

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Guía para el diseño de  
cimentaciones utilizando  
el programa SAFE**

Estuardo J. Noack

Guatemala

2007



**Guía para el diseño de  
cimentaciones utilizando  
el programa SAFE**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Guía para el diseño de  
cimentaciones utilizando  
el programa SAFE**

Tesis presentada por Estuardo J. Noack  
para optar al grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Civil

Guatemala

2007

**Vo.Bo. :**

---

Ing. Carlos Moncada, Asesor

**Tribunal Examinador:**

---

Ing. Carlos Moncada

---

Ing. Antonio Jimenez

---

Ing. Alejandro Maldonado

**Fecha de aprobación:** Guatemala, 21 de marzo del 2007

## Índice

	Página
Lista de figuras.....	VIII
Lista de tablas.....	VIII
Lista de pantallas.....	VIII
Resumen.....	X
I. Introducción.....	1
II. Guía para el diseño de cimentaciones utilizando el programa SAFE.....	3
A. Antecedentes.....	3
1. El suelo y sus propiedades.....	3
B. Propiedades físicas y mecánicas del suelo.....	4
1. Granulometría.....	4
2. Plasticidad.....	5
3. Compresibilidad.....	5
4. Resistencia al cortante.....	5
C. Tipos de cimentaciones.....	6
1. Cimentaciones superficiales.....	6
a. Zapata aislada.....	7
b. Zapata combinada.....	7
c. Cimiento corrido.....	7
d. Losa de cimentación.....	7
2. Cimentaciones profundas.....	8
a. Pilotes.....	8
b. Pilas.....	8
D. Introducción al diseño de cimentaciones.....	9
1. Pre diseño.....	9
a. Dimensionamiento de cimientos.....	11

	Página
b. Peralte de cimientos.....	12
1) Chequeo por punzonamiento.....	12
2) Chequeo por corte.....	14
c. Otras alternativas de cimentación.....	15
E. Introducción a SAFE.....	18
1. Familiarización con herramientas de SAFE.....	19
F. Usando SAFE .....	21
1. Paso 1: Nuevo modelo y dimensionales.....	21
2. Paso 2: Geometría de ejes.....	22
3. Paso 3: Definición e ingreso de cargas.....	24
4. Paso 4: Definición de propiedades de cimientos.....	26
5. Paso 5: Definición e ingreso de propiedades del suelo.....	27
6. Paso 6: Dibujo de geometría inicial.....	28
7. Paso 7: Cambios a geometría inicial (si fuera necesario).....	29
8. Paso 8: Definición de combinaciones de carga.....	29
9. Paso 9: Análisis.....	30
10. Paso 10: Interpretación de análisis.....	32
11. Paso 11: Rediseño de geometría.....	33
12. Paso 12: Refuerzo.....	35
III. Ejemplo real de diseño de cimentación en Guatemala mediante SAFE.....	37
IV. Conclusiones y recomendaciones.....	49
V. Referencias bibliográficas.....	50

## Lista de figuras

	Página
Figura 1: Tipos de cimentación.....	6
Figura 2: Ejemplo de zapata.....	10
Figura 3: Cimiento para ejemplo.....	16
Figura 4: Ejemplo 1 de zapata combinada.....	17
Figura 5: Ejemplo 2 de zapata combinada.....	17
Figura 6: Ejemplo 3 de zapata combinada.....	17

## Lista de tablas

	Página
Tabla 1: Sistemas de clasificación de suelos.....	4
Tabla 2: Combinaciones de cargas.....	10
Tabla 3: Menús del programa SAFE.....	19
Tabla 4: Botones de acceso directo de comandos de SAFE.....	20
Tabla 5: Definición de cargas en SAFE.....	24
Tabla 6: Propiedades de nuevo cimiento en SAFE.....	26
Tabla 7: Propiedades de viga de cimentación en SAFE.....	27

## Lista de pantallas

	Página
Pantalla 1: Inicio.....	20
Pantalla 2: Nuevo modelo.....	22
Pantalla 3: Geometría de ejes método manual.....	23
Pantalla 4: Geometría de ejes método de importación.....	24
Pantalla 5: Definición de cargas.....	25
Pantalla 6: Ingreso de cargas.....	25

	Página
Pantalla 7: Ingreso de propiedades de cimiento.....	27
Pantalla 8: Ingreso de propiedades del suelo.....	28
Pantalla 9: Dibujo de geometría inicia.....	29
Pantalla 10: Definición de combinaciones de carga.....	30
Pantalla 11: Ingreso de carga superficial.....	31
Pantalla 12: Despliegue de resultados.....	32
Pantalla 13: Interpretación de resultados.....	33
Pantalla 14: Rediseño.....	34
Pantalla 15: Chequeo de rediseño.....	35
Pantalla 16: Propiedades del refuerzo de la cimentación.....	35
Pantalla 17: Despliegue de refuerzo de la cimentación.....	36

## Resumen

Este trabajo se enfoca en asistir al lector en la utilización de SAFE. SAFE es un programa que se centra en diseñar cimentaciones tanto en su geometría como en su refuerzo. SAFE funciona de una forma muy simple, ordenada y fácil de analizar, pero todo aquel que desee utilizar SAFE como herramienta de ayuda para diseñar cimentaciones debe tener presente varios conceptos técnicos generales sobre cimentaciones y conceptos de el programa en sí y su funcionamiento. Este trabajo proporciona una guía que toma en cuenta todos estos conceptos y lleva al lector paso a paso mediante gráficas, tablas y pantallas para poder utilizar de la mejor manera SAFE y poder diseñar cimentaciones en él.

SAFE es una herramienta muy útil porque el proceso de diseño de cimentaciones es repetitivo o, mejor dicho, de prueba y error. Con los principios básicos de mecánica de suelos, se puede crear una primera aproximación para un cimiento pero, por lo general, en la práctica profesional se encuentran problemas como intercalación de áreas, espacios insuficientes para construir la zapata como debería estar construida, cambios al proyecto que afectan la cimentación, etc. y es por esto que un diseñador de cimientos debe estar preparado para poder modificar su diseño en cualquier momento, ya sea para encajar nuevamente todo el diseño o para verificar la magnitud en que afecta a la cimentación algún cambio en la estructura y SAFE es la mejor asistencia para verificar cualquiera de estos cálculos y este trabajo es una guía para manejar de la mejor manera posible este programa.

## I. Introducción

Este trabajo tiene como objetivo principal ayudar al lector a diseñar cimentaciones de edificios en el programa de asistencia SAFE. SAFE es un programa que simula las cargas que pueda transmitir una estructura a sus apoyos base y así determinar la cimentación más adecuada para la estructura. Ésta es una herramienta muy útil ya que, como se sabe, el diseño en cualquier aspecto de la ingeniería es un proceso de prueba y error. Nunca hay una única solución para un problema cuando se trata de cimentaciones. Es por esto que SAFE es un recurso muy valioso a la hora de diseñar, ya que permite al usuario optimizar el diseño de la cimentación.

Como todos sabemos un diseño tiene varias características que debe llenar para que sea considerado un buen diseño. Primero, debe ser seguro. No hay o no debería haber un aspecto más importante en el diseño, no sólo de cimentaciones sino de cualquier componente en la ingeniería. El factor de seguridad es lo que siempre se vela, y es mucho más importante en cimentaciones ya que, como la misma palabra lo indica, es lo que se usa de fundamentos en la construcción de cualquier obra. Si una cimentación está mal diseñada, puede darse lugar a fallas y/o colapsos por parte de la estructura que esté sosteniendo, aun cuando esté bien diseñada la estructura en sí.

Dentro del factor de seguridad es importante evaluar correctamente dos elementos; el primero está fuera del proceso de diseño, pero es el que proporciona los valores a ingresar al mismo, esto es la adecuada evaluación del suelo en cuanto a su geología y su mecánica, llevados no solo al contexto local de la cimentación, sino también a su ubicación regional. El otro será el de la evaluación de las cargas propias y externas a las que estaría sometida la estructura, en un grado que represente los niveles de seguridad máximos para el tipo de servicio requeridos, esto porque el fin último del diseño se localiza no solamente durante el servicio normal y rutinario de la estructura, sino durante condiciones extremas y extraordinarias.

Otro factor importante en el diseño es el orden. Muchas veces las personas subestiman lo que el orden puede hacer para un diseño, pero es algo muy relevante en cualquier procedimiento ya que sin orden, tanto en el proceso como en los resultados, puede ser muy difícil de ejecutar un diseño. En la ingeniería civil, y más específicamente, en la construcción, el orden es sumamente importante para que se dé una buena administración y supervisión de la ejecución del diseño en campo. Si el diseño es ordenado, la construcción será mucho más fácil de supervisar ya que se tienen todos los datos y resultados en una misma línea.

Por último, otro factor que se debe de considerar al diseñar es el factor económico. Este aspecto, aunque sí es importante, muchas veces es considerado mucho más crítico que alguno de los dos anteriores y esa sí es una idea equivocada. El diseñador siempre tiene que velar porque su diseño sea lo más económicamente posible, pero teniendo siempre en cuenta primero la seguridad y el orden. Nunca se debería considerar el factor económico más importante que la seguridad, ya que la mayoría de veces ésta es la razón por la cual muchas estructuras son mal diseñadas y mal ejecutadas ya que aún siendo un poco más económicas no tienen requisitos técnicos de seguridad y ponen en riesgo a cualquier usuario de la estructura diseñada.

Este trabajo se enfoca entonces en el buen diseño de una cimentación. SAFE es la herramienta que estaremos usando para facilitar todo el proceso de diseño. En tiempos como los actuales es muy importante tener cierto sistema para ser eficiente en procesos que, por lo general, toman mucho tiempo si se ejecutan de manera manual. SAFE proporciona este sistema que ayuda no solo a diseñar sino saber hasta qué grado esta buena nuestras suposiciones previas y nuestras conclusiones posteriores.

## **II. Guía para el diseño de cimentaciones utilizando el programa SAFE**

### **A. Antecedentes**

Previo a iniciar a utilizar el programa SAFE, es necesario tener en cuenta todos los conceptos básicos que rodean el diseño de cimentaciones, como son las propiedades del suelo, los esfuerzos a los que son sometidos las cimentaciones, los diferentes tipos de cimentaciones que se pueden utilizar en un diseño, etc. Es por esto que a continuación se dará un vistazo a estos conceptos para luego proceder con mayor confianza a la parte práctica de esta guía.

1. **El suelo y sus propiedades.** El diseño de la estructura de un edificio depende, en gran medida, de la naturaleza del suelo y las condiciones geológicas del subsuelo, así como de las transformaciones realizadas por el hombre en esos dos factores.

Si se pretende construir un edificio en una zona con tradición sísmica, se deberá investigar el tipo de suelo a una profundidad considerable. Es evidente que deberán evitarse las fallas en la corteza terrestre bajo la superficie. Ciertos suelos pueden llegar a licuarse al sufrir terremotos y transformarse en arenas movedizas. En estos casos debe evitarse construir o en todo caso los cimientos deben tener una profundidad suficiente para alcanzar zonas de materiales sólidos bajo el suelo inestable. Se han encontrado suelos arcillosos que se llegan a expandir hasta 23 cm o más al someterlos a largos periodos de humedecimiento o secado, con lo que se producen potentes fuerzas que pueden cizallar o fragmentar los cimientos y elevar edificios poco pesados. Los suelos con alto contenido orgánico llegan a comprimirse con el paso del tiempo bajo el peso del edificio, disminuyendo su volumen inicial y provocando el hundimiento de la estructura. Otros tienden a deslizarse bajo el peso de las construcciones.

Los terrenos modificados de alguna forma suelen tener un comportamiento diferente, en especial cuando se ha añadido o se ha mezclado otro tipo de suelo con el original, así como en aquellos casos en que el suelo se ha humedecido o secado más de lo normal, o cuando se les ha añadido cemento u otros productos químicos como la cal. A veces el tipo de suelo sobre el que se proyecta construir varía tanto a lo largo de toda la superficie prevista que no resulta viable desde el punto de vista económico o no es posible edificar con seguridad.

Por tanto, los análisis geológicos y del suelo son necesarios para saber si una edificación proyectada se puede mantener adecuadamente y para hallar los métodos más eficaces y económicos.

Si hay una capa rocosa firme a corta distancia bajo la superficie de la obra, la resistencia de la roca permitirá que la extensión sobre la que descansa el peso de la construcción no tenga que ser demasiado grande. A medida que se van encontrando rocas y suelos más débiles, la extensión sobre la que se distribuirá el peso deberá ser mayor.

El suelo y sus propiedades son un factor crítico cuando se trata de diseñar cimentaciones. Sus propiedades geotécnicas cubren aspectos como la granulometría, la plasticidad, la compresibilidad y la resistencia al cortante. Por lo general, todas estas propiedades se determinan mediante pruebas apropiadas de laboratorio según las tomas que se hicieron en el lugar de la excavación. Aun así, se definirán estos conceptos para tener presente lo que cada uno de estos valores significa y como afectan el diseño de la cimentación.

## B. Propiedades físicas y mecánicas del suelo

**1. Granulometría.** La granulometría de un suelo se basa en la idea que todas las masas de suelo están compuestas por diversos tamaños de granos. Es así como se da una clasificación de suelos basada en los estudios de la granulometría de cada suelo, teniendo en cuenta el porcentaje de granos que sean pequeños y grandes. Las pruebas que se le hacen a una muestra de suelo en el estudio granulométrico son por medio de mallas o tamices con diferentes tamaños de aberturas y es así, cuando se pasa la muestra por las mallas, que se determina qué tipo de suelo es según la clasificación estándar internacional que se tiene de los suelos. Por lo general, los suelos son clasificados en algunos de los siguientes rangos según el estudio granulométrico:

- Gravos
- Arenas
- Limos
- Arcillas

Hay dos sistemas de clasificación utilizados a nivel internacional: el unificado y el AASHTO. Los siguientes son los límites de tamaño de los granos para la clasificación de suelos según cada uno de los sistemas mencionados:

*Tabla 1*

Sistema de clasificación	Tamaño del grano (mm)	Tipo de suelo
UNIFICADO	75 mm a 4.75 mm	Grava
	4.75 mm a 0.075 mm	Arena
	< 0.075 mm	Limo y arcilla (finos)
AASHTO	75 mm a 2 mm	Grava
	2 mm a 0.05 mm	Arena
	0.05 mm a 0.002 mm	Limo
	< 0.002 mm	Arcilla

**2. Plasticidad.** La plasticidad del suelo resulta de la acción en el suelo de dos fuerzas: la cohesión y la tensión superficial. La cohesión en suelos húmedos tiene lugar entre las moléculas de la fase líquida, las cuales actúan como puente entre partículas adyacentes de suelo. La adhesión actúa como una fuerza de atracción molecular entre la fase líquida y la superficie de la fase sólida. La estructura del suelo resulta de la variación entre estas fuerzas dentro de la masa del mismo. Para representar la plasticidad de un suelo numéricamente existe lo que se denomina como el índice de plasticidad.

Suponiendo un tipo de suelo cualquiera con una cantidad excesiva de agua, éste se le puede llamar semilíquido. Si este suelo se seca en forma gradual, sería un material plástico o semisólido, dependiendo de la cantidad del agua. El límite líquido es el porcentaje de contenido de agua con el que este suelo cambiaría del estado líquido al estado plástico. El límite plástico es el contenido de agua con el que este suelo cambia de plástico a semisólido. Estos dos conceptos son expuestos ya que la diferencia entre ambos valores es lo que se conoce como índice de plasticidad. En otras palabras, el índice de plasticidad es un parámetro que se relaciona con la facilidad del manejo del suelo.

**3. Compresibilidad.** Cuando se habla de compresibilidad de un suelo, esto indica el porcentaje de reducción en el volumen del suelo, debido a la pérdida de parte del agua entre sus granos, cuando está sometido a una presión. Los materiales arcillosos tienen mayor compresibilidad que los granulares, por lo que al ser compactadas quedan con menor capilaridad, son por tanto menos adecuadas para construir bases.

La compresibilidad también se puede definir como una deformación que se registra en un suelo producto de la relación variable que experimentan de las fases de que está compuesto. Esta deformación no siempre es proporcional al esfuerzo aplicado, cambiando con el tiempo y con el medio.

**4. Resistencia al cortante.** Esta característica del suelo es muy importante ya que la cimentación siempre se basa en un valor específico con respecto a este factor para su diseño. Si se considera que se aplica una carga gradual sobre una cimentación, el asentamiento que esta tenga sobre el suelo se incrementará. En cierto punto, cuando la carga por unidad de área llegue a un valor específico tendrá lugar una falla repentina en el suelo que soporta a la cimentación y la zona de falla en el suelo se extenderá hasta la superficie del terreno. Este valor específico es lo que se conoce como carga última de la cimentación. Cuando este tipo de falla repentina tiene lugar en el suelo, se le conoce como falla por corte general.

Aquí también entra en juego el concepto de valor soporte del suelo, el cual es el valor que indica cuánta carga por unidad de área puede el suelo soportar antes de que se produzca la falla de corte. Este valor soporte del suelo es la característica que se mencionaba al principio de este apartado, ya que, como veremos más adelante, es un dato sumamente importante para el diseño de estas cimentaciones en el programa SAFE.

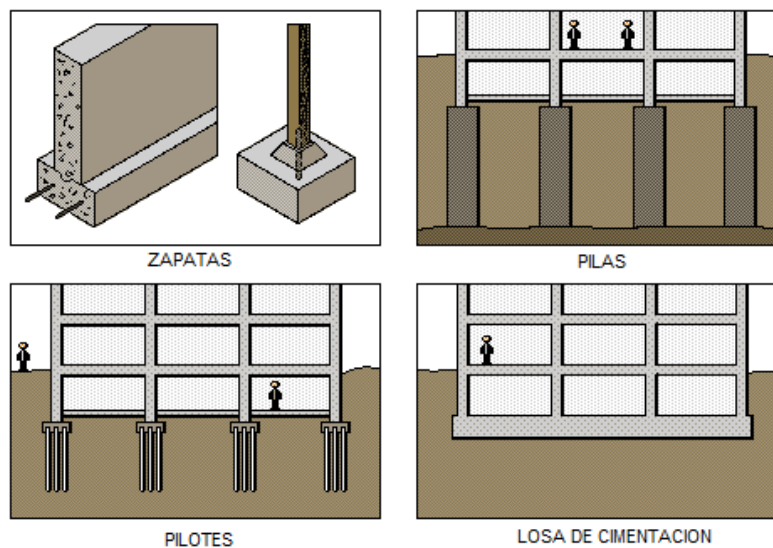
## C. Tipos de cimentaciones

Cuando se trata de diseño de cimentaciones, el ingeniero debe mezclar conceptos de mecánica de suelos, ingeniería geológica y su propio criterio formado por experiencia práctica en el campo. Se podría decir que el diseño de cimentaciones es, hasta cierto punto, un arte ya que combina muchos conceptos y se juega mucho con medidas y criterios. Nunca hay una única solución cuando se trata de diseño de cimentaciones.

Para determinar qué tipo de cimentación se podría hacer en una obra específica se debe considerar la carga de la estructura que se quiere sostener con la cimentación, las condiciones del suelo y subsuelo y el asentamiento tolerable deseado. En términos generales, las cimentaciones de los edificios pueden dividirse en dos grandes categorías:

- Las cimentaciones superficiales; entre las cuales están las zapatas aisladas, las zapatas combinadas, los cimientos corridos y las losas de cimentación.
- Las cimentaciones profundas; las cuales tienen un funcionamiento diferente a las superficiales y son algo complejas debido a que no son la primera opción cuando se trata de diseño. Estas cimentaciones se usan más en situaciones donde las capas superiores del suelo tienen una baja capacidad de soporte o cuando el uso de cimentaciones superficiales podría causar daño o inestabilidad a la estructura que se estará sosteniendo. En esta categoría entran los pilotes y las pilas, entre otros.

Figura 1



**1. Cimentaciones superficiales.** Cuando se diseña una cimentación superficial se está buscando que se cumplan básicamente dos condiciones:

- Que la cimentación sea segura contra una falla por corte general del suelo que la soporta

- Que la cimentación no experimente un desplazamiento excesivo o, en otras palabras, un asentamiento excesivo.

Las cimentaciones superficiales están compuestas por diversos tipos de cimientos aunque similares hasta cierto punto. Las siguientes son las principales y más utilizadas cimentaciones de esta categoría:

**a. Zapata aislada.** Ésta es la cimentación más común y más utilizada en las obras. Su análisis es el más sencillo de todas las cimentaciones. Cabe destacar que en este tipo de cimentación superficial también se puede subdividir en otros dos grandes grupos: las concéntricas y las no concéntricas. Lo que separa estos dos grupos es la localización de donde estará cargando la zapata la carga puntual que viene de la columna o muro de la estructura que se está sosteniendo.

Las concéntricas, como lo dice el nombre, tienen esta carga aplicada en el centro, mientras que las no concéntricas lo cargan en otro punto que no es el centro. Por lo general, este tipo de zapatas son cuadradas ya que es mucho más fácil su diseño, análisis y construcción. Sin embargo, puede darse el caso de que sean rectangulares debido a problemas de límites de terrenos, factores de carga, etc. Una característica muy importante de este tipo de zapatas es que sólo están soportando una sola carga no más de eso.

**b. Zapata combinada.** Este tipo de cimentación es un poco más compleja que la zapata aislada aún cuando tiene la misma base y concepto. La zapata combinada, por lo general, no es cuadrada ya que siempre está cargando dos o más cargas puntuales de la estructura.

Es muy común que este tipo de cimientos nazca de la unión de dos o más zapatas aisladas. Es decir, a veces cuando un pilar no puede apoyarse en el centro de la zapata, sino excéntricamente sobre la misma o cuando se trata de un pilar perimetral con grandes momentos de flexión, la presión del terreno puede ser insuficiente para prevenir el vuelco del pilar y su cimentación. Una forma común de resolverlo es uniendo o combinando la zapata aislada de este pilar con la de otro de tal manera que sea posible equilibrar adecuadamente la cimentación.

