

## II.- DESCRIPCIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

### II.I.- ANTECEDENTES.

#### Definición de suelo.

Existen múltiples definiciones de suelos, a continuación se dan tres definiciones de las más relevantes.

Juárez Badillo-Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos.

“Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie.”

R.F. Craig. Mecánica de suelos.

“Para el Ingeniero Civil, suelo es cualquier acumulación de partículas minerales, cementadas débilmente o no cementadas, formadas por la pulverización de rocas por la intemperie, y con los espacios entre partículas ocupados por agua y/o aire.

Sowers. Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones.

“Tierra o suelo se define en ingeniería como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. El tamaño máximo de las partículas que pueden calificarse como suelo no es fijo, pero lo determina la función en que ellas están implicadas.”

#### Clasificación de suelos.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Existen diferentes clasificaciones de los suelos a continuación se describe la más útil para la Ingeniería Civil la cual es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Este sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha maya y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

Suelos gruesos.

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo. El significado se especifica abajo.

- a) Gravas y suelos en que predominen éstas. Símbolo genérico G (gravel).
- b) Arenas y suelos arenosos. Símbolo genérico S (sand). Símbolo

Las gravas y las arenas se separan con la malla N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción es gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla N° 4, y es del grupo genérico S, en caso contrario.

1. Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.
2. Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.
3. Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco mo y mjala). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM.
4. Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.

Suelos finos.

También en este caso el Sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los gruesos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo genérico M (del sueco mo y mjala).
- b) Arcillas inorgánicas, del símbolo genérico C (clay).
- c) Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico O (organic).

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdivide, según su límite líquido, en dos grupos. Si éste es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (low compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (*high compressibility*), teniéndose así los grupos MH, CH y OH.

### **Definición de cimentación.**

Un cimiento se puede definir como la obra que sirve de base y fundamento para cualquier tipo de construcción, sea esté un edificio, una presa, una planta de tratamiento, etc.

En el análisis de una cimentación se deben de tener en cuenta dos aspectos principales: la cimentación y el subsuelo. La cimentación es la parte de la estructura que transmite la cargas al suelo, también se le conoce como estructura de fundación(o de cimentación), subestructura o infraestructura. Por su parte el terreno de la cimentación es el que recibe las cargas que transmite la estructura.

### **Tipos de cimentación.**

Existen diferentes tipos de cimentaciones estas dependen de la profundidad a la que se hincan y se clasifican en cimentaciones someras y cimentaciones profundas.

Cimentaciones someras.

Zapata aislada.

Las zapatas aisladas son utilizadas generalmente para transportar las cargas concentradas de una columna, y su función es aumentar el área de apoyo en ambas direcciones. Es recomendable utilizar este tipo de cimientos cuando el suelo tiene una capacidad de carga admisible no menor a  $10 \text{ ton/m}^2$ .

Zapata corrida.

Las zapatas corridas son utilizadas generalmente bajo muros, y éstas reciben cargas lineales, a través del muro. Son cimentaciones de gran longitud en comparación con su sección transversal. Las zapatas corridas son utilizadas cuando:

- Se trata de un elemento continuo.
- Se requiere reducir el esfuerzo que recibe el suelo.
- Es mejor por facilidad constructiva.

Losa.

Las losas son utilizadas generalmente cuando las cargas de la estructura son altas y la capacidad de resistencia del suelo es muy baja, esta consiste en una losa de concreto reforzado de gran peralte. La carga en este tipo de cimiento se distribuye en toda la losa. En las cimentaciones de edificios de gran envergadura, las cargas se reparten por medio de nervaduras o muros cruzados, que rigidizan la losa, como es el caso de este proyecto, aunque principalmente se optó por este sistema por facilidad constructiva.

Cimentaciones profundas.

Pilas.

Una pila es una estructura subterránea que tiene la función que cumple una zapata (transmitir las cargas del edificio al suelo), a diferencia de una zapata la relación entre profundidad/base es generalmente en pilas mayor que cuatro y en zapatas la relación es menor que 1. Este tipo de cimentación se utiliza generalmente cuando el suelo no es lo suficientemente resistente para resistir la estructura, y se tiene que recurrir a los estratos del subsuelo más resistentes para cimentar la estructura.

Pilotes.

Un pilote es una estructura con un área de sección transversal pequeña en comparación con su longitud a diferencia de las pilas. Se hincan en el suelo a base de golpes generados por una maquina especializada (piloteadora). Los materiales con que se construyen los pilotes pueden ser: madera, acero y concreto.

### **Requisitos mínimos para la investigación del subsuelo.**

#### **A. CONSTRUCCIONES LIGERAS O MEDIANAS DE POCA EXTENSIÓN O CON EXCAVACIONES SOMERAS.**

Son de esta categoría las edificaciones que cumplen los siguientes tres requisitos:

- Peso unitario medio de la estructura;  $w \leq 5 \text{ t/m}^2$ .

- Perímetro de la construcción  $P \leq 80$  m. en las Zonas I y II, o  $P \leq 120$  m en la Zona III.
- Profundidad de desplante  $D_f \leq 2.5$  m.

#### ZONA I.

1. Detección por procedimientos directos, eventualmente apoyados en métodos indirectos, de rellenos sueltos, galerías de minas, grietas y otras oquedades.
2. Pozos a cielo abierto para determinar la estratigrafía y propiedades de los materiales y definir la profundidad de desplante.
3. En caso de considerarse en el diseño del cimiento un incremento neto de presión mayor de  $8 \text{ t/m}^2$ , el valor recomendado deberá justificarse a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio o de campo realizadas.

#### ZONA II

1. Inspección superficial detallada (después de limpieza y despalme del predio) para detección de rellenos sueltos y grietas.
2. Pozos a cielo abierto para determinar la estratigrafía y propiedades de los materiales y definir la profundidad de desplante.
3. En caso de considerarse en el diseño del cimiento un incremento de presión mayor de  $5 \text{ t/m}^2$ , bajo zapatas o de  $2 \text{ ton/m}^2$  bajo cimentación a base de losa continua, el valor recomendado deberá justificarse a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio o de campo realizadas.

#### ZONA III

1. Inspección superficial detallada (después de limpieza y despalme del predio) para detección de rellenos sueltos y grietas.
2. Pozos a cielo abierto complementados con exploraciones más profundas (, por ejemplo con pala posteadora) para determinar la estratigrafía y propiedades de los materiales y definir la profundidad de desplante.
3. En caso de considerarse en el diseño del cimiento un incremento neto de presión mayor de  $4 \text{ ton/m}^2$ , bajo zapatas o de  $1.5 \text{ ton/m}^2$  bajo cimentación a base de losa general, el valor recomendado deberá justificarse a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio o de campo realizadas.

#### B. CONSTRUCCIONES PESADAS, EXTENSAS O CON EXCAVACIONES PROFUNDAS.

Son de esta categoría las edificaciones que tienen al menos una de las siguientes características:

- Peso unitario medio de la estructura;  $w > 5 \text{ t/m}^2$ .
- Perímetro de la construcción  $P > 80$  m. en las Zonas I y II, o  $P > 120$  m en la Zona III.
- Profundidad de desplante  $D_f > 2.5$  m.

#### ZONA I

1. Detección por procedimientos directos, eventualmente apoyados en métodos indirectos, de rellenos sueltos, galerías de minas, grietas y otras oquedades.
2. Sondeos o pozos profundos a cielo abierto para determinar la estratigrafía y propiedades de los materiales y definir la profundidad de desplante. La profundidad de la exploración con respecto al nivel de desplante será al menos igual al ancho en planta del elemento de cimentación, pero deberá abarcar todos los estratos sueltos o compresibles que puedan afectar el comportamiento de la cimentación del edificio.

#### ZONA II

1. Inspección superficial detallada (después de limpieza y despalme del predio) para detección de rellenos sueltos y grietas.
2. Sondeos con recuperación de muestras inalteradas para determinar la estratigrafía y propiedades índice y mecánicas de los materiales del subsuelo y definir la profundidad de desplante. Los sondeos permitirán obtener un perfil estratigráfico continuo con la clasificación de los materiales encontrados y su contenido de agua. Además, se obtendrán muestras inalteradas de los estratos que pueden afectar el comportamiento de la cimentación. Los sondeos deberán realizarse en número suficiente para verificar si el subsuelo del predio es uniforme o definir sus variaciones dentro del área estudiada.
3. En caso de cimentaciones profundas, investigación de la tendencia de los movimientos del subsuelo debidos a consolidación regional y determinación de las condiciones de presión del agua en el subsuelo, (incluyendo detección de mantos acuíferos).

#### ZONA III

1. Inspección superficial detallada (después de limpieza y despalme del predio) para detección de rellenos sueltos y grietas.
2. Sondeos para determinar la estratigrafía y propiedades índice y mecánicas de los materiales y definir la profundidad de desplante. Los sondeos permitirán obtener un perfil estratigráfico continuo con la clasificación de los materiales encontrados y su contenido de agua. Además, se obtendrán muestras inalteradas de los estratos que puedan afectar el comportamiento de la cimentación. Los sondeos deberán realizarse en número suficiente para verificar si el subsuelo del predio es uniforme o definir sus variaciones dentro del área estudiada.
3. En caso de cimentaciones profundas, investigación de la tendencia de los movimientos de subsuelo debidos a consolidación regional y determinación de las condiciones de presión del agua en el subsuelo, (incluyendo detección de mantos acuíferos).

### **II.II.- ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.**

El estudio de mecánica de suelos estuvo a cargo de la empresa Carlos E Gutiérrez y Asociados SC Mecánica de Suelos y Cimentaciones; se presentaron recomendaciones geotécnicas y de cimentación para el diseño de un edificio mixto que consta de 5 sótanos y 3 niveles.



Localización del predio en estudio (N 19°20'57.86"W99°11'23.92").

### Introducción.

El predio se localiza en la zona I de Lomas, con un coeficiente sísmico  $C_s = 0.16$ . La estratigrafía está conformada por arcilla café oscura hasta -5.5 m subyacente por tobas limo-arenosas hasta -25 m que fue la máxima profundidad explorada. No se presenta nivel freático. No se detectaron cavernas ni discontinuidades que pudieran poner en riesgo el proyecto. La cimentación se resolvió en un principio a base de zapatas aisladas y empotradas 1.0 m. a partir del nivel máximo de excavación aunque después por facilidad constructiva se seleccionó una losa de cimentación postensada, la resistencia del suelo es de  $85 \text{ ton/m}^2$ . Los cortes se estabilizaron utilizando un sistema de anclaje temporal y concreto lanzado.

### Condiciones geotécnicas del sitio.

Información geotécnica.

De acuerdo a la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, el sitio se localiza en la zona I denominada Lomas. Esta zona está formada por zonas serranías que limitan a la cuenca al poniente y al norte, donde predominan tobas compactas de cementación variable, depósitos de origen glacial y aluviones.

Exploración de campo.

