# CAPITULO 5

## ANALISIS DE EDIFICIOS TIPO “B”

## CAPITULO 5 ANALISIS DE EDIFICIOS TIPO B

En proyecto se consideran edificios denominados edificios “B”, los cuales se catalogan en “B”, “B1” y “B2” todos localizados en la zona norte del complejo. La funcionalidad de estos edificios es la misma, albergar aulas para la impartición de clases. El edificio “B2” destaca por ser de dimensión ligeramente mayor a “B” y “B1” los cuales son módulos de características y dimensiones idénticas. A continuación se hace un estudio y revisión de los edificios mencionados. (Figuras 5.1 y 5.2)

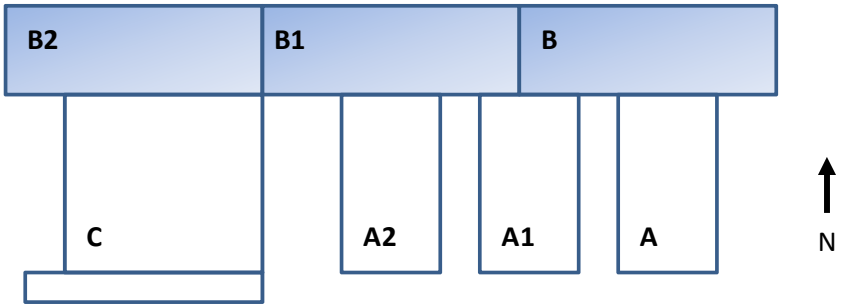



Figura 5.1 Corte Esquemático de Edificios

Figura 5.2 Vista del Complejo

## 5.1 BAJADA DE CARGAS

Las plantas de entrepiso y azotea están proyectadas a base de losas vigueta y bovedilla y losas de concreto reforzado. Columnas y trabes están proyectadas a base de concreto reforzado. Muros divisorios están propuestos a base de tablaroca y block aparente. La fachada norte presenta un muro de acabado a base de vitroblock, mientras que la fachada sur se encuentra libre de muro y funciona como pasillo. Estos elementos, además de cargas vivas de acuerdo al carácter de aula de los edificios se toman en cuenta para el análisis.

A continuación se presenta el análisis resumido de bajada de cargas para los edificios tipo “B”, primero el correspondiente para “B2”, y posteriormente el referente a los módulos “B” y “B1”. El análisis completo se puede consultar en el Apéndice 7.

### 5.1.1 BAJADA DE CARGAS DE AZOTEA EDIFICIO B2

La planta de azotea se proyecta a base de losa de vigueta y bovedilla y también a base de concreto. Cada uno de estos sistemas de losa se encarga de cubrir los claros necesarios como se observa en el siguiente diagrama. (Ver Figura 5.3)

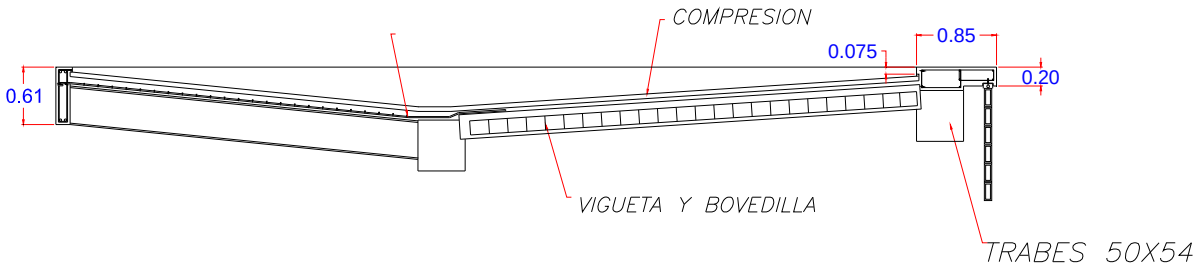



Figura 5.3 Detalle losa azotea (Corte Oriente a Poniente)

El cálculo de pesos de losas de azotea por unidad de área se realiza de manera análoga a lo hecho para los edificios tipo "A". El cálculo de pesos en muros, acabados y elementos especiales no se presenta en esta sección.

Losa a base de vigueta y bovedilla:

Carga Viva Máxima $W_m$ Según Articulo 991 del CRMP

Cubiertas y Azoteas con pendiente no mayor a 5% $\Longrightarrow$ $W_m = 100\ kg/m^2$

Pendiente de losa proyectada = 5%

**LOSA DE VIGUETA Y BOVEDILLA PARA AZOTEA**

| | | |
|---|---|---|
| W propio losa vigueta bovedilla : | 370 | $kg/m^2$ |
| Wm Viva para azotea: | 100 | $kg/m^2$ |
| W Total: | 470 | $kg/m^2$ |

Losa a base de concreto reforzado:

Carga Viva Máxima $W_m$ Según Articulo 991 del CRMP

Cubiertas y Azoteas con pendiente no mayor a 5% $\Longrightarrow$ $W_m = 100\ kg/m^2$

Pendiente de losa proyectada = 5%

Espesor de losa = 10cm

Peso Volumétrico del Concreto = 2400 kg/ $m^3$

Peso por $m^2$ de losa de 10 cm de espesor = 240 $kg/m^2$

**LOSA DE CONCRETO ARMADO PARA AZOTEA e=10cm**

| | | |
|---|---|---|
| W de losa por metro cuadrado: | 240 | $kg/m^2$ |
| Wm Viva para azotea: | 100 | $kg/m^2$ |
| W Total: | 340 | $kg/m^2$ |

En base a los valores calculados, se reparte el peso a las trabes mediante el uso de áreas tributarias que aparece en la figura 5.4.