**c. Cimiento corrido.** El cimiento corrido es una cimentación especial ya que, como el nombre lo indica, es un tipo de zapata corrida en una determinada longitud sobre el suelo. Por lo general, este tipo de cimentación se utiliza para cargar que no sean muy grandes ya casi siempre son de un ancho no muy grande. Es claro, sin embargo, que cabe la posibilidad de que se pueda diseñar un cimiento corrido de dimensiones mucho más grandes pero en el mundo práctico se ve muy poco.

**d. Losas de cimentación.** La losa de cimentación es una zapata combinada que puede cubrir el área entera bajo una estructura que soporte varias columnas y muros. Las losas de cimentación se prefieren a veces en suelos que tienen poca capacidad de carga, pero que tienen que soportar cargas grandes de columnas o muros. Bajo ciertas

circunstancias, las zapatas aisladas tendrían que cubrir más de la mitad del área de construcción, y entonces las losas de cimentación podrían ser más económicas.

**2. Cimentaciones profundas.** Los cimientos profundos se extienden a varios metros bajo el edificio, como se expuso con anterioridad. Es por esto que su funcionamiento es diferente a las superficiales. Las cimentaciones profundas se emplean cuando los estratos de suelo o de roca situados inmediatamente debajo de la estructura no son capaces de soportar la carga, con la adecuada seguridad o con un asentamiento tolerable. El hecho de llevar la cimentación hasta el primer estrato resistente que se encuentre no es suficiente, aunque ésta sea la decisión que a menudo se toma, pues la cimentación profunda debe analizarse de la misma manera que la que es poco profunda. Como la cimentación superficial, también la cimentación profunda, incluyendo los estratos de suelo o roca situados debajo, deben ofrecer seguridad y no asentarse excesivamente por efecto de las cargas de la estructura que soportan. Los dos grandes grupos que se usan de este tipo de cimentaciones son los pilotes y las pilas.

**a. Pilotes.** Los pilotes se emplean, sobre todo, en zonas en las que las condiciones del suelo próximo a la superficie no son buenas. Pueden ser de concreto, acero o madera y se colocan agrupados en pilares. Los pilotes se introducen a determinada profundidad dentro de la roca o suelo y cada pilar se cubre con una capa de concreto armado. Un pilote puede soportar su carga tanto en su base como en cualquier parte de su estructura por el rozamiento superficial. La cantidad de pilotes que debe incluirse en cada pilar dependerá de la carga de la estructura y la capacidad de soporte de cada pilote de la columna. Los pilotes de madera o vigas son troncos de árboles, con lo que su longitud resulta limitada. En cambio, un pilote de concreto puede tener una altura aceptable y se puede introducir por debajo del nivel freático. En edificios muy pesados o muy altos se emplean pilotes de acero, llamados por su forma pilotes en H, que se introducen en la roca, a menudo hasta 30 m de profundidad. Con estos pilotes se alcanza más fácilmente una mayor profundidad que con los pilotes de concreto o madera. Aunque los pilotes de acero son mucho más caros, su costo está justificado en los grandes edificios, que suelen representar una importante inversión financiera.

**b. Pilas.** Las pilas de cimentación son pilotes fundidos en el sitio y que puede o no tener pedestal. En términos generales es un agujero barrenado o excavado hasta el fondo de la cimentación de una estructura que luego se rellena con concreto. Dependiendo de las condiciones del suelo se usan además para prevenir que el suelo alrededor del agujero se desplome durante la construcción. El diámetro de la pila generalmente es lo suficientemente grande para que una persona pueda entrar a inspeccionar. Los mecanismos de falla que se presentan en una cimentación a base de pilas de cimentación son los mismos que los correspondientes a las cimentaciones a base de pilotes de punta.

Normalmente el asentamiento de este tipo de cimentaciones es muy pequeño; sin embargo, debe tenerse especial cuidado durante la construcción de las pilas, en especial durante la etapa de excavación y abatimiento de los niveles piezométricos. Si durante la etapa constructiva se presentan derrumbes durante la excavación, la pila de cimentación se puede apoyar en suelo compresible y experimentar asentamientos importantes.

## D. Introducción al diseño de cimentaciones

**1. Pre diseño.** Antes que se pueda entrar a usar el programa se necesita tener alguna base de lo que será la futura cimentación. Lo que se necesita en este momento es calcular una primera aproximación de los cimientos. Luego que ya se tenga esto se pasará al programa en sí para ingresar la aproximación y optimizar el diseño con la ayuda del programa. Este primer paso es importante; porque entre más precisa sea la primera aproximación, mejores serán los resultados en SAFE y será mucho más fácil llegar a una cimentación apropiada.

Previo a definir las propiedades y demás temas técnicos en el programa es muy importante contar con una primera aproximación de lo que será la cimentación. Ésta lo que pretende es darle al diseñador una idea de por dónde puede empezar con la cimentación. Es muy raro y casi imposible que a la primera aproximación la cimentación salga correcta y apropiada para lo que se pretende. Aun así, es importante tratar de hacerla lo más exacto que se pueda para que el punto de principio del diseño sea uno que no necesite demasiados cambios significativos.

Hay varios métodos para calcular esta primera aproximación pero debido a que este trabajo pretende facilitar el diseño de una cimentación sea usarán criterios del marco teórico y para el cálculo de ellos se usará EXCEL ya que, como la cimentación es un proceso de prueba y error, es imperativo tener un programa que re-calcule los resultados de forma rápida y eficiente.

Este trabajo se enfoca en las cimentaciones superficiales ya que son las más utilizadas, es por esto que se asumirá en este trabajo este tipo de cimentación para la estructura ejemplo. Sabiendo esto, habrá zapatas aisladas, combinadas, losas de cimentación y/o cimientos corridos.

Para calcular una aproximación adecuada del diseño es necesario contar con algunos datos. Ahora, para la recolección de datos, hay dos formas de hacerlo: manual o importada de un programa de análisis estructural. La forma manual consiste en calcular los datos necesarios con base a las cargas y fuerzas a las que está sometida la estructura a mano. Pero debido a que este trabajo se enfoca en la eficiencia para el diseño, se estará usando la importación de datos de un programa de análisis estructural. Hay varios programas que analizan estructuras, pero los más conocidos y los más utilizados son SAP y ETABS. Todo el proceso de cómo importar datos se indicara más adelante.

Lo importante ahora es conocer qué datos se necesitan y qué hacer con ellos para tener una buena base de comienzo para el diseño. Para cada punto en donde se requiera una cimentación se necesitan los siguientes datos:

- La fuerza neta transmitida de la estructura en ese punto (ya sea de columna, muro, etc.)
- El momento en X creado en ese mismo punto por la fuerza neta
- El momento en Y creado en ese mismo punto por la fuerza neta

Estos datos se deben recolectar teniendo en cuenta dos combinaciones de cargas para las que está sometida la estructura: la de servicio y la, que de ahora en adelante se llamará, carga última. Como es de conocimiento en la ingeniería, una estructura que está sometida a cargas experimenta diferentes tipos de combinaciones entre ellas. Para cimentación es exactamente lo mismo y las combinaciones que se tomarán en cuenta para el diseño son las siguientes:

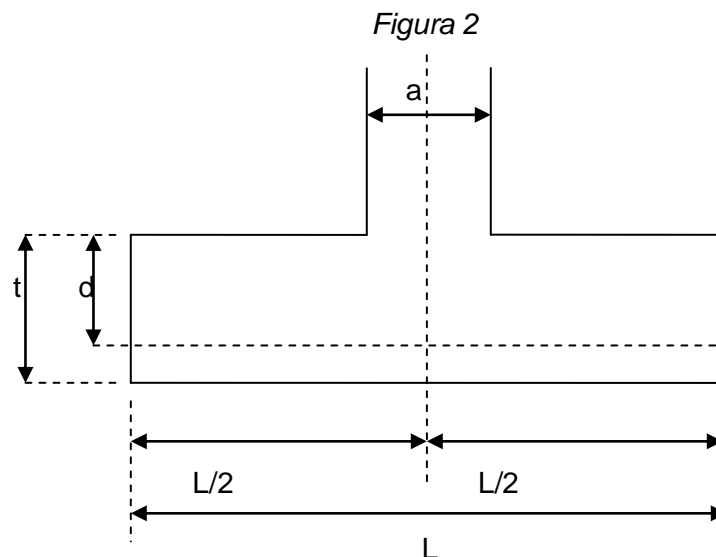
Tabla 2

Combinación	Factores
Combinación 1	1.4 PP + 1.4 CV
Combinación 2	1.2 PP + 1.2 CM + 1.6 CV
Combinación 3	1.2 PP + 1.2 CM + CV + SX
Combinación 4	1.2 PP + 1.2 CM + CV - SX
Combinación 5	1.2 PP + 1.2 CM + CV + SY
Combinación 6	1.2 PP + 1.2 CM + CV - SY
Servicio	PP + CMS + 0.5 CV

Donde PP = Peso propio; CM = Carga Muerta; CV = Carga Viva;  
SX = Sismo en X; SY = Sismo en Y

Además de estos datos, también es necesario tener el Valor Soporte Neto del suelo en el cual se está cimentando. Este dato es de laboratorio y puede ser determinado solamente por el estudio de suelos que se haga en el lugar del proyecto. Cabe resaltar que, por lo general, el dato que se obtiene en este estudio no es el Valor Soporte Neto sino la bruta. Para calcular el Valor Soporte Neto se le debe restar a este valor el peso propio del suelo y la zapata.

Estos datos son suficientes para determinar un buen comienzo en el diseño de nuestra cimentación. Tomando un solo punto de cimentación y considerando el siguiente diagrama con los respectivos datos:



Donde:

$L$  = Longitud de un lado de la zapata = 3.50 m

$a$  = Ancho de la columna o muro que transmite la carga a la zapata + 10 cms (se agregan para que se tenga un dato que tome en cuenta el pedestal de la columna, aunque queda a criterio del diseñador si lo toma en cuenta)

$a = 0.80 \text{ m} + 0.10 \text{ m} = 0.90 \text{ m}$

$d$  = Peralte de zapata sin recubrimiento

$t$  = Peralte de zapata con recubrimiento

y teniendo los siguientes datos para nuestra zapata:

$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  ;  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  ; Peso Propio de suelo y zapata =  $psz = 4 \text{ ton/m}^2$

A zapata =  $L \times L = 3.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 12.25 \text{ m}^2$

Peso propio cimiento =  $ppc = A \times psz = 12.25 \text{ m}^2 \times 4 \text{ ton/m}^2 = 49 \text{ ton}$

Módulo sección =  $mod = \frac{A \times L}{6} = \frac{12.25 \text{ m}^2 \times 3.5 \text{ m}}{6} = 7.15 \text{ m}^3$

Longitud efectiva =  $L_{ef} = \frac{L}{2} - \frac{a}{2} - d$

- De carga de servicio:
  - $F = 497.13 \text{ ton}$
  - $M_x = 0.222 \text{ ton} \cdot \text{m}$
  - $M_y = -0.53 \text{ ton} \cdot \text{m}$
- De carga última:
  - $F = 811.79 \text{ ton}$
  - $M_x = 0.423 \text{ ton} \cdot \text{m}$
  - $M_y = -0.556 \text{ ton} \cdot \text{m}$
- Tomando un suelo con valor soporte bruto de  $45 \text{ ton/m}^2$

**a. Dimensionamiento de cimentaciones.** Para determinar las dimensiones de la zapata a utilizar en este punto en específico, lo que se hace es: utilizando la fuerza neta de la carga de servicio se divide ese valor entre el Valor Soporte Neto del suelo para distribuir esa carga en la superficie del suelo. El Valor Soporte Neto es simplemente el Valor Soporte bruto del estudio de suelos menos el Peso Propio del suelo y la zapata ( $psz$ ). Entonces, que da una ecuación así:

$$VSN = \text{Valor Soporte bruto} - psz \quad (\text{ecuación 1})$$

$$A = \frac{F_{servicio}}{VSN} \quad (\text{ecuación 2})$$

$$\frac{497.13(\text{ton})}{(45 - 4)(\text{ton} / \text{m}^2)} = 12.13\text{m}^2,$$

Este es el área de la zapata a utilizar en este punto. Como se busca no complicar mucho el diseño desde el principio, se asume que la zapata será cuadrada y concéntrica, es por esto que se le debe sacar la raíz cuadrada a nuestro resultado para que se determine el largo de los lados de la zapata.

$$L \times L = \sqrt{A} \quad (\text{ecuación 3})$$

$$\sqrt{12.13\text{m}^2} = 3.48\text{m},$$

Ese será el valor del largo de los lados de la zapata. Sin embargo, es muy recomendable utilizar zapatas de lados con medidas en múltiplos de 0.25 m ya que de esta forma cuando se agrupen las zapatas en distintos tipos se espera que sea algo más apropiado y no haya demasiados tipos, además con un número redondo así es mucho más fácil construir y de darle seguimiento en la obra. La zapata entonces será de 3.50 m x 3.50 m en este punto en específico.

**b. Peralte de cimentaciones.** Ahora se debe escoger un peralte para la zapata. Este cálculo es un poco más largo que el anterior, pero es uno de los aspectos más importantes del cimiento ya que de escoger un peralte muy pequeño se puede causar fallas o volteos en la cimentación y se podría dar un colapso de todo el sistema a la hora de resistir cargas externas como lo es el sismo o el viento. Un peralte se rige por dos conceptos: el punzonamiento y el corte. De ambos conceptos se puede decir que el punzonamiento tiene un grado de importancia más elevado que el corte ya que, por lo general, si el cimiento chequea para punzonamiento chequea para corte, situación que no siempre se da en un caso viceversa. Aun así, es importante revisar la zapata para ambas condiciones así esta idea será la base para este trabajo.

Para calcular el peralte de zapata primero se debe determinar unos datos que serán útiles en ambos chequeos. A continuación se presenta toda la información que se necesita y que es lo que representa cada uno de estos datos.

**1) Chequeo por punzonamiento.** El proceso de chequeo por punzonamiento es el que se usará para determinar el peralte. Este chequeo puede hacerse por prueba y error o dejando  $d$  como una incógnita y despejando al final para obtener un valor mínimo. Debido a que el segundo procedimiento es un poco complicado usaremos el método de prueba y error ya que, una vez familiarizados con el procedimiento, se debe de realizar una hoja electrónica en EXCEL para re calcular los valores, pero aun así hay que tener claro primero de donde salen los valores que se estarán metiendo en nuestra hoja electrónica.

El chequeo por punzonamiento se rige en la idea de que  $V_p > V_{pu}$ . Es decir que el punzonamiento experimentado sea menor al punzonamiento último que pueda resistir la cimentación. Asumiendo un peralte inicial de 60 cms, para cada una de los parámetros de punzonamiento tenemos:

$$V_p = 0.75 \times 1.1 \times \sqrt{f'c} \times (2a + 2d) \times 2d$$

$$V_p = 0.75 \times 1.1 \times \sqrt{280 \frac{kg}{cm^2}} \times [2(90cm) + 2(60cm)] \times 2d \quad (\text{ecuación 5})$$

$$V_p = 496,976.04kg \times \frac{1ton}{1000kg} = 496.97ton$$

$$V_{pu} = ED[A - (a + d)^2] \quad (\text{ecuación 6})$$

Esto es porque es una columna cuadrada, si fuera una columna rectangular la fórmula quedaría:

$V_{pu} = ED[A - (a + d)(d + b)]$ , donde  $a$  sería el lado más grande de la columna y  $b$  sería el pequeño.

Donde  $ED$  = Esfuerzo de diseño y se debe escoger el mayor esfuerzo con la siguiente ecuación, utilizando los datos de la carga de servicio y los de la combinación 2:

$$ED = \frac{(F + ppc)}{A} - \frac{M}{\text{mod}} \quad (\text{ecuación 8})$$

$$ED_{servicio} = \frac{(497.13ton + 49ton)}{12.25m^2} - \frac{0.53ton * m}{7.15m^3}$$

$$ED_{servicio} = 44.51 \frac{ton}{m^2}$$

$$ED_{combinacion2} = \frac{(811.79ton + 49ton)}{12.25m^2} - \frac{0.556ton * m}{7.15m^3}$$

$$ED_{combinacion2} = 70.19 \frac{ton}{m^2}$$

El esfuerzo mayor resultó ser de la combinación 2 así que ese será el que utilizaremos para la ecuación de  $V_p$ :

$$V_{pu} = 70.19 \frac{ton}{m^2} [12.25m^2 - (0.9m + 0.6m)^2]$$

$$V_{pu} = 701.9ton$$

Regresando a la ecuación 4, se tiene que:

$$V_p > V_{pu}$$

496.97 ton > 701.9 ton; entonces se puede concluir que no se cumple la condición por lo cual se debe buscar un peralte más grande. Para tener una idea de qué tan alejado

o cercano se está del número se puede hacer una relación directa entre los factores de esta manera:  $496.97/701.9 = 0.71$ . Se debe procurar llegar a una relación de 1 para tener el mínimo valor para el peralte. En el ejemplo que veremos al final se darán las instrucciones para como realizar una hoja electrónica en EXCEL para poder re calcular estos datos. Si re calculamos el valor llegaremos a la conclusión que el peralte mínimo es de 73 cms. El espero trataremos de dejarlo en múltiplos de 5cms para que sea un numero mas redondo.

**2) Chequeo por corte.** Como se había dicho, este chequeo se hará para estar seguros de que sí está correcto el peralte aún cuando haya una alta probabilidad de que sí lo esté. El corte tiene un principio parecido al de punzonamiento y esto es que se basa en que  $V_c > V_u$ , o que la capacidad de cortante sea mayor al cortante último. Para calcular cada uno de esos valores se tienen las siguientes fórmulas:

$$V_c > V_u \text{ (ecuación 9)}$$

$$V_u = 0.53 \times \sqrt{f'c} \times 0.75 \times d \text{ (ecuación 10)}$$

$$V_c = L_{ef} \times W \text{ (ecuación 11)}$$

Para nuestra zapata ejemplo se tiene:

$$V_c = 0.53 \times \sqrt{f'c} \times 0.75 \times d$$

$$V_c = 0.53 \times \sqrt{280 \frac{kg}{cm^2}} \times 0.75 \times 75cm \times 100$$

$$V_c = 49885.85kg \times \frac{1ton}{1000kg} = 49.88ton$$

Regresando a la ecuación 11:

$$L_{ef} = \frac{L}{2} - \frac{a}{2} - d = \frac{3.50m}{2} - \frac{0.90m}{2} - 0.75m = 0.55m$$

Calcular W es parecido al esfuerzo de diseño del punzonamiento. Se debe de escoger el valor mayor de la siguiente ecuación utilizando los datos de la combinación 2 y la de servicio:

$$ED_{servicio} = \left[ \frac{(497.13ton + 49ton)}{12.25m^2} + \frac{0.53ton * m}{7.15m^3} \right] \times 0.75m$$

$$ED_{servicio} = 44.66 \frac{ton}{m^2} \times 0.75m = 33.49 \frac{ton}{m}$$

$$ED_{última} = \left[ \frac{(811.79ton + 49ton)}{12.25m^2} + \frac{0.556ton * m}{7.15m^3} \right] \times 0.75m$$

$$ED_{última} = 70.35 \frac{ton}{m^2} \times 0.75m = 52.76 \frac{ton}{m}$$

Nuevamente el más crítico sigue siendo la combinación 2, ahora, regresando a la ecuación de  $V_c$ , se tiene que:

$$V_u = L_{ef} \times W = 0.55m \times 52.76 \frac{ton}{m} = 29.02ton$$

Nuevamente el más crítico sigue siendo la carga última. Regresando a la ecuación 10, se tiene que:

$$49.88 \text{ ton} > 29.02 \text{ ton}$$

La conclusión es que si chequea por corte y por punzonamiento por lo tanto se tiene que la  $d = 0.75 \text{ m}$ , pero como lo que interesa es el peralte total, es decir  $t$ , se debe agregar el recubrimiento.

Un recubrimiento típico para zapatas en cimentación es 10 cms así que se usará este número como estándar para recubrimientos. Este aspecto no es algo inamovible, cada diseñador puede utilizar el recubrimiento que considere correcto para su diseño.

Entonces se tiene que la zapata ejemplo es de  $3.50 \times 3.50 \text{ m}$  de dimensiones y con un peralte de  $0.85 \text{ m}$ . Todo este procedimiento debe seguirse con todos los puntos en donde se necesite una cimentación. Un dato que es muy relevante en este apartado es que no podemos tener una zapata aislada de más de  $6 \times 6 \text{ m}$ , ya que más grande de este tamaño puede resultar en fallas debido a fuerzas y esfuerzos secundarios en las cimentaciones.

**c. Otras alternativas de cimentación.** Todo el procedimiento que se llevó a cabo en el apartado anterior era considerando que todas las zapatas serían aisladas, cuadradas y concéntricas, el cual pocas veces es el caso. El objetivo del procedimiento anterior fue para dar criterios de qué conceptos son los que rigen el diseño de zapatas y para esto se escogió el tipo de cimentación más sencillas y básica que hay en el diseño. Pero es posible que después de ingresar estas zapatas al modelo de SAFE se necesiten combinar zapatas o usar cimiento corrido o losas de cimentación.

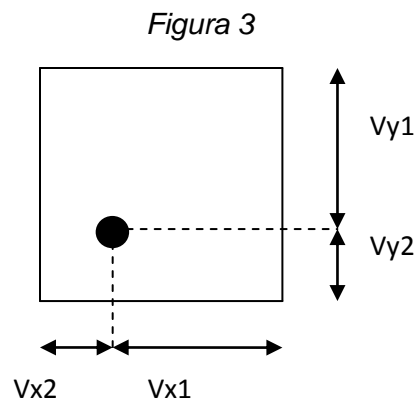
En este apartado lo que se hará es dar las pautas para los chequeos de otros tipos de cimentaciones y qué parámetros cambian o no en el procedimiento del apartado anterior. Estos son los casos más comunes en otros tipos de cimentación:

- Zapata aislada cuadrada no concéntrica
- Zapata aislada rectangular concéntrica
- Zapata aislada rectangular no concéntrica
- Zapata combinada
- Cimiento corrido
- Losa de cimentación

El dimensionamiento de estos cimientos se hará de acuerdo al dimensionamiento de primera aproximación y se ingresarán nuevas dimensiones en SAFE para ir probar cuál es la mejor dimensión para cada lado de la zapata. Lo que sí es un punto débil de

SAFE es el chequeo de peralte ya que no es muy explícito o que tome en cuenta muchos detalles de conceptos como punzonamiento o corte para el diseño. Es por esto que lo que más interesara chequear a mano de estos otros tipos de cimentación será su peralte. Es por esto que se dejará el programa SAFE encargado del dimensionamiento correcto.

