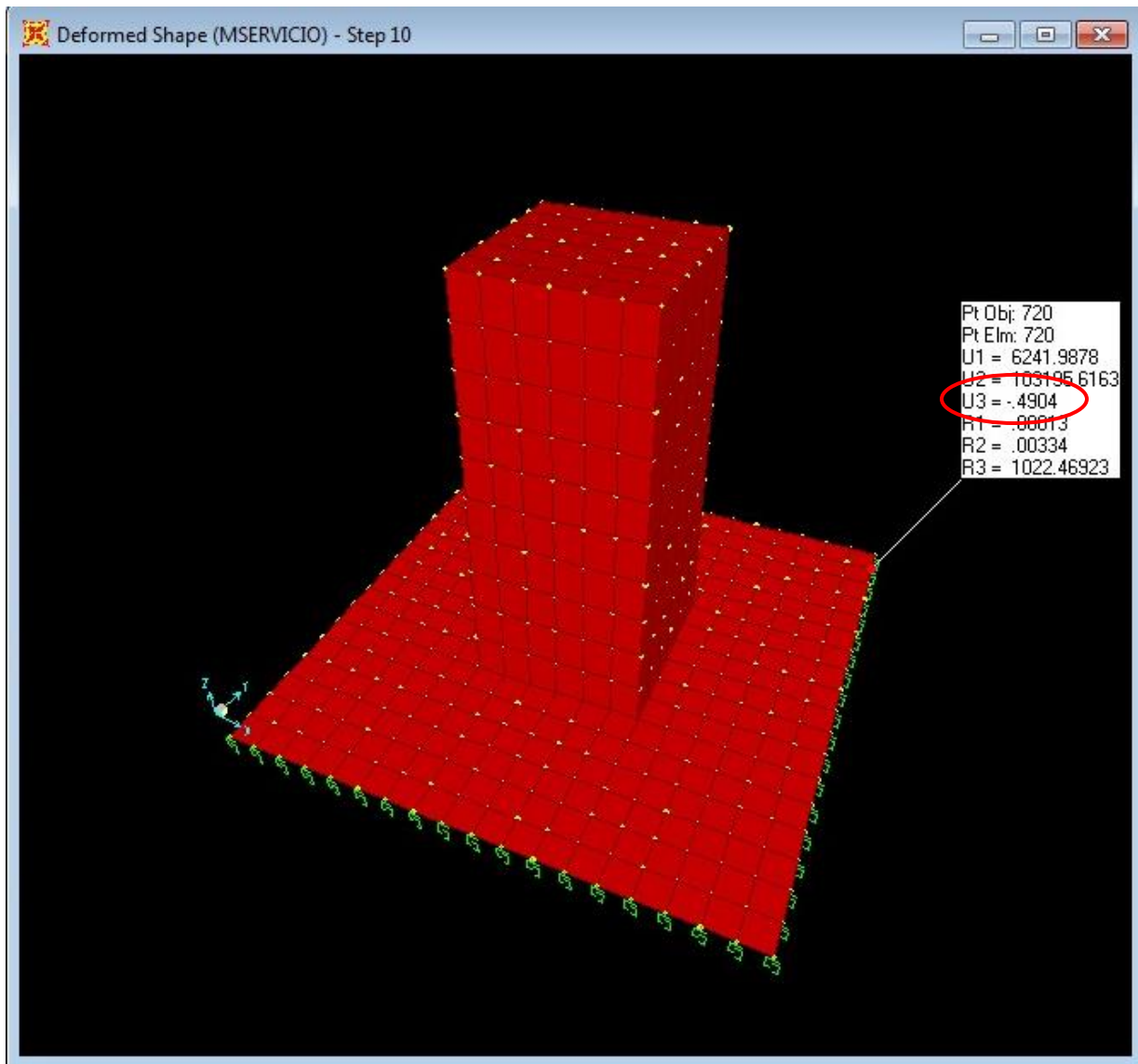
Como puede verse si cambiamos el momento =0 los esfuerzos nos dan 1 kg/cm^2 , el módulo de balasto es 5 kg/cm^3 que multiplicado por -0.20 cm que debería de ser la deformada nos dará el esfuerzo de 1 kg/cm^2 .

Para verificar q nos dé el -0.20 cm que está en el ejercicio cuando no hay momento entraremos en el menú en Display/ Show Deformed Shape, y pedimos a SAP que nos de la deformada solo en la carga de servicio y si buscamos en cualquier punto podemos ver que la u_3 nos da -0.20 cm este valor se mantiene en cualquier punto esto nos dice q el programa es confiable, el valor de u_3 se mantiene en -0.20 cm esto se debe a q estamos logrando transmitir un esfuerzo uniforme a todo el ancho de la zapata.





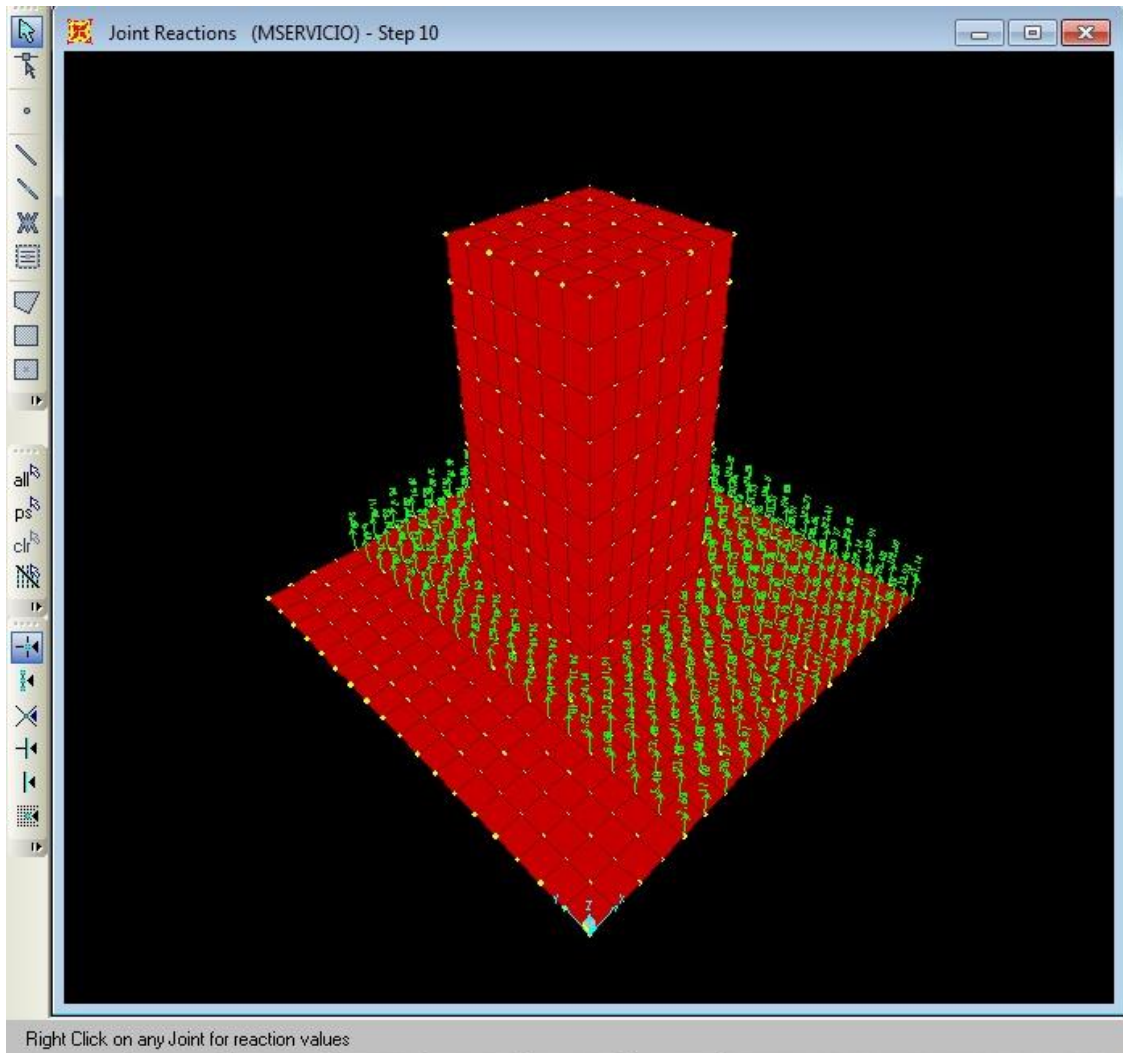
22.- Haremos lo mismo pero ahora con el momento en servicio en su última etapa que en la hoja de cálculo se supone nos dará una deformada de -0.48 cm esto se obtuvo de que en la hoja de cálculo se tiene como esfuerzo máximo 2.4 kg/cm^2 este valor dividido entre el módulo de balasto de 5 kg/cm^3 se puede ver que nos da una deformación de -0.48 cm. en dirección a donde el momento este volcando el pedestal, volteamos el modelo hacia la parte de la zapata donde el momento este volcándolo y vemos la deformación de $U3 = -0.49$ cm lo cual es muy parecido a nuestra deformación obtenida en la hoja de cálculo de -0.48 cm lo cual dice que el programa es confiable.



ht Click on any joint for displacement values

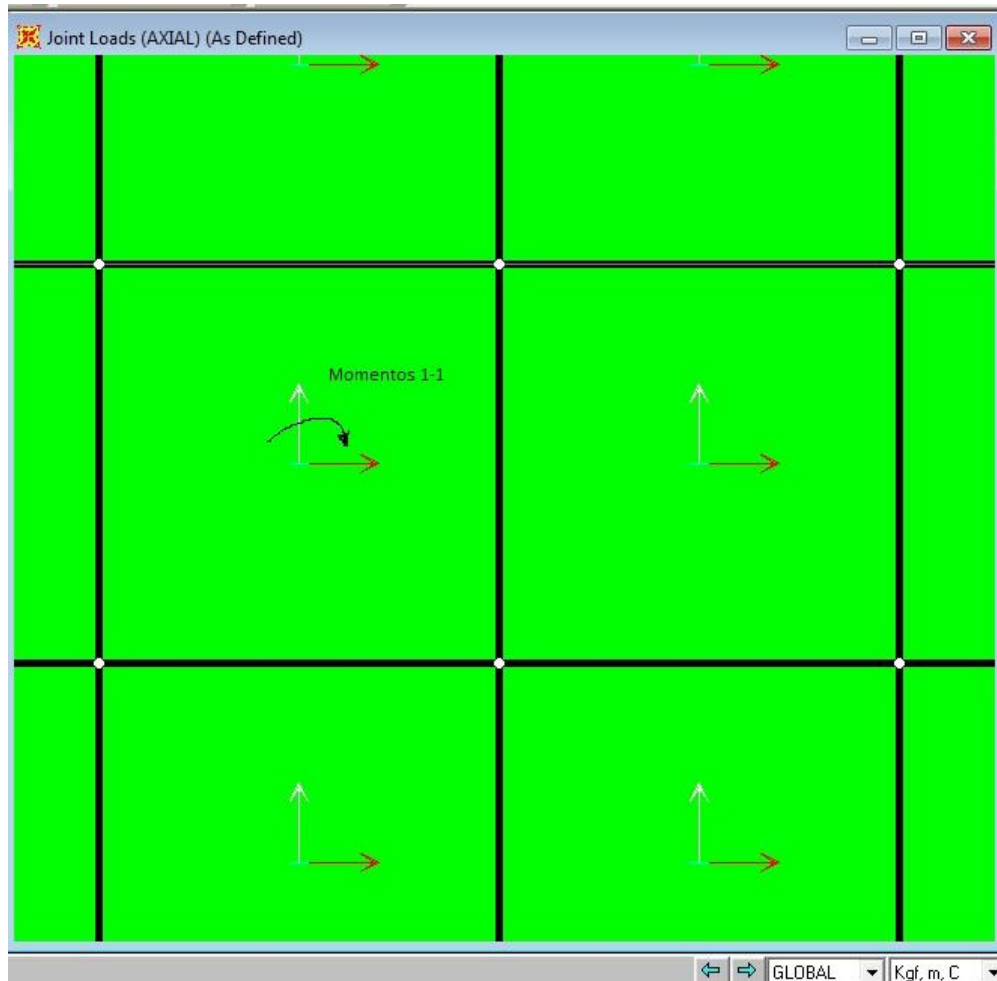


Como sabemos q tenemos tracción-nos metemos al menú Display/ Show Forces/ Stresses/ Joints, le damos en momento en servicio etapa 0 donde todos los puntos están en compresión conforme vamos pasando los pasos del 0 al 10 en el paso 8 podemos ver como comienza a haber tracción en el último paso, paso 10 podemos ver una zona un área efectiva donde los resortes ya están traccionando y esto nos refleja q efectivamente como en el ejercicio en a mano existe una zona en tracción.