El cómputo desglosado de las cargas en trabes y vigas de azotea tanto para este edificio “B2” en particular como para los módulos “B1” y “B” resulta sumamente extenso, y no es conveniente incluirlo en esta sección.

Se denominan Trabes a los elementos de mayor dimensión, a base de concreto reforzado únicamente, y que soportan principalmente la losa de vigueta y bovedilla. (Figura 5.3)

Se denominan Vigas a los elementos de menor dimensión, a base de perfiles metálicos o concreto reforzado, que soportan principalmente la losa a base de concreto reforzado. (Ver figura 5.4)

SUSITUIR POR FIGURA 5.4 PLANTA AZOTEA B2

Las trabes 1, 3, 5 y 7 sostienen el peso correspondiente de losa de vigueta y bovedilla pero además soportan el peso de un pequeño pretil que sirve para recibir el muro de fachada norte a base de Vitroblock. El peso propio del muro no se computa pues se contempla que el peso recae sobre el entrepiso donde se apoya en un volado. (Ver Figura 5.5)

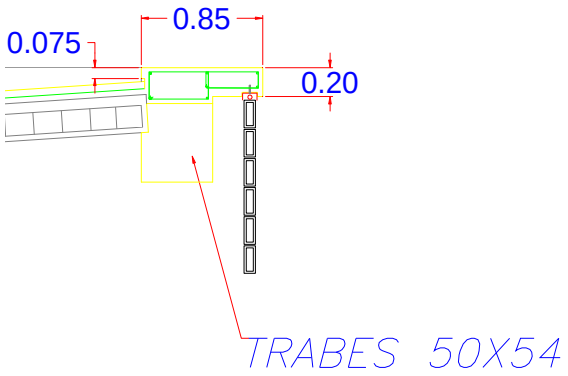



Figura 5.5 Detalle de Trabes 1, 3, 5, 7 y Pretil

Las trabes 2, 4, 6 y 8 sostienen el peso correspondiente de ambos tipos de losas y son las que más peso reciben en la estructura.

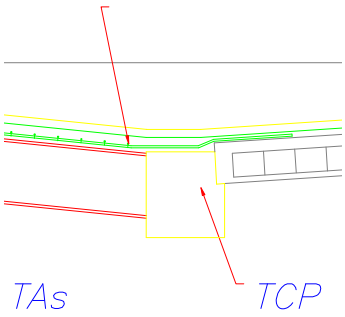



Figura 5.6 Detalle de Trabes 2, 4, 6 y 8

Para todos los casos de trabes (ver figura 5.4) se suma el peso correspondiente que soportan de un plafón de tablaroca aparente colocado por debajo de la losa de vigueta y

bovedilla (acabado para techo de entrepiso). De igual forma se computa el peso del impermeabilizante.

En el caso de las vigas, éstas reciben el peso correspondiente de la losa de concreto reforzado únicamente. No se agrega el peso correspondiente de plafón de tablaroca ya que la función de esta cubierta es dar sombra y protección por lluvia al pasillo que irá en entrepiso por lo que el acabado será aparente. En todos los casos se suma el peso correspondiente al impermeabilizante. (Ver Figura 5.7)

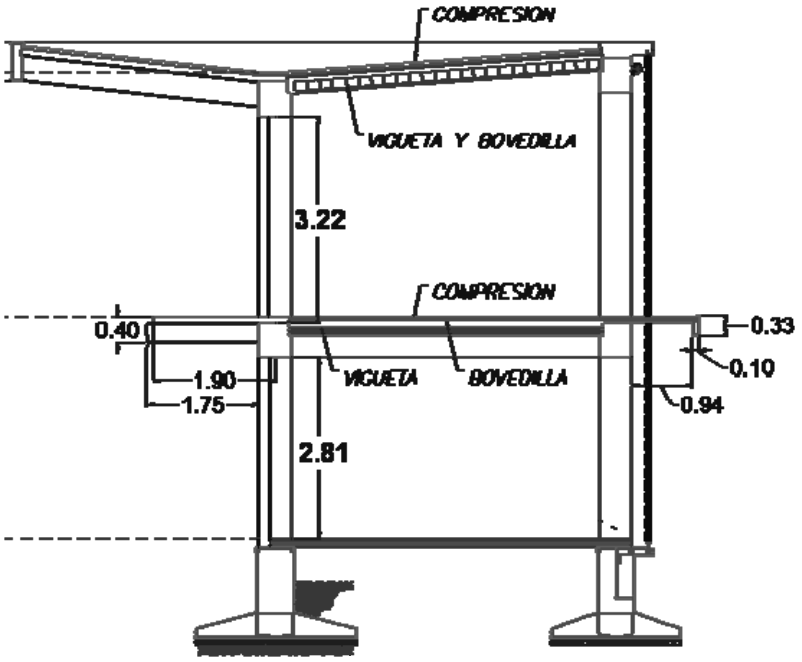



Figura 5.7 Detalle de Losa para dar sombra y protección a la lluvia

En base a lo mencionado, y considerando una distribución de cargas equitativa hacia las columnas, se presentan los resultados para la losa de azotea en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Resultados de Bajada de Cargas Para Azotea Edificio B2

| Peso Total en Trabes y Vigas (Soportado y Propio) | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Trabe 1 | 19.52 |
| Trabe 2 | 24.77 |
| Trabe 3 | 15.61 |
| Trabe 4 | 20.87 |
| Trabe 5 | 22.15 |
| Trabe 6 | 27.41 |
| Trabe 7 | 18.38 |
| Trabe 8 | 23.64 |
| Trabes 9-13* | 3.18 |
| Vigas 6-9 | 5.36 |
| Vigas 1 y 5 | 4.32 |
| Vigas 2, 3 y 4 | 7.00 |

| Peso que Transmiten las Columnas al Entrepiso | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Columna 1 | 21.55 |
| Columna 2 | 14.60 |
| Columna 3 | 37.93 |
| Columna 4 | 25.67 |
| Columna 5 | 37.93 |
| Columna 6 | 25.67 |
| Columna 7 | 37.93 |
| Columna 8 | 25.67 |
| Columna 9 | 21.55 |
| Columna 10 | 14.60 |