Básicamente, los conceptos de los chequeos son iguales con la diferencia que en cualquiera de estos otros tipos de cimentación la distancia que haya de la carga o cargas aplicadas hacia las caras de la cimentación no sean iguales para todos los sentidos. Es por esto que se tomará como el lado principal a la mayor distancia que haya entre una carga y un lado de la cimentación. A esta distancia se le llama voladizo. Algo sumamente importante, cuando se trata de voladizo, es el máximo que se recomienda no exceder y es que no sea mayor de 3.50 m. A continuación se tienen algunos ejemplos para graficar este concepto y apreciar con mayor claridad los voladizos de los que se habla:



En la figura 3, se puede ver que los voladizos  $V_{y1}$  y  $V_{x1}$  son los más críticos en cada una de las direcciones de la cimentación que podría ser una zapata cuadrada no concéntrica o una zapata rectangular. Al final sólo se utilizará el voladizo más grande entre ambas direcciones así que habría que determinar si  $V_{y1}$  es mayor a  $V_{x1}$  o al revés. Teniendo ya en cuenta cómo determinar voladizos críticos en una cimentación no concéntrica, debemos calcular el peralte que debería tener nuestro cimiento. El procedimiento es igual que en el primer apartado para zapatas cuadradas concéntricas con las siguientes diferencias:

- a. Chequeo por punzonamiento:  $V_p > V_{pu}$

$$V_p = 0.75 \times 1.1 \times \sqrt{f'c} \times (2a + 2d) \times 2d \quad (\text{ecuación 5})$$

$$V_{pu} = ED[A - (a + d)(d + b)] \quad (\text{ecuación 7})$$

$$ED_{servicio} = \frac{(F_{servicio} + ppc)}{A} - \frac{M}{\text{mod}} \quad (\text{ecuación 8})$$

$$ED_{comb2} = \frac{(F_{comb2} + ppc)}{A} - \frac{M}{mod} \quad (\text{ecuación 8})$$

Con la diferencia que el módulo se calcula de diferente forma:

$$mod = \frac{A \times L}{6}, \text{ donde } L \text{ es el voladizo más crítico de ambas direcciones}$$

b. Chequeo por corte:  $V_c > V_u$

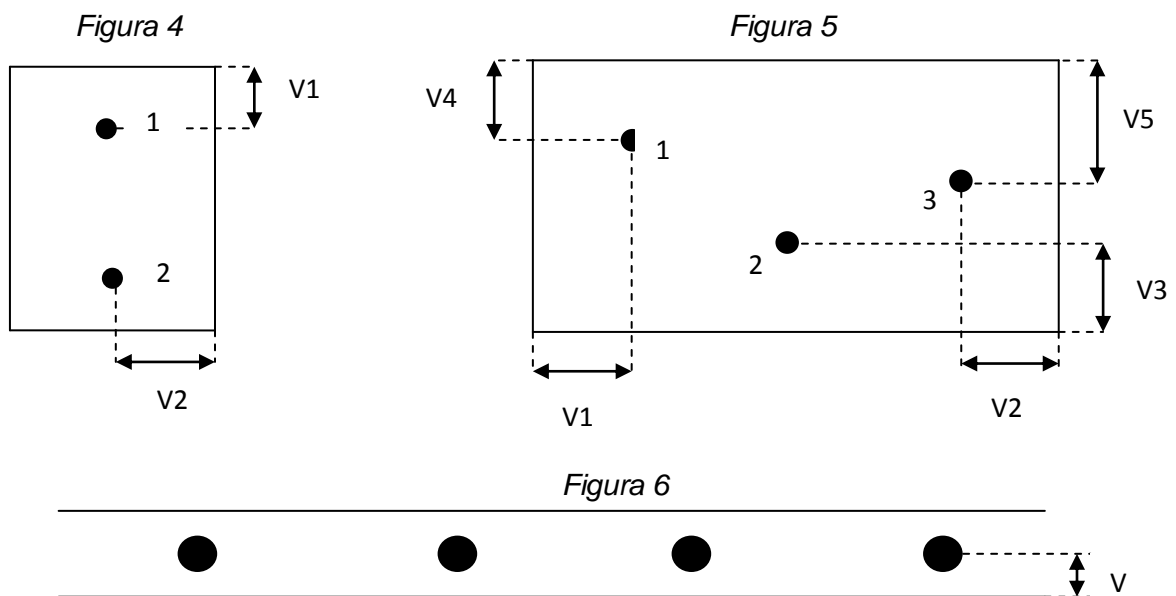
$$V_u = 0.53 \times \sqrt{f'c} \times 0.75 \times d \quad (\text{ecuación 10})$$

$V_c = L_{ef} \times W$ ,  $L_{ef}$  debe ser del voladizo más crítico de ambas direcciones

$$ED_{servicio} = \left[ \frac{(F_{servicio} + ppc)}{A} + \frac{M_{servicio}}{mod} \right] \times d$$

$$ED_{última} = \left[ \frac{(F_{comb2} + ppc)}{A} + \frac{M_{comb2}}{mod} \right] \times d$$

Este procedimiento es el mismo para los otros tipos de cimentaciones, teniendo bien identificados los voladizos críticos en cada caso. A continuación se ilustran un par de ejemplos para que se tengan como base para criterio de voladizos en diferentes situaciones de cimentación:



Los voladizos en cimentaciones combinadas o losas de cimentación siguen un patrón un poco distinto al de una cimentación con una sola carga, aunque tienen el mismo concepto base. Para determinar el voladizo que corresponde utilizar para el cálculo del peralte, lo que se debe hacer es determinar los voladizos de los puntos de carga que más cercano esté a una superficie de la cimentación. Ya que a las otras caras de la cimentación habrá otra carga que esté haciendo mayor efecto en ese lado de la cimentación. Es decir, se estará chequeando los voladizos de las cargas que estén más cercanas a una superficie del cimientto. Sean cuales sean las cargas que haya en medio del cimientto no se toman en cuenta para este cálculo a menos que sea una carga demasiado grande que requiera atención especial, o entras palabras, un peralte mayor en una sección del cimientto.

En la figura 4 se puede apreciar que el voladizo que se debe de tener en cuenta para el peralte debería ser el V2 ya que de los dos voladizos que se tiene es el más crítico. Siempre se debe tomar el voladizo más crítico de ambos sentidos.

Ahora en la figura 5 también hay varios voladizos; pero hay que usar el criterio de los chequeos para no tener que revisarlos todos. Para cada lado de la cimentación debe haber al menos un voladizo que chequear así que se tomará, para empezar, los voladizos para la cara superior. Acá se tendrá que chequear el V4 y V5 ya que ambos son de puntos que están en cercanos a un lado de la cimentación; pero en lados opuestos. El punto 2 no tiene ningún voladizo crítico en esta dirección ya que el punto 1 y 3 tendría un efecto mayor en las respectivas caras en donde se indican sus voladizos. No siempre se tienen dos o más puntos qué chequear en una cimentación para un lado, puede haber sólo uno como lo es el caso del punto 2. No tiene voladizos que sean de chequear en el sentido X; pero sí tiene uno en Y llamado V3 y es el que se usará para chequear de ese lado. Al tener todos los voladizos claves en cada cara se debe determinar cuál es el de mayor valor y usar ese si se quisiera una cimentación con peralte constante en todos lados. Ahora, si el diseñador por alguna razón quisiera ser más detallista en su diseño podría diseñarse esta cimentación en dos mitades o para su peralte. Sea como sea el peralte total o peralte por sección es decidido por el diseñador.

La figura 6 es para apreciar cómo sería la planta típica de un cimientto corrido. Por lo general, los cimienttos corridos tienen voladizos iguales con respecto al punto de cimientto, así que es mucho más sencillo asignar un voladizo crítico para este tipo de cimentación. El valor que se toma está señalado como V.

## **E. Introducción a SAFE**

El programa SAFE tiene como objetivo principal simular los esfuerzos de las cargas que transmite la estructura a cimentar y demostrar cómo afectarían estas cargas a las cimentaciones diseñadas por el usuario para determinar si es o no apropiado el diseño. Obviamente es una herramienta muy útil para el proceso de prueba y error ya que es el usuario el que va cambiando y perfeccionando el diseño según su propio criterio.

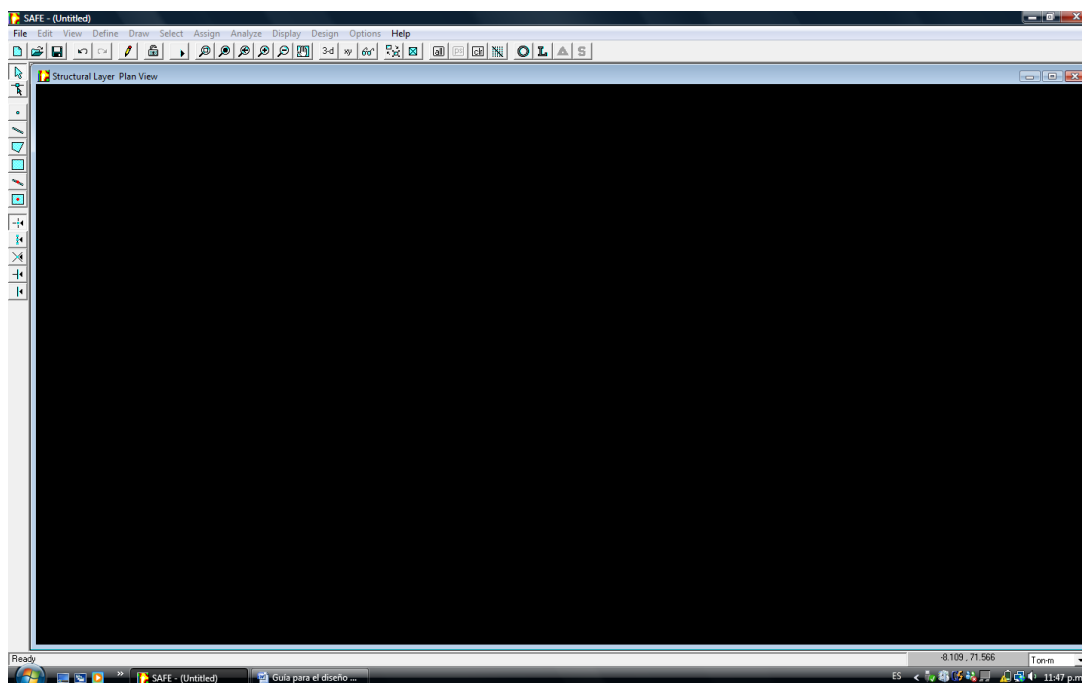
**1. Familiarización con las herramientas de SAFE.** Al entrar al programa se puede notar que hay diferentes tipos de menús en la barra superior. El siguiente es un breve resumen sobre cuáles son estos menús y qué contiene cada uno:

*Tabla 3*

<b>Menú</b>	<b>Descripción</b>
File	Este menú se concentra en todo lo que tenga que ver con el archivo del modelo que se está creando. Se puede seleccionar desde empezar un nuevo modelo, guardar el archivo, importar datos desde otro programa, impresiones de la pantalla, comentarios del usuario sobre su modelo, etc.
Edit	Aspectos generales sobre el modelo, ya siendo los ejes, hacer y deshacer cambios, replicar objetos, mover objetos y funciones básicas como los son copiar, pegar, cortar, borrar, etc.
View	Es para vistas del modelo. Aprender el modelo en 2D o en 3D, acercamientos (zoom), refrescar la ventana, selección de layers.
Define	Un menú muy importante. Acá se definen todas las propiedades de los objetos que se estarán utilizando en el modelo como propiedades de cimientos o vigas de cimentación, soportes del suelo y sus propiedades, definir casos de cargas estáticas, las combinaciones de estas cargas, grupos para organizar la cimentación.
Draw	Utilizado para el puro dibujo. Darle forma a objetos, dibujar puntos, líneas, áreas, etc.
Select	Para seleccionar o deseleccionar ya sea objetos o líneas
Assign	Este menú va de la mano con define, ya que después de definir lo que se utilizará se debe asignar. Así que aquí se asignan propiedades a cimientos, vigas, soportes del suelo, cargas, articulaciones, aberturas, grupos, etc.
Analyze	Se ingresan opciones para el análisis de nuestra cimentación y se ejecuta el análisis.
Display	Para apreciar mejor las formas deformadas o no deformadas del modelo, observar cargas asignadas, fuerzas sobre vigas o cimientos, reacciones y tablas de resultados del análisis.
Design	Dar comienzo al diseño del cimiento. Esta opción es más que nada enfocada al refuerzo de nuestros elementos.
Options	Para preferencias como colores, tamaños o cantidades de ventanas, bloquear o no el modelo, etc.
Help	Ayuda para cualquier tipo de dudas con respecto al programa o alguna función en sí.















Cuando se abre el programa SAFE, la página principal tiene el siguiente aspecto, donde se puede apreciar los menús que se mencionaron:

### Pantalla 1















Se aprecia que en el lado izquierdo de la pantalla hay diferentes botones para accesos directos a funciones. A continuación, se da un breve resumen de la descripción de cada botón y su imagen para que sea fácil de localizar:

Tabla 4

Imagen	Descripción	Imagen	Descripción
	Nuevo modelo		Seleccionar todo
	Guardar modelo		Selección previa
	Abrir modelo		Deseleccionar todo
	Bloquear y desbloquear modelo		Selector
	Correr análisis		Dibujar punto
	Rehacer		Dibujar línea
	Deshacer		Dibujar área irregular

Continuación tabla 4

Imagen	Descripción	Imagen	Descripción
	Acercar vista con ventana		Dibujar área rectangular
	Alejar vista totalmente		Localizar puntos
	Acercar vista		Localizar puntos medios y finales
	Alejar vista		Localizar intersecciones
	Vista anterior		Localizar puntos perpendiculares
	Mover vista		Localizar líneas y bordes

El diseñador debe acostumbrarse a utilizar y reconocer estos botones ya que son indispensables para que no se vuelva tedioso el diseño, además que ahorra mucho tiempo y es mucho más sencillo de armar un modelo teniendo en cuenta todas estas herramientas.

## F. Usando SAFE

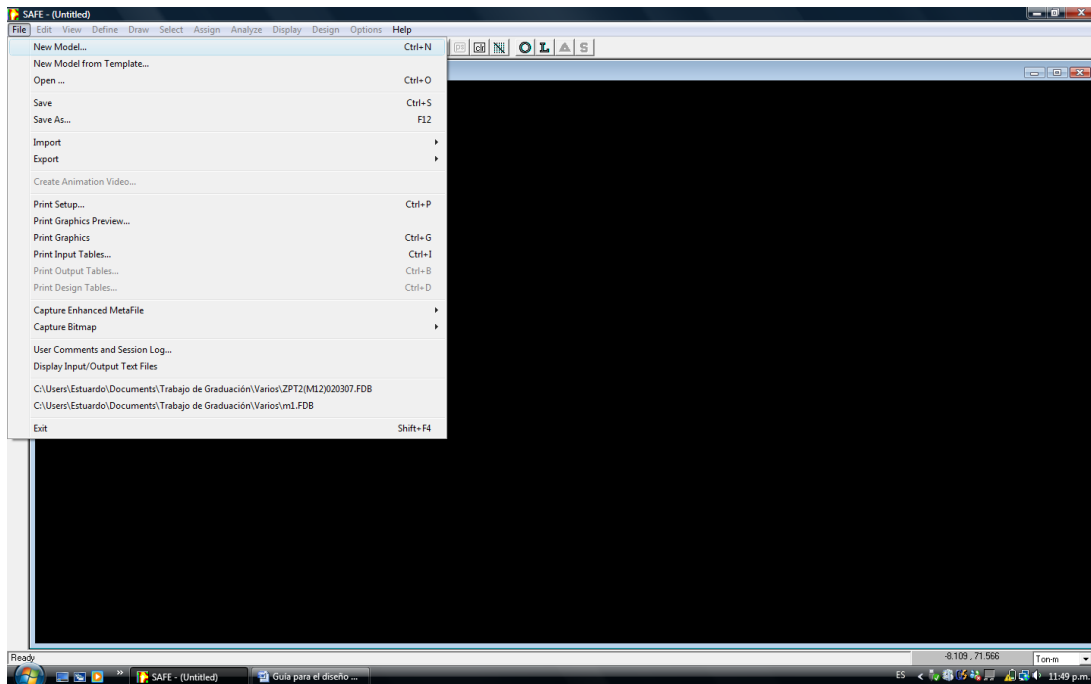
Para que éste sea un procedimiento ordenado y lógico, se mostrará paso a paso para que el lector no se pierda en el proceso de diseño. Es por esto que de ahora en adelante los apartados serán paso enumerados para que sea algo más sistemático y lógico.

**1. PASO 1: Nuevo modelo y dimensionales.** Entrar al programa SAFE y crear un nuevo modelo.

**a.** En la esquina inferior derecha hay una ventana en donde se pueden seleccionar las dimensionales que se usarán como base en todo el diseño. Esto queda a criterio del diseñador que dimensionales utilizar. Una vez seleccionado esto no se puede cambiar durante el diseño después así que se debe asegurar que las medidas seleccionadas son las que el diseñador realmente desea. En este trabajo se usarán las toneladas y los metros como dimensionales estándares.

**b.** Clic en menú FILE y luego en NEW MODEL, o clic en botón de nuevo modelo que mencionamos en la tabla 4.

## Pantalla 2



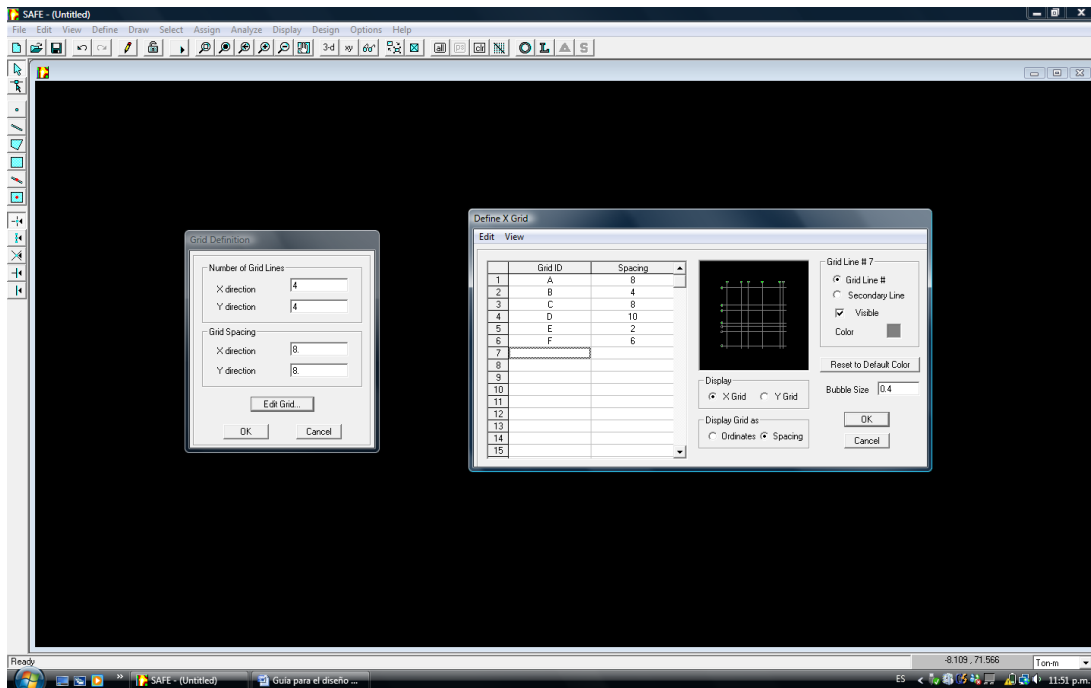
**2. PASO 2: Definir geometría de ejes.** Ahora se necesita definir los ejes de toda la cimentación. Los ejes son el mapa de la cimentación, es decir, son las líneas de trazado para crear el plano en donde se estará trabajando para crear el modelo SAFE. Es importante mencionar que SAFE solo puede trabajar en un plano de una misma altura, en otras palabras, no se pueden crear distintas alturas en la cimentación cuando se está modelando. Sin embargo, mas adelante veremos que si se pueden simular distintas alturas asignando la carga superficial al cimientto o conjunto de cimientos que estén en un distinto nivel que el resto. Para definir los ejes, hay dos métodos: manualmente o importando la información de otro programa:

### a. Procedimiento manual:

1) Al haber seleccionado NEW MODEL, aparecerá una pantalla pequeña que da las pautas para la geometría de ejes. Se puede ingresar el número de ejes en cada dirección y su espaciamiento típico. Ingresar los datos y presionar OK.

2) Si es una geometría que no tiene espaciamientos típicos entre ejes, se selecciona EDIT GRID y aparece una pantalla en donde se deben ingresar los nombres de cada eje en X GRID o eje X y su espaciamiento entre cada eje (nótese que se puede también ingresar el espaciado por medio de ordenadas, es decir espaciamiento acumulado). Al terminar de ingresar los datos se selecciona Y GRID o eje Y y se realiza el mismo procedimiento que con el eje X. Al terminar se presiona OK.