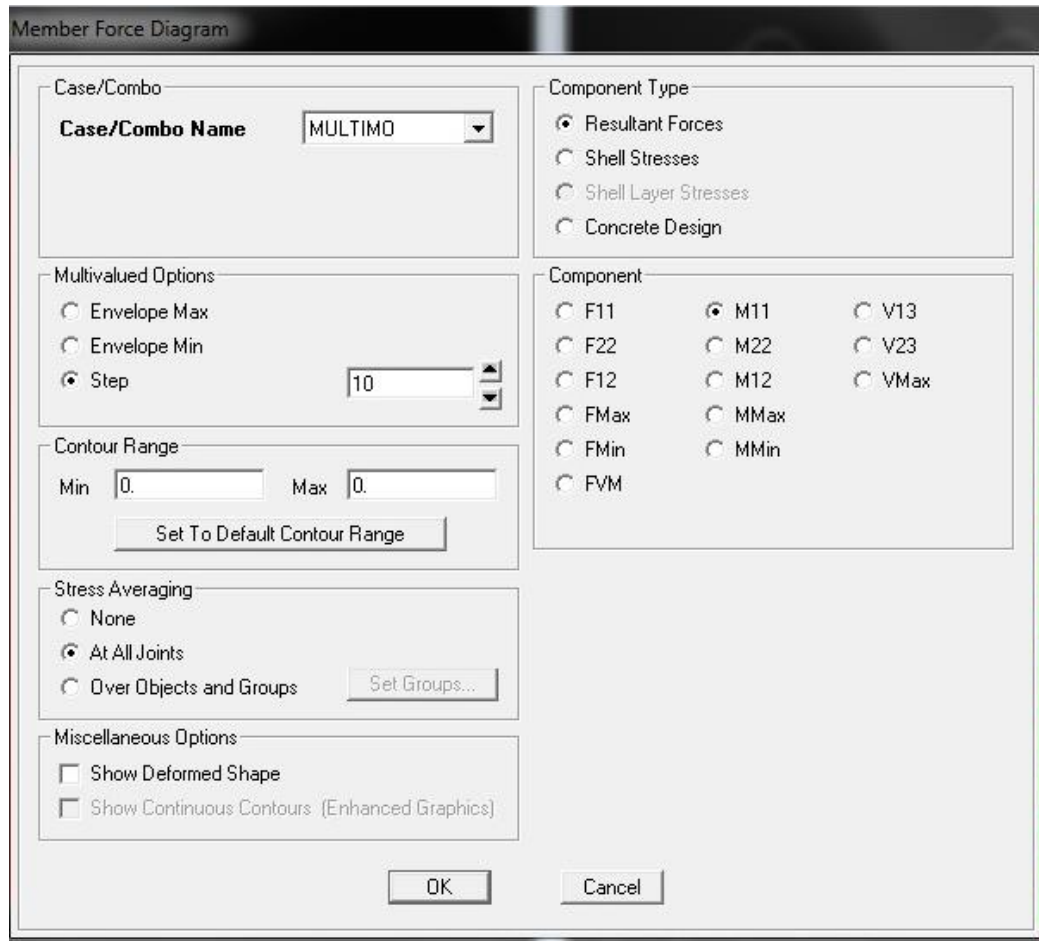


23.- Cuando ponemos visibles los ejes locales de las áreas se puede notar que el eje local 1 es el rojo, el eje local 2 es el blanco "Y" el eje local 3 es el azul "Z", entonces los momentos 1-1 son momentos q ocurren en las caras 1 alrededor del eje 2 ósea alrededor del eje blanco los momentos 2-2 van al rededor del eje local 1 ósea del rojo como se puede apreciar el eje local 2 coincide con el eje "Y" por lo cual nos interesan los momentos 1-1 que actúan en el eje local 2 el blanco





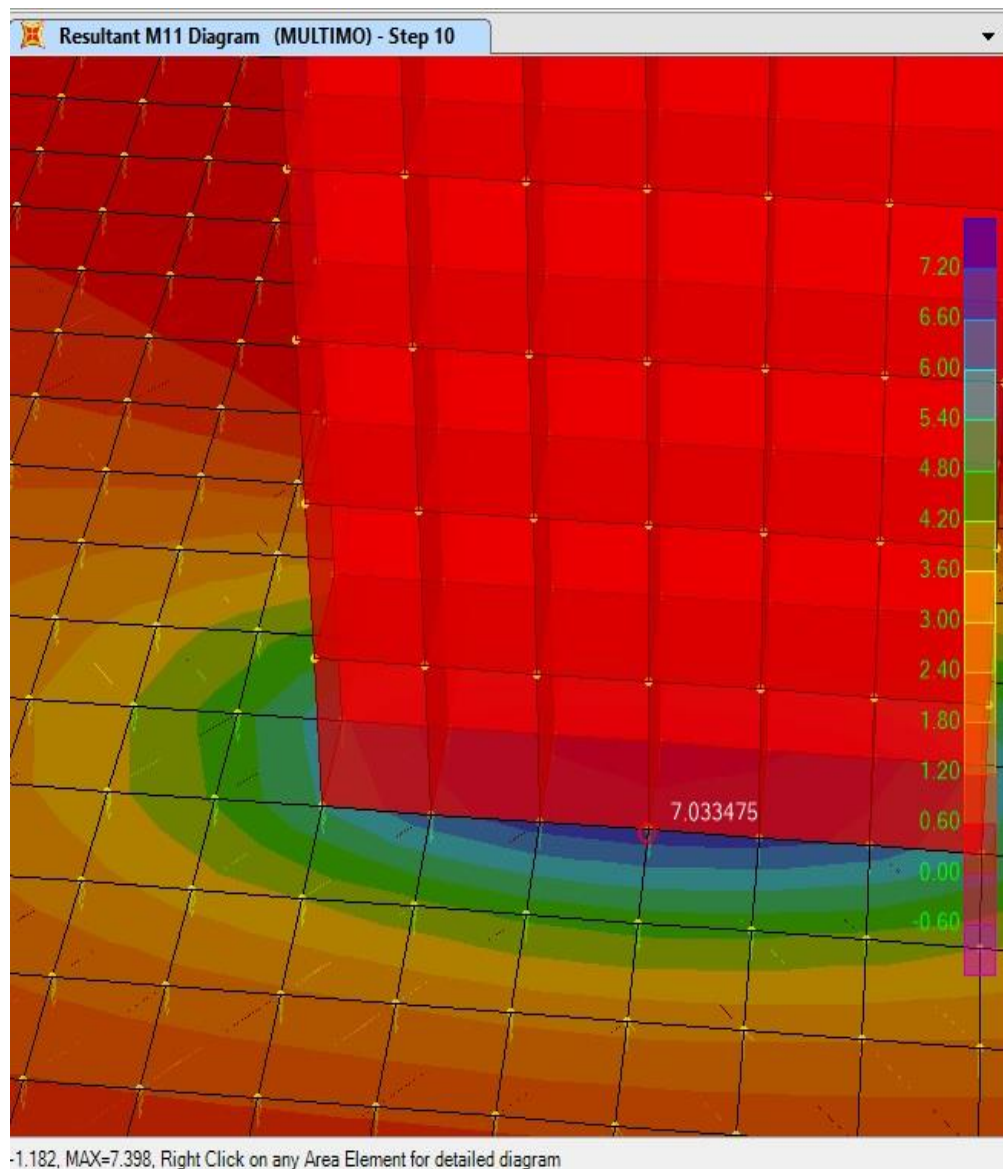
24.- Debido a q nos interesan los momentos 1-1 nos vamos a Display/ Show Forces/ Stresses/ Shells nos interesa el momento último en su última etapa la cual es la 10, los momentos 1-1 que actúan alrededor del eje “Y” o eje local 2 blanco.





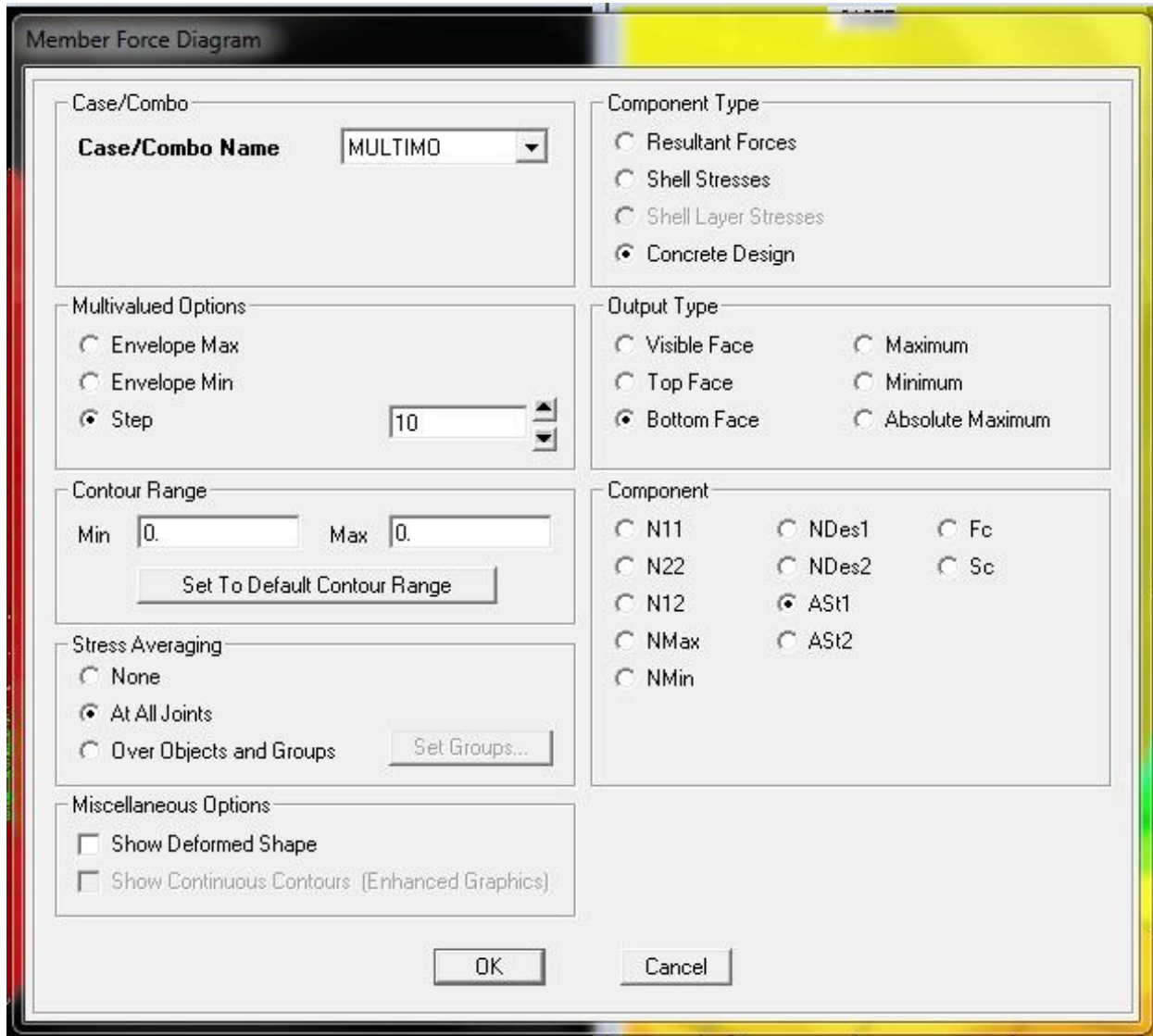
Se puede apreciar que el momento último nos da 7.035 t-m pero en la hoja de cálculo nos da 19.04 t-m lo cual nos dice que el programa en ese aspecto no es muy confiable.