*Se utiliza el peso de la trabe más cargada

### 5.1.2 BAJADA DE CARGAS PLANTA DE ENTREPISO EDIFICIO B2

La planta de entrepiso está diseñada de la misma forma a base de losa de vigueta y bovedilla y losa de concreto reforzado de 10 cm. de espesor. La distribución de este tipo de losas se describe a continuación.

Se proyecta un volado a base de losa de concreto reforzado (e=10cm) que funciona como pasillo. De igual forma aparece un pequeño volado a base del mismo tipo de losa para recibir el muro de Vitroblock que será el acabado para la fachada norte. El área principal de aula está cubierta por losa de vigueta y bovedilla en su mayor parte. (Ver Figura 5.7)

El cálculo del peso total de losas combinando cargas muertas y vivas de acuerdo al Código Reglamentario para el Municipio de Puebla se hace de manera similar a lo presentado para las losas de azotea. En esta sección únicamente se presentan los resultados de dicho cálculo.

LOSA DE VIGUETA Y BOVEDILLA PARA ENTREPISO B2

| | | |
|---|---|---|
| W propio losa vigueta bovedilla : | 370 | $kg/m^2$ |
| Wm Viva para losas de Aula : | 350 | $kg/m^2$ |
| W Total: | 720 | $kg/m^2$ |

LOSA DE CONCRETO ARMADO PARA PASILLO y VOLADO

| | | |
|---|---|---|
| W de losa por metro cuadrado: | 240 | $kg/m^2$ |
| Wm Viva para pasillos: | 350 | $kg/m^2$ |
| W Total: | 590 | $kg/m^2$ |

La escalera de acceso al complejo de edificios B (Figuras 5.8 y 5.9) se apoya en el entrepiso del edificio B2 que se está analizando. Su peso se calcula de la siguiente manera:

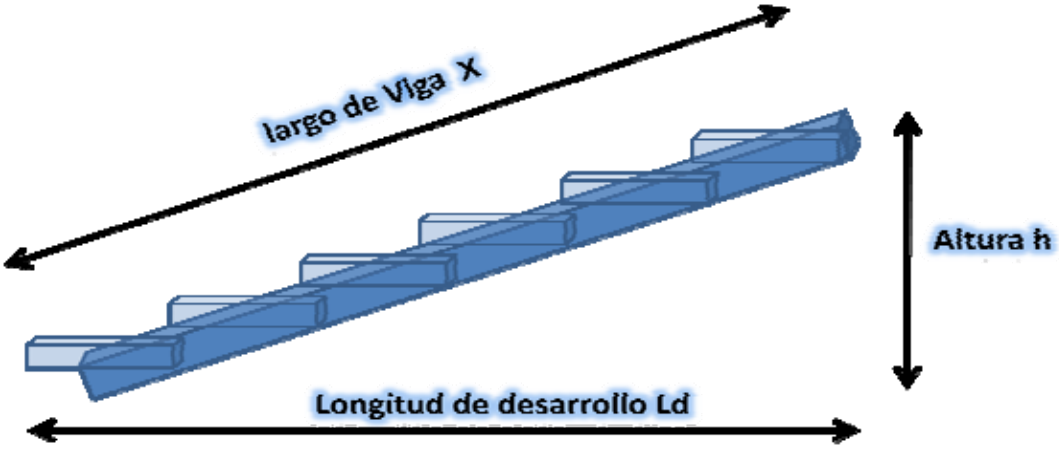



Figura 5.8 Dimensiones de Escalera

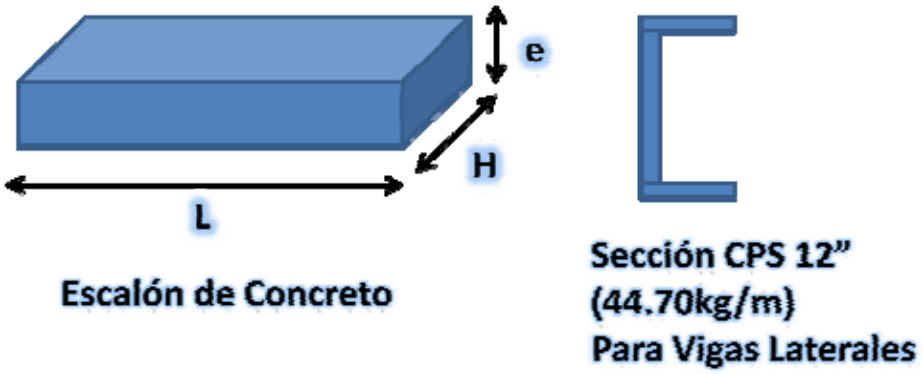



Figura 5.9 Componentes de escalera

Carga Viva Máxima $W_m$ Según Articulo 991 del CRMP

Comunicación para peatones, pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público ⟹ Wm = 350 kg/$m^2$

Altura a cubrir (h) = 3.45 m.

Longitud de desarrollo (Ld) = 5.10 m.

Longitud de Viga metálica (X) = 6.16 m.

Peralte de escalón (e) = 0.20 m.