- 3 Sondeos de penetración estándar (SPT-1 a 3) de 23, 25 y 16 m de profundidad respectivamente.



Interpretación estratigráfica.

De 0.0 a 4.40 m.

**Arcilla** café oscura. El número de golpes con la prueba de penetración estándar ( $N_{SPT}$ ) resultó de 10.

De 4.40 a 25.0 m.

Toba **limo-arenosa** café claro con grumos pumíticos. Con  $N_{SPT}$  variable de 35 a > 50.

No se presenta nivel de agua freática. No se detectaron cavernas ó grietas dentro del predio.

Coefficiente sísmico.

De acuerdo en la zonificación geotécnica el suelo es clasificado como Suelo Tipo I y por tanto le corresponde un coeficiente sísmico  $C_s=0.16$ . En los anexos se pueden observar los 3 sondeos de penetración estándar que se llevaron a cabo a diferentes profundidades.

### II.III.- ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN.

#### Diseño geotécnico de la cimentación.

La cimentación que en un principio se resolvió mediante zapatas aisladas y/o corridas de concreto reforzado empotradas en terreno resistente se analizó de la siguiente manera.

Nivel de desplante: El empotre será de 1.0 m con respecto al máximo nivel de excavación.

#### Capacidad de carga.

La resistencia del suelo, se determinó con la siguiente expresión:

$$R = q_{adm} = a_c c N_c + a_\gamma \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + a_q \gamma D_f (N_q 1) * FR$$

Donde:

$q_u$  resistencia "R" del suelo, ton/m<sup>2</sup>

$c$  Cohesión, ton/m<sup>2</sup>

$N_c, N_q, N_\gamma$  coeficiente de capacidad de carga

$\gamma$  peso volumétrico del suelo de desplante, ton/m<sup>3</sup>

$D_f$  nivel de desplante, m.

Sustituyendo los valores respectivos con el factor de reducción de reglamento, la resistencia del suelo es de 85 ton/m<sup>2</sup>.

### Análisis de asentamientos.

Al transmitir el peso de la construcción al terreno de sustentación, se producirán en superficie asentamientos, cuyo valor se calculó utilizando la expresión elástica definida para una placa rígida apoyada en un medio semi-finito elástico:

$$\delta = \alpha \frac{(1 - \nu^2)B}{E_s} q_{adm}$$

Donde:

- $\delta$  asentamiento calculado, cm
- $\nu$  relación de Poisson, 0.25
- $E$  modulo de rigidez del suelo de cimentación, kg/cm<sup>2</sup>
- $B$  ancho de la cimentación, m
- $q$  presión aplicada al suelo, kg/cm<sup>2</sup>
- $\alpha$  Factor de forma, adimensional

Los asentamientos de tipo elástico en la cimentación resultaron de 2.0 cm. Presentándose durante la construcción de la estructura. Los cuales son ínfimos comparados con la altura del edificio.

El módulo de reacción vertical  $K_v$  del estrato de apoyo para zapatas se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$K_v = \frac{q_{adm}}{\delta}$$

El módulo de reacción vertical es de 4.35 kg/cm.

### Diseño de la excavación y protección a colindancias.

Este análisis sirve para determinar la estabilidad de la excavación para los siguientes mecanismos:

- a) Falla general por el fondo y b) Estabilidad de taludes.

#### *Falla general por el fondo.*

El margen de seguridad ante la falla de fondo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_u N_c F_R > P_V + \sum q F c$$
$$N_c = 5.14 \left( 1 + 0.25 \frac{D_f}{B} + 0.25 \frac{B}{L} \right)$$

Donde:

$C_u$  valor medio de la resistencia al corte no drenada del material bajo el fondo de la excavación, t/m<sup>2</sup>.

$N_c$  factor de estabilidad, adimensional.



- B ancho de excavación, m.
- L longitud del tramo a excavar, m.
- Df profundidad de excavación, m.
- Pv presión total inicial al nivel máximo de excavación, t/m<sup>2</sup>.
- qFc sobrecarga superficial afectada por un factor de carga.
- F<sub>R</sub> factor de resistencia.

Reemplazando los valores definidos anteriormente se obtiene un FS≈1.76 el cual es suficiente para excavaciones de tipo temporal (FS≥1.7) donde existen edificaciones susceptibles de sufrir daños por asentamiento cercanos a la excavación.

### *Estabilidad de taludes.*

El método de análisis utilizado para la estabilidad de los taludes es el de equilibrio estático de cuña deslizante cuyo factor de seguridad está definido como:

$$FS = \frac{\text{Fuerza resistente}}{\text{Fuerza motora}}$$

Donde

- Fuerza resistente Fuerza que fija al talud y es función de la cohesión y la fricción.
- Fuerza motora Fuerza que mueve al talud y es función del peso de la cuña de de suelo que tiende a deslizar y de la sobrecarga en la corona.

El análisis de estabilidad se realizó aplicando el criterio propuesto por Bishop de acuerdo con la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\sum \frac{(C\Delta x + N \tan\phi) \sec\theta}{1 + \frac{\tan\phi \tan\theta}{FS}}}{\sum W \sin\theta}$$

Donde:

- C cohesión de suelo en la base de la dovela considerada, t/m<sup>2</sup>.
- Δx ancho de la dovela considerada, m.
- N fuerza normal componente del peso de la dovela de interés, t/m<sup>2</sup>.
- φ ángulo de fricción interna del suelo en la base de la dovela.
- θ ángulo formado entre la horizontal y la base de la dovela considerada.

FS        factor de seguridad, adimensional.

W        peso de cada dovela.

Los resultados indican que los cortes verticales sin anclaje son inestables, por lo que requiere de un sistema de anclas para estabilizar el corte e incrementar el factor de seguridad de la excavación.

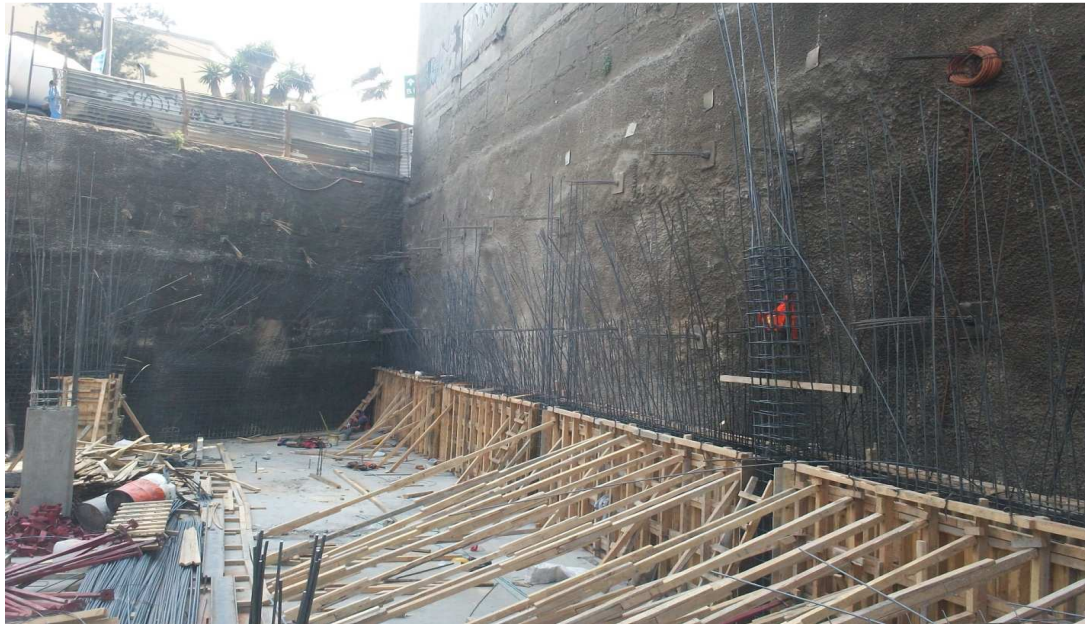
### ***Solución de contención.***

La estabilización con un sistema de anclaje consiste en inducir esfuerzos de compresión contra la cara del talud de manera que impida el deslizamiento de la cuña de suelo.

Este sistema genera un bulbo que reacciona a la carga de tensión aplicada a los torones en la cara del talud. Posteriormente mediante un sistema de retención de carga, la tensión se ejerce contra la capa de concreto y genera compresión sobre el talud.

Las anclas serán de tipo temporal, detendrán el suelo solo durante la etapa de excavación para facilitar la construcción del muro perimetral definitivo.





Se instalarán con una distancia horizontal de 3.0 m. a las profundidades indicadas en la siguiente tabla, se colocarán en una perforación de 4" de diámetro e inclinadas 10° por debajo de la horizontal, utilizando una lechada de cemento con presión de inyección de 2.0 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia de 200 kg/cm<sup>2</sup> que reaccionarán contra una zapata labrada de 0.30x0.30x0.10 m de concreto lanzado, doble malla electrosoldada 6x6-10/10 y placa de acero de 0.15mx0.15mx1/2".

<b>Sistema de anclaje para colindancias con sótanos.</b>									
Nivel	Prof. (m)	Diam de perf (pulg)	Inclinación (°)	Presión de inyección (kg/cm <sup>2</sup> )	Longitud total (m)	Longitud bulbo (m)	Longitud libre (m)	Tipo de ancla	Tensado (ton)
1	4.5	4"	10°	2	28	20	8	4 torones de 0.6"	60
2	7.5				26	20	6		
3	11.5				19	15	4		
4	13.5				19	15	4		

<b>Distribución de sistema de anclaje para colindancias restantes.</b>									
Nivel	Prof. (m)	Diam de perf (pulg)	Inclinación (°)	Presión de inyección (kg/cm <sup>2</sup> )	Longitud total (m)	Longitud bulbo (m)	Longitud libre (m)	Tipo de ancla	Tensado (ton)
1	1.5	4"	10°	2	23	13	10	4 torones de 0.6"	40
2	4.5				20	13	7		
3	7.5				18	13	5		
4	10.5				16	13	3		
5	13.5				13	11	2		

### Revisión mediante el método de elemento finito.

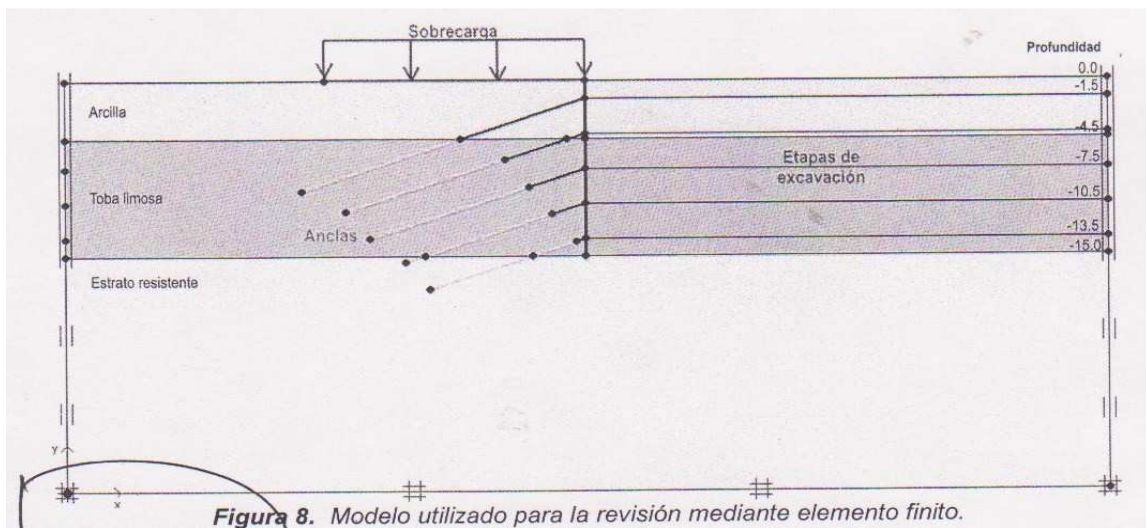
Aplicando el método del elemento finito se evalúa la estabilidad de taludes del corte, calculando el factor de seguridad en diferentes niveles de excavación y anclaje. Para este análisis se consideran las condiciones estratigráficas y de anclaje antes mencionadas.