### Pantalla 3



**b. Procedimiento para importar desde ETABS o SAP (programas de análisis estructural):**

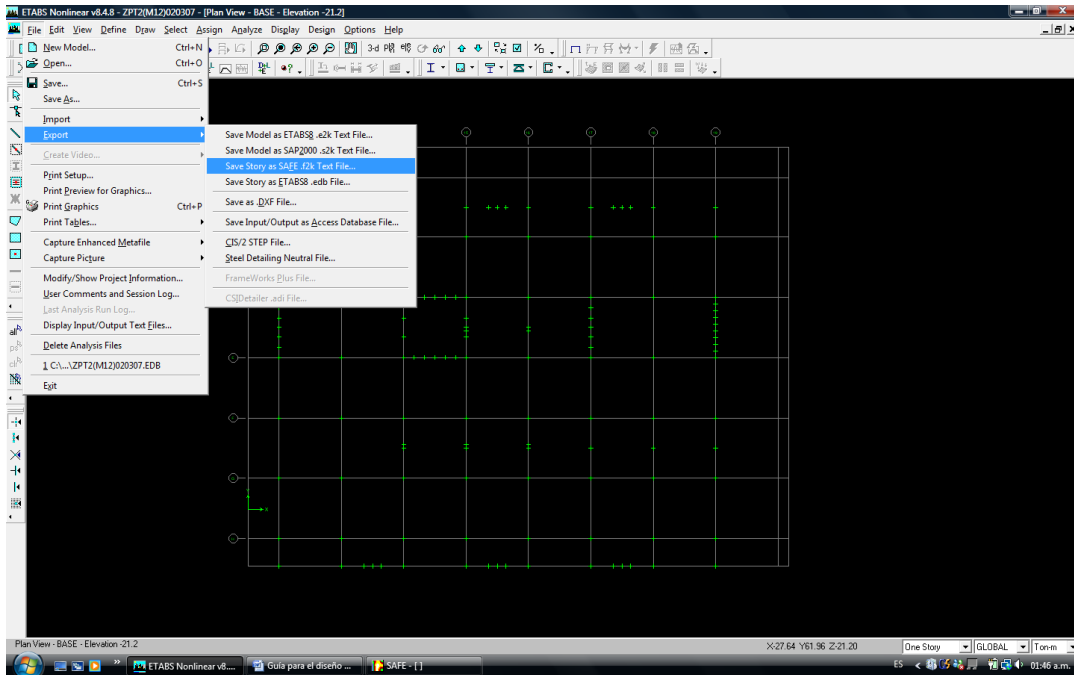
1) En el programa SAP o ETABS, en el menú FILE, luego EXPORT seleccionar Save Story As SAFE.f2k Text File

2) En la ventana que aparece seleccionar el nivel de base o de cimentación, la opción de EXPORT FLOOR LOADS AND LOAD FROM ABOVE, y en SELECT CASES se deben de seleccionar todas las cargas (entiéndase viva, muerta, peso propio y sísmica en cada dirección). Guardar el archivo en alguna carpeta conocida. (NOTA: el programa SAP o ETABS debe de estar analizado para poder realizar este procedimiento correctamente)

3) En el programa SAFE, en el menú FILE → IMPORT seleccionar SAFE v6/V7.F2K FILE. Buscar y seleccionar el archivo en la carpeta que se guardo la exportación de SAP o ETABS.

NOTA: Al realizar esta exportación, ya se cuenta con ejes y cargas en el modelo en SAFE, elementos que en el procedimiento manual todavía no se han agregado. Es por esto que si se ingresan los datos por medio de la exportación de datos se debe saltar directamente al PASO 3.

### Pantalla 4



**3. PASO 3: Definición e ingreso de cargas.** Ya se cuenta con la geometría de ejes así que ahora ya se pueden localizar los puntos de cimentación y lo que corresponde crear esos puntos y asignarles las cargas que estarán soportando:

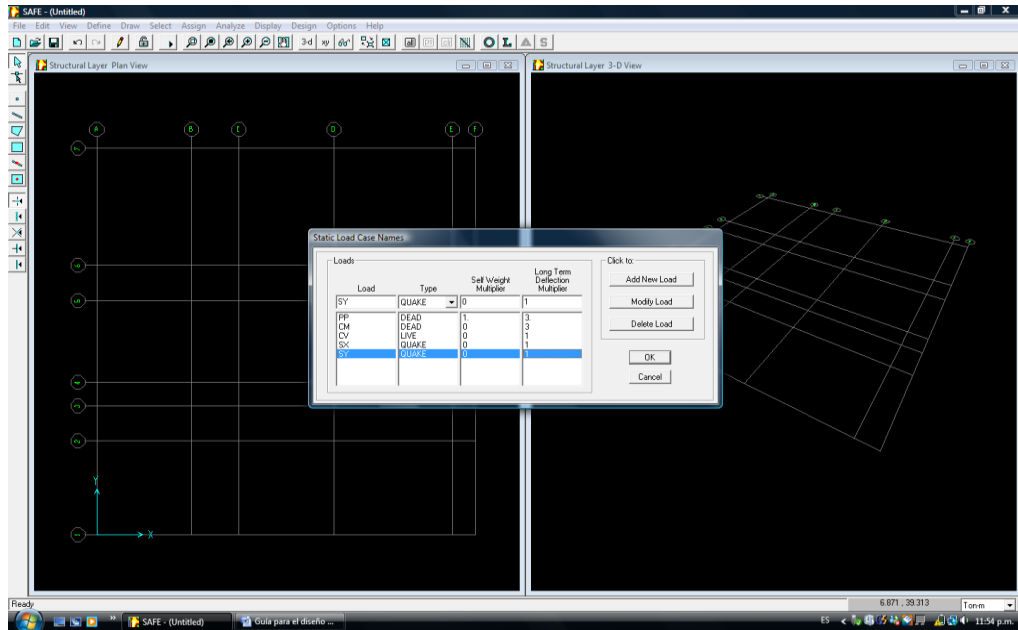
a. Ya sea en la ventana de 2D o 3D (se recomienda que de aquí en adelante se elimine la ventana de 3D ya que es mucho más sencillo trabajar solamente con la vista en 2D), localizamos cada punto de cimentación y esto se debe marcar con puntos que se seleccionan en DRAW → DRAW POINT OBJECT o usando el respectivo botón de la tabla 4.

b. En el menú DEFINE → STATIC LOAD CASES, se debe definir las cargas que utilizarán. Suponiendo los siguientes parámetros para cada una de las cargas principales que se utilizarán:

Tabla 5

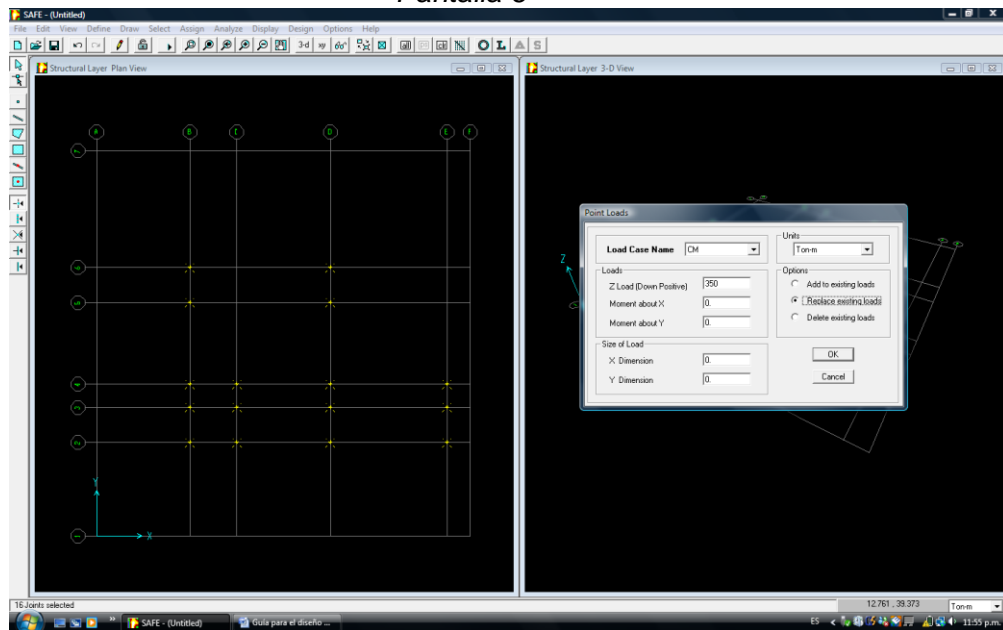
Load	Type	Self Weight Multiplier	Long Term Deflection Multiplier
PP	DEAD	1	3
CM	DEAD	0	3
CV	LIVE	0	1
SX	QUAKE	0	1
SY	QUAKE	0	1

### Pantalla 5



c. Luego de localizar todos los puntos, se seleccionan los cimientos uno por uno y se asigna su respectiva carga. Esto se hace en el menú ASSIGN → POINT LOADS, en la pantalla que se despliega se debe seleccionar que tipo de carga se estará asignando, por ejemplo la muerta. Se asigna el valor de la carga y siempre por seguridad se debe seleccionar REPLACE EXISTING LOADS, ya que el programa esta estandarizado para sumar las cargas que se van ingresando. Así que a cada punto se debe asignar todos los tipos de cargas que se muestran en la tabla 4, con sus respectivos valores. Estos valores deben ser calculados por el diseñador de su análisis estructural.

### Pantalla 6



d. Para asignarle su soporte nuevamente en el menú ASSIGN hay que buscar ya sea COLUMN SUPPORT o WALL SUPPORT e ingresar las propiedades y medidas de la columna o el muro.

**4. PASO 4: Definición de propiedades de cimientos.** Ahora ya se tienen los puntos que se deben cimentar y sus respectivas cargas, se puede proceder a definir los cimientos y todas sus propiedades:

a. En el menú DEFINE → SLAB PROPERTIES se seleccionan ADD NEW PROPERTY y aquí es donde se estarán dando la propiedades a cada una de las cimentaciones. Cada una de estas nuevas propiedades que se creen serán para cada tipo de cimentación pero en referencia a su peralte no a su dimensionamiento. Para localizar fácilmente que propiedades tienen posteriormente los cimientos, se recomienda que, en el título de cada nueva propiedad, se indique cuál es el peralte al que corresponde; por ejemplo, una nueva propiedad se puede llamar Z75 y así poder indicar que esta propiedad es para los cimientos con un peralte de 75 cms de espesor. La siguiente tabla ilustra los valores que debería ingresarse para cada propiedad:

Tabla 6

Propiedad	Valor
Property Name	Nombre de propiedad
Modulus of elasticity	2,500,000
Poisson's ratio	0.2
Unit Weight	Peso unitario de material (típicamente es de concreto reforzado = 2.4 ton/m <sup>2</sup> )
Bending Thickness (X)	Ingresar el espesor de la propiedad en m
Bending Thickness (Y)	Ingresar el espesor de la propiedad en m
Twisting Thickness	Ingresar el espesor de la propiedad en m
Type	Slab (cimiento)
Thickness	Espesor de la cimiento en m
X Cover Top	Recubrimiento de cama superior en X en m
Y Cover Top	Recubrimiento de cama superior en Y en m
X Cover Bottom	Recubrimiento de cama inferior en X en m
Y Cover Bottom	Recubrimiento de cama inferior en Y en m
Concrete Strength, f'c	f'c (típicamente 2,800 ton/m <sup>2</sup> )
Reinforcing Yeild Strength, fy	fy (típicamente 42,000 ton/m <sup>2</sup> )

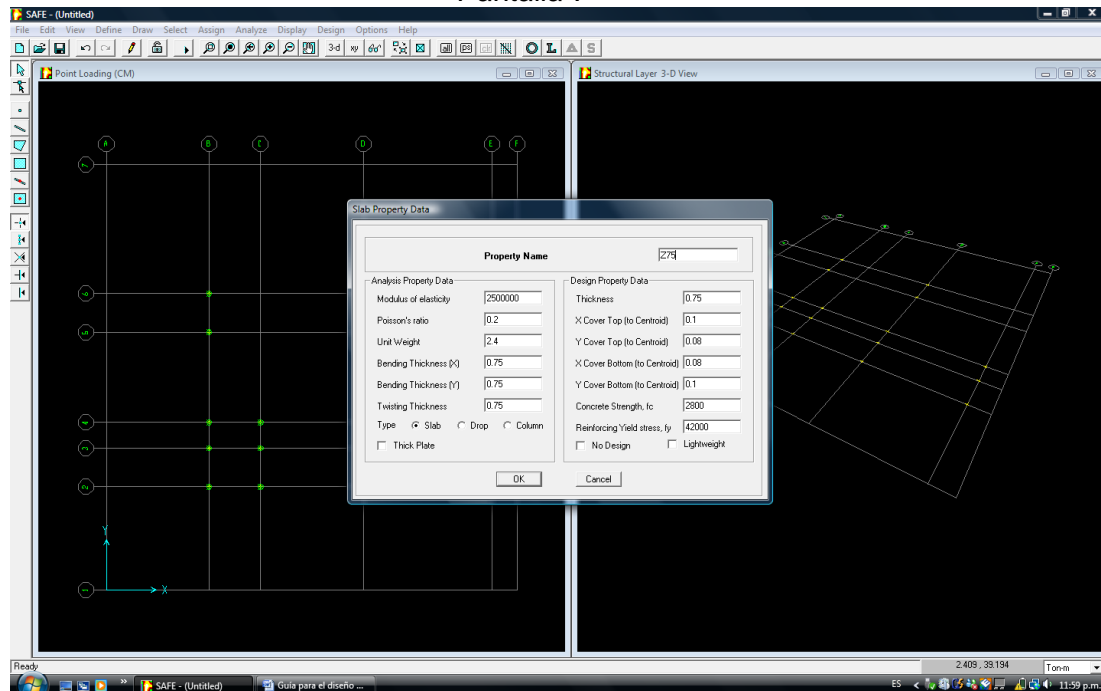
Nota: Recordar que estas propiedades son para dimensionales de ton-m.

b. Se asume que no se necesitan vigas de cimentación, por ahora, pero si en algún punto se llegara a necesitar, se entra a DEFINE → BEAM PROPERTIES allí se selecciona el tipo de viga que se utilizará, ya sea cuadrada o rectangular o en T, etc. Al escoger un tipo de viga aparece una ventana parecida a la de los cimientos A continuación un ejemplo de una viga rectangular:

Tabla 7

Propiedad	Valor
Beam Property Name	VIGA 0.60 x 0.85
Modulus of elasticity	2,500,000
Poisson's ratio	0.2
Unit Weight	Peso unitario de material (típicamente es de concreto reforzado = 2.4 ton/m <sup>2</sup> )
Width	Ingresar el ancho de la viga en m
Depth	Ingresar el peralte de la viga en m
Cover Top	Ingresar recubrimiento superior en m
Cover Bottom	Ingresar recubrimiento inferior en m
Concrete Strength, f'c	f'c (típicamente 2,800 ton/m <sup>2</sup> )
Reinforcing Yeild Strength, fy	fy (típicamente 42,000 ton/m <sup>2</sup> )
Shear Steel Yeild Stress, fys	fy (típicamente 42,000 ton/m <sup>2</sup> )
Concrete Shear Strength, f'cs	f'c (típicamente 2,800 ton/m <sup>2</sup> )

Pantalla 7



**5. PASO 5: Definición e ingreso de propiedades del suelo.** Ahora hay que enfocarse en el suelo que se utilizara para la cimentación, ya que es un parte muy importante en este proceso.

a. Para definir el tipo de suelo que se quiere simular, hay que hacer una pequeña operación primero. Sabiendo el valor soporte del suelo se necesita calcular lo que en el programa le llaman el modulo de subgrado del suelo. Este es un número que representa el mismo valor de soporte del suelo, pero que es el que necesita para simular este suelo. Esta fórmula requiere un factor de seguridad y generalmente, acá en Guatemala, se utiliza un factor de 3 para esta ecuación, si se quiere para otro país u otra área se debe consultar el UBC para mayores detalles.

$$K_s = 40 \times (\text{factor}) \times q_a = 40 \times (3) \times q_a$$

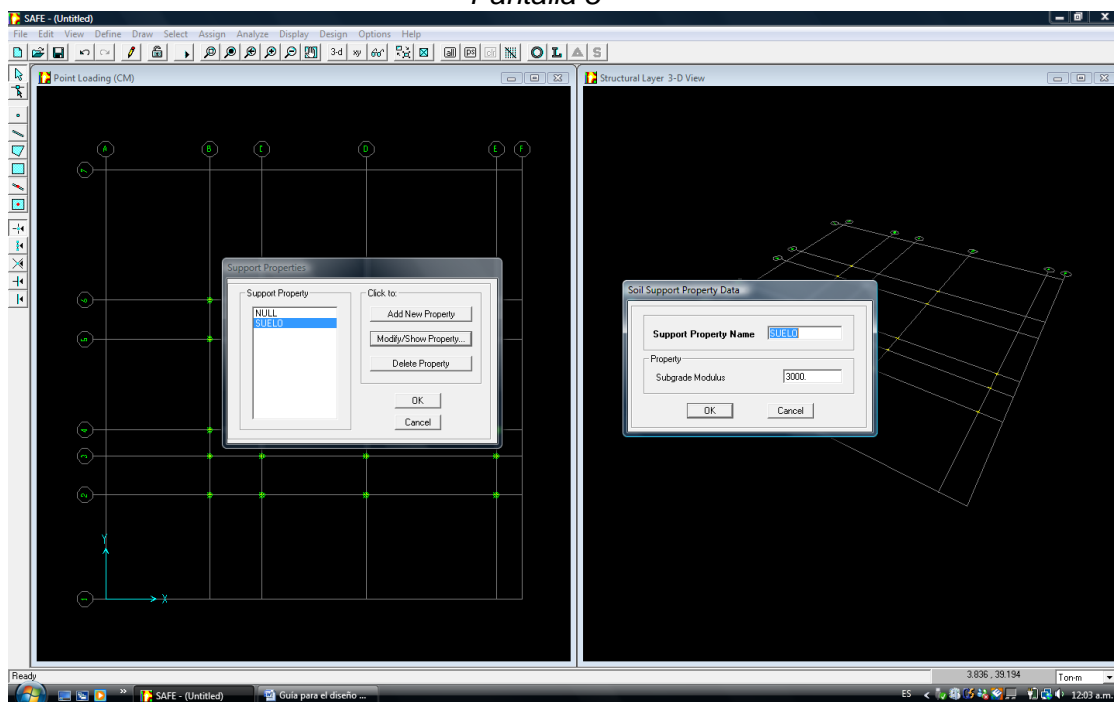
$$K_s = 120 \times q_a \quad (\text{ecuación 12})$$

donde  $q_a$  es el valor soporte en  $\text{kg/m}^2$ .

Este valor se debe asignar en el programa, entrando al menú DEFINE → SOIL SUPPORTS y en ADD NEW PROPERTY se le da un nombre al suelo y se ingresa el valor del módulo de subgrado.

b. Estas propiedades deben ser asignadas a todas las áreas de cimentación que se dibujarán, el cual es el siguiente paso.

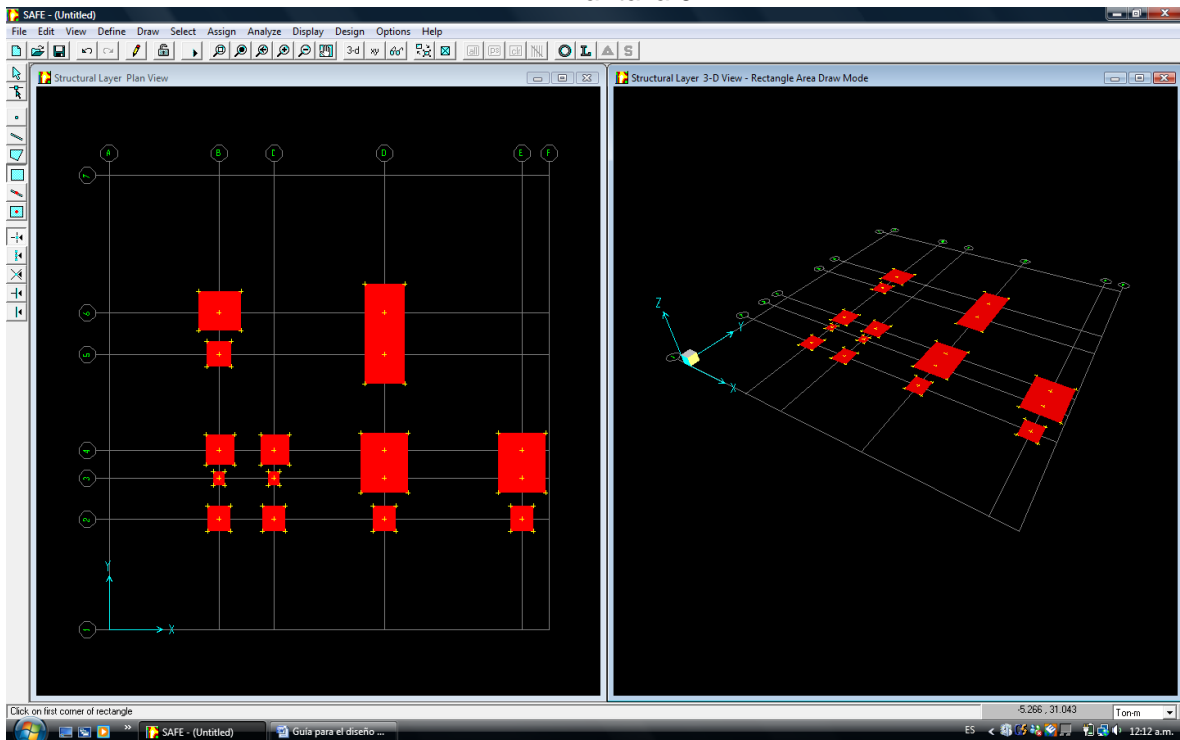
Pantalla 8



**6. PASO 6: Dibujo de geometría inicial de cimentación.** Ya estamos listos ahora para poder empezar a dibujar la cimentación con las primeras aproximaciones que se hicieron al principio.

Para dibujar las cimentaciones se hace clic en el ícono de dibujar área rectangular o en el menú DRAW → DRAW RECTANGULAR AREA OBJECT y de inmediato sale una ventana en donde se ingresan las dimensiones del cimientado y también su propiedad de peralte. Para asignarla simplemente se hace clic con el cursor en el punto de cimentación deseado. Si se quiere cambiar las dimensiones y propiedades para dibujar otro tipo de cimentación simplemente se vuelve a hacer clic en el ícono de dibujo de área rectangular y la ventana de las propiedades aparece sola para ingresar las nuevas dimensiones y propiedades.