Huella de escalón (H) = 0.35 m.

Ancho de escalón (L) = 1.4 m.

Volumen de escalón = 0.099 $m^3$.

W por escalón = 204 Kg.

# de escalones = 17

W de 17 escalones = 4057 Kg.

W de dos vigas a base de perfiles CPS 12”= 541 Kg.

Área aprox. De escalera = 7.14 $m^2$.

W viva actuante = 2499 Kg.

W muerta actuante = 4057 + 541 Kg.

W Total de la Escalera = 7000 Kg.

Los pesos se transmiten de la siguiente manera (ver Figura 5.10):

SUSTITUIR POR FIGURA 5.10 PLANTA DE ENTREPISO B2

Se denominan Trabes a los elementos de mayor dimensión, a base de concreto reforzado únicamente.

Se denominan Vigas a los elementos de menor dimensión, a base de perfiles metálicos o concreto reforzado. (Ver Figura 5.10)

Las trabes 1, 3 y 5 sostienen el peso correspondiente de la losa de vigueta y bovedilla y el correspondiente al volado en la parte norte del edificio sobre el cual se apoyará el muro de Vitroblock para fachada.

Las trabes 2, 4, 6 y 7 sostienen el peso correspondiente a la losa de vigueta y bovedilla y a la losa de concreto en volado que sirve como pasillo, en la parte sur del edificio.

En el caso del claro comprendido entre las trabes 7, 11 y 12, la losa a base de vigueta y bovedilla desaparece, para dar lugar a la escalera de acceso al edificio, la cual se apoya directamente sobre el suelo en planta baja y sobre la trabe 7 en el entrepiso, funcionando como viga apoyada por lo que la mitad del peso propio (ya calculado) se transmite a la trabe 7.

Además del peso de losas, se computan pesos por acabados como es el plafón para acabado de techo de planta baja y muros divisorios.

En base a esto, se tienen los resultados siguientes en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Resultados de Bajada de Cargas Para Entrepiso Edificio B2

| Peso Total en Trabes y Vigas (Soportado y Propio) | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Trabe 1 | 32.87 |
| Trabe 2 | 29.81 |
| Trabe 3 | 25.92 |
| Trabe 4 | 23.41 |
| Trabe 5 | 38.09 |
| Trabe 6 | 29.81 |
| Trabe 7 | 9.70 |
| Trabe 8 | 3.19 |
| Trabes 9 | 3.84 |
| Trabes 10 | 3.84 |
| Trabes 11 | 4.69 |
| Trabes 12 | 3.24 |
| Vigas 6, 7 , 8, 9 | 4.85 |
| Vigas 1 y 5 | 3.00 |
| Vigas 2, 3 y 4 | 5.96 |

| Peso que Transmiten las Columnas al Entrepiso | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Columna 1 | 42.74 |
| Columna 2 | 34.31 |
| Columna 3 | 74.11 |
| Columna 4 | 58.67 |
| Columna 5 | 74.11 |
| Columna 6 | 61.28 |
| Columna 7 | 66.86 |
| Columna 8 | 48.75 |
| Columna 9 | 32.71 |
| Columna 10 | 17.91 |

### 5.1.3 RESUMEN BAJADA DE CARGAS EDIFICIO B2

Tabla 5.3 Resumen de Bajada de Cargas para edificio B2

| Carga Axial en Columnas | | |
|---|---|---|
| Columna | Carga | Zapata que la Recibe |
| No. | (Ton) | No. |
| 1 | 42.74 | 1 |
| 2 | 34.31 | 2 |
| 3 | 74.11 | 3 |
| 4 | 58.67 | 4 |
| 5 | 74.11 | 5 |
| 6 | 61.28 | 6 |
| 7 | 66.86 | 7 |
| 8 | 48.75 | 8 |
| 9 | 32.71 | 9 |
| 10 | 17.91 | 10 |

En la figura 5.11 se muestra un diagrama que permite entender de manera gráfica como se transmiten las cargas axiales en columnas hacia las zapatas.

Figura 5.11 Diagrama de Cargas Aplicadas en Edificio B2

### 5.1.4 BAJADA DE CARGAS DE AZOTEA EDIFICIOS B Y B1

Las estructuras son idénticas a lo presentado para el edificio B2 en cuanto a composición de losas, siendo la única diferencia la cantidad y dimensiones de los claros. Los pesos por unidad de área de acuerdo al tipo de losa no varían con respecto a lo calculado para B2 por lo que no se vuelven a mostrar. La repartición de pesos en trabes y vigas es muy similar y tampoco se describe. Los pesos se reparten de la siguiente manera (Figura 5.12):

SUSTITUIR POR FIGURA 5.12 PLANTA DE AZOTEA DE EDIFICIOS B Y B1

Se observa como la numeración en columnas continúa a partir del último número de columna para el edificio B2 para evitar confusiones y errores.

Se generan los resultados de la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Resultados de Bajada de Cargas para Azotea Edificios B y B1

| a) Peso Total en Trabes y Vigas (Soportado y Propio) | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Trabe 1 | 19.66 |
| Trabe 2 | 18.35 |
| Trabe 3 | 19.66 |
| Trabe 4 | 18.35 |
| Trabe 5 | 19.66 |
| Trabe 6 | 18.35 |
| Trabe 7 | 4.35 |
| Trabe 8 | 5.50 |
| Trabes 9 | 5.50 |
| Trabes 10 | 4.35 |
| Vigas 5, 6 y 7 | 6.11 |
| Vigas 1 y 4 | 4.03 |
| Vigas 2 y 3 | 7.68 |

| b) Peso que Transmiten las Columnas al Entrepiso | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Columna 11 | 17.97 |
| Columna 12 | 13.03 |
| Columna 13 | 31.77 |
| Columna 14 | 22.79 |
| Columna 15 | 31.77 |
| Columna 16 | 22.79 |
| Columna 17 | 17.72 |
| Columna 18 | 13.03 |

### 5.1.5 BAJADA DE CARGAS DE ENTREPISO EDIFICIOS B Y B1

La estructura del entrepiso es idéntica a lo presentado para el edificio B2 en cuanto a composición de losas. Los pesos por unidad de área de acuerdo al tipo de losa no varían con respecto a lo calculado para B2 por lo que no se vuelven a mostrar. La repartición de pesos en trabes y vigas es muy similar y tampoco se describe.