El cálculo del factor de seguridad (FS) empleando este método corresponde a la aplicación de la técnica denominada Reducción de la Resistencia al Esfuerzo Cortante, SSR (Shear Strength Reduction). Por definición, el FS de un talud es “la relación entre la resistencia al esfuerzo cortante real y la resistencia al esfuerzo cortante mínima requerida para prevenir la falla”, o el factor por el cual debe de ser reducida la resistencia al esfuerzo cortante del suelo para llevar a un talud al borde de la falla.

El factor de seguridad global al final de la excavación es de 2.3.

En las siguiente figuras se observan las curvas del cálculo del factor de seguridad en diferentes niveles de la excavación y considerando que no existe sistema de anclaje y las zonas de falla correspondientes al mínimo factor de seguridad, y al corte sin anclaje, respectivamente.

Se concluye que, para las condiciones analizadas, la excavación es estable en las diferentes etapas de construcción y bajo las condiciones consideradas.





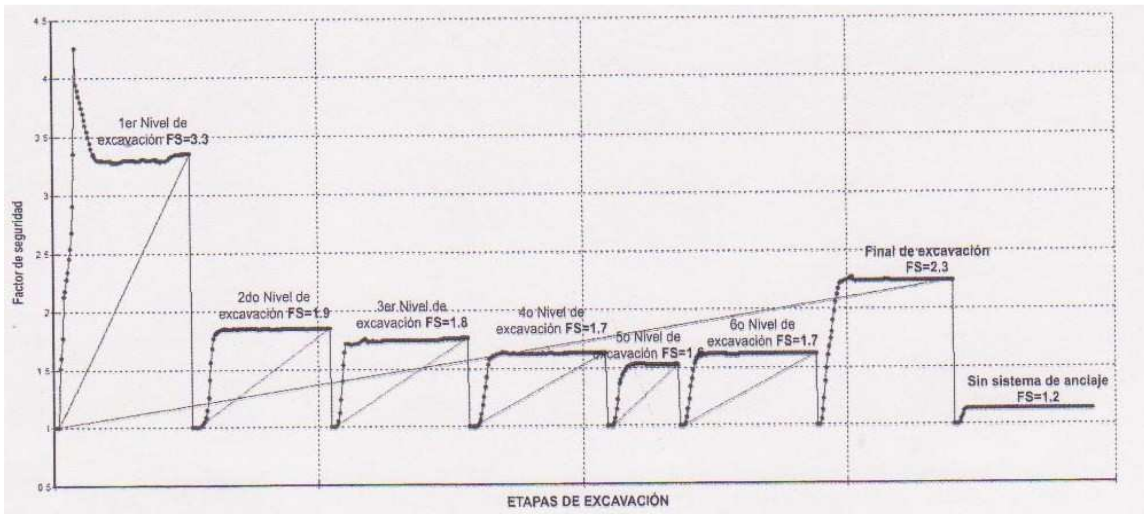


Figura 9. Gráficas del cálculo del factor de seguridad para diferentes etapas de excavación.

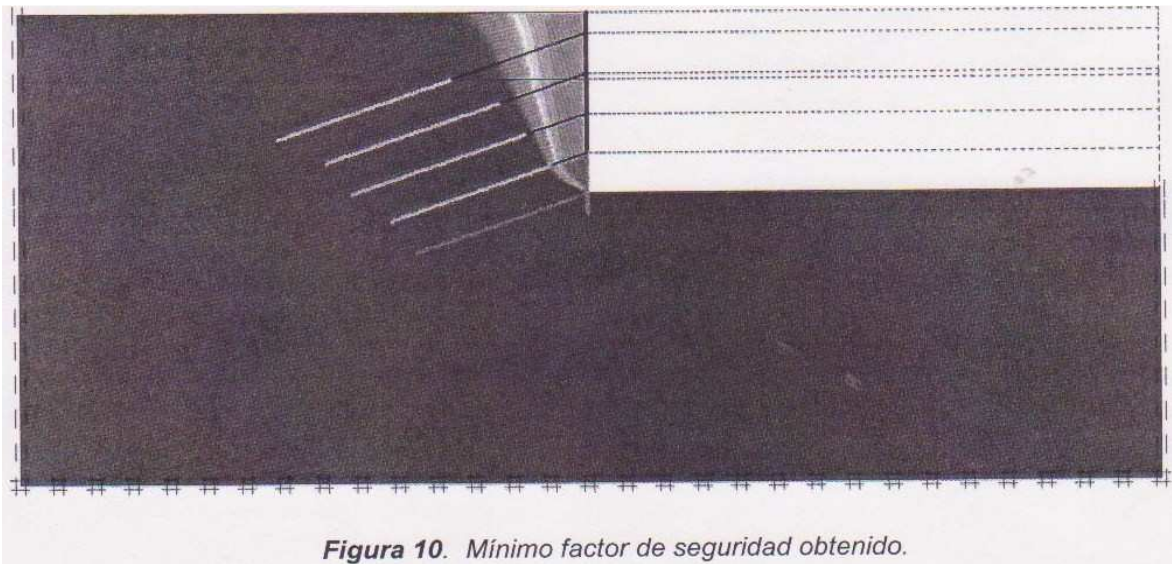
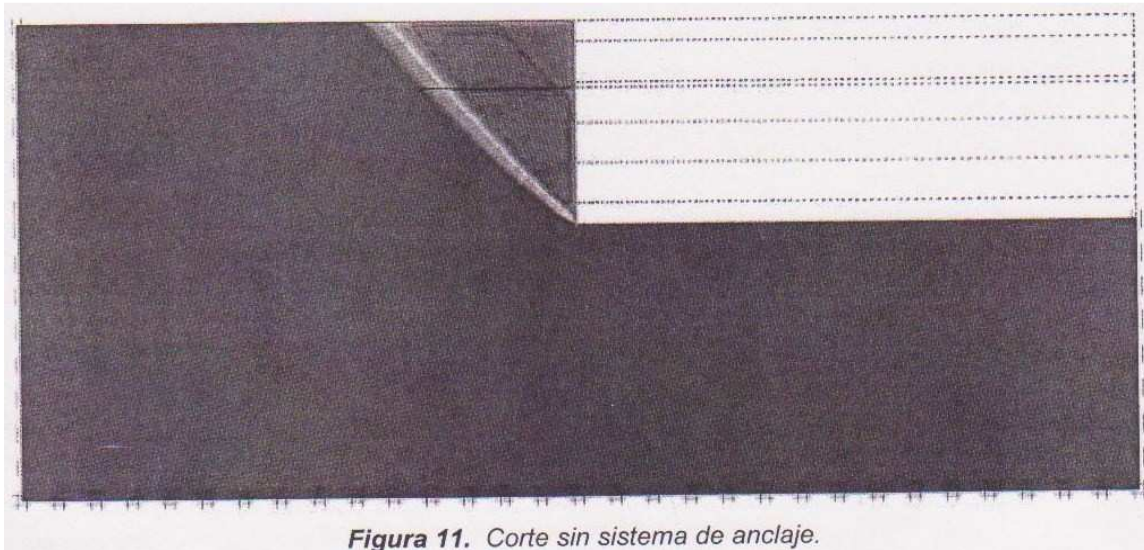


Figura 10. Mínimo factor de seguridad obtenido.



**Figura 11.** Corte sin sistema de anclaje.

### Empuje de tierras.

Debido a que los muros perimetrales se colocaran contra el terreno, éstos soportaran una presión horizontal que actuará a largo plazo. El valor de dicha presión está dado por la siguiente expresión, por metro lineal de muro:

$$P_h = K_o(\gamma z + q) \text{ t/m}^2$$

Donde

$P_h$  presión de tierras para condiciones a largo plazo a la profundidad  $z$

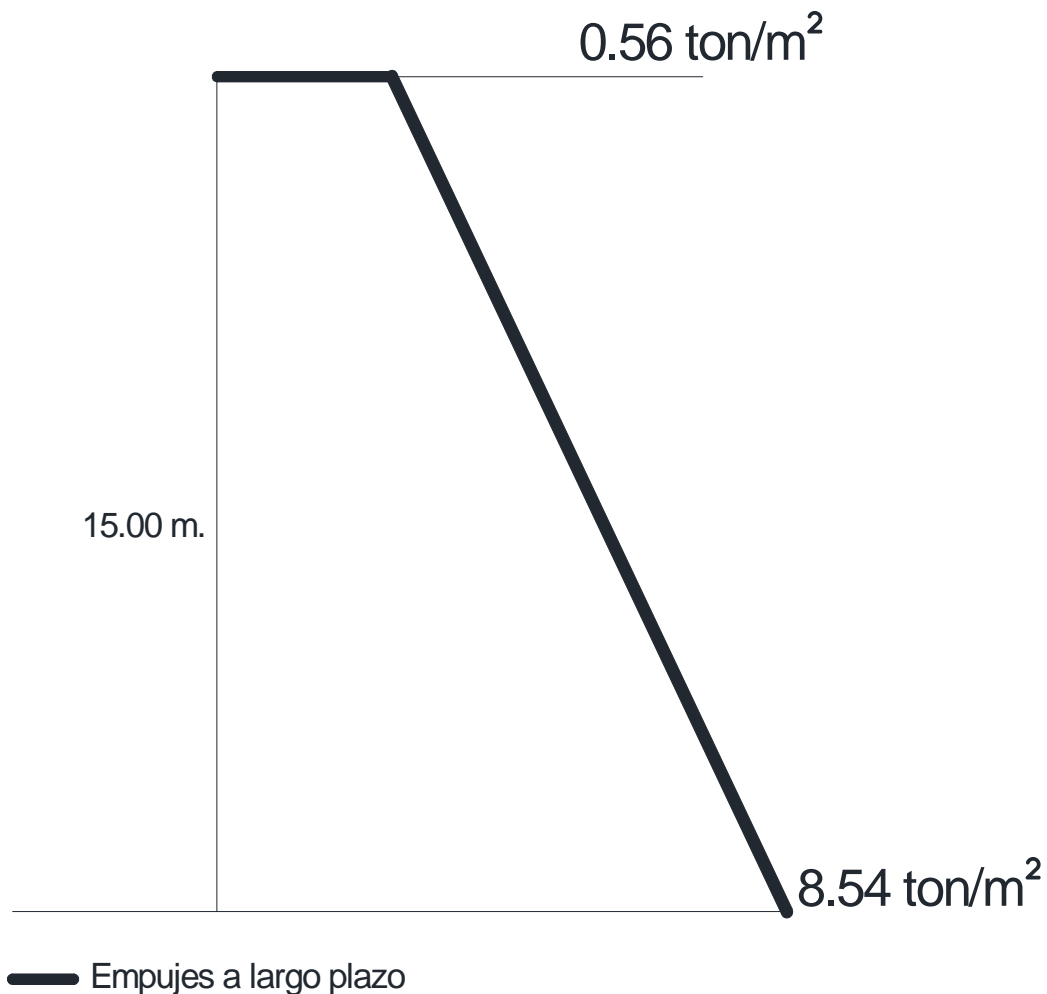
$K_o$  coeficiente de empuje de tierras en reposo, 0.28