## Pantalla 9



**7. PASO 7: Cambios a geometría inicial (si fuera necesario).** Es posible que cuando se ingresen las zapatas que se tenían calculadas, por limitaciones de tamaño entre ejes se tengan que combinar zapatas, es entonces que se deben de juntar las zapatas. Esto se puede hacer de dos formas:

a) Editando los puntos de las esquinas de los cimientos y uniéndolos para que formen una sola zapata. No es necesario que una zapata combinada sea dibujada como una sola, pueden ser sólo dos zapatas pegadas una con la otra. Lo que sí es necesario es q si tengan propiedades igual o sino el programa tomara una mitad de un peralte y otra mitad de otro peralte.

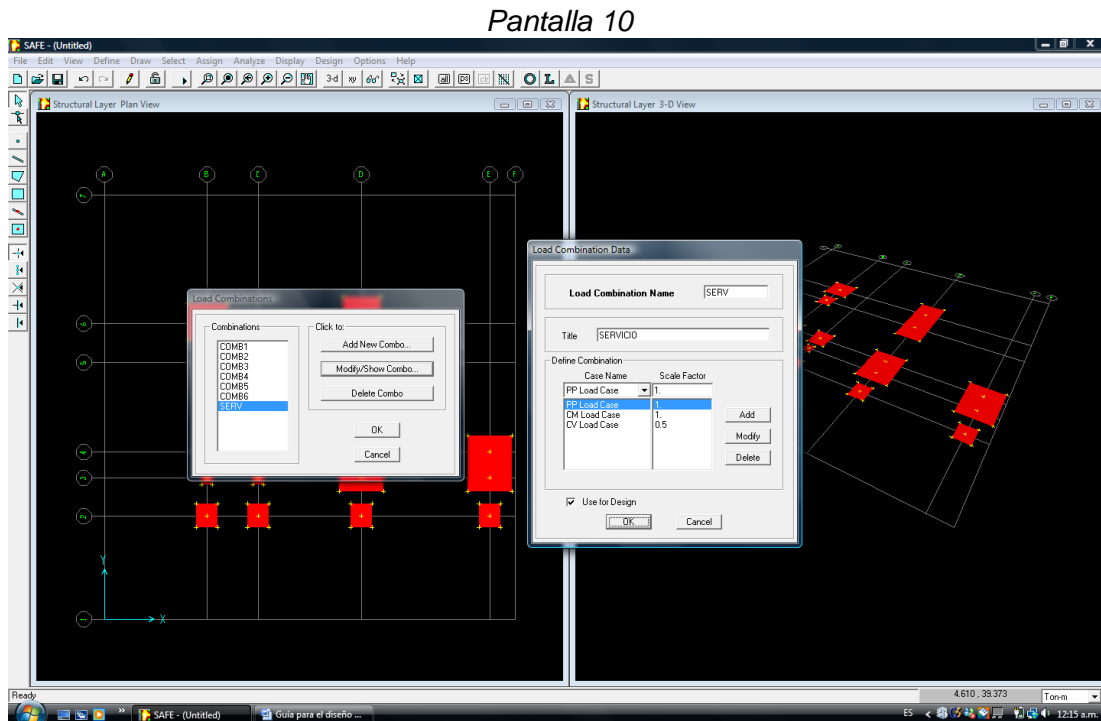
b) Borrando las dos zapatas y dibujando una sola zapata combinada con dimensiones y propiedades propias.

**8. PASO 8: Definición de combinaciones de cargas.** Una vez ya ingresado la primera aproximación de la cimentación completa se debe definir las combinaciones de carga a las que estará sometido nuestro diseño cuando se haga el análisis.

a) En el menú DEFINE →LOAD COMBINATIONS despliega una ventana en la cual se debe seleccionar ADD NEW COMBO para ingresar una combinación nueva cada vez que se define una.

b) En la siguiente ventana se debe dar un nombre a la combinación y en la parte inferior de la ventana hay que ingresar las cargas que se utilizan en esa combinación y su factor por el cual se multiplica.

c) Las combinaciones que se deben ingresar son las que se definen en la tabla 1. Estas combinaciones aplican para todos los tipos de cimentaciones así q no hay que diferenciar una de otras.



**9. PASO 9: Análisis.** Antes de empezar a correr el análisis, habrá que asegurarse de varias cosas en el modelo, a fin que este paso se lleve a cabo de manera apropiada y evitar que se desplieguen resultados falsos:

a) Que todas las áreas dibujadas tengan asignadas una propiedad, es decir, un peralte o SLAB PROPERTY.

b) Que todas las áreas dibujadas tengan asignadas una propiedad del suelo, es decir un suelo o SOIL SUPPORT.

c) Que todas las áreas dibujadas tengan asignadas una sobrecarga superficial que simbolice el peso del suelo en la parte superior de la zapata, ya que SAFE solo simula suelo hasta la cara superior de la zapata y no toma en cuenta el peso del suelo que hay encima de la zapata para enterrarla.

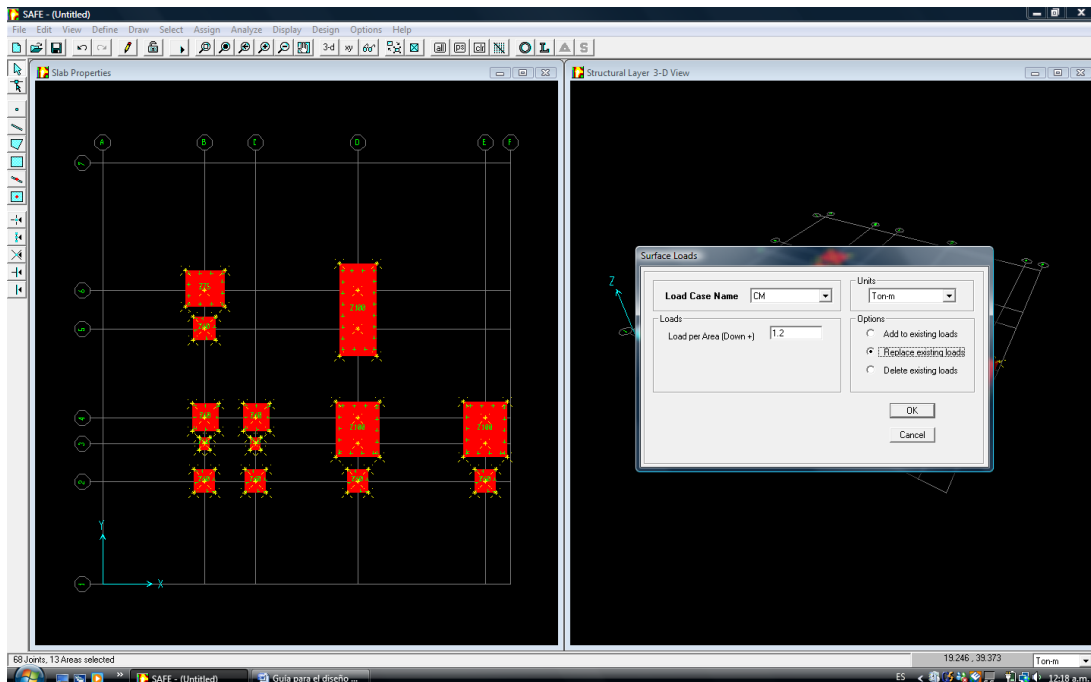
Sobrecarga superficial = Profundidad de cimiento x peso específico del suelo  
(ecuación 13)

d) Que todos los layers (principal, X y Y) tengan la misma geometría ya que si se tienen diferentes tipos de geometrías en los layers, los resultados para el refuerzo de la cimentación será equivocada. El layer principal es el utilizado por el usuario así que sólo hay que modificar los layers X y Y.

Para chequear todos estos requisitos, seguir este procedimiento:

- Hacer clic en el ícono de seleccionar todo de la tabla 3
- Menú ASSIGN → SOIL SUPPORT → seleccionar el suelo definido y dar OK
- Seleccionar todo nuevamente
- Menú ASSIGN → SURFACE LOAD → seleccionar REPLACE EXISTING LOADS y en LOAD PER AREA asignar el valor calculado.
- El peralte para cada cimiento se debe revisar uno a uno, ya que no todos tienen la misma propiedad. Este procedimiento se debe hacer en forma manual y para revisar qué propiedad tiene cada cimiento, se hace clic con el botón derecho del cursor sobre el cimiento y se obtienen las propiedades. En todo caso, si el usuario nota que algún dato es incorrecto, se procede a corregir.
- Seleccionar todo nuevamente
- Menú FILE → COPY
- Menú VIEW → LAYER X
- Menú FILE → PASTE
- Menú VIEW → LAYER Y
- Menú FILE → PASTE

Pantalla 11



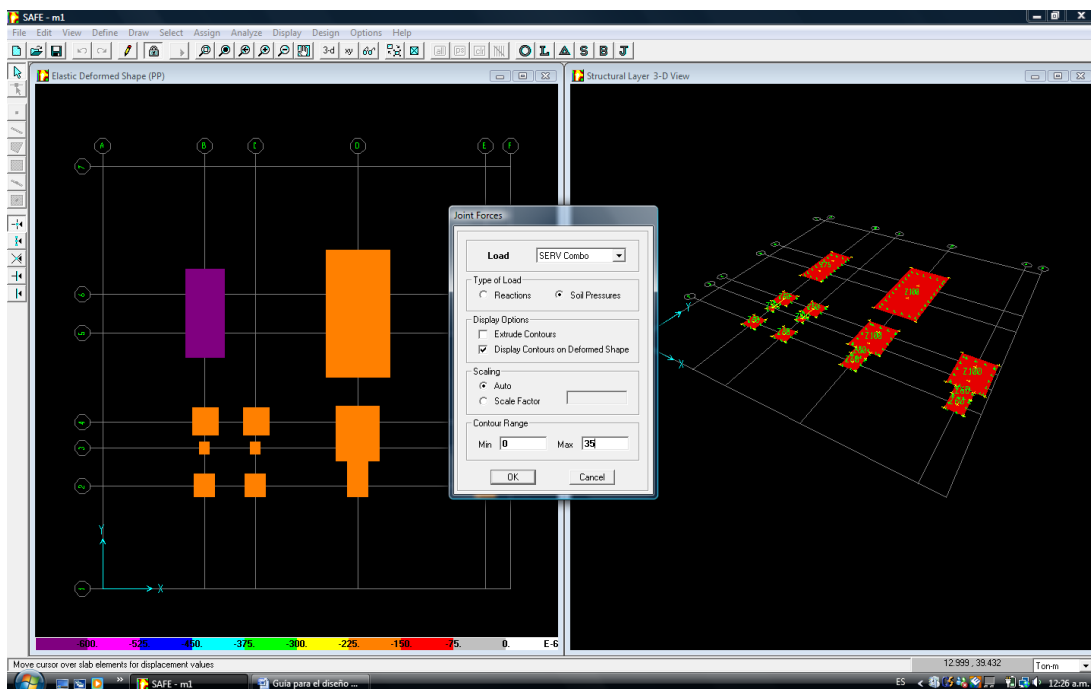
e) Luego de haber revisado todo, ya se está listo para correr el análisis. Para correr el análisis se debe hacer clic en el ícono de correr análisis de la tabla 3 o ingresar al menú ANALYZE → RUN ANALYSIS.

**10. PASO 10: Interpretación de análisis.** Una vez concluido el análisis, la interpretación de los resultados se ve en forma gráfica y no en tablas con datos.

a) Menú DISPLAY → SHOW REACTION FORCES → Seleccionar ver la carga de servicio, ya que es la primera que se chequea.

Luego seleccionar SOIL PRESSURES y en la parte inferior de la ventana se ingresa MIN = 0 y MAX = Valor Soporte del Suelo Neto, no bruto.

Pantalla 12

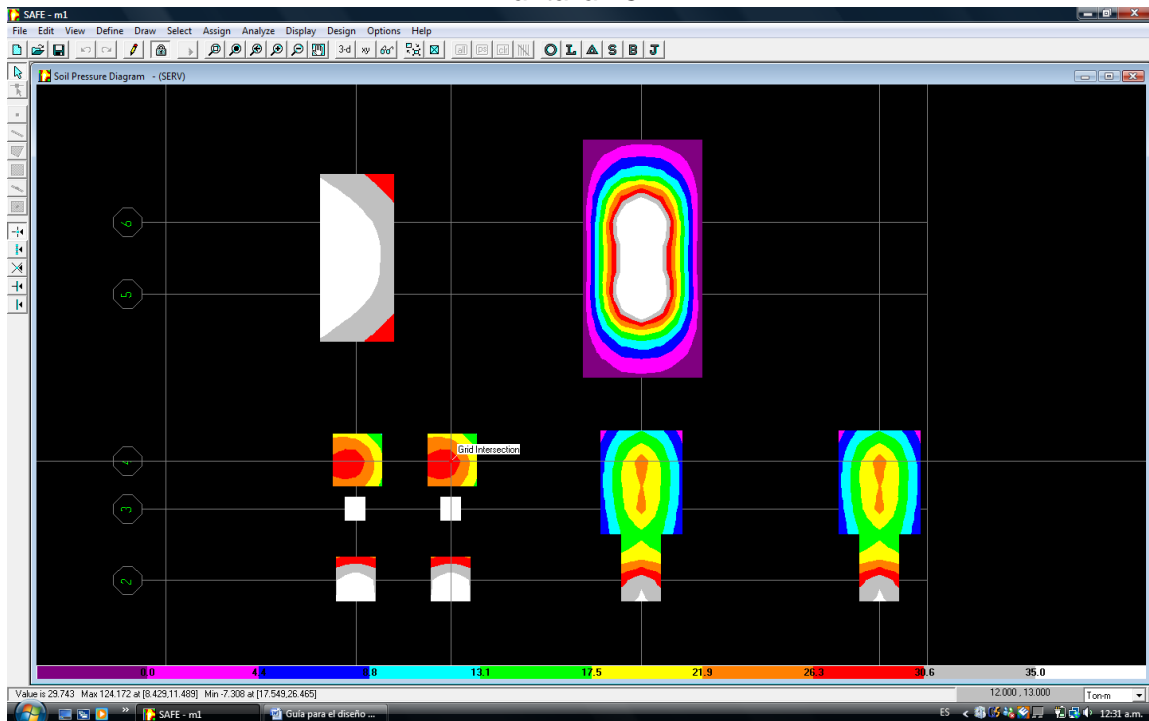


b) Para leer los resultados hay que ver los colores que cada cimentación tenga, siendo la escala que está en la franja inferior, la guía para saber qué tanta carga está soportando cada parte de la cimentación. Si se notan los valores que corresponden a cada valor, se puede observar que el color óptimo es el gris, ya que utiliza su capacidad al máximo. Cualquier sección blanca que haya en los resultados significa que está fallando. Si se quisiera tener un dato más exacto de cada punto sólo hay que colocarse sobre ese punto y en la esquina inferior izquierda aparece el valor exacto en ese punto. Al terminar con la carga de servicio se debe chequear las otras 6 combinaciones de carga, pero con la diferencia que estas se chequean con un valor máximo de:

$$\text{Valor máximo} = \text{Valor Soporte del Suelo} \times 1.8.$$

(ecuación 14)

Pantalla 13



**11. PASO 11: Rediseño de geometría.** Ahora que ya tenemos una idea de cómo funciona la primera aproximación, se procederá a rediseñar cimientos que no chequeen con las siguientes sugerencias, que dicho sea de paso, están en orden de prioridad:

a) Aumentar dimensiones de cimiento (Este es el método más común y más apropiado). Cuando se tenga un dimensionamiento adecuado se debe chequear otra vez por punzonamiento y corte para poder determinar su nuevo peralte.

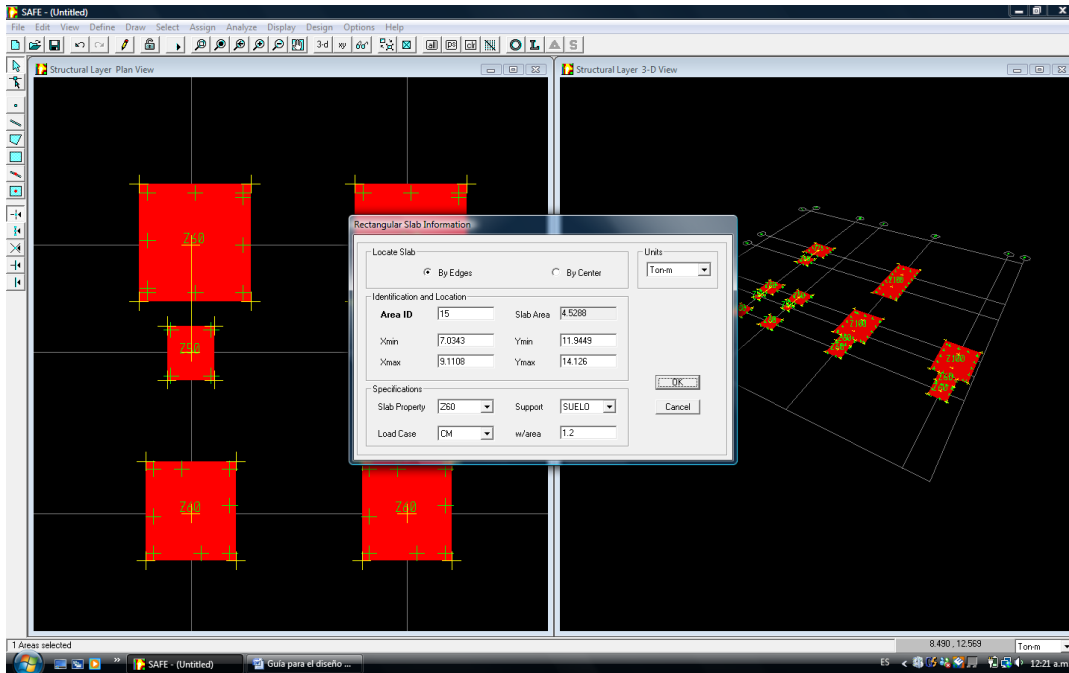
b) Si se llega a algún máximo recomendado (voladizo de más de 3.50 m o una zapata aislada de más de 6 x 6 m), la solución puede estar en utilizar vigas de cimentación para ayudar al cimiento que esté fallando. Es decir conectar el cimiento a los cimientos más próximos a él para poder ayudarse entre sí. La viga puede llegar a tener un peralte máxima de la altura del peralte del cimiento con más peralte en la conexión. Si la viga se vuelve demasiado grande para que chequee hay que pasar a la siguiente sugerencia.

c) Conectar cimientos, es decir, formar zapatas combinadas. Esto se logra sencillamente conectando los cimientos para que la dimensión crezca y la carga se distribuya entre mayor área. En este caso también hay que chequear el punzonamiento y el corte pero para cimientos combinados, para determinar el peralte de la nueva zapata combinada.

d) Se pueden combinar los incisos anteriores como aumentar dimensiones y agregar vigas de cimentación para conectarse entre sí y ayudar a la carga a distribuirse de mejor manera.

e) Si aún con todo lo anterior, la cimentación no chequea, se debe considerar soluciones más complejas como las cimentaciones profundas tipo pilotes o pilas. Conceptos que se podrían simular en SAFE, pero que es un proceso que no se contempla en esta guía.

### Pantalla 14

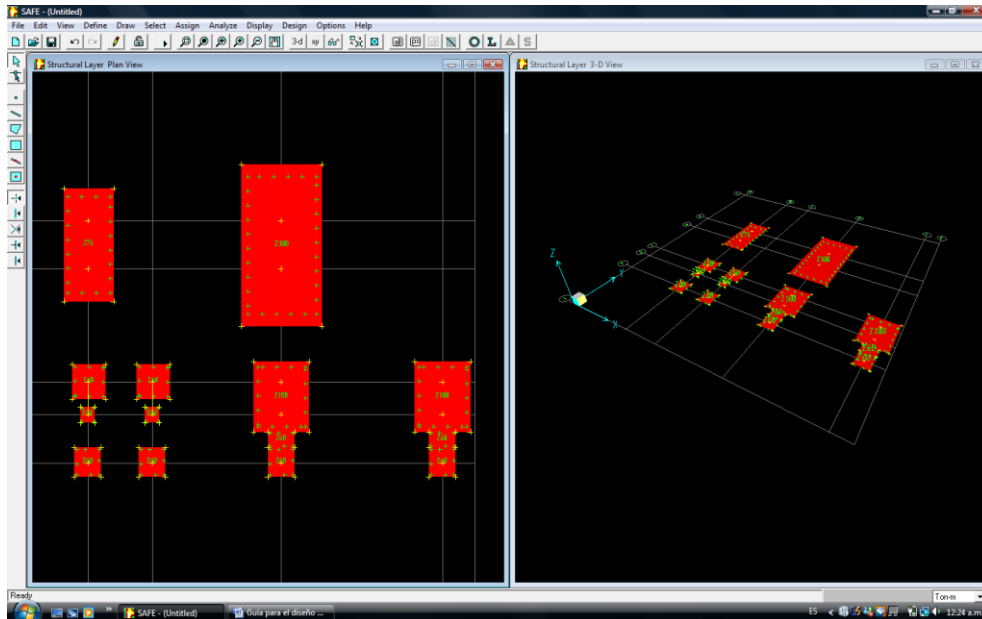


Este paso es donde el diseñador tiene que usar su imaginación y su criterio basándose en los conceptos de cimentación adquiridos. Los pasos 9, 10 y 11 son un ciclo que se debe repetir hasta que se halle una solución apropiada. Nunca se puede solucionar un problema de cimentación de solamente una forma. Hay diversas maneras de solucionar un diseño si no funciona y es muy complicado tratar de poner pautas para que hacer sobre resolver un problema.

Las anteriores sugerencias son sólo ideas para que se facilite el proceso de rediseño, pero un diseñador puede encontrar más soluciones si se aplican bien los conceptos y criterios con los que cuenta. También hay que tener en cuenta que no todas las soluciones son viables, ya que puede ser factible en términos de ingeniería pero económicamente puede no ser aconsejable.