Por otro lado se ha llegado a la conclusión de que el aspecto que cambia sobre los cortantes y momentos últimos es porque el programa utiliza para el análisis el reglamento ACI-08 y nosotros utilizamos las NTC-04 lo que nos da una buena explicación por que en este aspecto cambia un poco el cálculo pero por lo que se utilizó este programa era para ver de qué forma quedaba el acero y parece ser que los resultados de acero se ajustaron a la perfección.



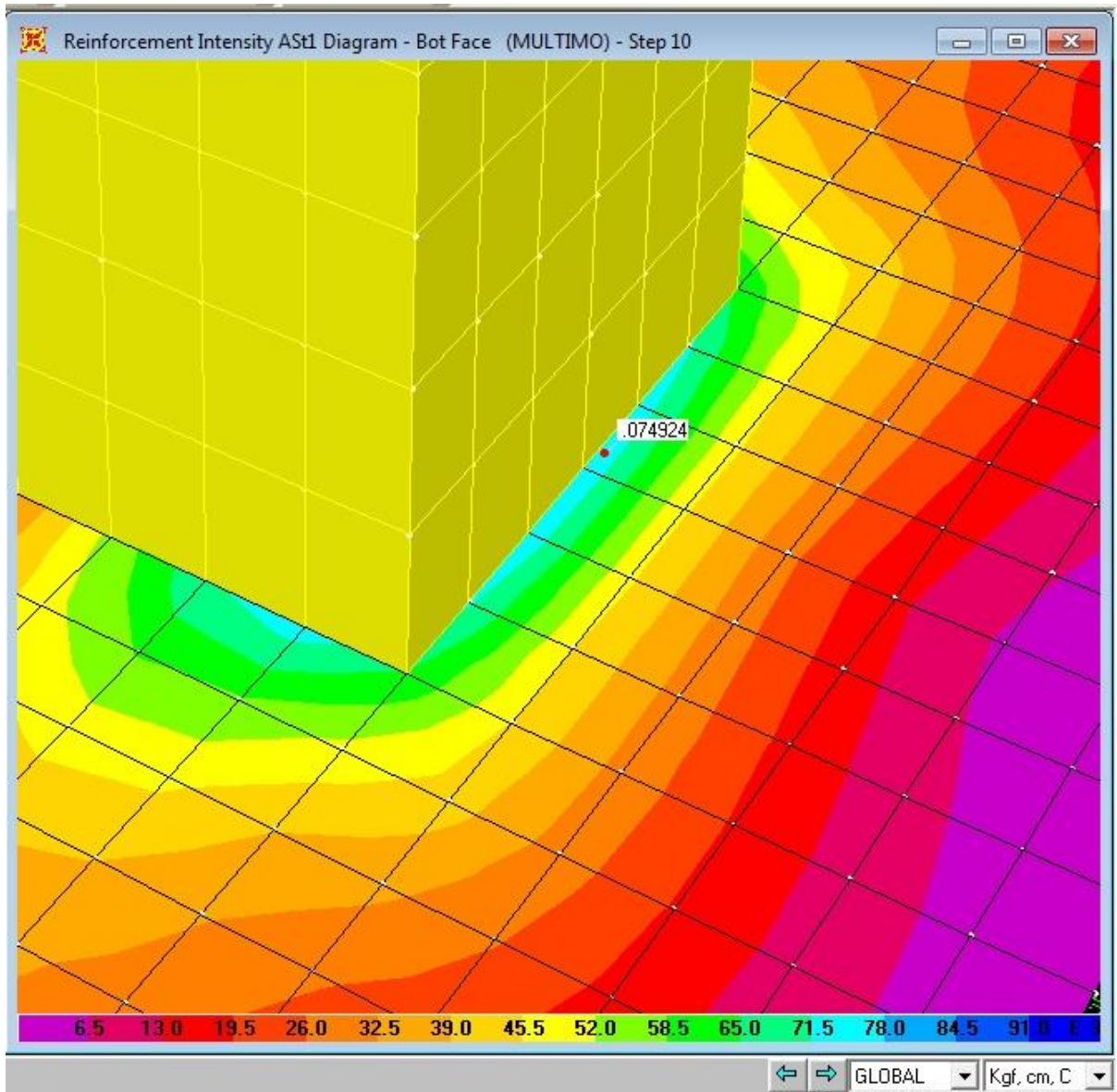


25.- Por último para el diseño de Acero nos vamos al menú, Display/ Show Forces/ Stresses/ Shells podemos apreciar que nos da un valor de 0.074924 este resultado está en cm^2 por cm de ancho es decir si multiplicamos por 100 tendríamos 7.42 cm^2 por metro el cual coincide muy bien con el valor que tenemos en la hoja de cálculo el cual es de $7.9 \text{ cm}^2/\text{m}$





Como se puede apreciar el valor es muy similar lo que nos dice que a pesar de ser un programa muy tedioso y al introducir valores de una manera poco practica este programa es confiable para el diseño de una zapata. El único problema es al sacar los cortantes ya que no se cuenta con la suficiente información para obtenerlos y es por eso que se dijo al principio que solo se vería el programa de una manera muy general.





4.2. SAFE Ver. 12.

SAFE Ver. 12. Es un software utilizado para la ayuda en el análisis y diseño meramente de Cimentaciones de concreto.

Cuenta con una interfaz muy rápida y muy amigable al usuario con la cual es muy fácil el diseño del modelo es muy rápida y eficiente ya que cuenta con un menú muy rápido e intuitivo, también cuenta con una opción de importación para archivos de tipo ACAD o de Excel de igual manera es capaz de exportar tablas de tipo Excel con los resultados obtenidos para así tener una mejor interpretación de los datos.

A demás este programa a diferencia de SAP 2000 es capaz de darnos el armado de la cimentación, en este trabajo se utilizó SAFE Vr. 12 de una manera muy generalizada y se puede decir con toda seguridad que es un programa muy confiable para este tipo de estructuras.

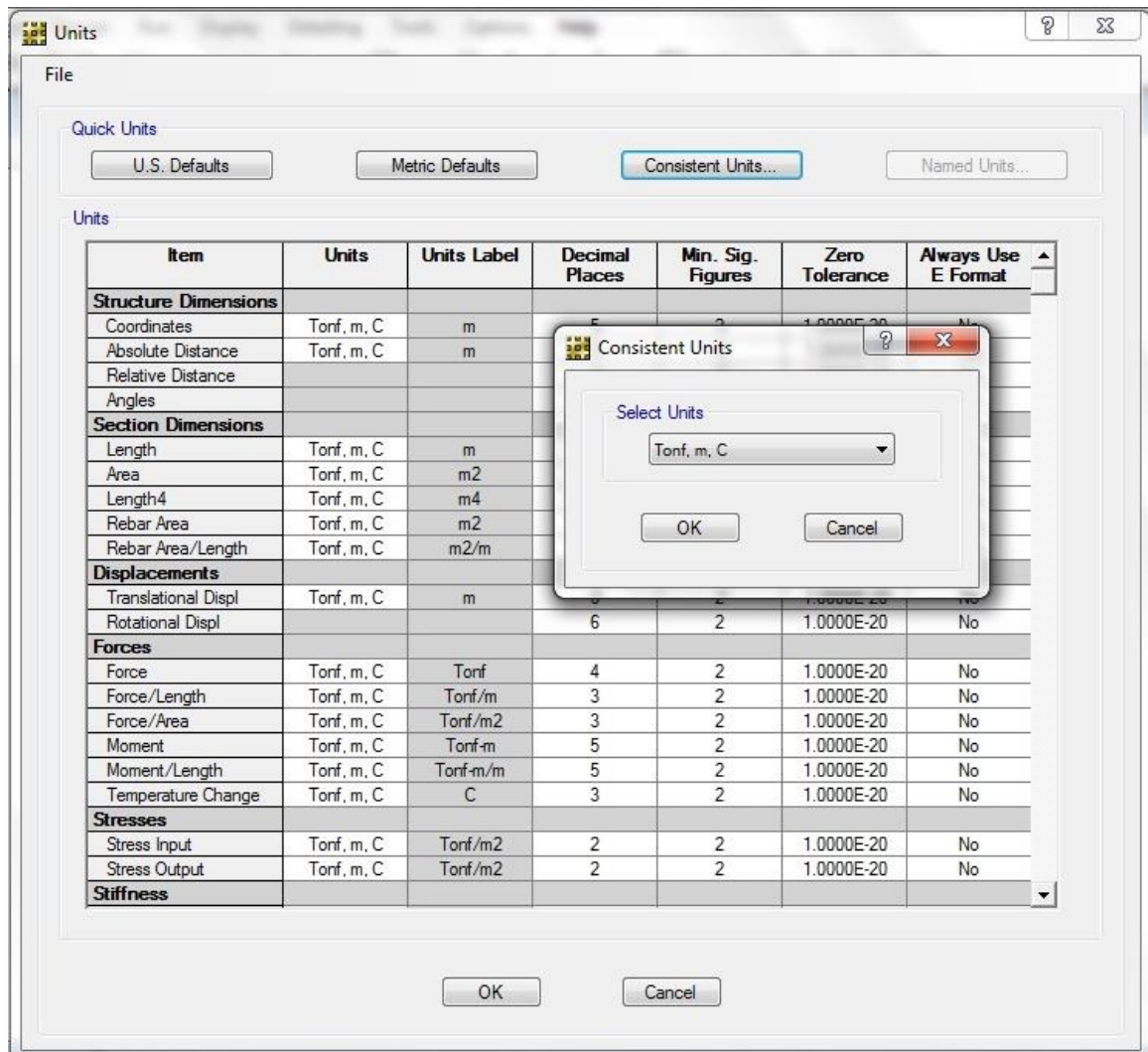
El programa SAFE Vr. 12 utiliza las normas ACI por ello también podemos esperar algunos resultados que difieran de nuestro calculo hecho a mano. Pero como en el programa SAP 2000 se espera que sean mínimos, en este caso solo se utilizó el programa SAFE para la ayuda en el diseño de una zapata muy simple.