$z$  profundidad a la cual se estima la presión

$\gamma$  peso volumétrico promedio del suelo,  $1.90 \text{ t/m}^3$

$q$  sobrecarga en colindancias  $2.0 \text{ t/m}^2$

Reemplazando los valores anteriores, la expresión numérica para el cálculo de presiones horizontales a una profundidad de 15.0 m es:



Empujes para muros a largo plazo.

#### II.IV.- CIMENTACIÓN PROPUESTA.

La cimentación propuesta en el estudio de mecánica de suelos establece cimentación a base de zapatas aisladas principalmente cuadradas y rectangulares, se establecen 10 diseños de zapatas a continuación se hace una descripción de cada uno de estos diseños.

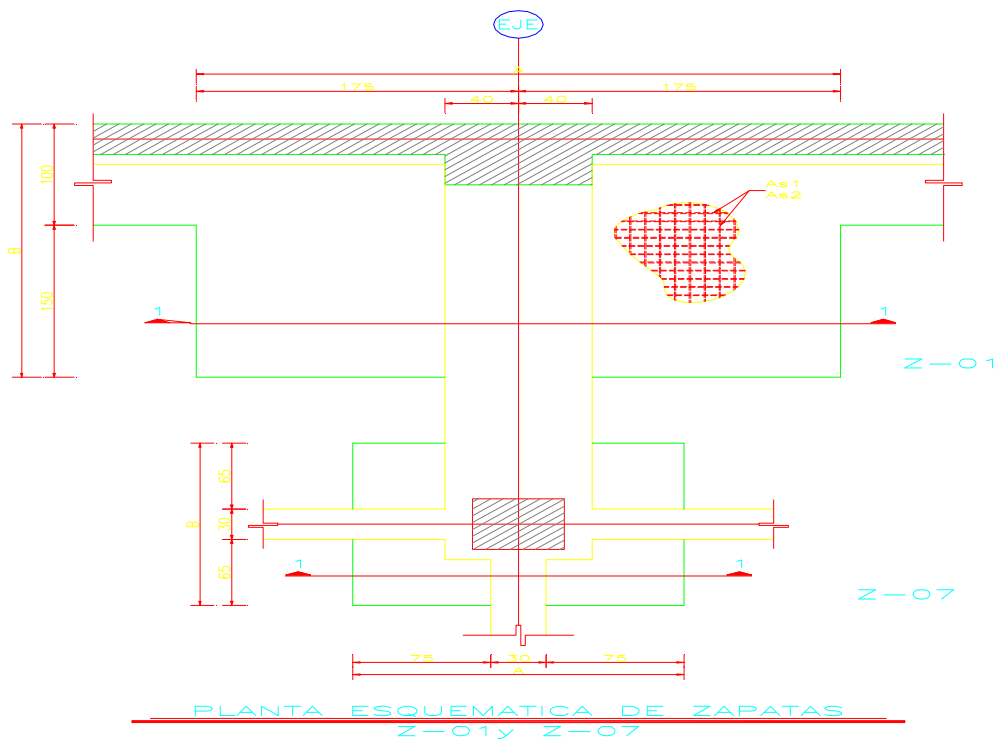
Zapata Z-01 y Z-07.

La zapata Z-01 es una zapata de colindancia, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 2.5 m. y  $l$  (largo)= 3.5 m. con una profundidad de desplante de  $D_f$ = 2.0 m. incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.9 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 8 @ 20 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 4 @ 20 y del No. 3 @ 30 en el lecho superior de la zapata ; la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. Las zapatas estarán entre sí unidas por una contratrabe de 1.0 m. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c$ = 100 kg/cm<sup>2</sup> y con un espesor de  $e$ =10 cm. La



zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 4 zapatas Z-01 en el proyecto.

La zapata Z-07 es una zapata interior, las dimensiones de las zapatas son b (ancho)= 1.6 m. y l (largo)= 1.8 m. con una profundidad de desplante de  $D_f = 2.0$  m. incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.9 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 6 @ 20 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 3 @ 20 y del No. 3 @ 30 en el lecho superior de la zapata ;la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. Las zapatas estarán entre sí unidas por una contratrabe de 1.0 m. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e = 10$  cm. La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 4 zapatas Z-07 en el proyecto. La zapata Z-01 y Z-07 forman un sistema de zapatas para la colindancia de la parte de atrás del edificio. A continuación se presenta una planta de este sistema de zapatas.

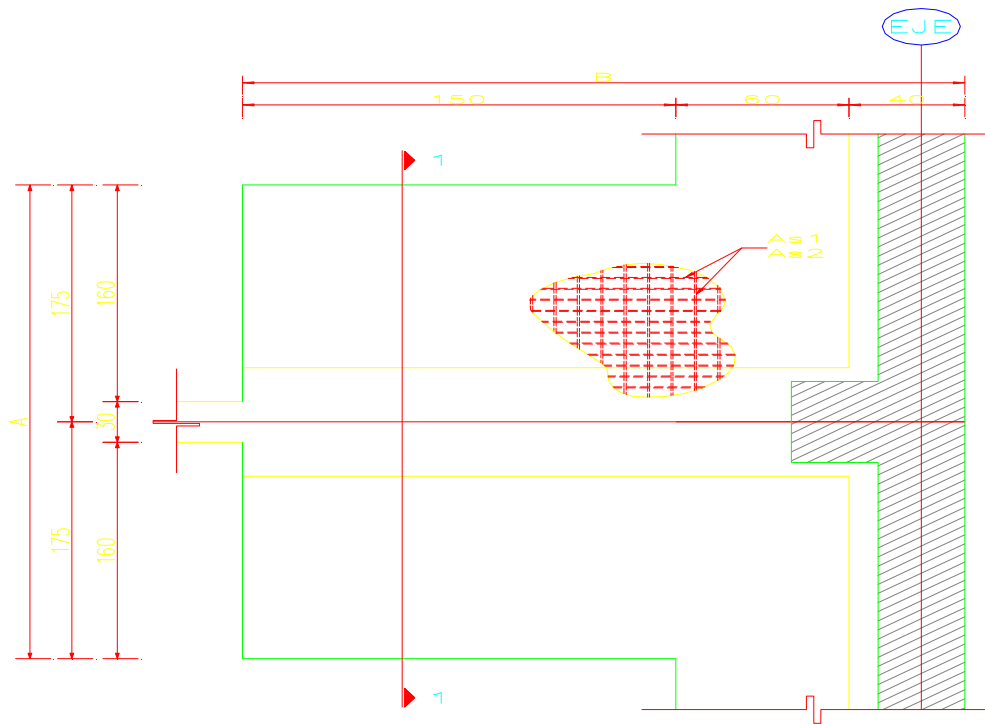


Zapata Z-01 y Z-07.

Zapata Z-02.

La zapata Z-02 es una zapata de colindancia, las dimensiones de las zapatas son b (ancho)= 2.5 m. y l (largo)= 3.5 m. con una profundidad de desplante de  $D_f = 2.0$  m. incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.9 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 8 @ 20 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 4 @ 20 y del No. 3 @ 30 en el lecho superior de la zapata; la zapata

incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. Las zapatas estarán entre sí unidas por una contratrabe de 1.0 m. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e=10 \text{ cm}$ . La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 6 zapatas Z-02 en el proyecto A continuación se presenta una planta de la zapata Z-02.



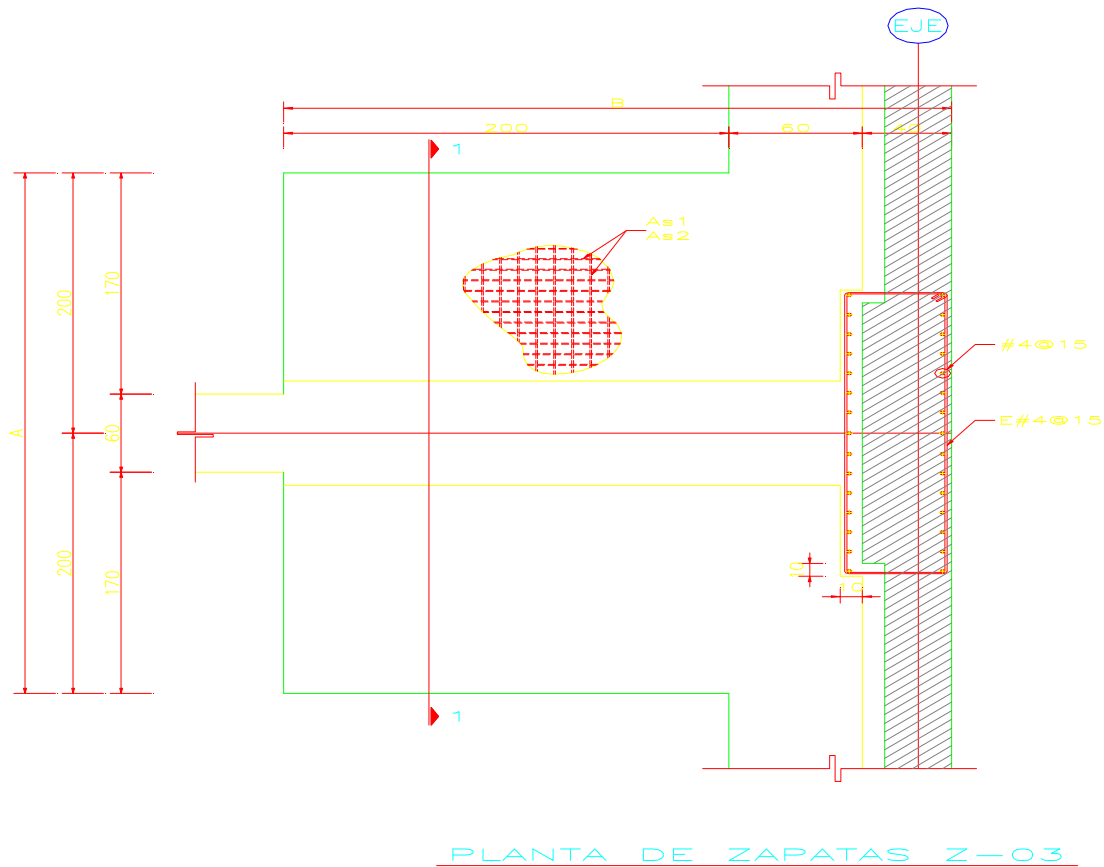
PLANTA DE ZAPATAS Z-02

#### Zapata Z-02.

#### Zapata Z-03.

La zapata Z-03 es una zapata de colindancia, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 3.0 m. y  $l$  (largo)= 4.0 m. con una profundidad de desplante de  $D_f= 2.1 \text{ m}$ . incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 2.0 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 8 @ 15 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 4 @ 20 y del No. 3 @ 30 en el lecho superior de la zapata ; la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. Las zapatas estarán entre sí unidas por una contratrabe de 1.0 m. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e=10 \text{ cm}$ . La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 %

de su PVSM. Hay 6 zapatas Z-03 en el proyecto A continuación se presenta una planta de la zapata Z-03.