Es por esto que este paso sea probablemente el más crítico en el diseño ya que no hay una regla absoluta para seguir al querer arreglar una cimentación que no chequee por cualquier razón que sea. Al final de este paso es recomendado hacer una revisión total para cada cimiento.

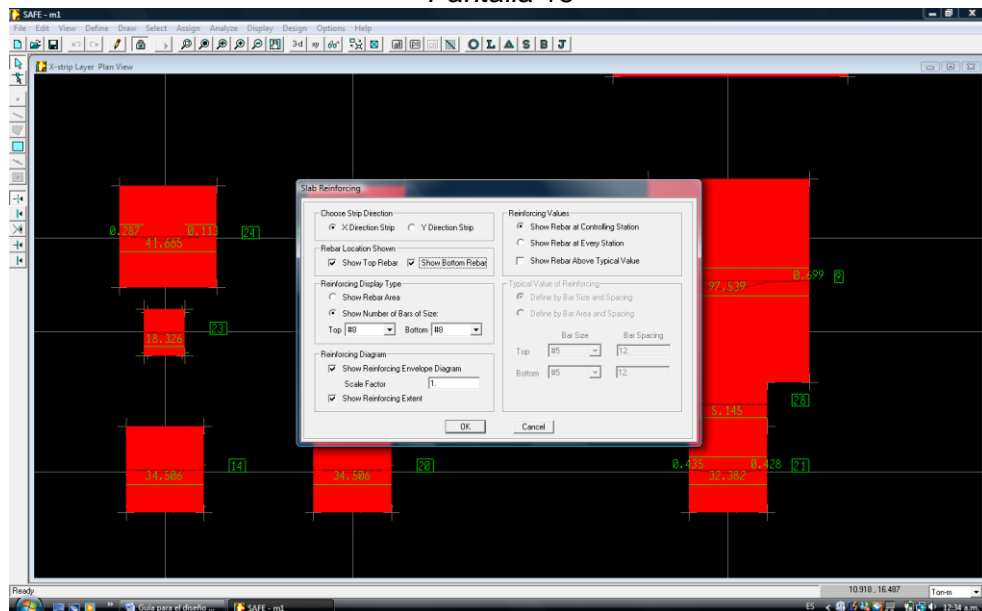
Pantalla 15



**12. PASO 12: Refuerzo.** Ya que está definida la geometría de la cimentación es hora de determinar el refuerzo que cada cimentación tendrá. SAFE indica el refuerzo que cada cimentación necesita en dos formas y el diseñador debe de decidir entre una de ellas según sea su conveniencia:

a) Mostrar las áreas de refuerzo para cada cimentación. Si se tiene el área de refuerzo requerida, lo que se debe de hacer es encontrar la denominación y cantidad de varillas que cubrirían ese área y dividirlo entre la longitud de la dirección que se esté tomando para saber cuál será el espaciamiento de cada varilla. Se debe de tratar de no separar cualquier tipo de varilla más de 30 cms.

Pantalla 16

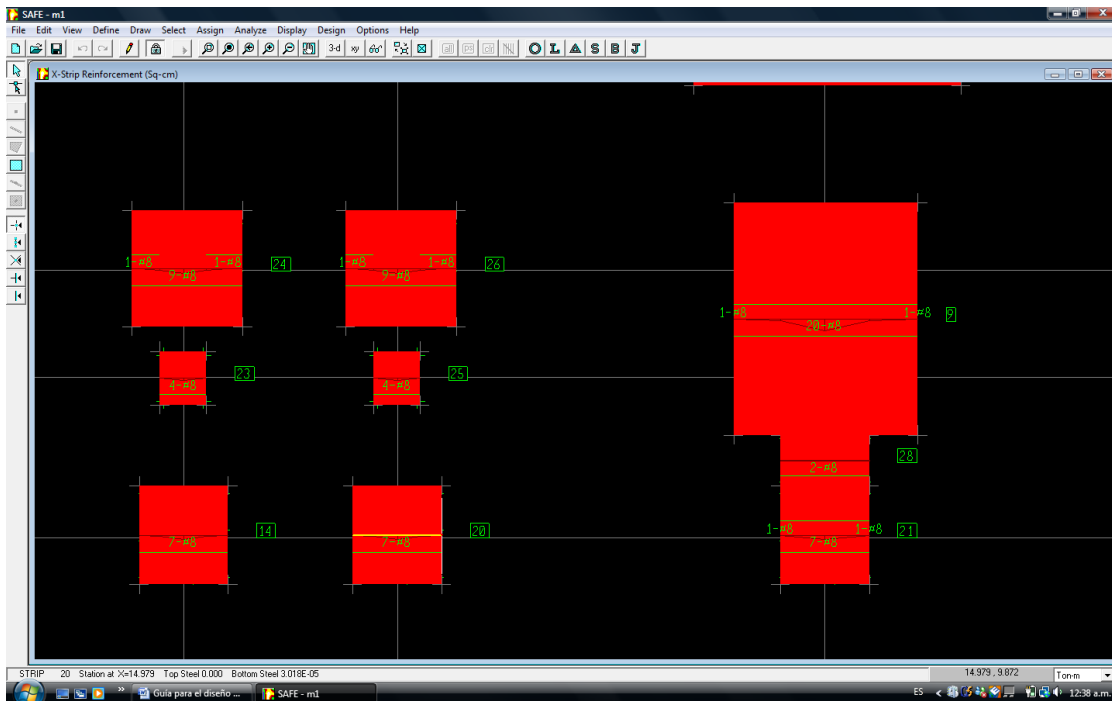


**b)** Mostrar la cantidad de varillas de una denominación en cada sentido de la cimentación. Escogiendo la denominación de varilla que se quiere tener, el programa diseña para esa varilla y da como resultado el número de varillas a utilizar, eso simplemente se divide entre la longitud de la dirección en la que se está trabajando y se tiene el espaciamiento entre cada varilla. Nuevamente hay que tratar de no separarlas por más de 30 cms a cada varilla.

Sea como sea que se quiera ver los resultados, el procedimiento es el siguiente: menú DESIGN → DISPLAY SLAB DESIGN INFO → Allí se selecciona si se quieren utilizar área de refuerzo o varillas. Si se quieren obtener varillas se debe indicar que denominación de varilla se quiere utilizar. Este proceso se debe hacer para ambas direcciones (X y Y). Una vez determinado el refuerzo longitudinal se debe de cambiar a refuerzo transversal o de corte que en el mismo menú aparece como SHEAR REINFORCING.

Este último paso es bastante sencillo ya que es matemática simple, pero se necesita la tabla de denominaciones de varillas y sus respectivas propiedades, la cual está adjunta en la sección de anexos.

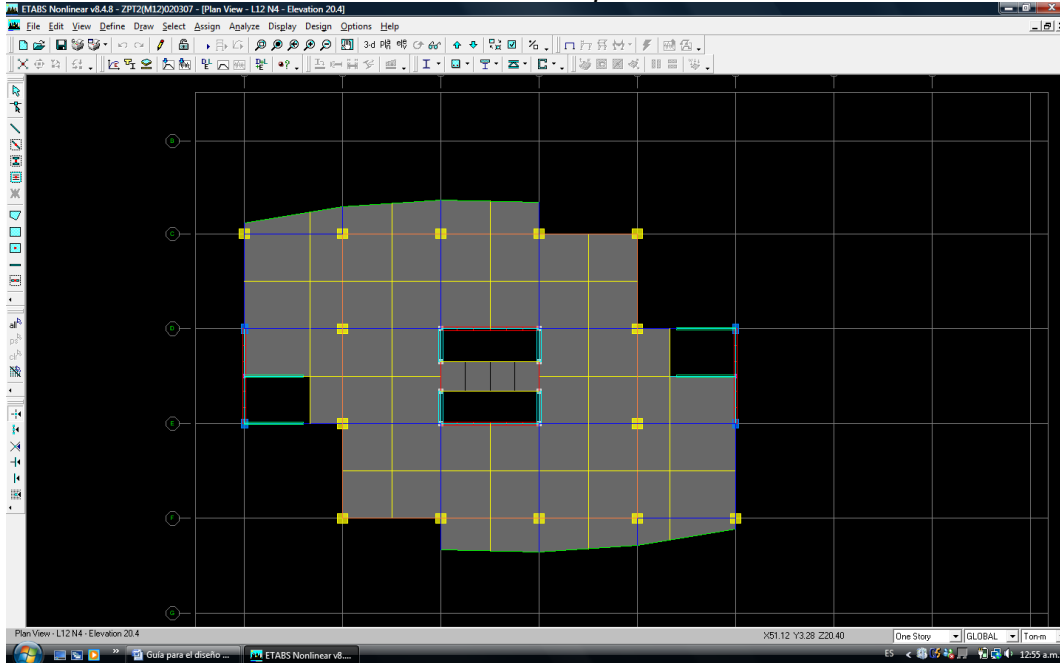
*Pantalla 17*



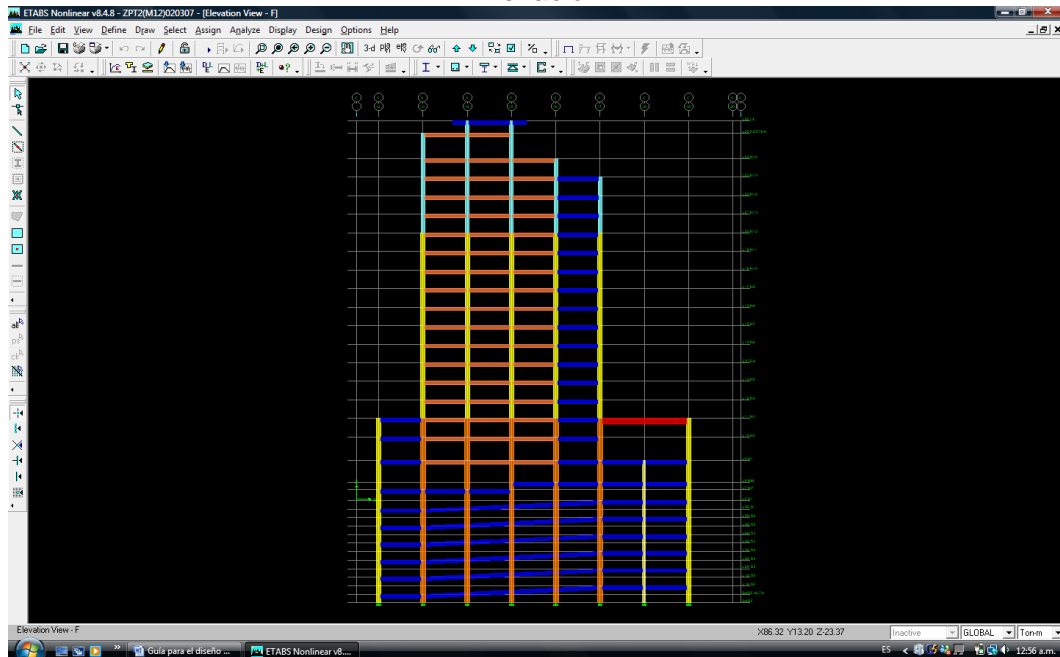
### III. Ejemplo real de diseño de cimentación en Guatemala mediante SAFE

Este ejemplo se basa en un edificio que será construido en la ciudad de Guatemala. El edificio a analizar es la segunda torre de un proyecto que tiene 4 torres en proceso de diseño y construcción. El edificio tiene 17 pisos y 6 sótanos lo que se traduce en 23 losas. A continuación, se puede apreciar la planta típica y una elevación del edificio para tener una buena idea de la estructura y de su posible cimentación:

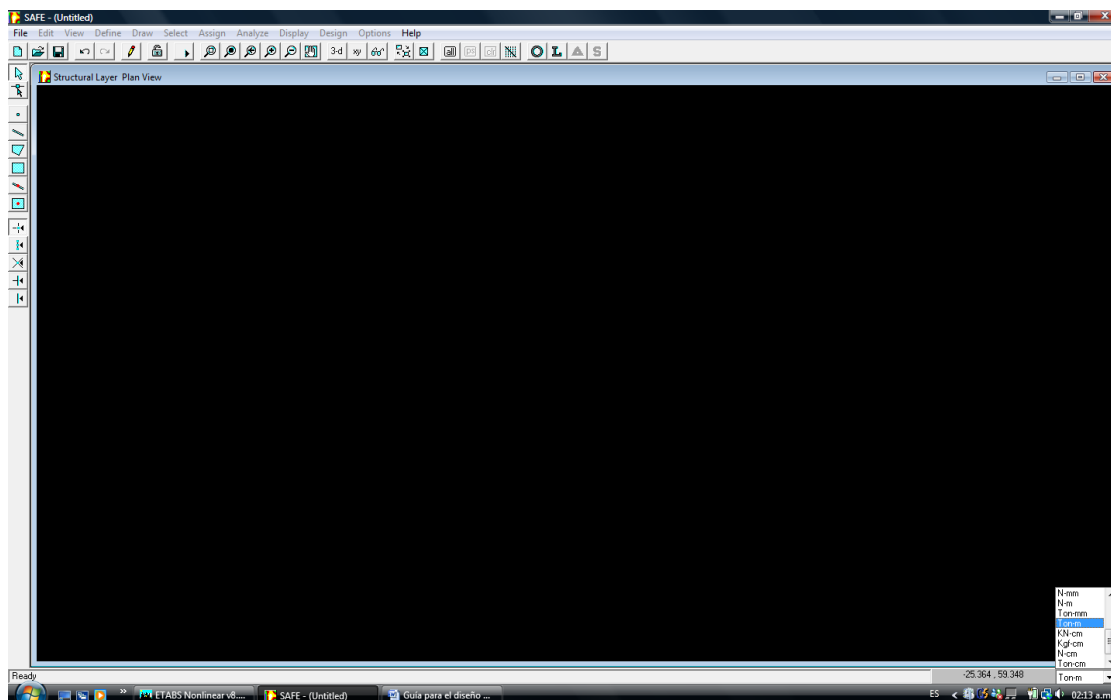
*Planta típica*



*Elevación*

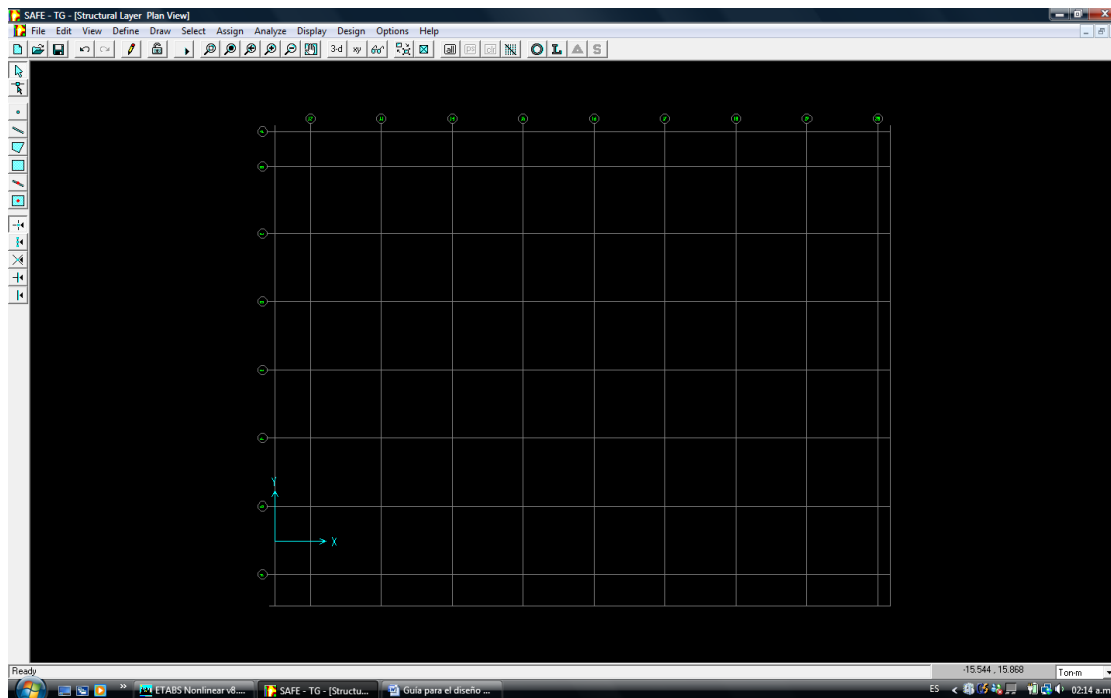


## 1. PASO 1: Nuevo modelo y dimensionales

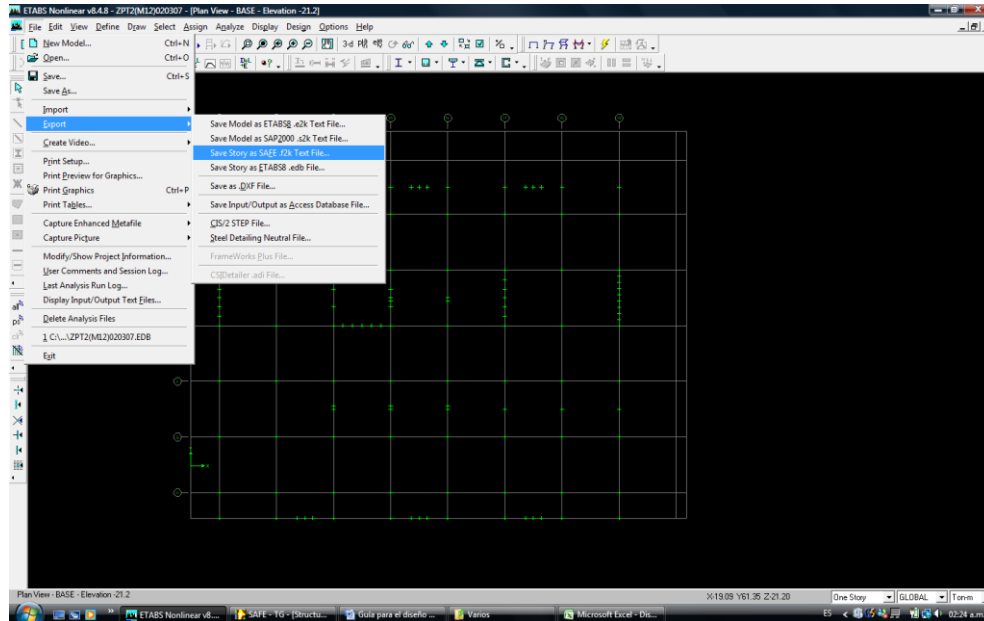


Se usarán las toneladas y los metros como unidades base en este diseño, aunque el diseñador es libre de escoger las dimensionales que le sean más cómodas, según sea el enfoque y sistema de unidades que esté utilizando.

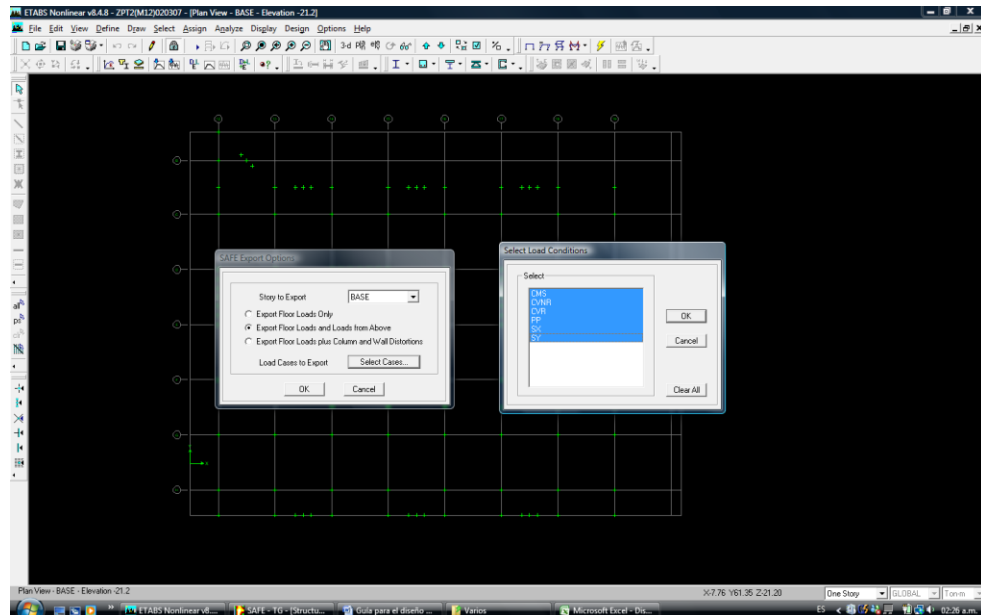
## 2. PASO 2: Definir geometría de ejes



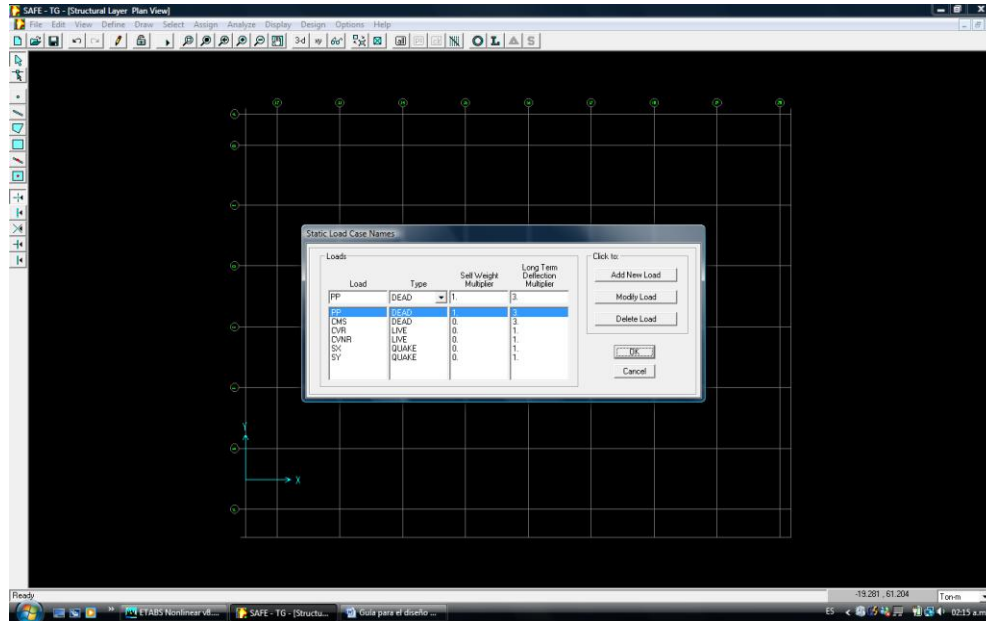
El análisis estructural de este edificio se llevó a cabo en el programa ETABS, así que es mucho más sencillo importar los datos básicos desde allí. Para esto, se corrió el modelo de ETABS y cuando estaban listos los resultados, se exportó la información mediante el menú FILE → EXPORT → SAVE STORY AS SAFE.F2K TEXT FILE