Al análisis se le suman pesos de acabados como el plafón de tablaroca aparente (acabado para techo de planta baja) y muros divisorios.

No se contemplan escaleras de acceso u otros elementos fuera de los ya descritos.

Los pesos se reparten de la manera que muestra la figura 5.13.

SUSTITUIR POR FIGURA 5.13 PLANTA ENTREPISO EDIFICIOS

B1 Y B

Se generan los resultados siguientes referenciados a la figura 5.13:

Tabla 5.5 Resultados de Bajada de Cargas para Azotea Edificios B y B1

| a) Peso Total en Trabes y Vigas (Soportado y Propio) | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Trabe 1 | 25.20 |
| Trabe 2 | 26.52 |
| Trabe 3 | 25.20 |
| Trabe 4 | 26.52 |
| Trabe 5 | 25.20 |
| Trabe 6 | 26.52 |
| Trabe 7 | 3.38 |
| Trabe 8 | 4.22 |
| Trabes 9 | 4.22 |
| Trabes 10 | 3.38 |
| Vigas 5, 6 y 7 | 4.85 |
| Vigas 1 y 4 | 2.73 |
| Vigas 2 y 3 | 5.15 |

| b) Peso que Transmiten las Columnas al Entrepiso | |
|---|---|
| | (Ton) |
| Columna 11 | 36.91 |
| Columna 12 | 29.67 |
| Columna 13 | 65.92 |
| Columna 14 | 53.10 |
| Columna 15 | 65.92 |
| Columna 16 | 53.10 |
| Columna 17 | 36.42 |
| Columna 18 | 29.67 |

5.1.6 RESUMEN BAJADA DE CARGAS PARA EDIFICIOS B Y B1

Tabla 5.6 Resumen Bajada de Cargas Edificios B y B1

| Carga Axial en Columnas | | |
|---|---|---|
| Columna | Carga | Zapata que la Recibe |
| No. | (Ton) | No. |
| 11 | 36.91 | 11 |
| 12 | 29.67 | 12 |
| 13 | 65.92 | 13 |
| 14 | 53.10 | 14 |
| 15 | 65.92 | 15 |
| 16 | 53.10 | 16 |
| 17 | 36.42 | 17 |
| 18 | 29.67 | 18 |

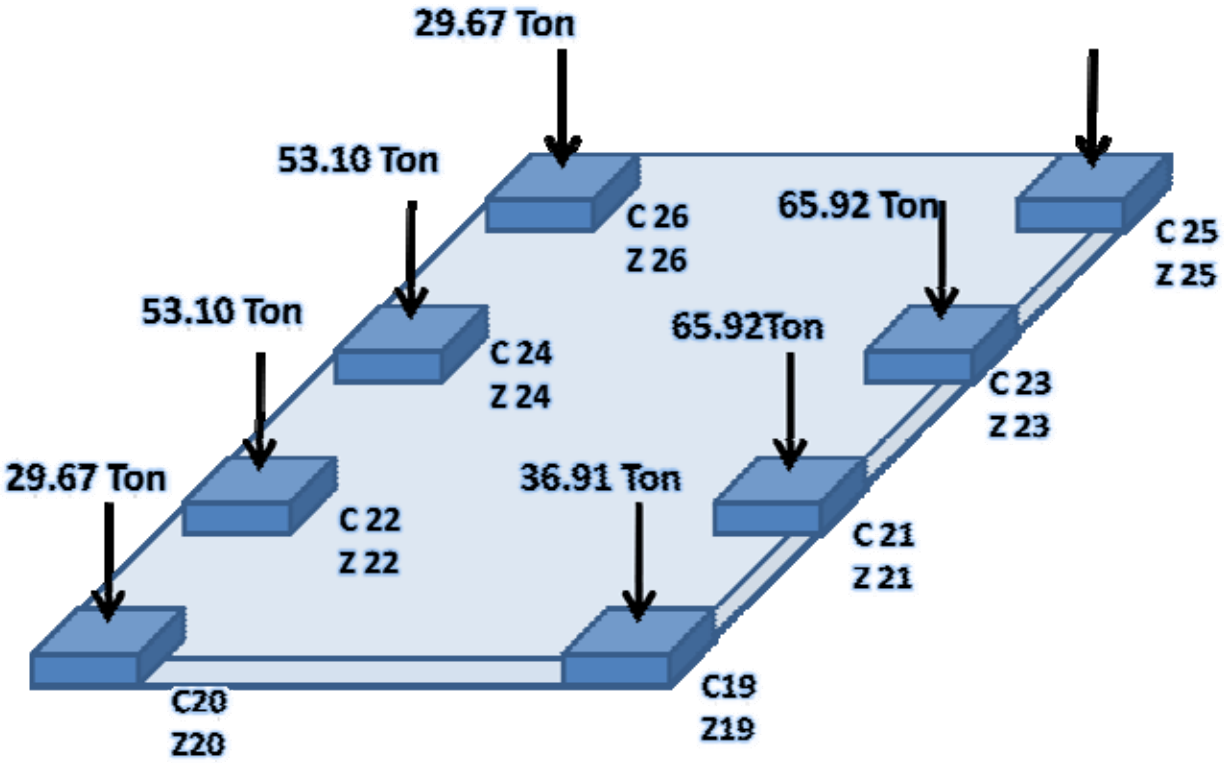



Figura 5.14 Diagrama de Cargas Aplicadas en Edificios B y B1

5.1.7 RESUMEN GENERAL DE CARGAS PARA COMPLEJO “B” DE EDIFICIOS

Terminado el análisis de bajada de carga, se tienen los siguientes resultados por columna y por zapata para los tres edificios que forman la estructura “B”.