4.2.2. Diseño de una zapata aislada utilizando SAFE Ver. 12.

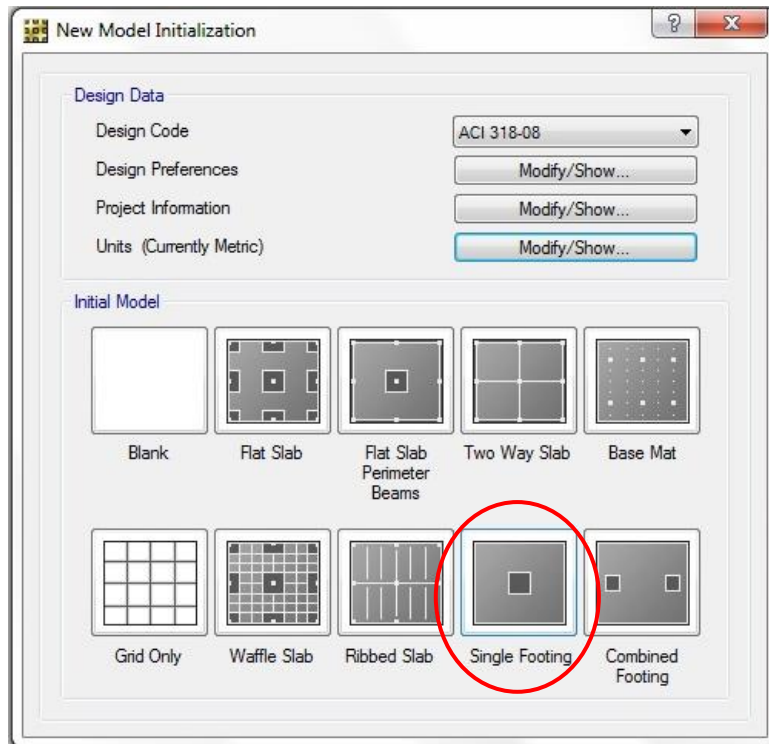
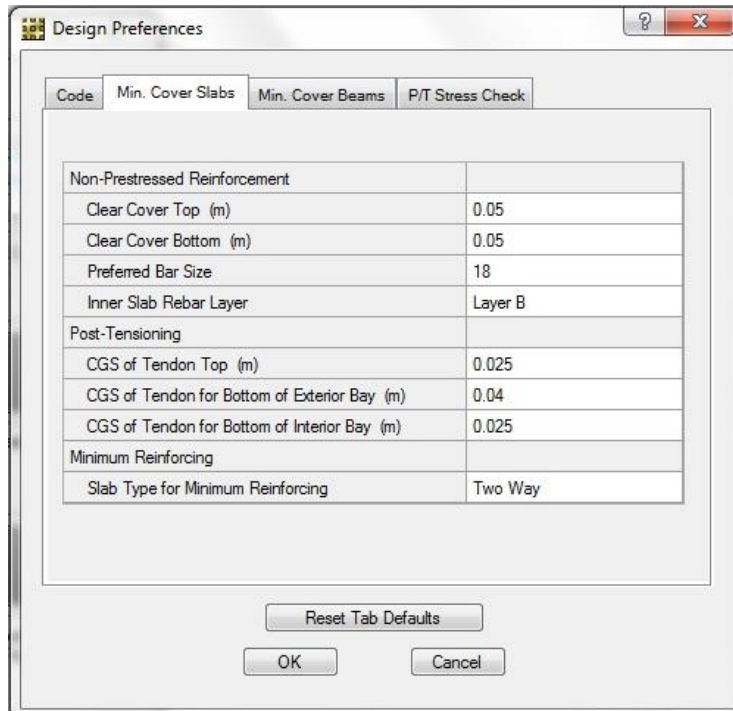
1.- El menú del programa SAFE es muy rápido de tal manera que tan solo al hacer un nuevo modelo nos desplegara un menú en el cual podremos cambiar las unidades y aún más importante en este menú podremos cambiar las unidades que queremos utilizar dependiendo de cómo lo necesitemos, podremos cambiar totalmente o solo parcialmente las unidades de cada resultado.

Por si esto fuera poco de igual manera podremos cambiar el reglamento a utilizar aunque está por demás decir que no cuenta con las NTC del DF podremos utilizar el ya mencionado ACI.





2.- Cambiaremos el recubrimiento a 5 cm en la misma interfaz ya que para fines del ejercicio ese es el valor que se le dará es necesario cambiar esto ya que si este valor se omite el programa dará un recubrimiento por defecto, se escogerá la Single Footing la cual sería la zapata aislada





3.-Después de seleccionar la Single Flooting se nos desplegara un menú en el cual podremos introducir cargas, momentos y dimensiones de nuestra Zapata y aun mejor podremos introducir de una sola vez el módulo de balasto del suelo.

Cabe mencionar que este programa nos permite cambiar cualquier dimensión o cualquier carga ya internamente y más detalladamente.

Single Flooting

Plan Dimensions

Along X Direction

Left Edge Distance: 0.9 m

Right Edge Distance: 0.9 m

Along Y Direction

Top Edge Distance: 0.9 m

Bottom Edge Distance: 0.9 m

Load Size

Load Size (square): 0.6 m

Load

	Dead	Live	
P	32.4	0	Tonf
Mx	0	0	Tonf-m
My	13.6	0	Tonf-m

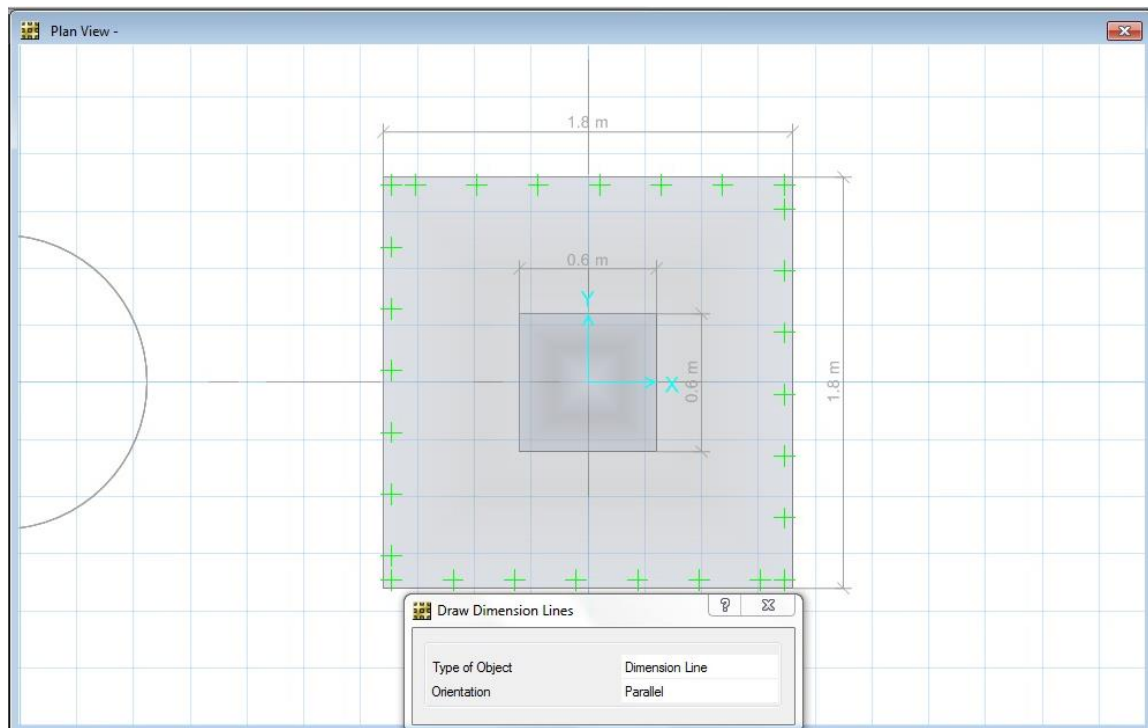
Properties

Footing Thickness: 0.35 m

Subgrade Modulus: 5000 Tonf/m³

OK Cancel

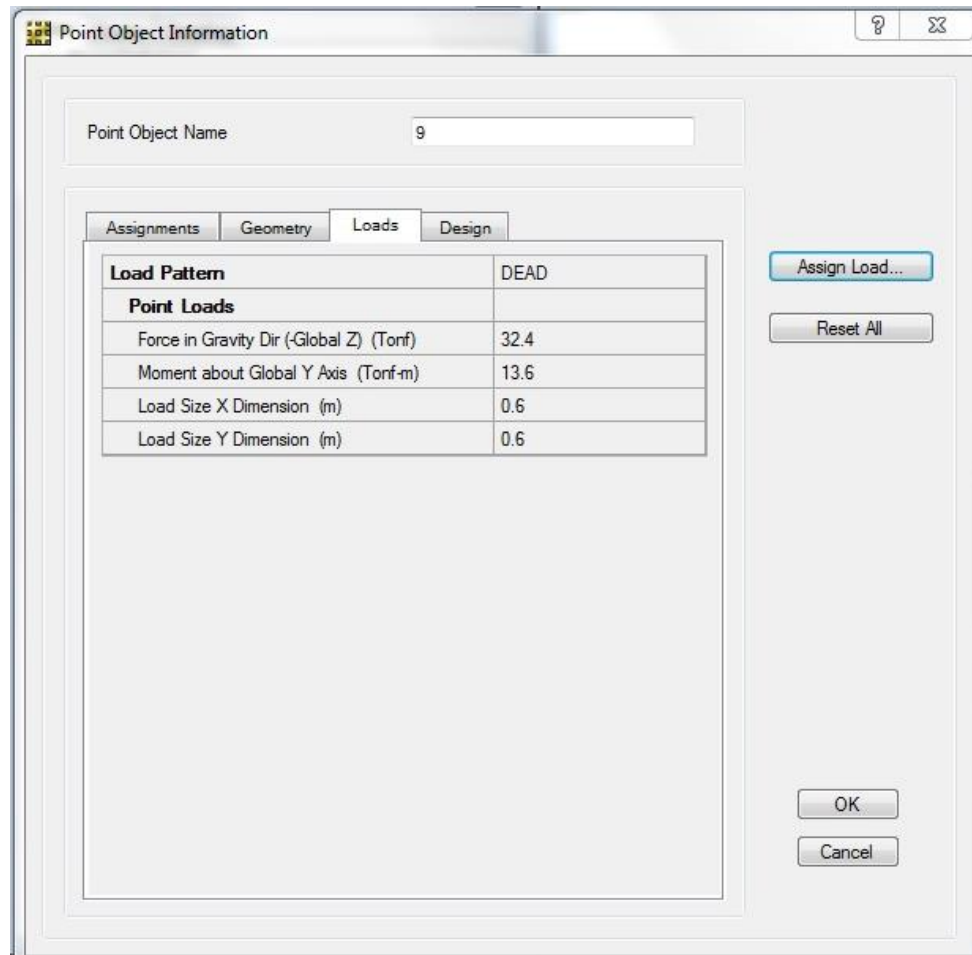
Solo basta introducir los datos y aceptar para que nuestro modelo sea generado de una manera fácil y rápida, teniendo así ya nuestra zapata de 1.8 x 1.8. y el pedestal de 60x60cm en el cual se distribuiría la carga





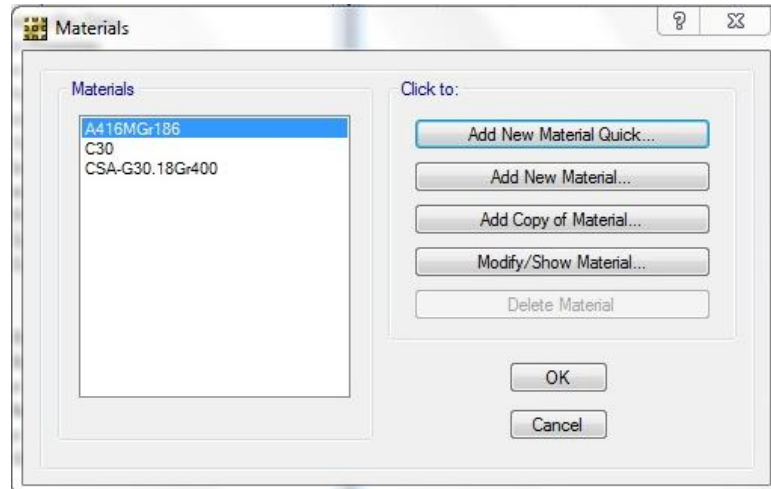
Incluso si seleccionamos el punto intermedio del pedestal en el modelo podremos desplegar un menú donde veremos las cargas y momentos distribuidos en el área del pedestal si se tiene carga viva se podrá agregar desde este menú en la opción Assign Load, de igual manera si se cuenta con carga accidental o cualquier tipo de momento en nuestro caso solo tendremos carga muerta.

Esto resulta muy útil ya que si se omite una carga al inicio es muy fácil volver a introducirla ya con el modelo hecho, se puede también cambiar el ancho o largo del pedestal en el menú Geometry ya que en el menú del inicio solo nos pide la dimensión más larga para distribuir las cargas solo una medida pero aquí se puede cambiar si tenemos un pedestal rectangular.