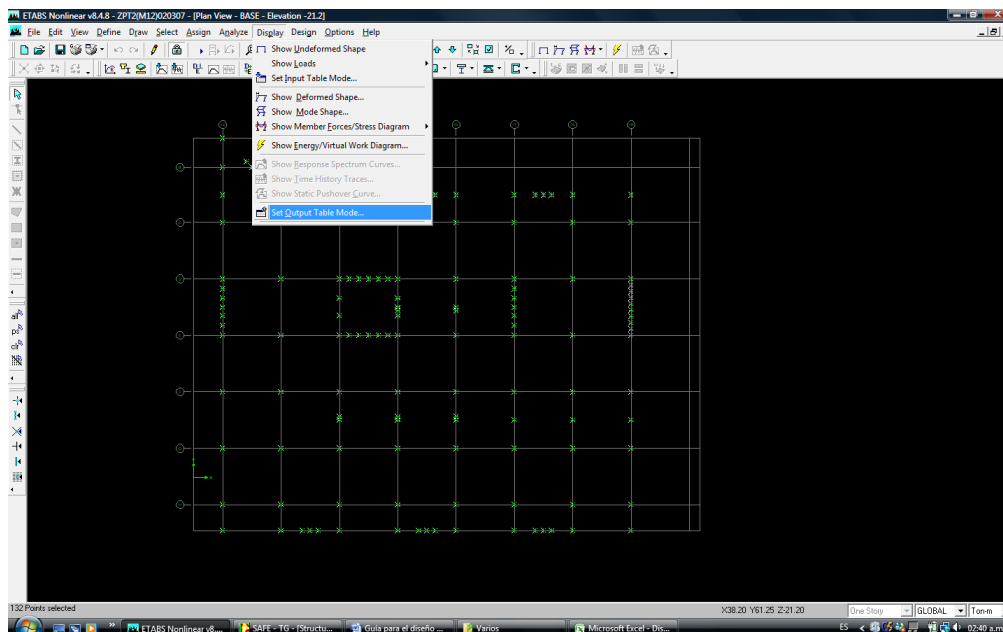
Luego en la ventana que apareció se seleccionó la losa “BASE”, que era el nivel más bajo del modelo en ETABS y el cual tiene incluidos todas las cargas del edificio. Es por esto que se selecciono la opción de EXPORT FLOOR LOADS AND LOADS FROM ABOVE, y en el apartado de SELECT CASES, se seleccionaron todas las cargas ya que las se necesitan todas para el diseño en SAFE y se guardó este archivo en una carpeta.



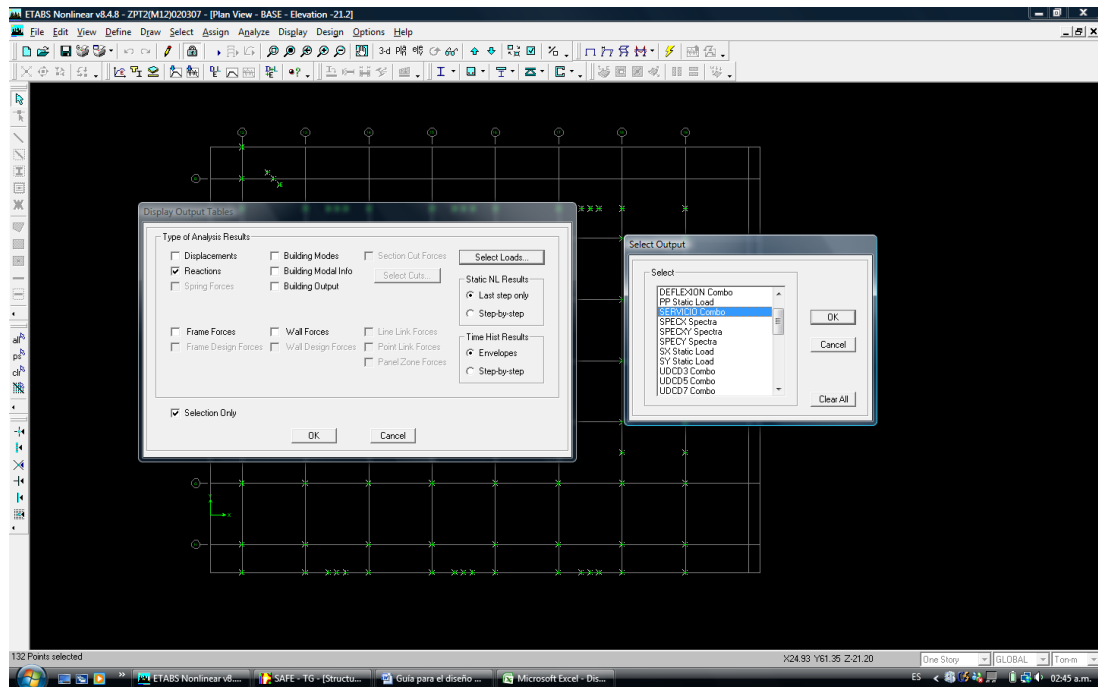
**3. PASO 3: Definición e ingreso de cargas.** Al haber importado las cargas y propiedades desde ETABS no fue necesario realizar este paso pero sí es importante igualmente revisar que las cargas que se hayan importado estén bien definidas y completas.



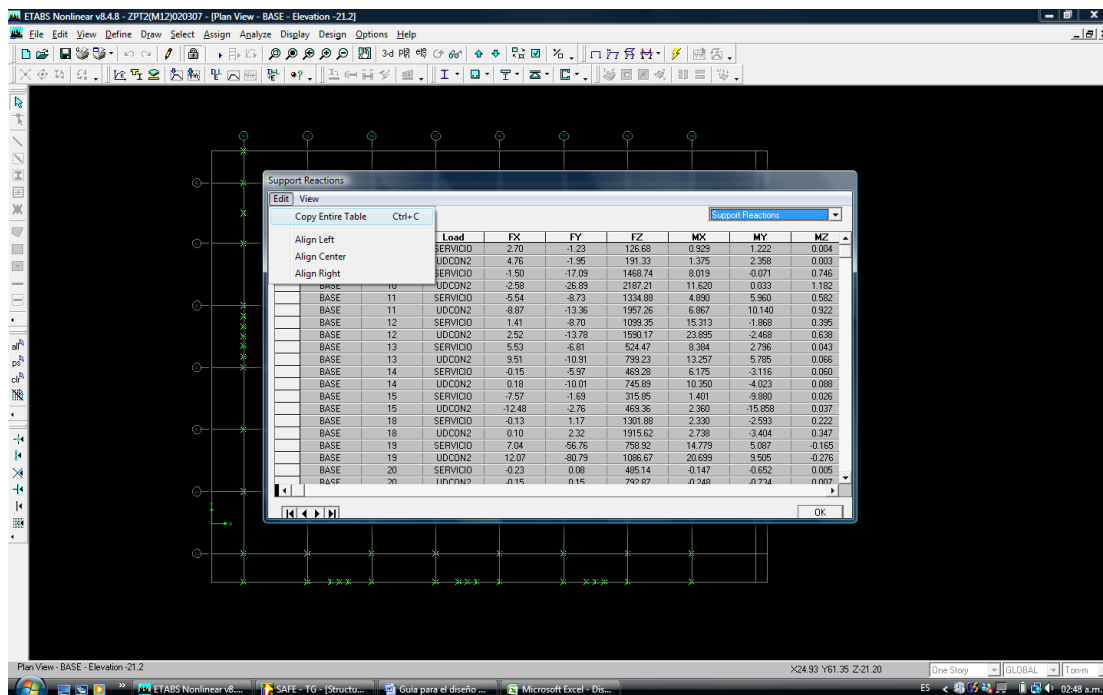
**4. PASO 4: Definición de propiedades de cimientos.** En este paso se debe ingresar las primeras aproximaciones que se hicieron con base a los análisis que se definieron en este trabajo. Es en esta parte en donde se utilizará la herramienta de EXCEL como una ayuda para que el cálculo de las aproximaciones sea efectivo y rápido. En ETABS, se seleccionaron todos los puntos del nivel "BASE" y bajo el menú DISPLAY → SET OUTPUT TABLE MODE



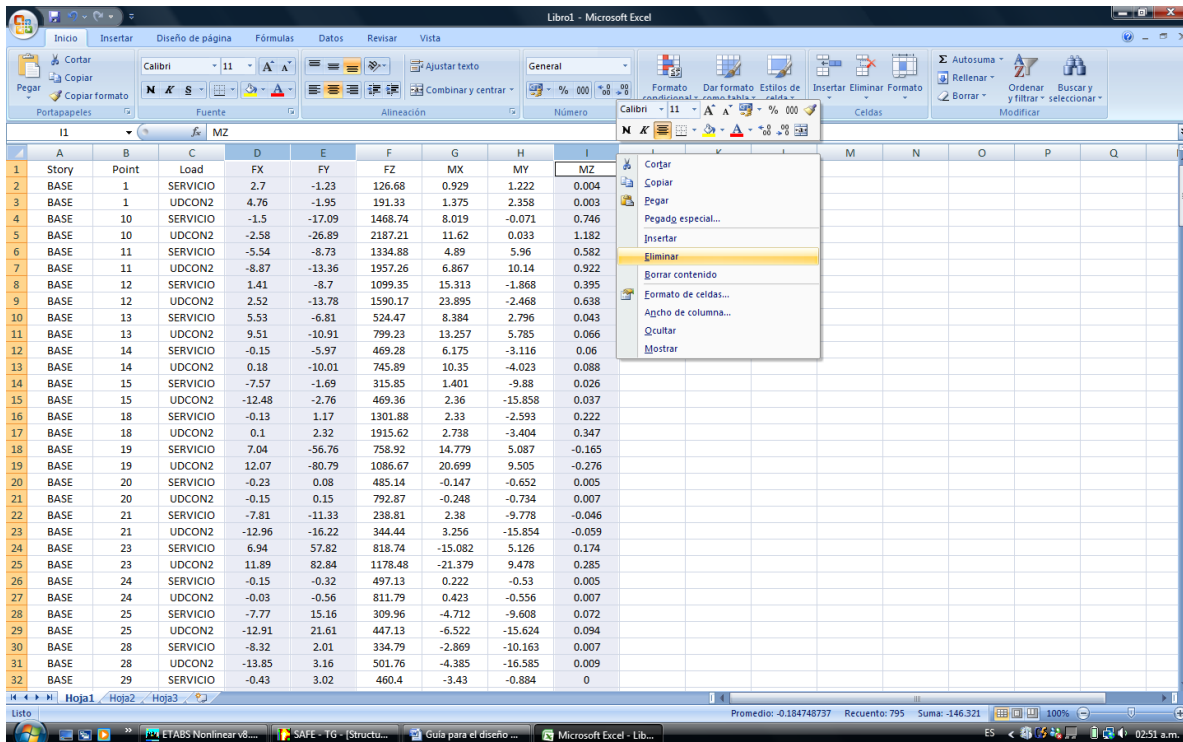
Luego, se seleccionó solamente REACTIONS como opción en la ventana que apareció y en SELECT LOADS se seleccionaron las dos combinaciones que serán útiles para las primeras aproximaciones: la combinación 2 y la de servicio.



Cuando se muestra la tabla con los valores de las reacciones, en el menú EDIT se seleccionó COPY ENTIRE TABLE.



Ahora se puede pasar a EXCEL porque se tienen los datos en una tabla que se puede y se debe pegar en una hoja de cálculo cualquiera.



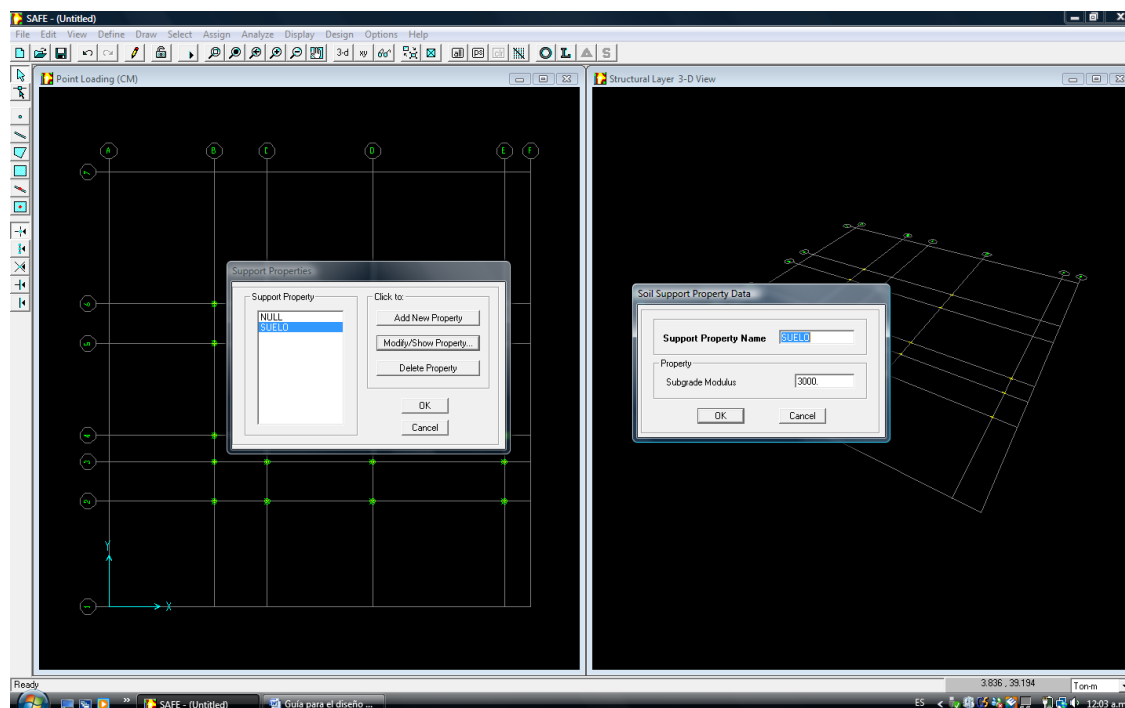
En esta tabla nueva se eliminaron datos que no se utilizarán como lo son las columnas de FX, FY y MZ. Después se crearon columnas para datos que serán útiles como Valor Soporte Neto del Suelo, área requerida del cimiento, dimensiones escogidas para el cimiento, área obtenida del cimiento, peso propio del cimiento y el módulo del cimiento; para cada una de estas columnas sus respectivas fórmulas son:

Columna	Fórmula o valor fijo
VSN (Valor Soporte Neto del suelo)	41 ton/m <sup>2</sup> (El estudio de suelos reporto 45 ton/m <sup>2</sup> )
A requerida	FZ / VSN
Dim escogidas	Escoger las dimensiones que mas convengan dada el área
A obtenida	Re calcular el área con estas dimensiones
PP cimiento	Psz * A obtenida
Módulo	A obtenida / 6
F'c	280
Fy	4200
a	Ancho de columna encima del punto
Lef	L/2 – a/2 – d
Vp	$0.75 \times 1.1 \times \sqrt{f'c} \times (2a + 2d) \times 2d$
ED	$\frac{(Fz + ppc)}{A} - \frac{M \max}{\text{modulo}}$
Vpu	$ED [A - (a + d)^2]$

Columna	Fórmula o valor fijo
Vu	$0.53 \times \sqrt{f'c} \times 0.75 \times d$
W	$\frac{(Fz + ppc)}{A} + \frac{M \max}{\text{modulo}}$
Vc	$Lef \times W$
d	ESTE DATO ES EL QUE BUSCAMOS
Condición	Si $Vp > Vpu$ y $Vc > Vu$ , escribir "d CORRECTO" sino "AUMENTAR d"

Al tener ya todos los datos de cada cimentación se debe procurar de juntarlos en grupos para que sea mucho más fácil de localizar y que en el proceso constructivo sea también más fácil administrar.

## 5. PASO 5: Definición e ingreso de propiedades del suelo



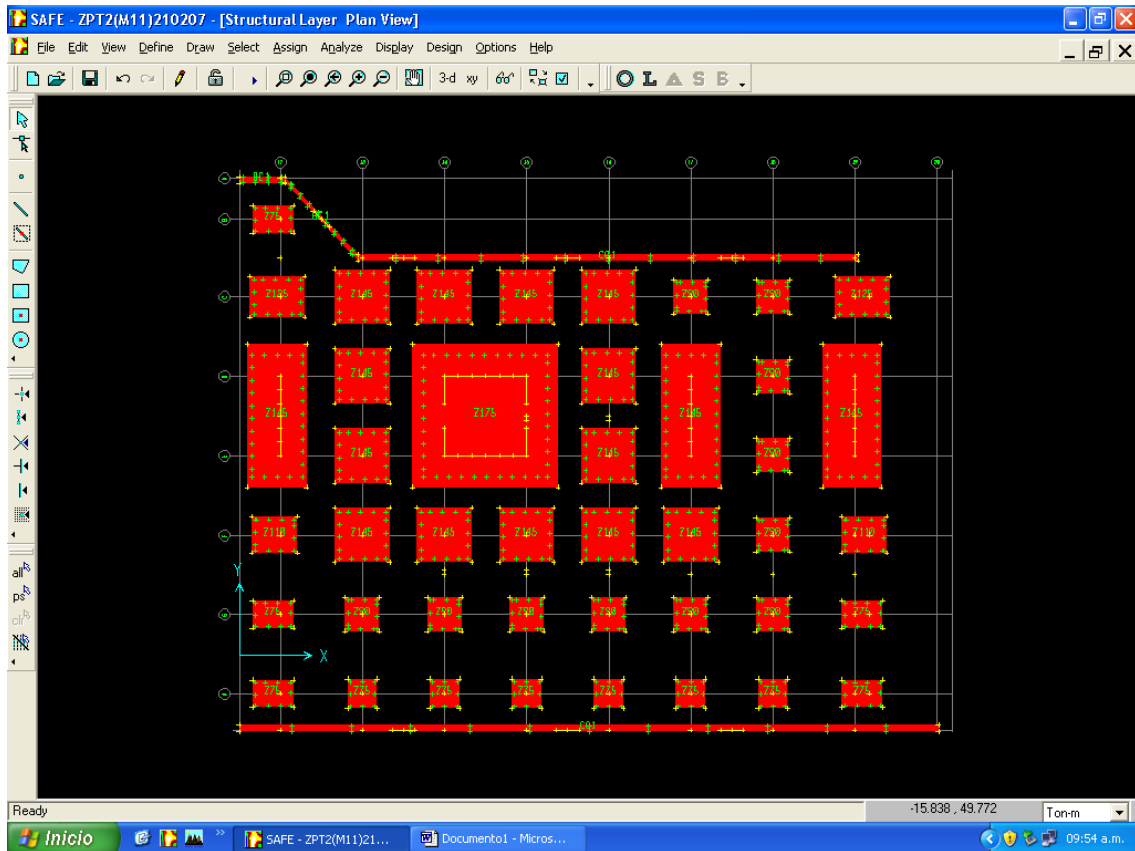
Las propiedades del suelo son datos que revelan el estudio de suelos que se haya hecho en el sitio de construcción del proyecto. El dato que interesa en este paso es el Valor Soporte Neto del suelo ( $41 \text{ ton/m}^2$ ) para luego poder calcular el Módulo de Subgrado del suelo con:

$$Ks = 40 \times (\text{factor}) \times qa = 40 \times (3) \times 41$$

$$Ks = 120 \times 41 = 4920$$

Entonces el Módulo de Subgrado del suelo es 4920. Este valor no tiene dimensionales, es simplemente el dato que necesita SAFE para poder simular el tipo de suelo del proyecto a construir.

## 6. PASO 6: Dibujo de geometría inicial de cimentación

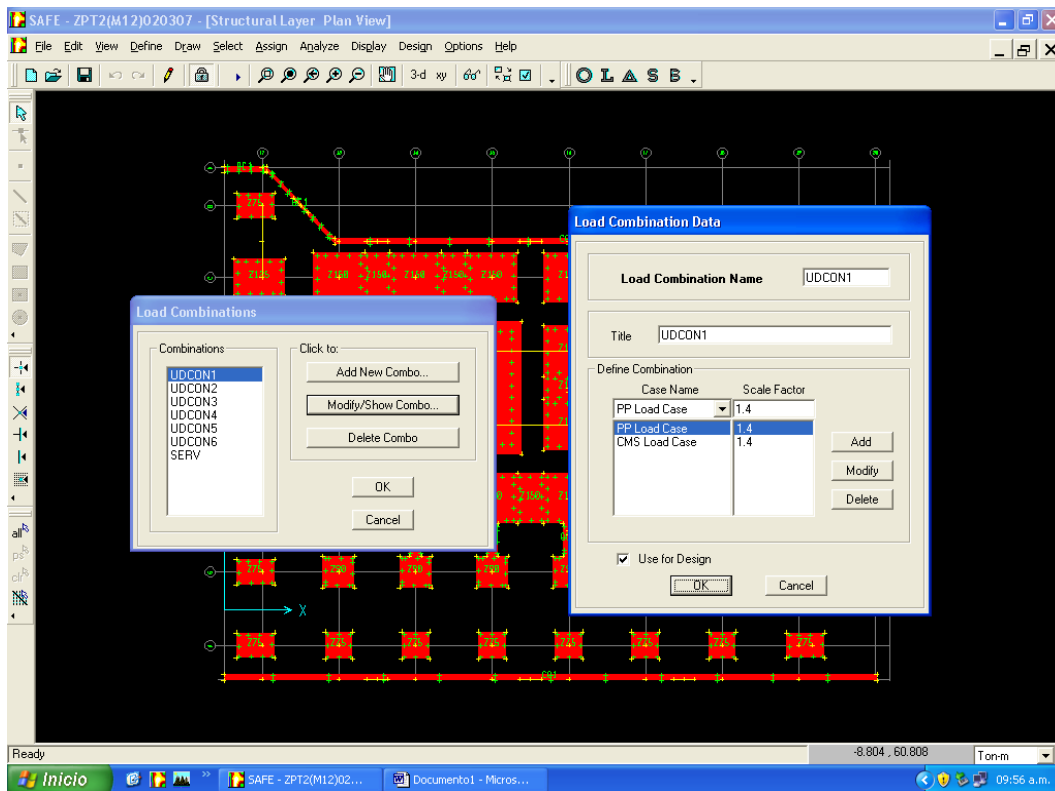


Se usa la información para dibujar los resultados que SAFE generó y así tener la primera planta de cimentación.