Los diagramas son esquemáticos, las zapatas 9, 10, 11, 12, 17, 18, 19 y 20 son zapatas de colindancia, todas las demás son simples.

La numeración de zapatas será la misma que se manejará en el resto de la sección cuando así se requiera. (Ver Figuras 5.15 a 5.17)

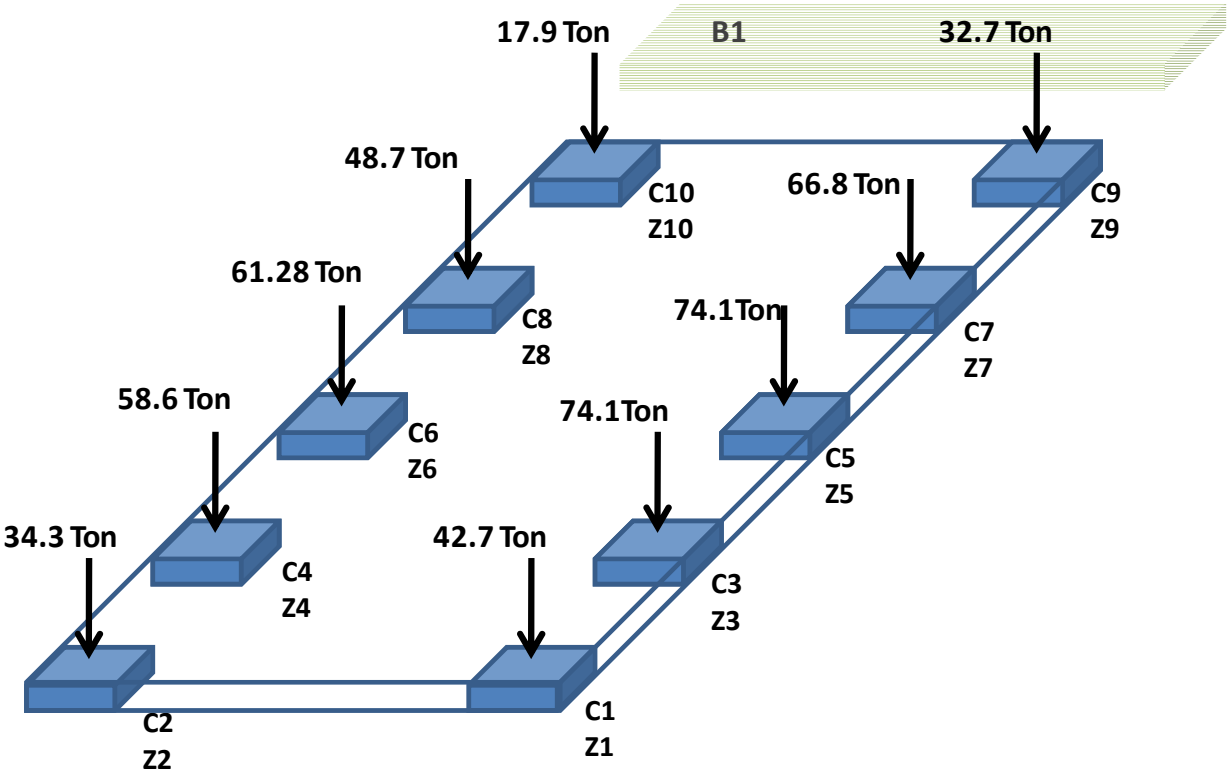



Figura 5.15 Diagrama de Cargas Aplicadas en Edificio B2

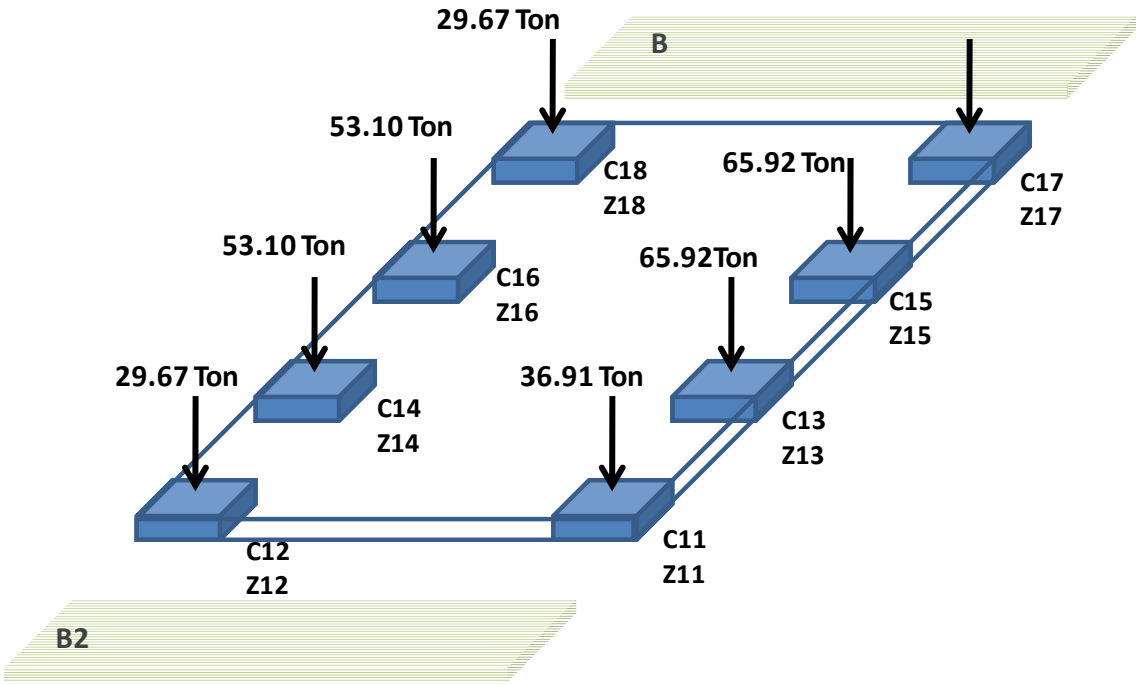



Figura 5.16 Diagrama de Cargas Aplicadas en Edificio B1