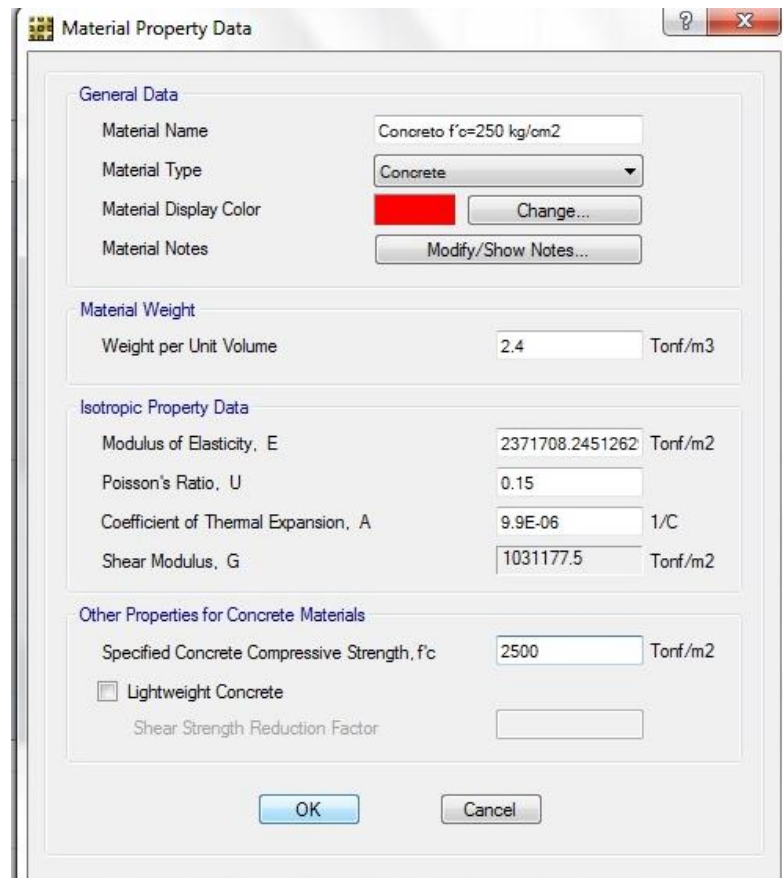




4.-Definiremos los materiales en el menú Define/ Materials, y agregaremos un material rápido que sea Concreto $f'c= 4000$ psi.



Modificaremos este material agregado dependiendo de qué tipo de concreto vamos a utilizar, en nuestro caso utilizaremos un concreto de $f'c= 250$ kg/cm².





5.- De igual manera como hicimos con el concreto en el mismo menú agregaremos otro material rápido de tipo Rebar para el refuerzo y lo modificaremos de acuerdo a lo que necesitemos.

En nuestro caso es un acero con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

Material Property Data

General Data

Material Name: Refuerzo

Material Type: Rebar

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight

Weight per Unit Volume: 7.8 Tonf/m³

Uniaxial Property Data

Modulus of Elasticity, E: 20389019.16 Tonf/m²

Other Properties for Rebar Materials

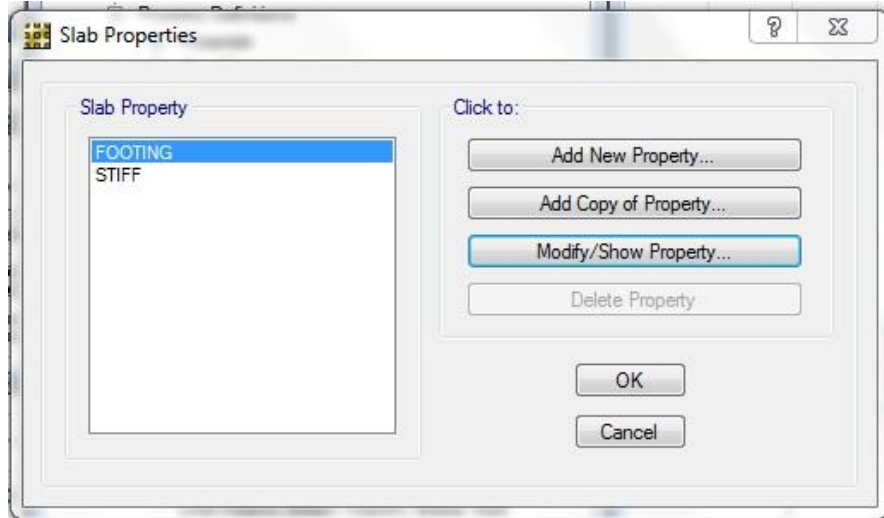
Minimum Yield Stress, F_y: 42000 Tonf/m²

Minimum Tensile Stress, F_u: 63000 Tonf/m²

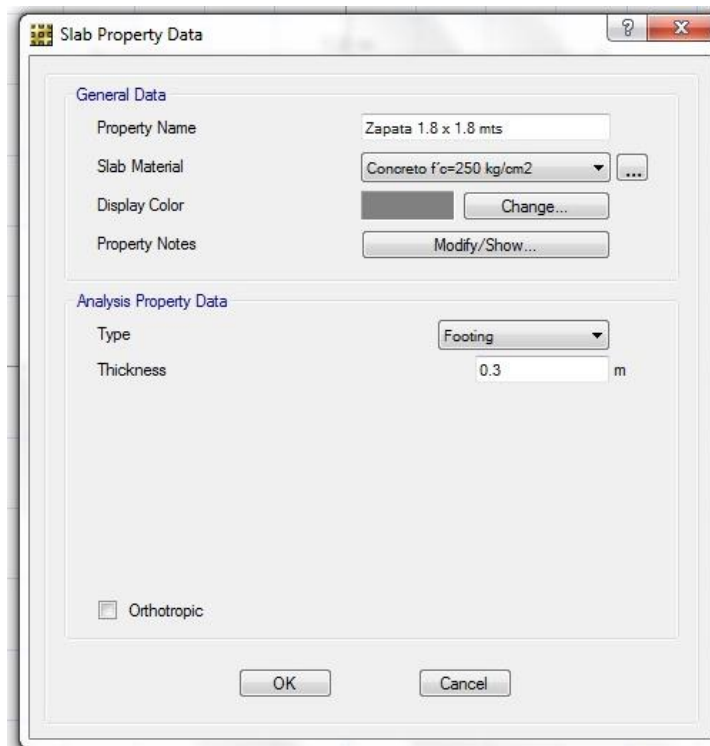
OK Cancel



6.- ahora asociaremos los materiales a la zapata para esto nos vamos al menú define/ slab properties, como se puede ver ahora cambiamos el nombre y el material de la zapata por el concreto antes definido.



Como se puede apreciar de igual manera aquí también se puede cambiar el peralte de la zapata además del material de una manera muy fácil.

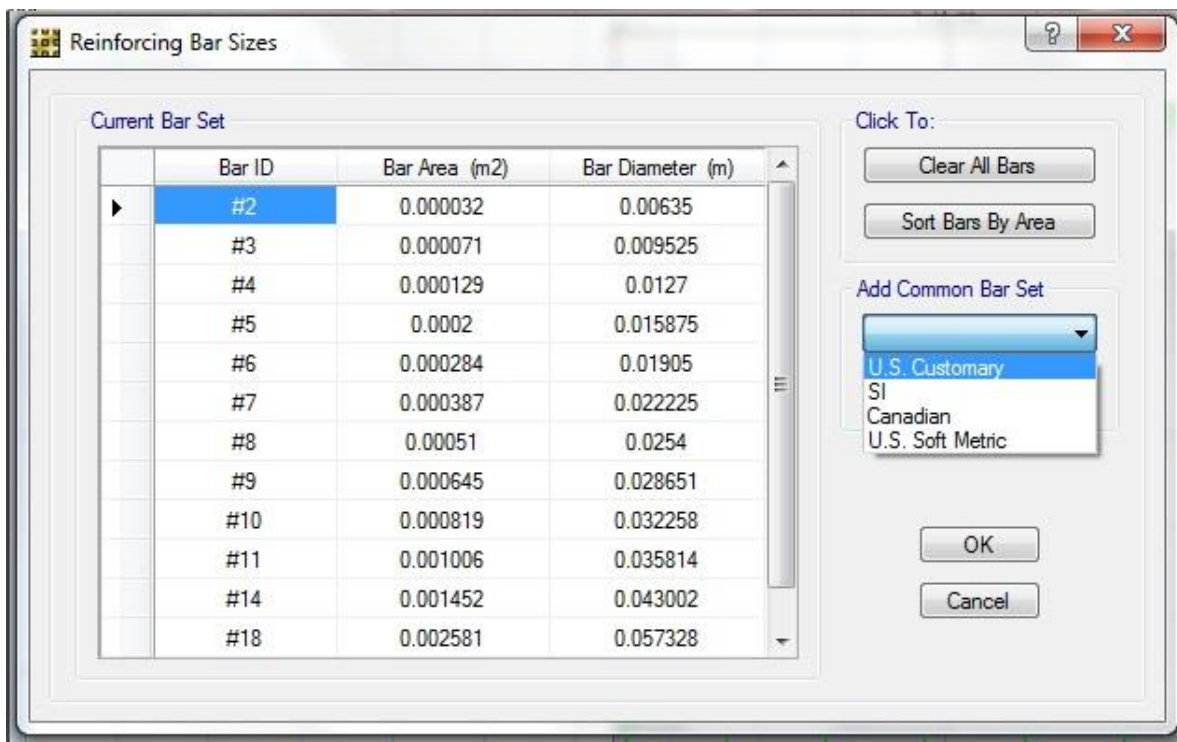




7.- hacemos lo mismo con el pedestal asignando el material de concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. En el mismo menú Slab Properties solo que seleccionando el Siff, esto está definido como el pedestal de nuestra zapata.

8.- otro paso muy importante es definir las unidades de medidas de las barras de refuerzo que utilizaremos, para esto iremos al menú Define/, Reinforcing Bar Sizes.

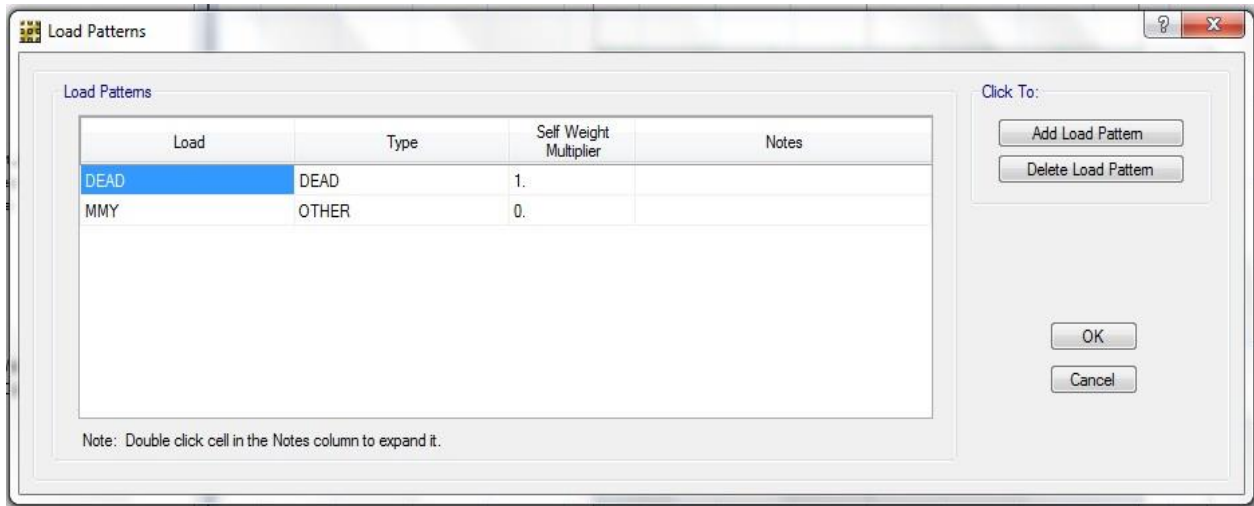
Y seleccionaremos las medidas dependiendo en que unidades estemos trabajando o dependiendo del cada criterio que cada quien tome como mejor, en nuestro caso se hará con las medidas comunes.