Zapata Z-03.

Zapata Z-04.

La zapata Z-04 es una zapata interior, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 4.0 m. y  $l$  (largo)= 4.0 m. con una profundidad de desplante de  $D_f= 2.3$  m. incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 2.2 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 8 @ 15 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 4 @ 20 y del No. 3 @ 30 en el lecho superior de la zapata ; la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. Las zapatas estarán entre sí unidas por una contratrabe de 1.0 m. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'_c= 100$  kg/cm<sup>2</sup> y con un espesor de  $e=10$  cm. La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 12 zapatas Z-04 en el proyecto.

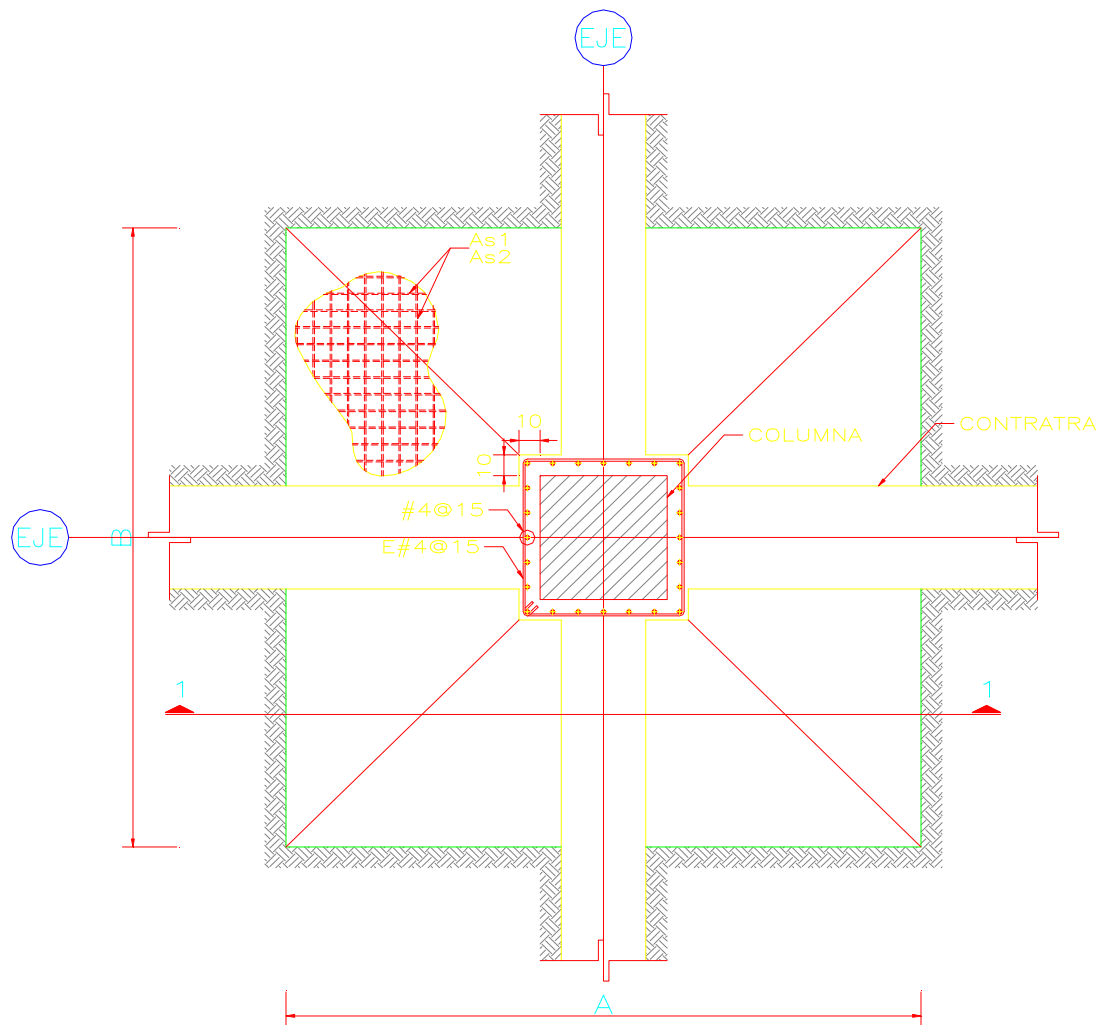
Zapata Z-05.

La zapata Z-05 es una zapata interior, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 2.4 m. y  $l$  (largo)= 2.4 m. con una profundidad de desplante de  $D_f= 1.7$  m. incluyendo un firme de concreto

de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.6 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 6 @ 15 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 3 @ 20 y del No. 3 @ 30 en el lecho superior de la zapata; la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. Las zapatas estarán entre sí unidas por una contratrabe de 1.0 m. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e=10 \text{ cm}$ . La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 6 zapatas Z-05 en el proyecto.

#### Zapata Z-06.

La zapata Z-06 es una zapata interior, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 3.2 m. y  $l$  (largo)= 3.2 m. con una profundidad de desplante de  $D_f= 2.0 \text{ m}$ . incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.9 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 8 @ 20 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 4 @ 20 y del No. 3 @ 30 en el lecho superior de la zapata; la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. Las zapatas estarán entre sí unidas por una contratrabe de 1.0 m. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e=10 \text{ cm}$ . La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 6 zapatas Z-05 en el proyecto. A continuación se presenta una planta de las zapatas Z-04, Z-05 y Z-06.



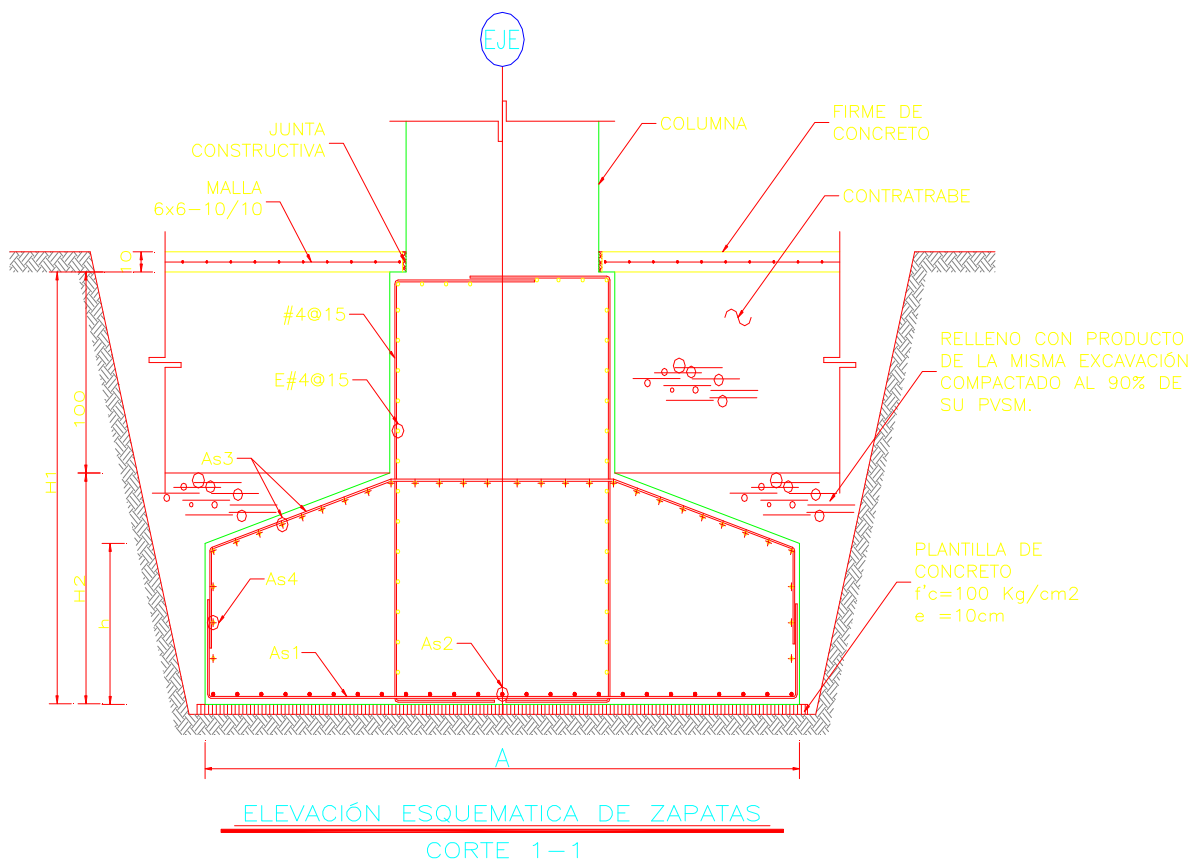
## PLANTA ESQUEMATICA DE ZAPATAS Z-04, Z-05, Z-06

Zapata Z-04, Z-05 y Z-06.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los diferentes diseños de las zapatas que se ocuparan para la cimentación del edificio, así como una elevación esquemática de las zapatas.