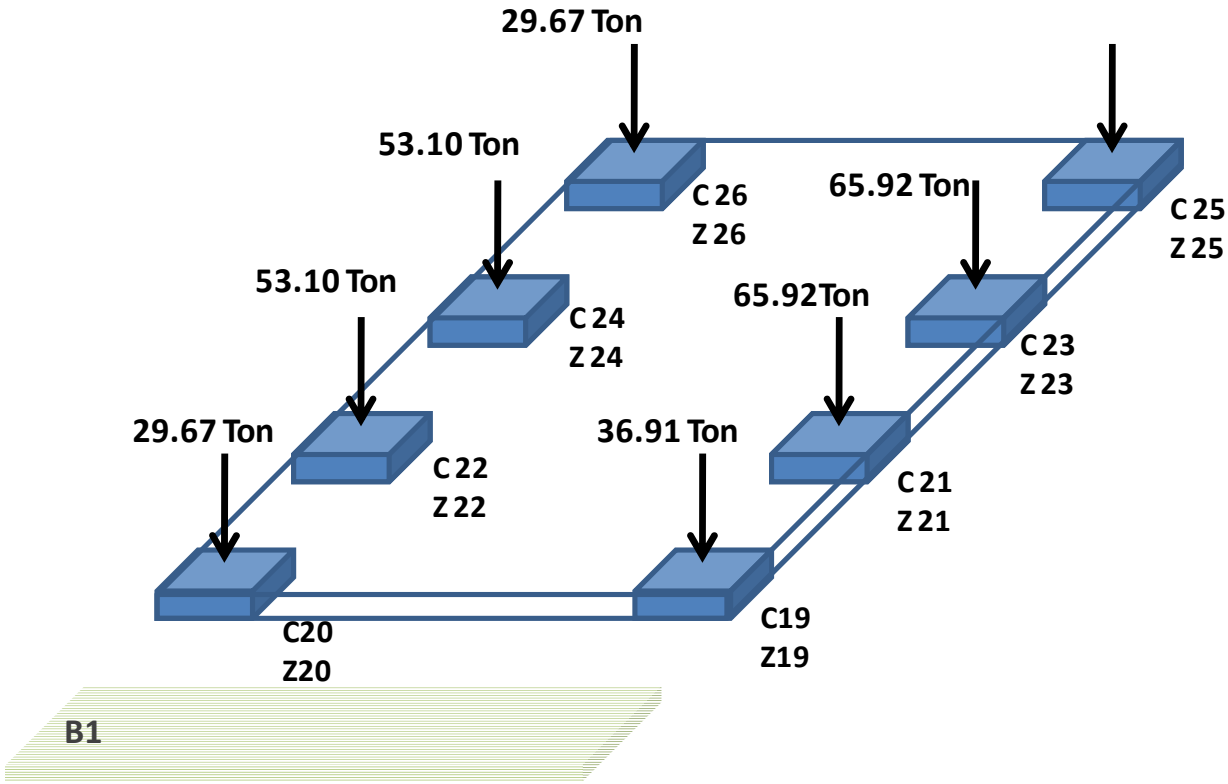



Figura 5.17 Diagrama de Cargas Aplicadas en Edificio B

## 5.2 GEOMETRÍA DE ZAPATAS EN PROYECTO EJECUTIVO

El proyecto ejecutivo contempla zapatas aisladas rectangulares de dimensiones variables, dependiendo de su ubicación. A continuación se presentan los casos posibles.

De igual forma se muestran las dimensiones de las columnas de proyecto. Todos los valores están dados en metros. (Ver Figuras 5.18 a 5.22)