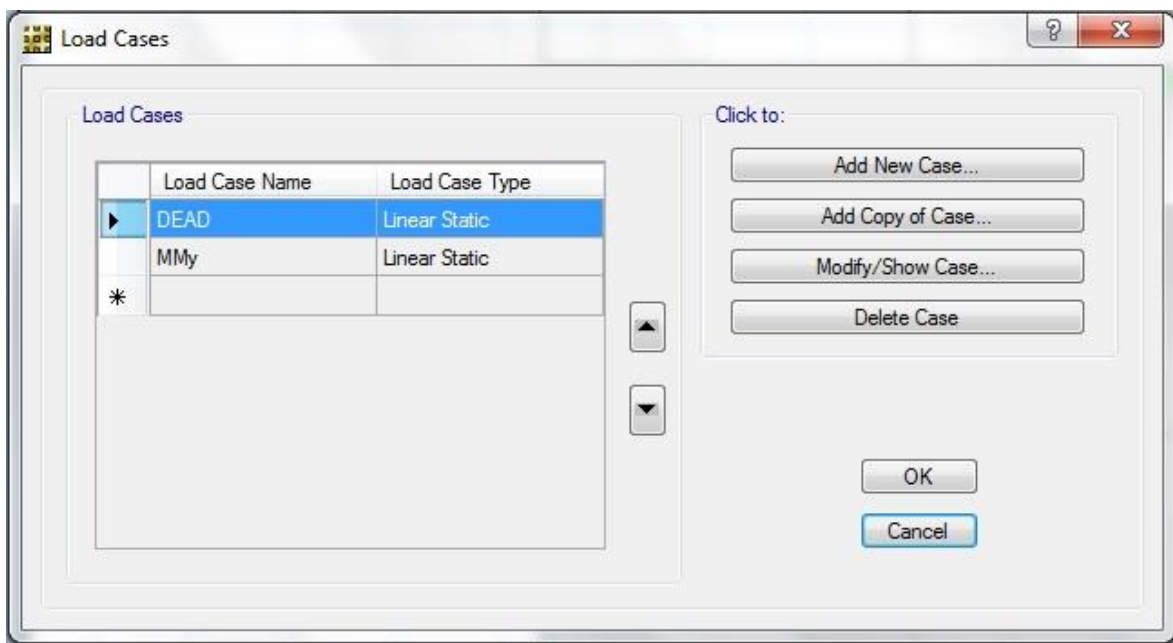
Es importante que si se quiere tener una medida exacta de áreas o diámetros podremos cambiar o modificar, no está por demás mencionar que solo es en caso de que alguna área haya cambiado o se haya modificado ya que se revisó de una manera muy minuciosa a cada uno de los diámetros y todos son correctos.



9.- Introduciremos los patrones de carga, para esto nos vamos al menú Define/, load Patterns, estas se definen dependiendo de qué tipo de cargas se tenga o dependiendo de qué tipo de análisis se quiere, en nuestro caso solo tenemos carga muerta y momento en “Y”.



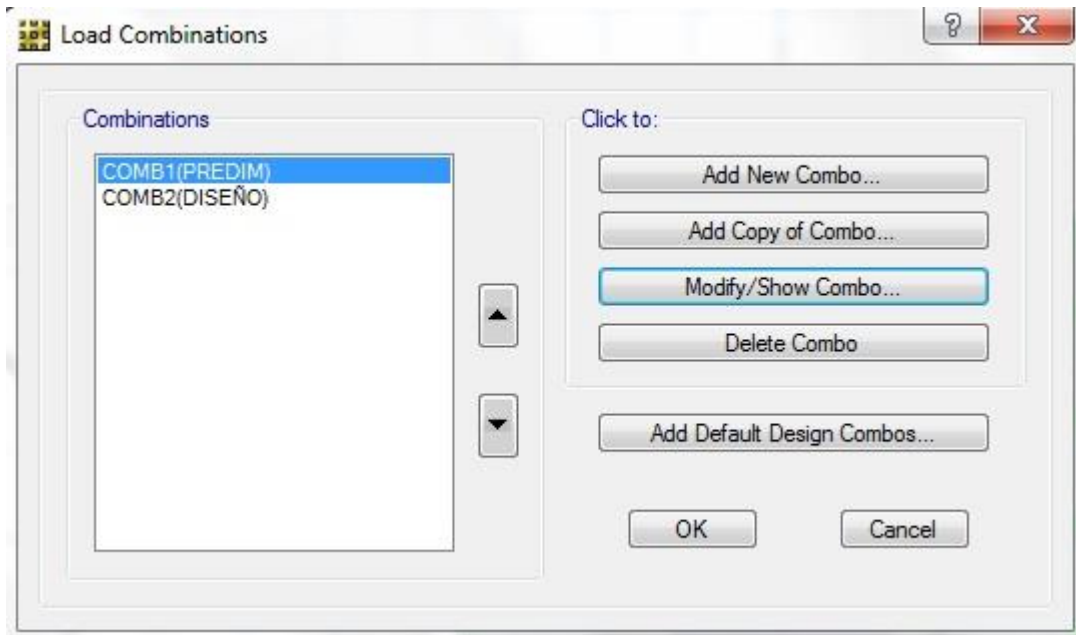
10.- Definiremos los casos de carga en Define/, Load Cases los cuales por lo que ya se mencionó solo será la carga muerta y el momento en “Y”.





11.- Es muy importante crear las Combinaciones de las cargas ya que casi todo el diseño o mejor dicho gran parte del diseño se basa en hacer las combinaciones correctas.

Para esto entraremos al menú Define/, Load Combinations, para este ejercicio solo haremos 2 combinaciones una de diseño y otra de pre-dimensionamiento, es solo para fines de este ejercicio no se debe de tomar como una regla general, los combos de diseño quedarán a criterio de cada ingeniero.





La primera combinación de carga solo será para pre-dimensionamiento y solo tomaremos en cuenta la carga muerta y será totalmente en servicio, sin factores de carga, como se muestra a continuación.

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: COMB1(PREDIM)

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

	Load Name	Scale Factor
▶	DEAD	1.
*		1.

Design Selection

Strength (Ultimate) Service - Normal

Service - Initial Service - Long Term

OK Cancel



La segunda combinación la tomaremos con carga muerta y los momentos multiplicados por su factor de carga correspondiente este combo será el de diseño se tomaran como cargas últimas.

Aquí hay un punto importante a mencionar se tomó un factor de carga de 1.2 porque es el que toman las normas ACI y recordemos que el programa SAFE Vr. 12 trabaja con estas normas y no con las NTC-04 del DF.

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: COMB1 diseño

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

	Load Name	Scale Factor
▶	DEAD	1.2
	MMY	1.2
*		

Design Selection

Strength (Ultimate) Service - Normal

Service - Initial Service - Long Term

OK Cancel



12.- A continuación asignaremos el peso del relleno es decir el peso del terreno que cubrirá nuestra zapata, para esto es necesario ir al menú Assigne/, Load Data/, Surface Loads, será de carga muerta tipificando que es el relleno la siguiente operación es la que utilizaremos para obtener dicho peso $(Df - d) * \gamma_s$ lo distribuiremos en toda la zapata como se muestra a continuación.

$$(1.2 \text{ mts.} - 0.30 \text{ mts.}) * \left(1.8 \frac{t}{m^3}\right) = 1.62 \text{ t/m}^2$$

Surface Loads

Load Pattern Name

Name: DEAD

Load Direction

Direction: Gravity

Uniform Loads

Uniform Load: 1.62 Tonf/m²

Nonuniform Loads

$w(x, y) = Ax + By + C = \text{Load at Pt } (x, y); x, y \text{ in Global}$

A: 0E+00 Tonf/m³

B: 0E+00 Tonf/m³

C: 0 Tonf/m²

Options

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

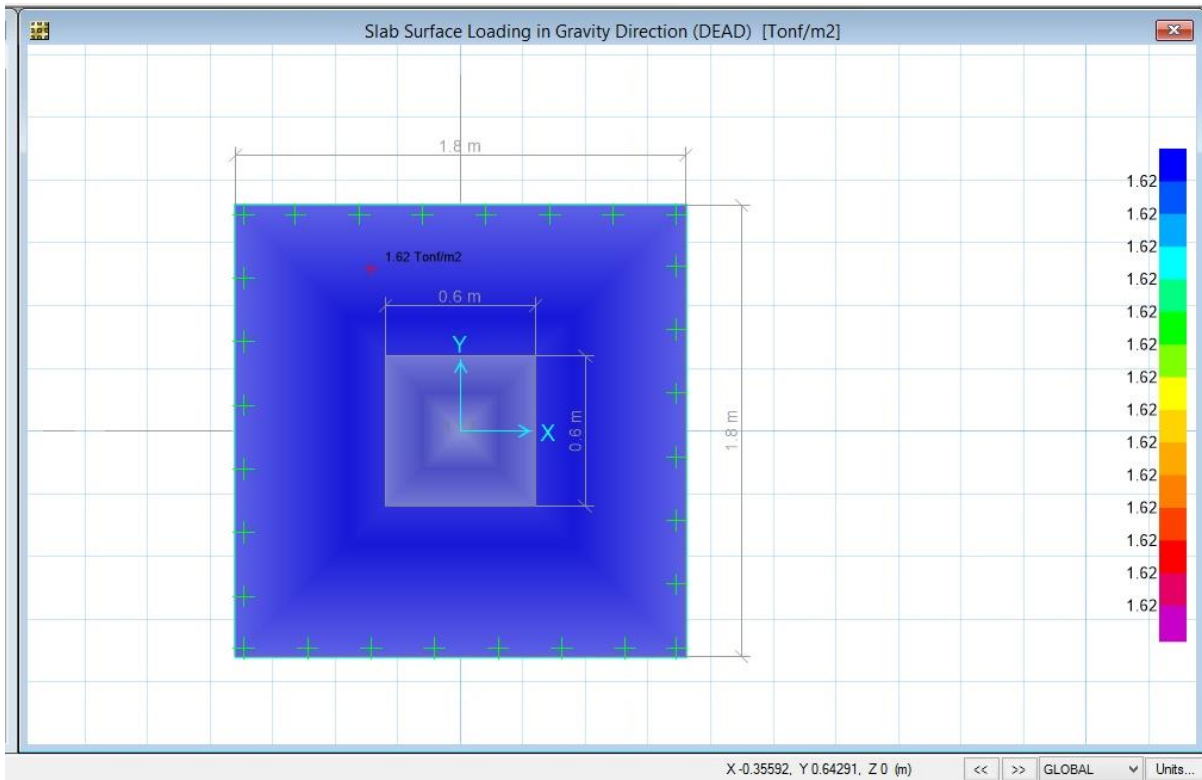
Delete Existing Loads

OK

Cancel



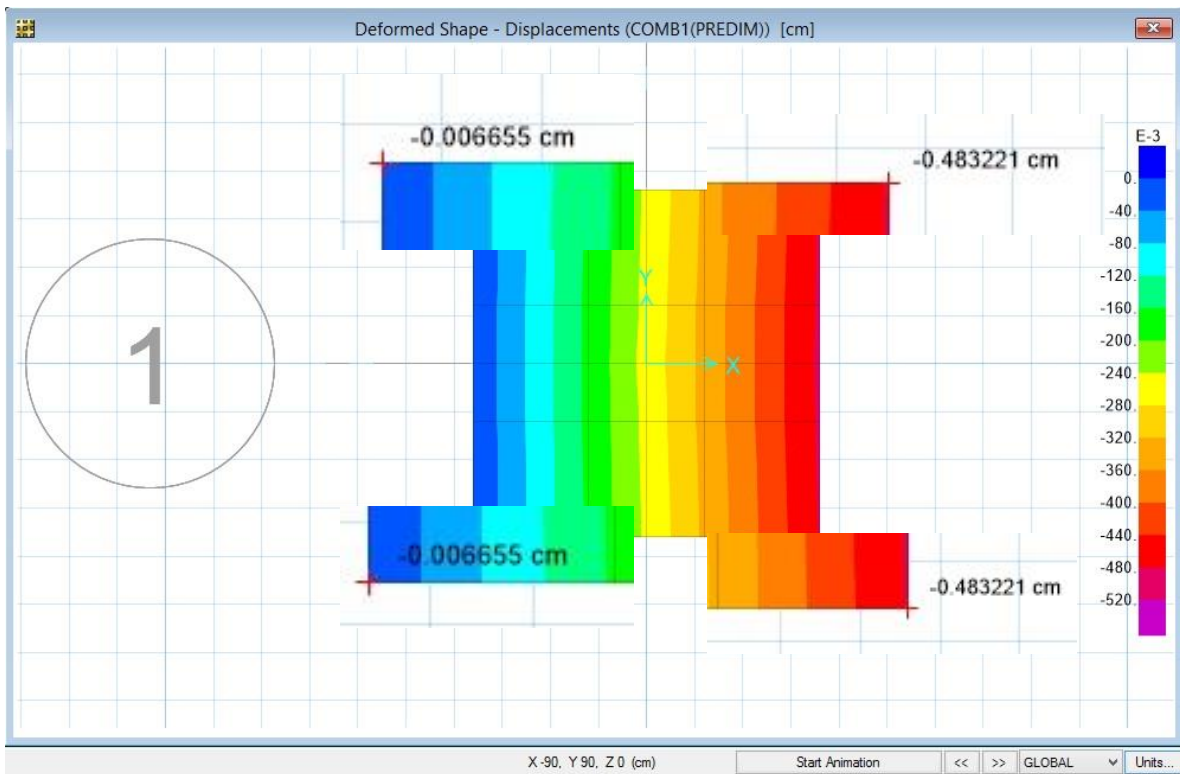
Podremos ver en la siguiente imagen que estamos logrando dar una distribución uniforme de relleno.