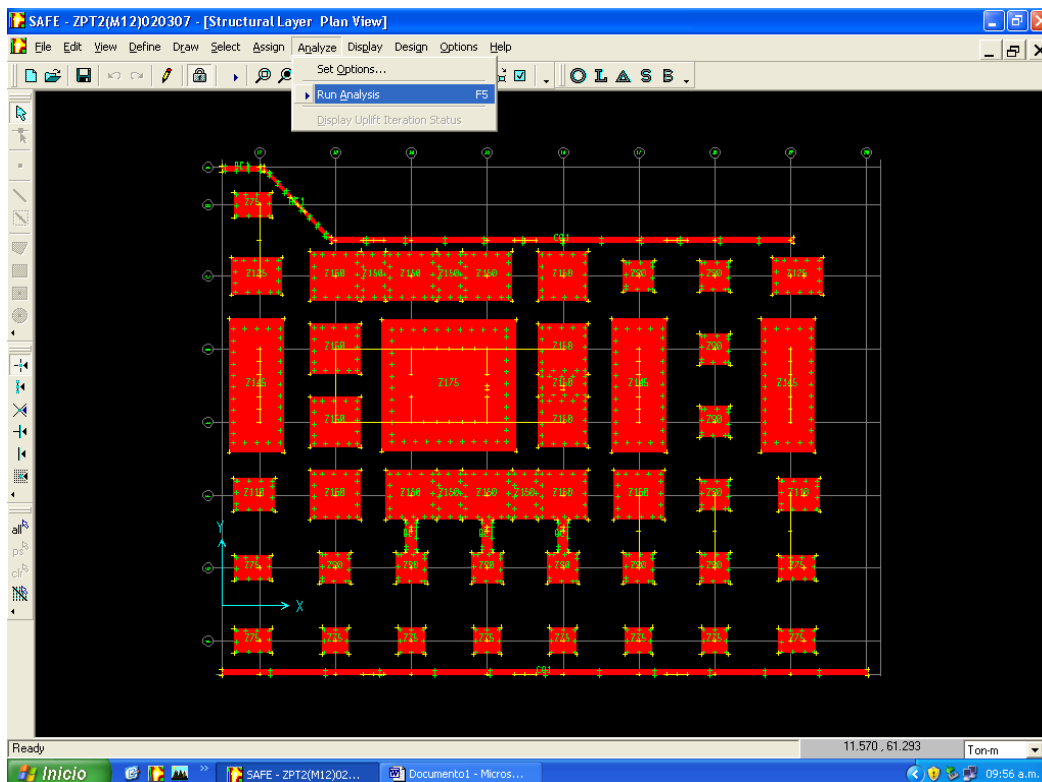
**7. PASO 7: Cambios a geometría inicial (si fuera necesario).** Por el momento, no se registran cambios por limitaciones de espacio entre ejes o alguna situación general, así que no es necesario el reacondicionamiento por ahora. Cabe resaltar de que este tipo de resultados (no necesitar cambios en la geometría inicial) se da porque la geometría que necesita la cimentación final no será tan compleja. Entre mas cambios necesita la geometría inicial, mayor se puede anticipar la complejidad de la cimentación final.

**8. PASO 8: Definición de combinaciones de cargas.** Estas cargas son las que se presentan a continuación y se ingresan en SAFE.

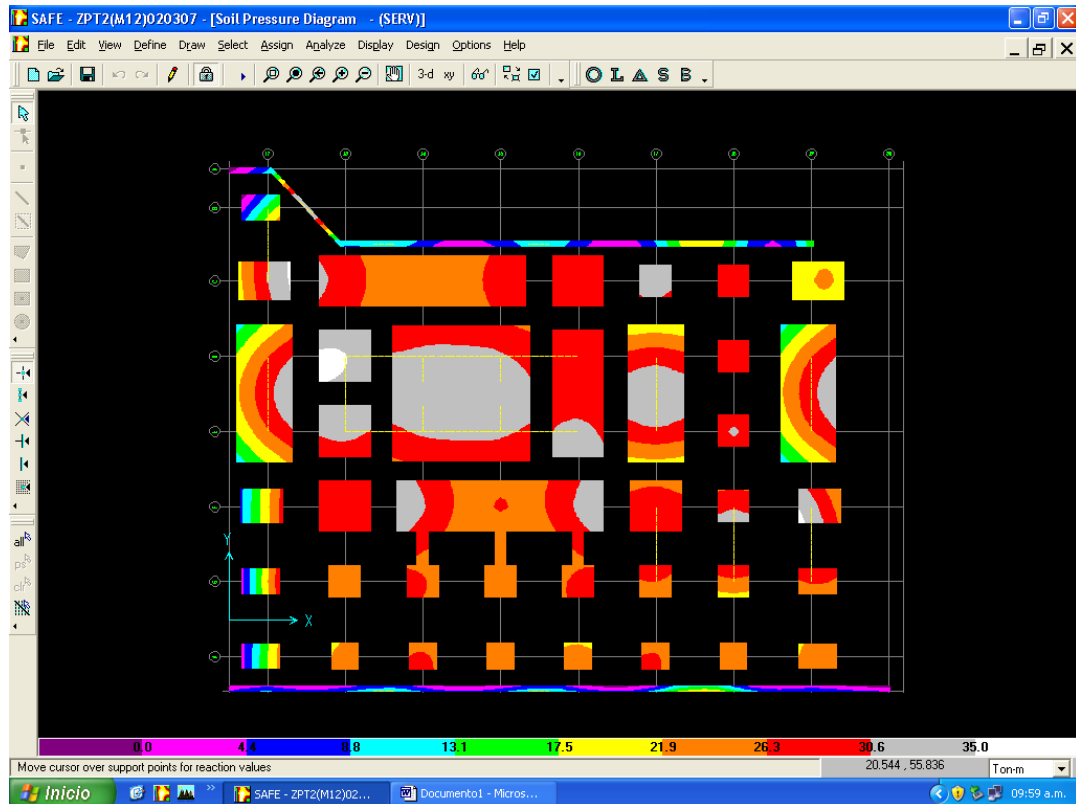
Combinación	Factores
Combinación 1	1.4 PP + 1.4 CV
Combinación 2	1.2 PP + 1.2 CM + 1.6 CV
Combinación 3	1.2 PP + 1.2 CM + CV + SX
Combinación 4	1.2 PP + 1.2 CM + CV - SX
Combinación 5	1.2 PP + 1.2 CM + CV + SY
Combinación 6	1.2 PP + 1.2 CM + CV - SY
Servicio	PP + CMS + 0.5 CV



9. PASO 9: Análisis. Una vez se ha verificado que todo está en orden, se corre el programa.



**10. PASO 10: Interpretación de análisis.** Se puede observar qué tan bien está la primera aproximación y qué cimentaciones se deben cambiar:

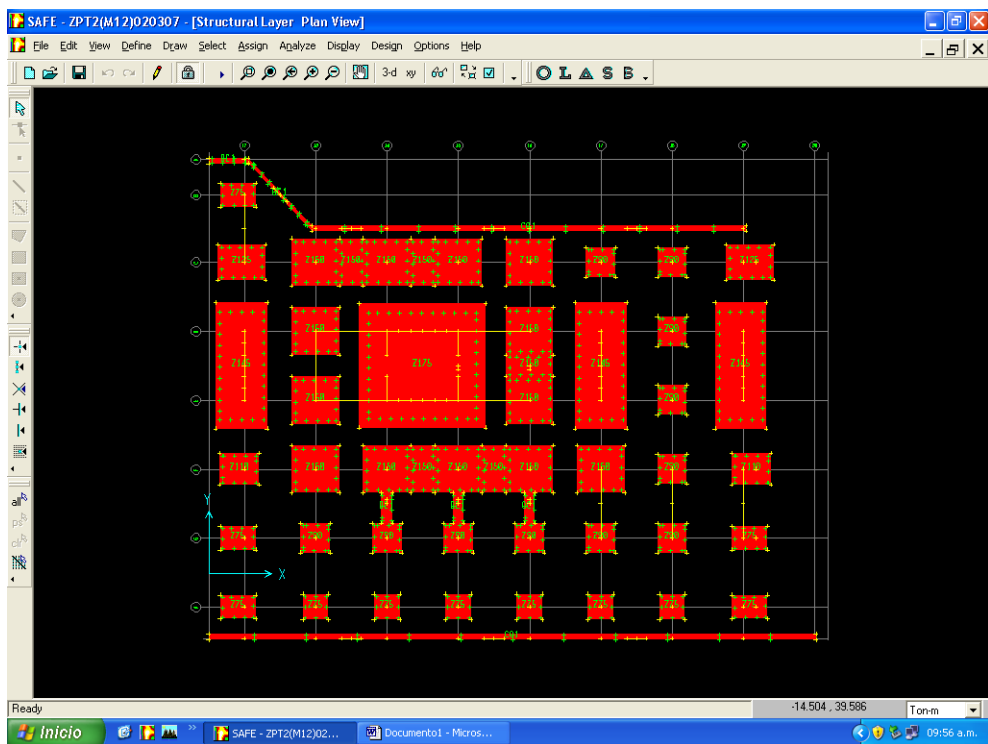
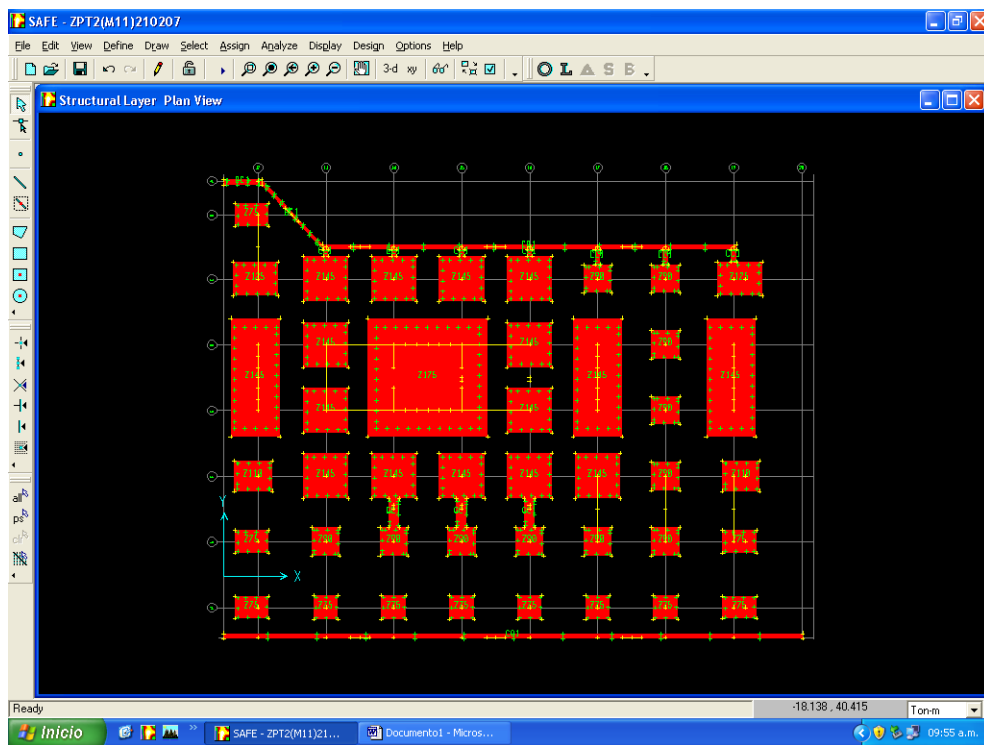


Al observar esta gráfica, se aprecia que la mayoría de los cimientos están en una región aceptable en cuanto a su funcionamiento. Como se había expuesto con anterioridad, el color que se busca para todos los cimientos es el gris, ya que indica la parte de la zapata que está utilizando toda su capacidad para resistir las cargas. También se puede notar que hay una zapata que tiene una región blanca y aunque se trata de evitar este color, si se coloca el cursor sobre esa región se observa en la esquina inferior izquierda que el valor es de 35 ton/m y si se está velando porque el valor sea 35 ton/m, la diferencia entre ambos es relativamente pequeña y no vale la pena cambiar las dimensiones para corregir tan diminuto error.

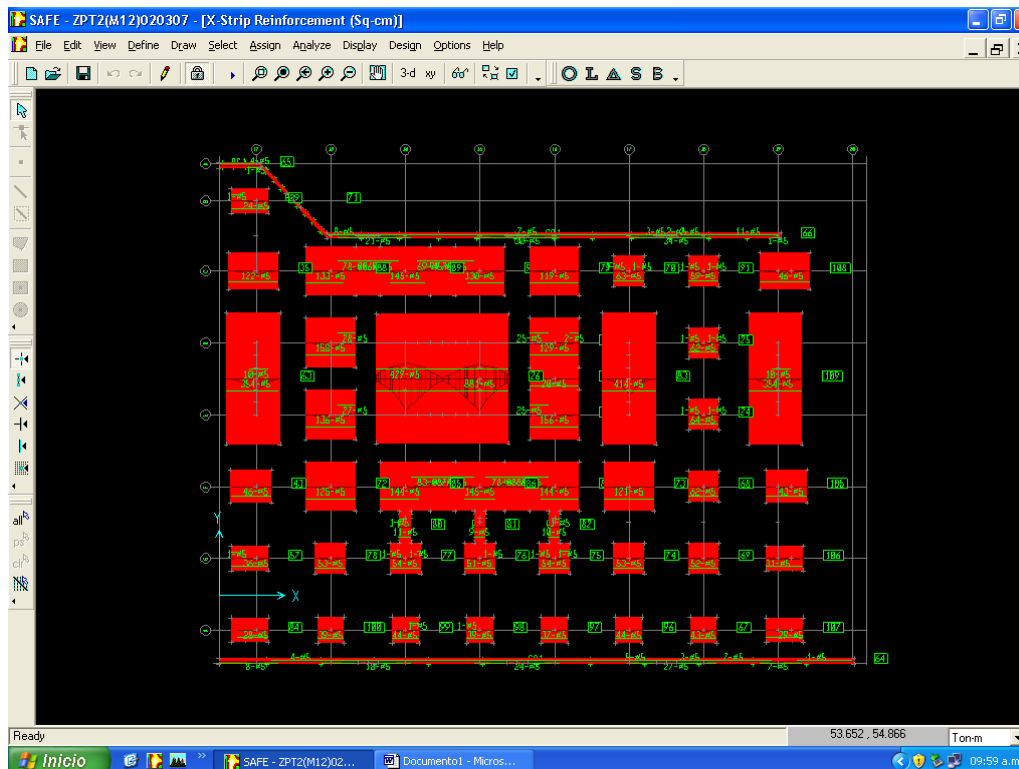
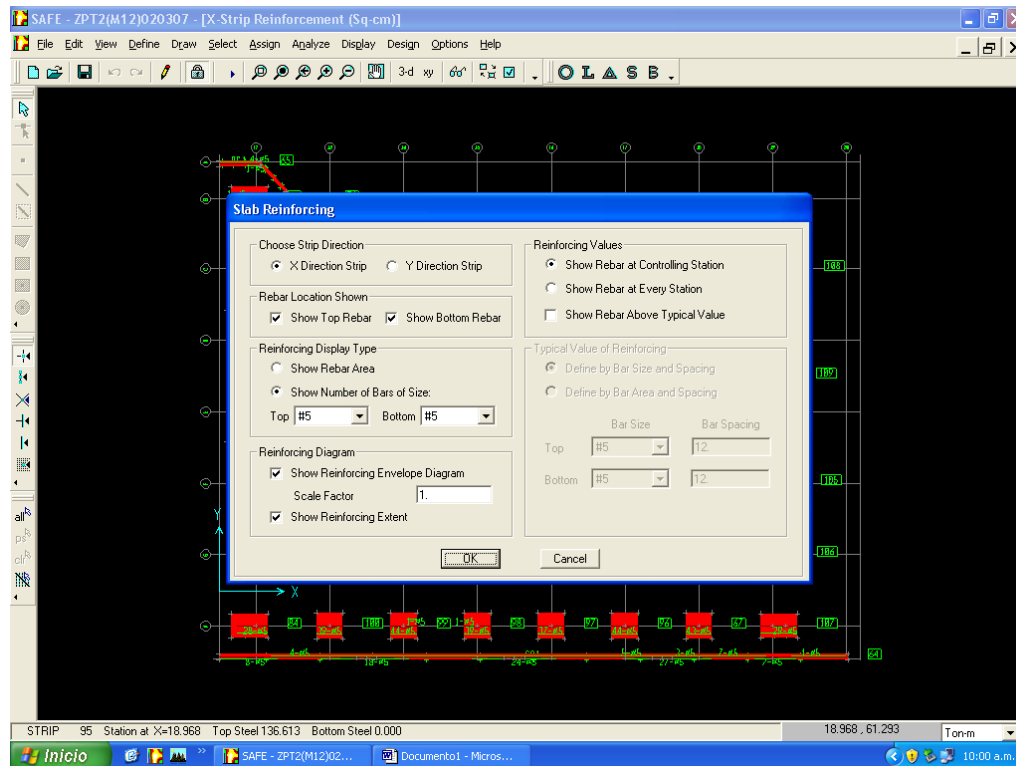
Las dos zapatas combinadas grandes que se extienden a lo largo del eje x en el medio de toda la planta de cimentación fueron combinadas, ya que estas antes eran 3 zapatas de 6m x 6m y debido a que no chequeaban fue necesario unir las zapatas y así salieron resultados que no indicaban fallas. Aún cuando estén en color naranja en su centro y estén sobradas en esa sección, si se disminuyera el área en cualquier sentido, la zapata combinada falla y es por esto que se deja como está aún cuando no se esté alcanzando el color gris que se desea.

**11. PASO 11: Rediseño de geometría.** Éste es un proceso de prueba y error en el cual se examinó qué sucedía si crecían las dimensiones de los cimientos que no

chequeaban, si se aumentaban los peraltes, etc. Hasta llegar a un diseño que resulte conveniente. El siguiente es el resultado final de pruebas de cambios de dimensiones, inclusión de vigas de cimentación y aumentos de peraltes.



**12. PASO 12: Refuerzo.** Por último se diseña el modelo y en el menú DISPLAY se puede pedir que se muestre el refuerzo en X y Y para el refuerzo longitudinal y en el mismo menú de DISPLAY buscar el refuerzo de corte o SHEAR REINFORCING.



## IV. Conclusiones y recomendaciones

**A. Conclusiones.** El diseño de estructuras en ingeniería civil, es un proceso que se hace más complejo en función del número de variables que se le introduzcan y éstas a su vez crecen en proporción exponencial a las dimensiones, el peso y a los requerimientos de carga solicitados a la estructura. Se sabe también que analizar en una estructura la interacción de todas las cargas y efectos de las cargas simultáneamente inducirían a un esfuerzo de evaluación muy complejo que dejaría de ser práctico, por lo que se parte del principio de que las cargas y sus efectos actúan de forma aislada en la estructura y que como consecuencia se podrá analizarlo también separadamente. Esta condición permite incluir un número cada vez mayor de elementos a analizar y se podrá finalmente conseguir un diseño más completo y confiable.

En este trabajo se reconoce que el proceso de diseño sólo podrá ser exitoso si se hace un buen trabajo de ingeniería de suelos y si se toman en cuenta los factores de carga externos a los propios de servicio normal de la estructura en servicio y que eventualmente deberá soportar el suelo en condiciones excepcionales como sismos, huracanes, inundaciones, explosiones, etc., sin lo cual este esfuerzo de diseño se quedaría muy corto.

El programa SAFE es un simulador. Ayuda a hacer corridas de diferentes condiciones de carga para hacer posible el proceso de aproximaciones sucesivas más rápido y eficazmente y permite hacer un número de evaluaciones tan grande como se necesiten, sin que esto signifique una inversión en tiempo y trabajo imposibles. Por lo demás el trabajo de análisis y diseño seguirá siendo el mismo: un proceso de prueba y error.

**B. Recomendaciones.** El programa SAFE es una herramienta muy útil en el diseño de cimentación y es por esto que se encomienda la familiarización con el programa, ya que se ahorran muchos recursos no sólo en el proceso constructivo, entiéndase materiales, sino también para el diseñador en términos de seguridad en el diseño, tiempo de diseño, orden, etc.

## V. Referencias bibliográficas

1. Bowles, Joseph E., 1988, *Foundation Analysis and Design*, 4ª Edición, México D.F., McGraw Hill, 119 págs.
2. Das, Braja M., 1999, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, 3ª Edición, México D.F., Thomson Learning, 594 págs.
3. Das, Braja M., 2006, *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*, 5ª Edición, México D.F., Thomson Learning, 407 págs.
4. Microsoft, 2003, *Encarta Enciclopedia de Lujo*, Estados Unidos.
5. Wikimedia, 2007, *Enciclopedia Wikipedia*, Estados Unidos.

### Páginas web consultadas

- [www.safe.com](http://www.safe.com)
- [www.arqhys/cimentaciones/html](http://www.arqhys/cimentaciones/html)
- [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com)