ZAPATA	A	B	H1	H2	h	As1	As2	As3	As4	Piezas
Z-01	350	250	190	90	50	#8@20	#8@20	#4@20	#3@30	4
Z-02	350	250	190	90	50	#8@20	#8@20	#4@20	#3@30	6
Z-03	400	300	200	100	60	#8@15	#8@15	#4@20	#3@30	6
Z-04	400	400	220	120	60	#8@15	#8@15	#4@20	#3@30	12
Z-05	240	240	160	60	30	#6@15	#6@15	#3@20	#3@30	6
Z-06	320	320	190	90	50	#8@20	#8@20	#4@20	#3@30	6
Z-07	180	160	190	60	30	#6@20	#6@20	#3@20	#3@30	4

Las unidades se encuentran en centímetros

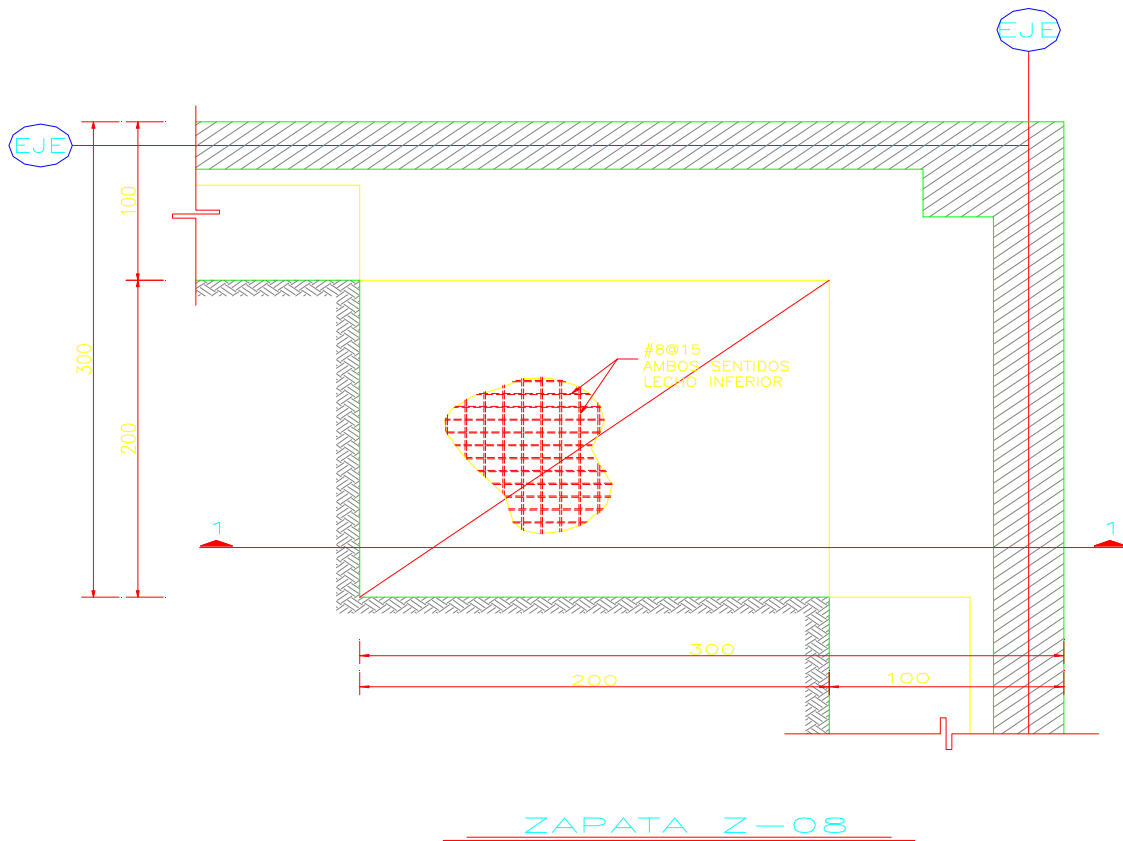


Elevación esquemática de zapatas.

#### Zapata Z-08.

La zapata Z-08 es una zapata de colindancia, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 3.0 m. y  $l$  (largo)= 3.0 m. (zapata cuadrada) con una profundidad de desplante de  $D_f = 1.8$  m. incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.7 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 8 @ 15 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 3 @ 20 en el lecho superior de la zapata; la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con

la contratrabe. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e=10 \text{ cm}$ . La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 2 zapatas Z-08 en el proyecto. A continuación se presenta una planta de la zapata Z-08.

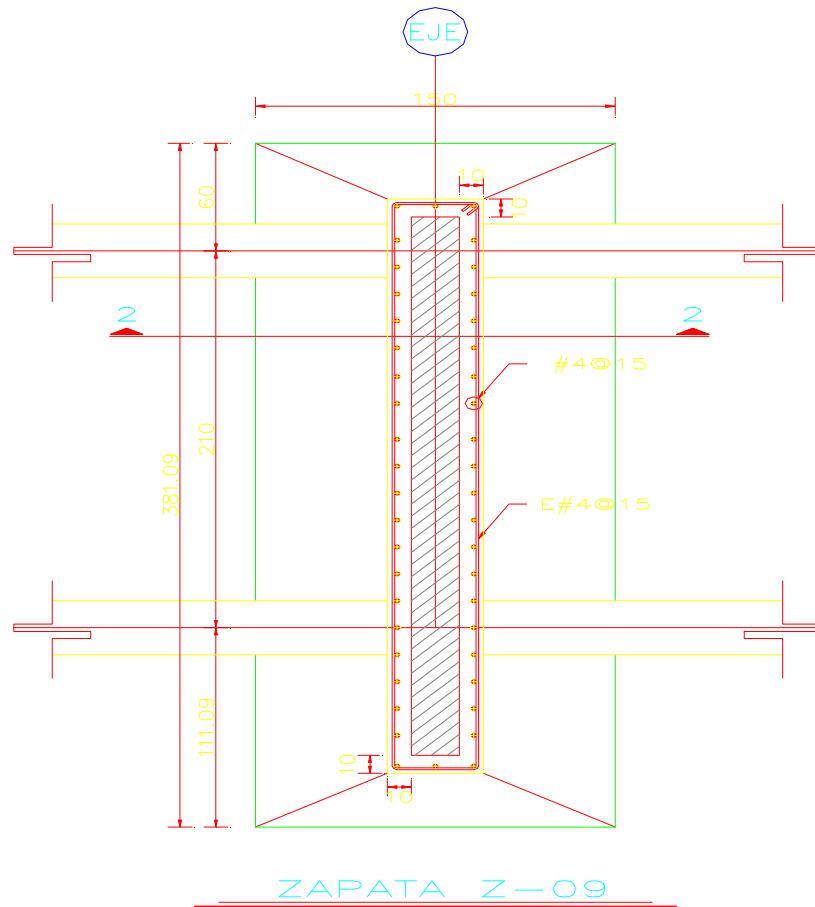


Zapata Z-08.

Zapata Z-09.

La zapata Z-09 es una zapata interior, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 1.5 m. y  $l$  (largo)= 3.81 m. con una profundidad de desplante de  $D_f= 1.6 \text{ m}$ . incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.5 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 6 @ 20 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 3 @ 20 en el lecho superior de la zapata; la zapata incluye estribos del No. 4 @ 15 y varillas del No. 4 @ 15 en la parte de la zapata donde se une con la contratrabe. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e=5 \text{ cm}$ . La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 1 zapata Z-09 en el proyecto. A continuación se presenta una planta de la zapata Z-09.

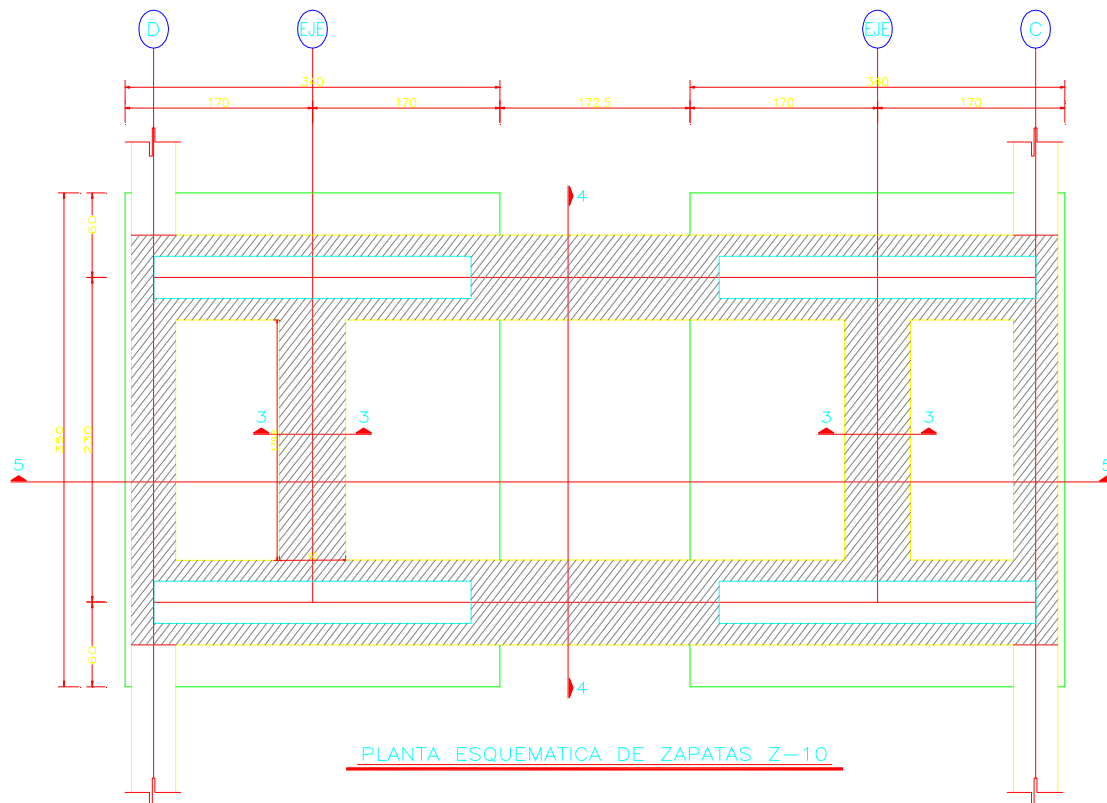




Zapata Z-09.

Zapata Z-10.

La zapata Z-10 es una zapata interior, las dimensiones de las zapatas son  $b$  (ancho)= 3.4 m. y  $l$  (largo)= 3.50 m. con una profundidad de desplante de  $D_f = 1.6$  m. incluyendo un firme de concreto de 0.1 m. por lo que la altura de la zapata es de 1.5 m., el armado de la zapata consistirá en varillas del No. 8 @ 15 para el acero longitudinal y para el acero transversal en el lecho inferior de la zapata, varillas del No. 4 @ 20 en el lecho superior de la zapata; la zapata esta unida entre sí por 2 contratraves; una de  $b$ (ancho)= 0.40 m. por  $l$  (largo)= 1.7 m. y la otra de  $b$ (ancho)= 0.60 por  $l$ (largo)= 1.7 m., la cual tiene estribos e#3@12. La zapata esta desplantada en una plantilla de concreto con  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  y con un espesor de  $e = 5$  cm. La zapata se rellenara una vez terminada con producto de la misma excavación compactado al 90 % de su PVSM. Hay 2 zapatas Z-10 en el proyecto las cuales están unidas en sus extremos con contratraves de  $b$  (ancho)= 0.6 m. y  $l$  (largo)= 1.70 m. con una profundidad de 1.5 m. A continuación se presenta una planta de la zapata Z-10.