4.2.3. Obtención de Resultados.

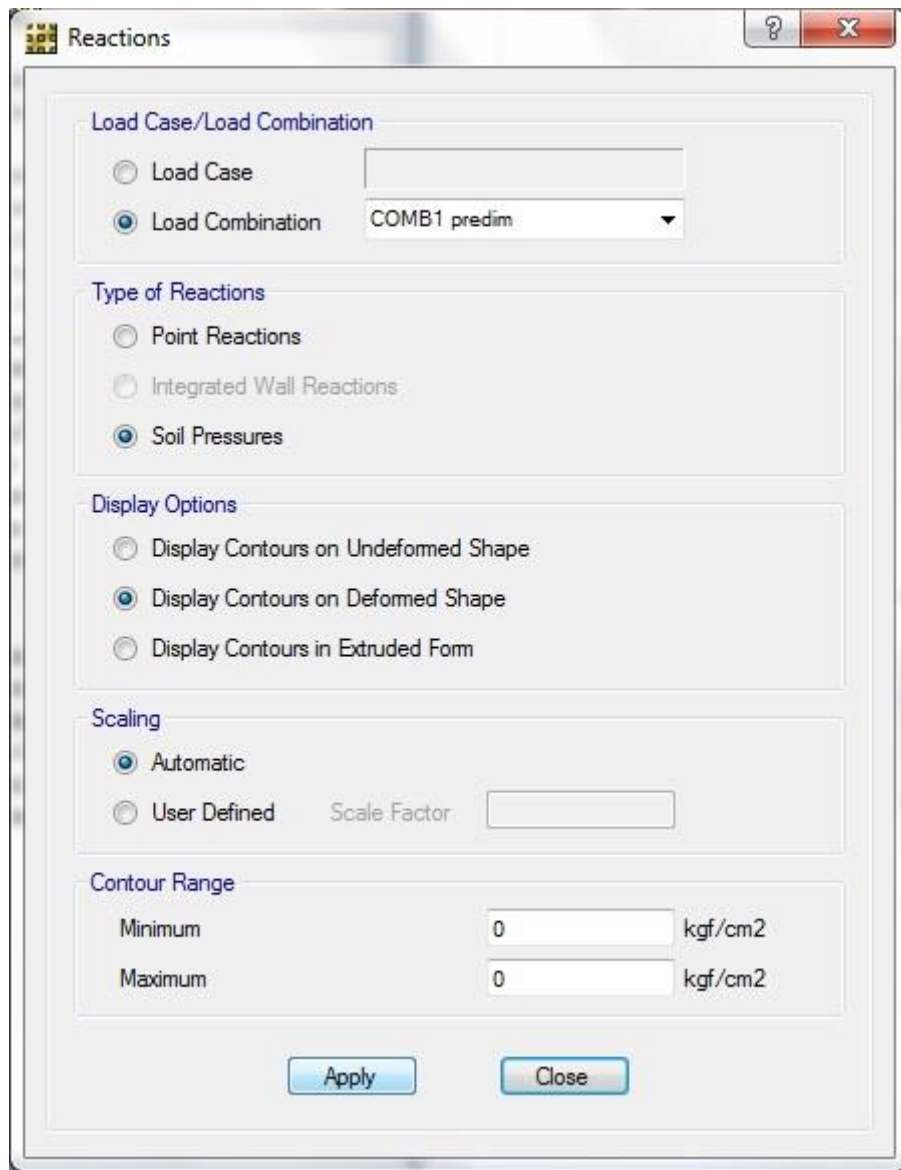
Solo nos quedara correr el modelo, SAFE nos muestra las deformaciones en sus 4 esquinas.





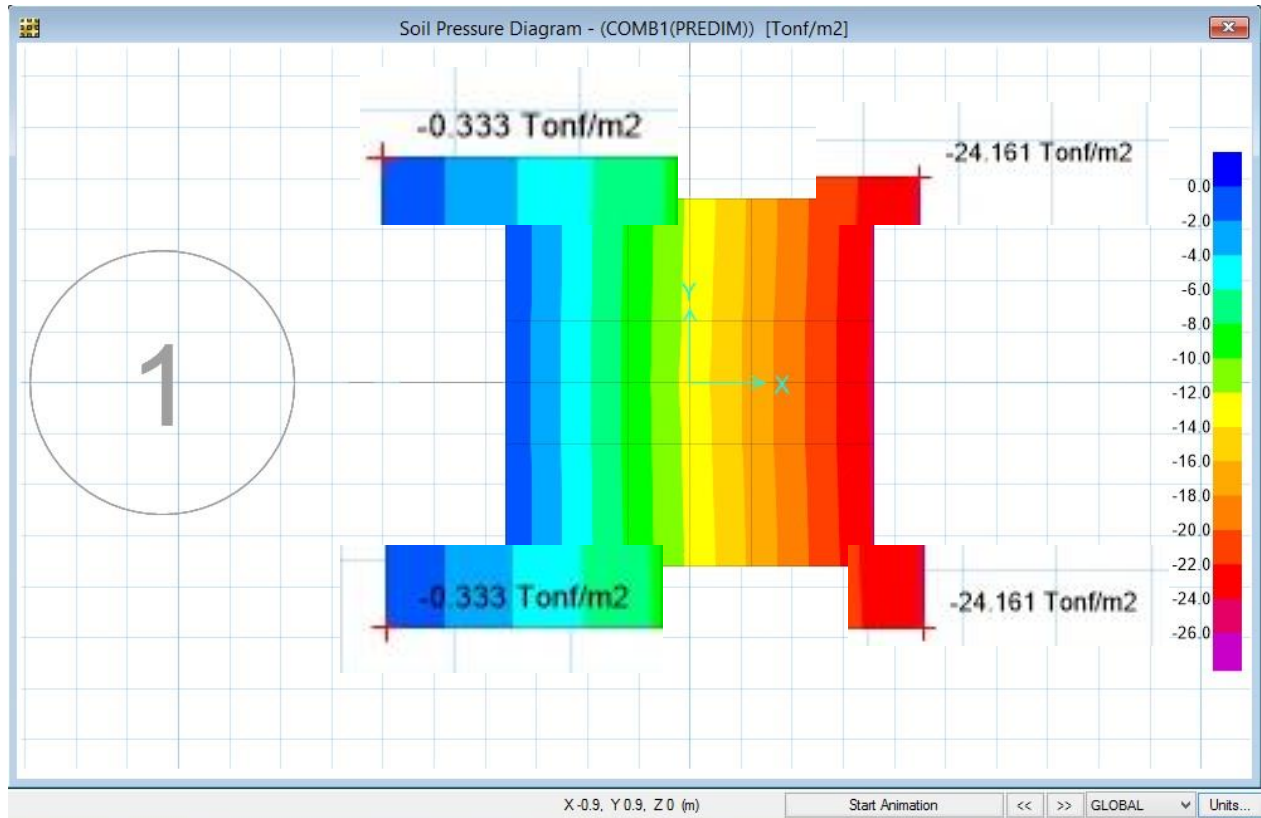
Como se pudo ver ya en capítulos pasados el máximo asentamiento que permiten las NTC-04 del DF. Es de 5 cm para suelos relativamente duros que es con lo que contamos nosotros, por lo tanto por deformaciones se puede decir que nuestra zapata pasa, ya que la deformación máxima que tenemos es de 4.8 cm.

13.- nos vamos al menú, Display/, Show Reactions Forces, con lo cual se nos desplegara un cuadro donde pediremos el primer combo que incluye solo carga muerta y claro el peso del relleno con lo que nos arrojará los esfuerzos en el terreno.





El esfuerzo del suelo en cada esquina las cuales son solo un poco más pequeñas que las presiones que tenemos en nuestro ejercicio, podemos ver que el mayor esfuerzo es idéntico que el del ejercicio hecho a mano.



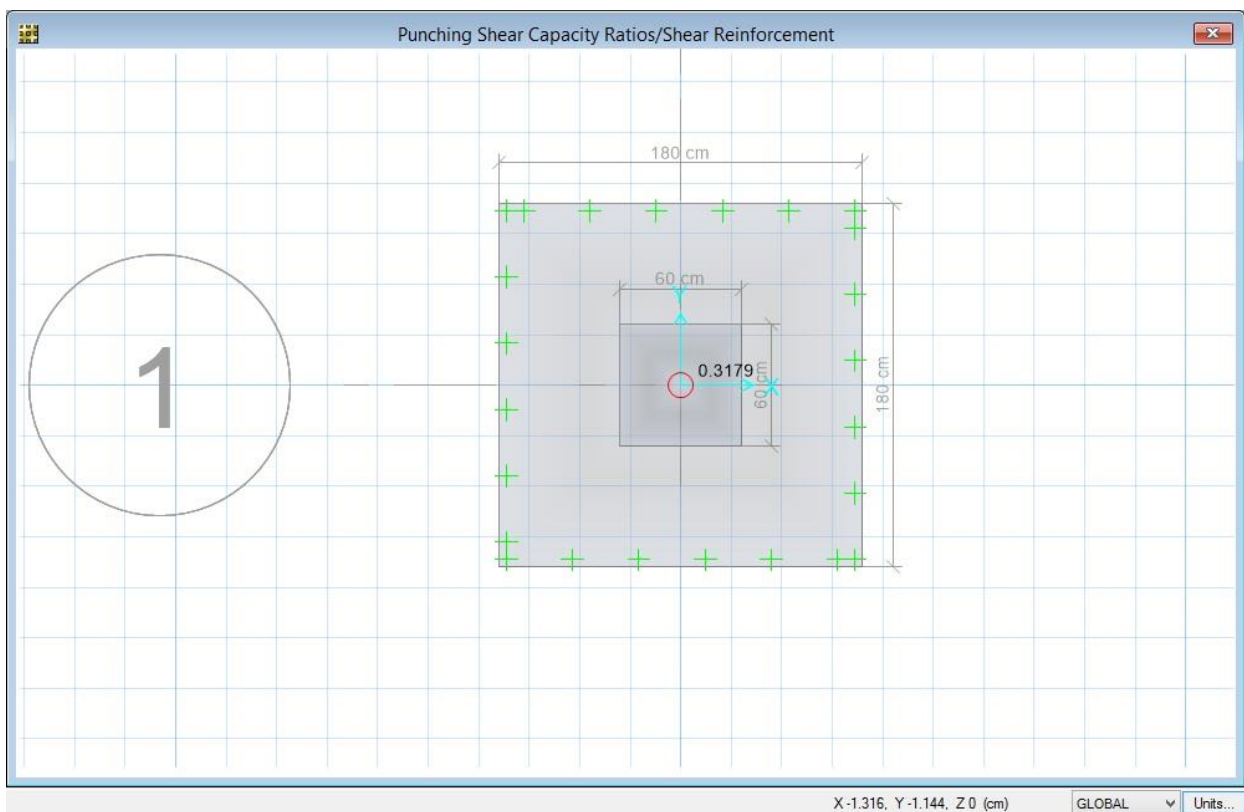


14.- Para revisar el punzonamiento debido a la carga nos vamos al menú Display/ Show Puching Shear Design y podemos comprobar rápidamente el cortante por punzonamiento el cual no debe de sobrepasar 1.0.

Los resultados del cortante por punzonado se muestran como una relación de corte máximo calculado con respecto a la capacidad. Una razón por encima de 1.0 indicaría que la capacidad se ha superado en alguna parte a lo largo de la sección crítica.

Esta última parte fue tomada del manual de SAFE Vr. 12

Como se puede apreciar la relación entre cortante y capacidad no es excedida en nuestra zapata.





SAFE también nos da el cortante, cabe mencionar que este difiere del que nosotros obtuvimos con el análisis pero esto se previó al decir que algunos resultados serían diferentes ya que el programa SAFE utiliza el reglamento ACI y nosotros utilizamos las NTC-04 en nuestro análisis analítico, pero al final la zapata pasa por cortante tanto en nuestro ejercicio analítico como también en el programa.

Design Details

ACI 318-08 Punching Shear Check & Design

Combination: COMB2(DISEÑO)

Items to Display

- Geometric Properties
- Column Perimeter Figure
- Column Punching Check
- Drop Perimeter Figure
- Drop Punching Check
- Stud Design

Geometric Properties

Combination = COMB2(DISEÑO)
Point Label = 9
Column Shape = Rectangular
Column Location = Corner
Global X-Coordinate = 0 cm
Global Y-Coordinate = 0 cm

Load Punching Check

Avg. Eff. Slab Thickness = 31.595 cm
Eff. Punching Perimeter = 271.615 cm
Cover = 3.405 cm
Conc. Comp. Strength = 250 kgf/cm²
Reinforcement Ratio = 0.0000
Section Inertia I22 = 16844198.13 cm⁴
Section Inertia I33 = 16844198.13 cm⁴
Section Inertia I23 = -9892353.71 cm⁴
Shear Force = -17401.77 kgf
Moment Mu2 = -62515.74 kgf-cm
Moment Mu3 = 450044.56 kgf-cm
Max Design Shear Stress = 4.53 kgf/cm²
Conc. Shear Stress Capacity = 14.25 kgf/cm²
Punching Shear Ratio = 0.32

Column Punching Perimeter

Done



15.- SAFE también muestra el diseño del acero, para esto es necesario ir al menú Display/, Show Slab Design.

En este menú podremos pedir al programa que nos dé el área de acero por unidad de longitud o simplemente el total de área de barras o también se le puede pedir que nos muestre la barra a utilizar claro ya habiendo cambiado anteriormente la nomenclatura que utilizaremos de acuerdo a las varillas en nuestro ejercicio hecho por el método analítico vimos que podíamos utilizar 7 varillas del No. 5 en los dos sentidos a cada 25 cm.

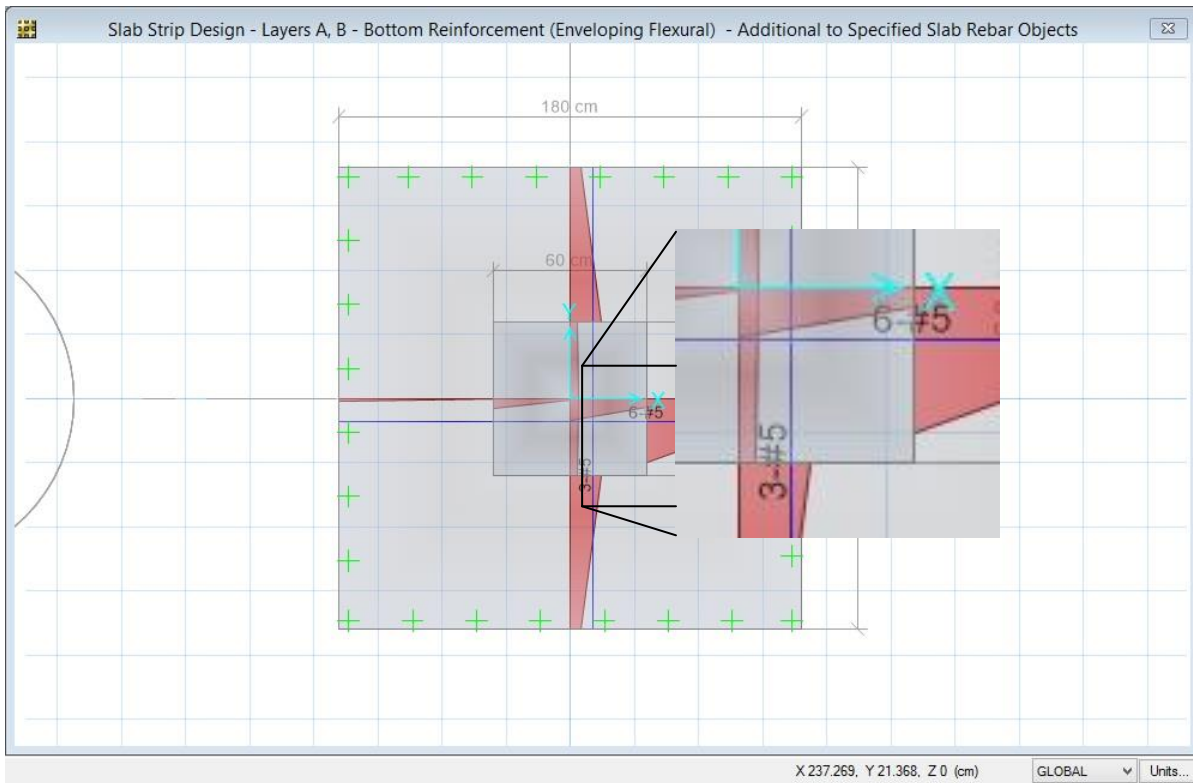
Regresando al programa este desplegara el siguiente cuadro de menú donde pediremos específicamente que nos muestre el acero en el fondo, dando tamaño de la barra y que nos muestre los resultados.

The screenshot shows the 'Slab Design' dialog box with the following settings:

- Choose Display Type:** Design Basis: Strip Based; Display Type: Enveloping Flexural Reinforcement; Impose Minimum Reinforcing.
- Choose Strip Direction:** Layer A; Layer B; Layer Other.
- Rebar Location Shown:** Show Top Rebar; Show Bottom Rebar.
- Reinforcing Display Type:** Show Rebar Intensity (Area/Unit Width); Show Total Rebar Area for Strip; Show Number of Bars of Size: (Bar Size: Top: #5, Bottom: #5).
- Reinforcing Diagram:** Show Reinforcing Envelope Diagram; Scale Factor: 1; Show Reinforcing Extent.
- Typical Uniform Reinforcing:** Define by Bar Size and Bar Spacing; Define by Bar Area and Bar Spacing. (Top: Bar Size #5, Spacing 40; Bottom: Bar Size #5, Spacing 25).



Como podemos observar El programa nos marca que tendremos que utilizar 3 varillas del No. 5 y en el sentido del momento tendríamos 6 varillas del No. 5 lo cual nos dice que en nuestro ejercicio analítico no estamos muy alejados del resultado del programa.



Con este último paso se da por concluido la revisión de nuestra zapata por el programa SAFE Ver. 12.



Conclusiones:

Resultados con el programa SAP 2000 Vr. 14

Para el Programa SAP 2000 Vr. 14 los resultados fueron variados, esto se esperó con anterioridad ya que nosotros para el método analítico utilizamos las NTC-04 y los programas utilizados para el diseño utilizan el reglamento ACI, otra cosa a destacar es que el programa SAP 2000 Vr. 14 es un programa muy bueno para el diseño de estructuras pero en este caso, para el diseño de Zapatas aisladas se vuelve un programa tedioso en el cual tan solo para el modelado de nuestra zapata lleva bastante tiempo. De igual manera sobre el diseño de zapatas aisladas con el programa SAP 2000 Vr. 14 no hay mucha información sobre cómo Analizar y modelar una zapata aislada, por lo cual el análisis con este programa se hace de una manera muy generalizada, además de que para saber que estamos interpretando bien los datos es necesario llevar acabo algunas pruebas las cuales nos arrojan datos que pueden ser por mucho difíciles de comprender, además de ser resultados poco confiables.

Resultados con el programa SAFE Vr. 12

El programa SAFE Vr. 12 es un programa muy intuitivo, aunque está por demás decir que se pueden incorporar los datos de una manera rápida y muy fácil, de igual manera que para el programa SAP 2000 Vr. 14 los resultados fueron variados, esto se entiende que es por la transición de reglamentos, este programa además de fácil de utilizar nos da el armado de la zapata así como el área de acero utilizada. Lo que es de gran ayuda para el cálculo, nos incorpora de manera inmediata y fácil el módulo de balasto cosa que en SAP 2000 Vr. 14 debíamos de haber hecho una serie de pasos anterior a este, pasos que teniendo una herramienta como SAFE Vr. 12 se hacen tediosos e innecesarios.

Definitivamente para llevar acabo un diseño de alguna zapata o de alguna cimentación el programa SAFE Vr. 12 es el indicado para ello si no se cuenta con el programa el análisis analítico es la segunda opción a tomar, ya que el programa SAP 2000 no es muy recomendable para este tipo de estructuras.



REFERENCIAS.

REF. (1).

Carlos Magdaleno, *Cimentaciones Superficiales*, Ed. Instituto Politécnico Nacional, Año, pp. 182, Pág. 9-12.

REF. (2).

Carlos Magdaleno, *Cimentaciones Superficiales*, Ed. Instituto Politécnico Nacional, Año, pp. 182, Pág. 13.

REF. (3).

Carlos Magdaleno, *Cimentaciones Superficiales*, Ed. Instituto Politécnico Nacional, Año, pp. 182, Pág.15-16.

REF. (4).

Carlos Magdaleno, *Cimentaciones Superficiales*, Ed. Instituto Politécnico Nacional, Año, pp. 182, Pág.17-22

REF. (5).

Carlos Magdaleno, *Cimentaciones Superficiales*, Ed. Instituto Politécnico Nacional, Año, pp. 182, Pág.22-31.

Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Cimentaciones, 2004, pp. 29.

Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, 2004, pp. 107.



Reconocimiento.

Es un verdadero placer poder dedicar esta sección a las personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de tesis.

Primeramente le agradezco a Dios porque él siempre está conmigo, porque me dio amor, sabiduría, entendimiento y fuerza, además de que me dio a todas las personas colaboradoras de este trabajo, muchas gracias dios.

De manera muy especial al Ingeniero Arturo Macías Ferreira por brindarme la gran oportunidad de realizar este trabajo bajo su tutela, le agradezco por los conocimientos compartidos a lo largo de este trabajo y a lo largo de mi paso por la institución, por su tiempo, sus consejos y principalmente por su amistad.

Al ing. Gustavo Adolfo Jiménez Villegas y al ing. Gabriel Álvarez Bautista, por su disponibilidad y su apoyo en todo momento de manera más importante por su amistad.

Quisiera Expresar mi gratitud hacia mi madre y a mi hermano por darme la oportunidad y el apoyo de seguir esta hermosa profesión, por su cariño, por su comprensión y sus consejos, gracias por todo. Madre esta victoria es también tuya.

A mis amigos y profesores gracias por su amistad y sus consejos, por los buenos momentos, por hacer mi estadía en esta gran casa de estudios la más placentera y la mejor experiencia en mi carrera profesional.

A mis tíos, hermanos y amigos fuera de la institución, gracias por sus consejos comprensión y por su amistad, gracias porque de ustedes siempre aprendo algo nuevo, y por qué cada día es de lo mejor a su lado.

Gracias a la chica que se robó mi corazón y que lo ha llenado de alegría y amor. Por estar a mi lado en este proceso tan difícil y a la vez tan placentero de mi vida, siempre con sus consejos y apoyo, gracias por soportarme. Te adoro Nancy Loya.

A todas estas personas.

¡Muchas Gracias!