Zapata Z-10.

## II.V.- CIMENTACIÓN CONSTRUIDA.

La cimentación construida se decidió diferente a la cimentación propuesta debido a la experiencia que tenía la constructora en elementos postensados. En principio la cimentación estaba resuelta por zapatas aisladas y se optó por una losa de cimentación con elementos postensados; los elementos postensados son tanto las contratraves así como las nervaduras y las losas. A continuación se describe las características de esta losa de cimentación postensada.

La losa de cimentación cuenta con una plantilla de concreto en la parte de adelante del edificio de 0.05 m. la cual tiene una resistencia de  $100 \text{ kg/cm}^2$  y en la parte de atrás se tiene polietileno. Las contratraves de la losa de cimentación del cuerpo de la estructura tienen 1 m. de espesor por 1 m. de ancho por 8 m. de largo generalmente, las contratraves de colindancia de la losa de cimentación del tanque de tormentas, de la cisterna de agua potable y de agua tratada tienen 1 m. de espesor por 0.6 m. de ancho por 8 m. de largo generalmente, las contratraves interiores de la losa de cimentación del tanque tormentas, de la cisterna de agua potable y de agua tratada tienen 1m. de espesor por 0.4 m. de ancho por 4 y 2.3 m. de largo generalmente. Cuando existe una contratrabe del cuerpo de la estructura en la cisterna el ancho de 1 m. se reduce a .8 m. La losa de cimentación tiene un espesor de 0.30 m. El concreto que se utilizó para el colado de la losa es Tipo I Estructural y tiene una resistencia  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ . El acero de refuerzo tiene una resistencia

de  $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Para las cepas de cimentación se rellenaron con el mismo material producto de la excavación compactadas en capas de 20 cm. al 90% de su P.V.S.M.

Tensado de contratrabes y nervaduras.

Para el tensado de las contratrabes y las nervaduras se dejaron unos pozos de tensado durante el colado, en los cuales sobresalen los torones, estos son una especie de cables que son enrollados helicoidalmente alrededor de un centro, en una o varias capas, los cuales se dejan ahogados en las contratrabes y nervaduras. Los pozos de tensado sirven para que una vez que alcance la resistencia el concreto se puedan tensar los torones y el elemento alcance su resistencia final. Las características del acero de presfuerzo son: acero de baja relajación, 270k, de  $\phi = 1/2''$ ,  $fpu = 17,000 \text{ kg/cm}$ . El presfuerzo se tensara a 15 ton. por cable, cuando el concreto de la losa haya alcanzado el 80% de su resistencia, en este caso de  $240 \text{ kg/cm}^2$ . La colocación del acero de presfuerzo tuvo que ser muy precisa, por lo que el trazo de los cables tenía prioridad sobre la ubicación del acero del refuerzo pasivo. En el colado del concreto se tuvo especial cuidado en evitar movimientos en los cables de presfuerzo, además del correcto vibrado, teniendo especial cuidado en las zonas de alta concentración de acero de refuerzo "nudos, y detrás de los anclajes.



Torones en contratrabes y nervaduras.

El tensado de las contratrabes de losa de cimentación se llevó a cabo una vez terminados los 5 niveles de sótano, el tensado de las nervaduras de las losas de entrepiso se llevó a cabo una vez fraguado el concreto de losa de cimentación. Los pozos de tensado de las contratrabes son generalmente más grandes que las de nervaduras debido a que las dimensiones de las contratrabes son generalmente más grandes que de las nervaduras.



Tensado de torones.

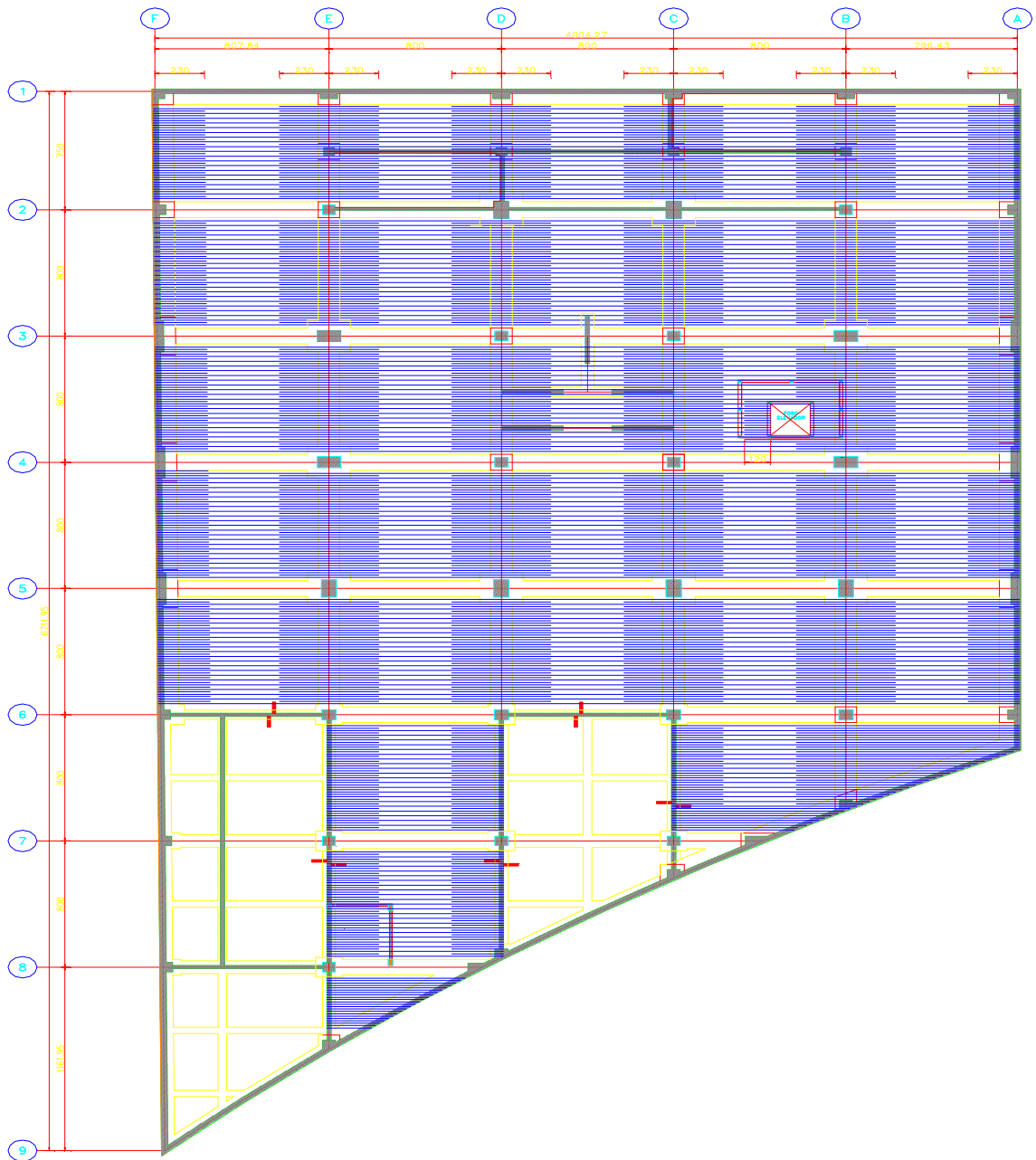


Pozo de tensado (nervaduras).

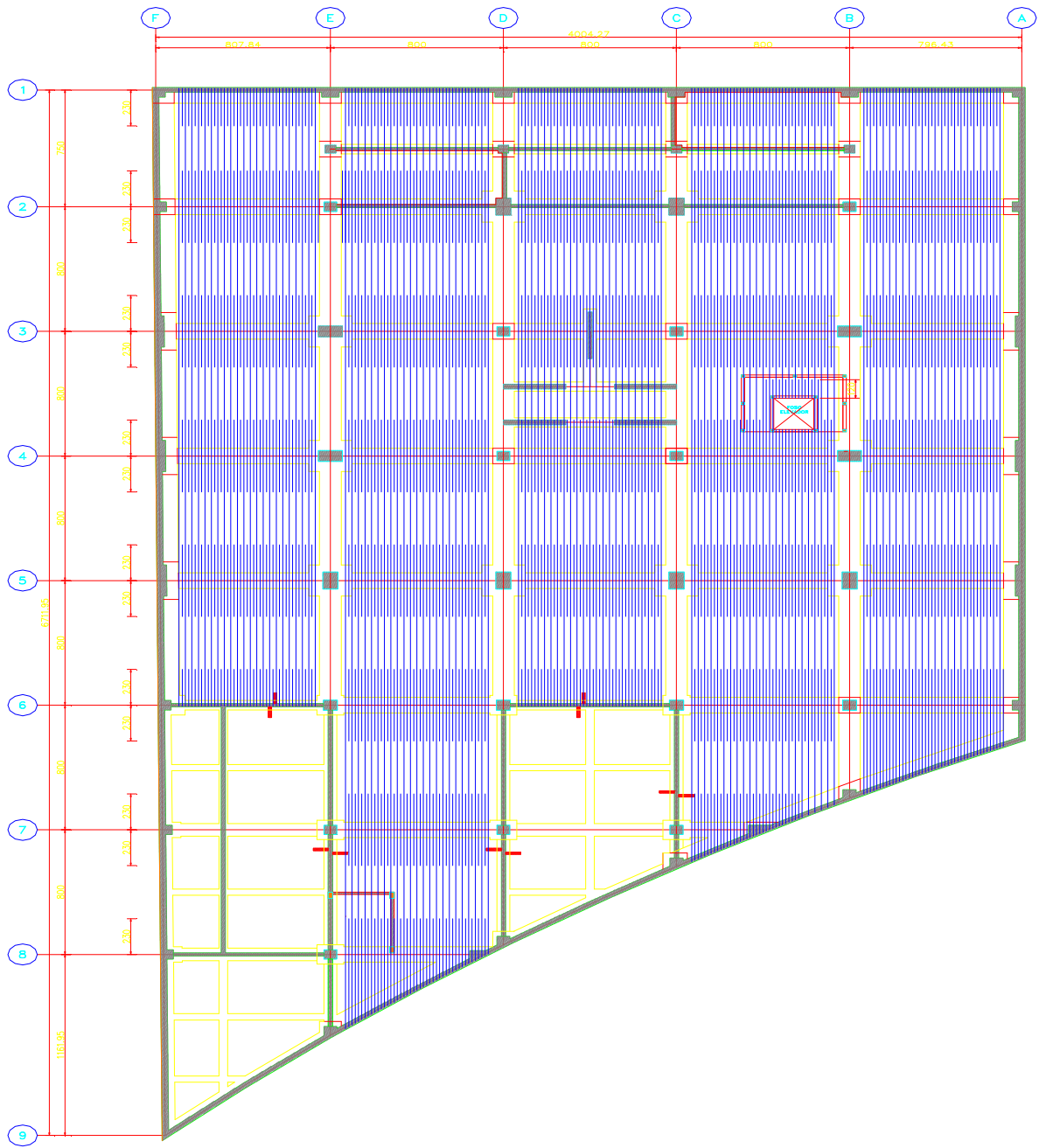


Pozo de tensado (contratraves).

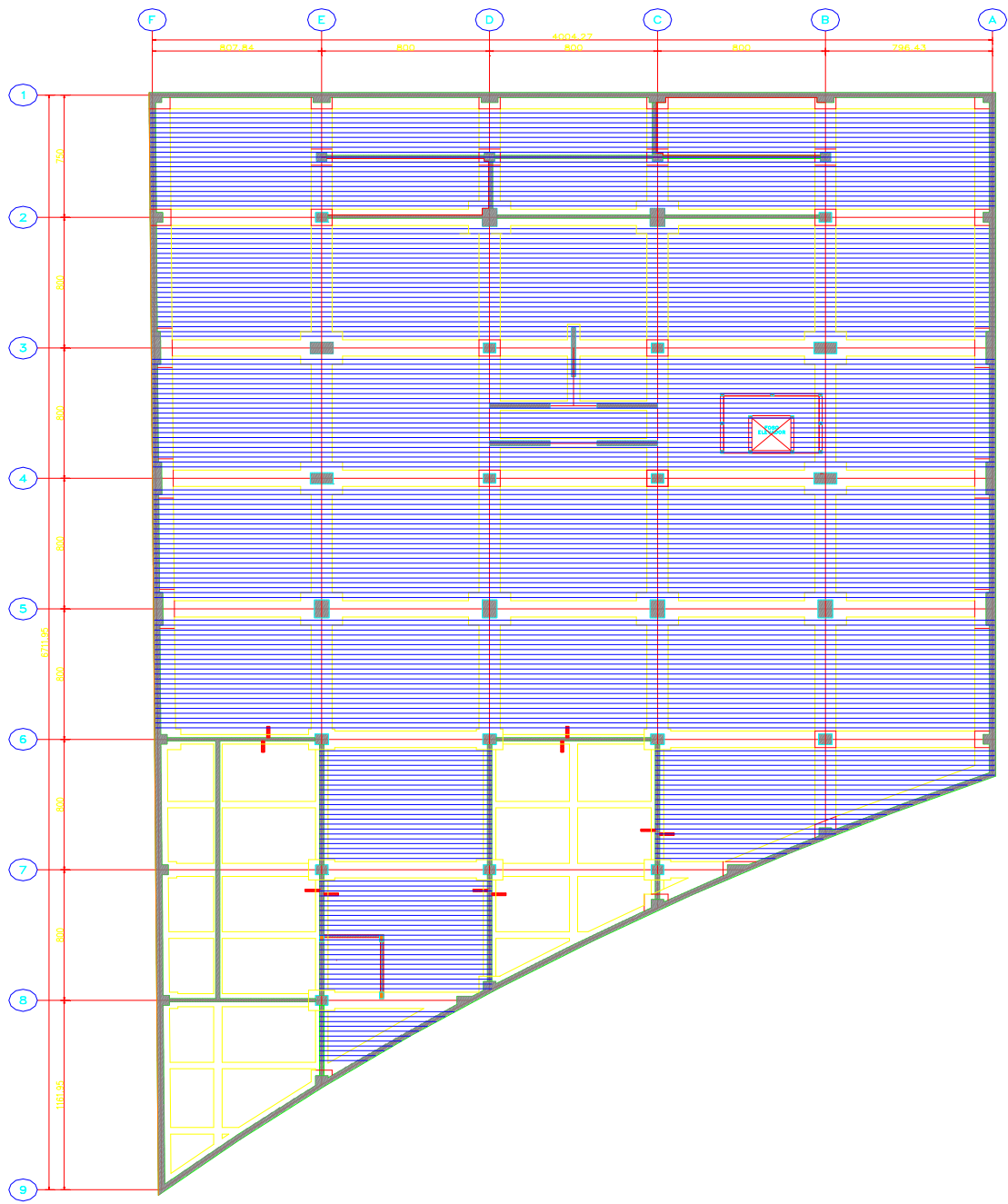
A continuación se presenta la colocación del acero en el lecho superior e inferior, así como en el sentido vertical y horizontal de la losa de cimentación. Además de los tableros tipo.



Colocación del acero de refuerzo en el lecho inferior de la losa de cimentación. (Sentido Horizontal).

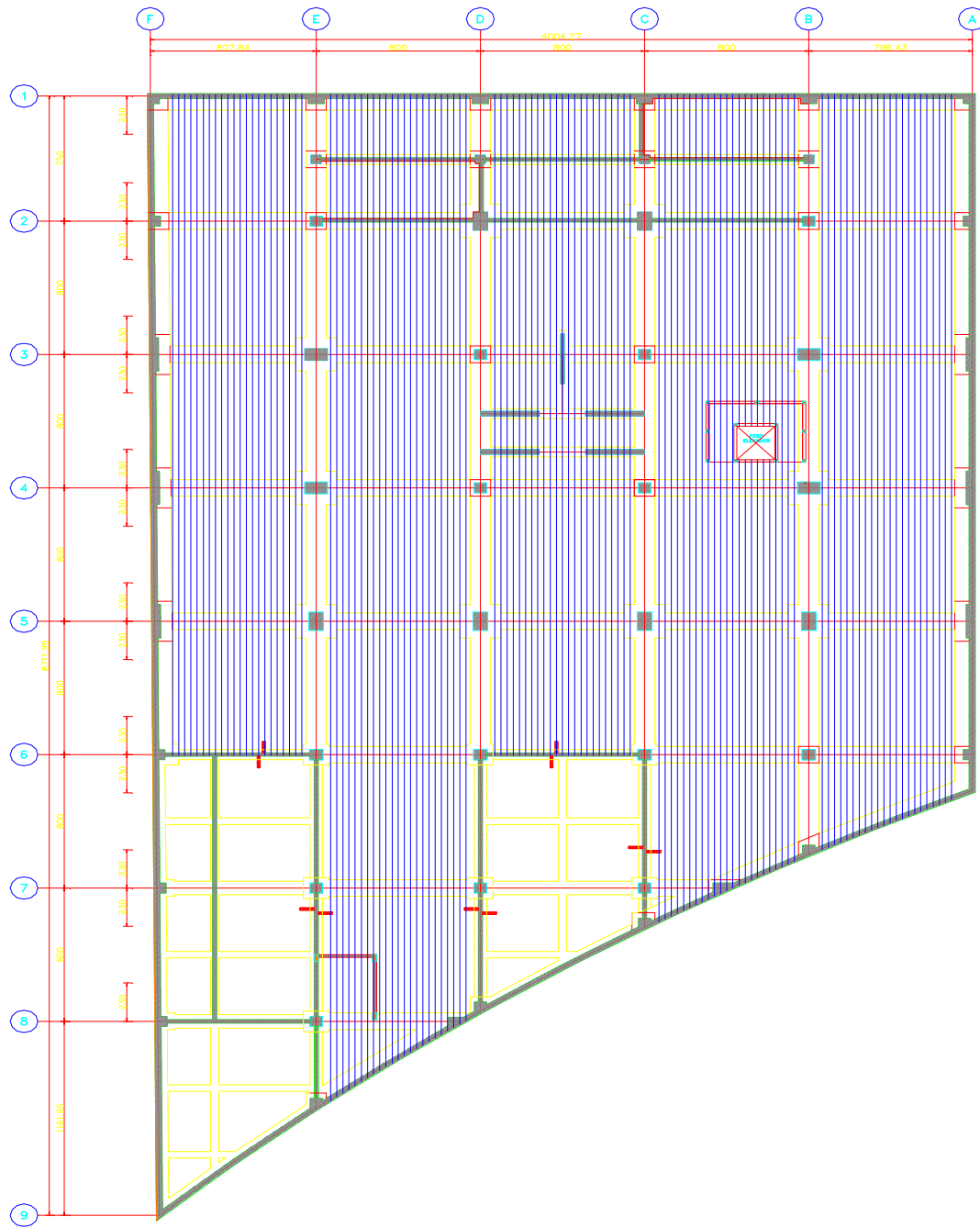


Colocación del acero de refuerzo en el lecho inferior de la losa de cimentación. (Sentido Vertical).



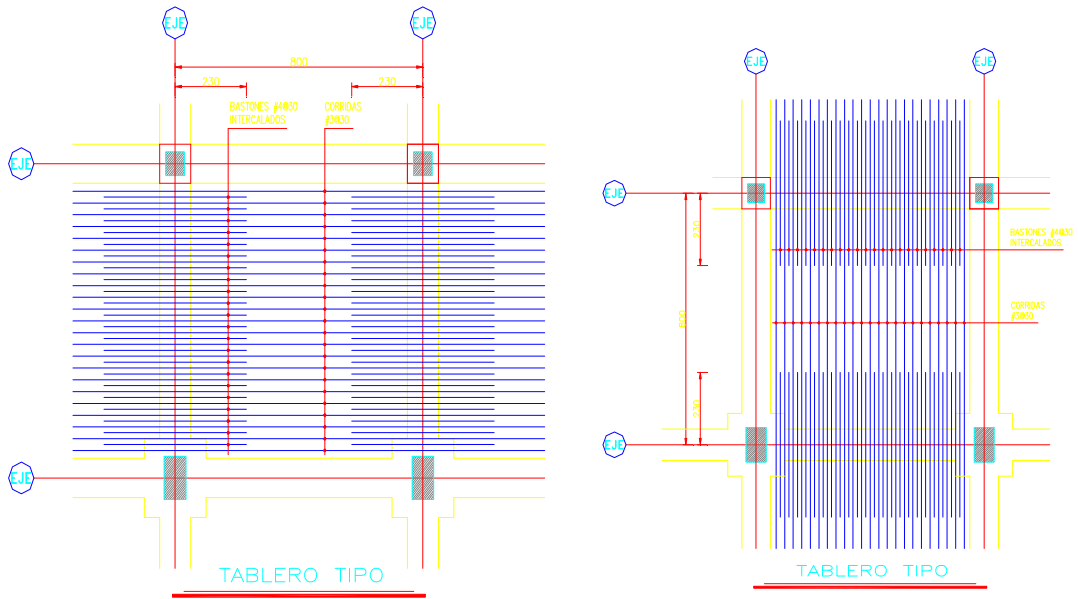
Colocación del acero de refuerzo en el lecho superior de la losa de cimentación. (Sentido Horizontal).





Colocación del acero de refuerzo en el lecho superior de la losa de cimentación. (Sentido Vertical).

Tableros Tipo Lecho Inferior. Sentido horizontal y vertical.



Tableros Tipo Lecho Superior. Sentido horizontal y vertical.