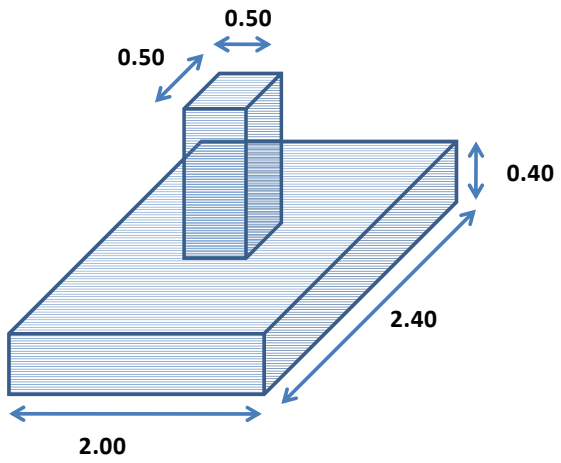



Figura 5.18 Zapatas Tipo B1: Aisladas Rectangulares cargadas concéntricamente

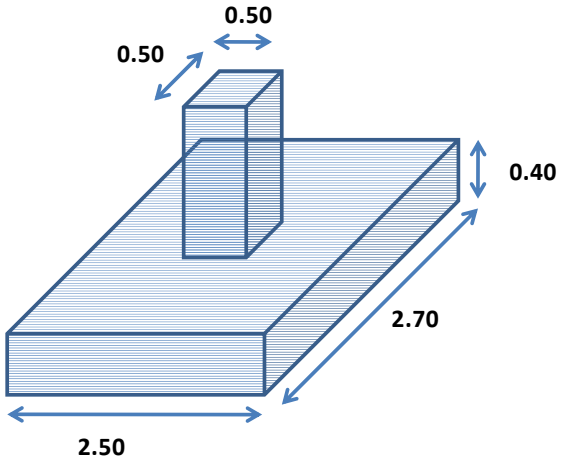



Figura 5.19 Zapatas Tipo B2: Rectangulares cargadas concéntricamente

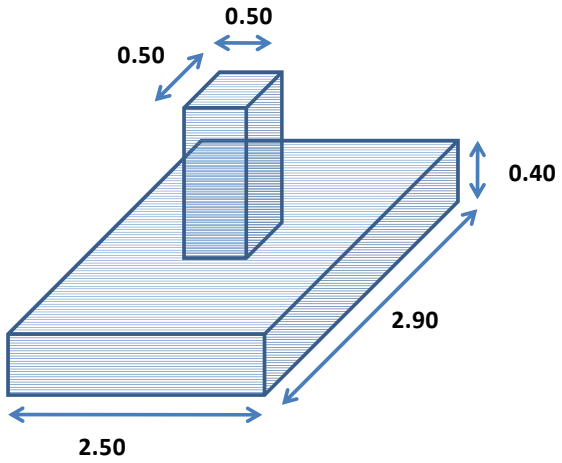



Figura 5.20 Zapatas Tipo B3: Rectangulares cargadas concéntricamente

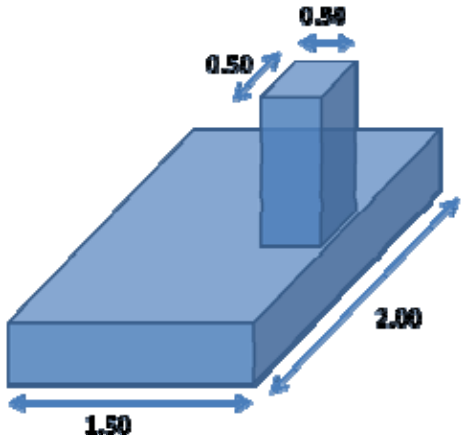



Figura 5.21 Zapatas Tipo B4: Rectangulares de lindero, carga excéntrica

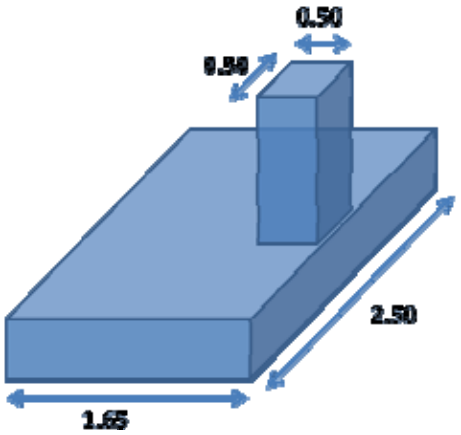



Figura 5.22 Zapatas Tipo B5: Rectangulares de lindero, carga excéntrica

El diagrama de la figura 5.23 muestra de forma sencilla el tipo y localización de cada zapata.

Figura 5.23 Diagrama de localización de Zapatas por Tipo

De acuerdo a la teoría presentada en el apartado 2.1, y de manera análoga a lo hecho para el capítulo 4 se revisan las relaciones entre vuelo y canto para determinar si las zapatas proyectadas son flexibles o rígidas.

Después del análisis, todos los tipos presentados se asumen como zapatas flexibles.

## 5.3 CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE EN EL SUELO

Contemplando lo ya hecho en el capítulo 4, para la condición estipulada como $\phi$=0°, se llega a un valor para capacidad de carga admisible independiente a las dimensiones de las zapatas y preliminarmente aplicable para todos los casos de zapatas proyectadas, puesto que la fricción se desprecia para la obtención de datos conservadores como los presentados por el laboratorio.

En base a lo anterior, se presentan los Factores de Carga aplicados:

Tabla 5.7 Factores de Carga de Terzaghi para $\phi$ = 0°

| Estrato | $N_q$ | $N_c$ | $N_\gamma$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 5.7 | 0 |
| 2 | 1 | 5.7 | 0 |

Los datos de proyecto se tienen en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Valores Adicionales para el cálculo de Valor Portante.

| | |
|---|---|
| **Df (nivel de desplante)** | 0.90, 1.50, 2.00 m |
| **B (ancho de zapata)** | 2.00 m |
| **γ1** | 1460 kg/m$^3$ |
| **γ2** | 1740 kg/m$^3$ |
| **C (cohesión)*** | 1.0625 kg/cm$^2$ |

Y los resultados obtenidos en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Resultados Cálculo de Valor Portante del Suelo.

| Nivel de Desplante Df (m) | $q_{ult}$ (kg/cm$^2$) | $q_{adm}$ (kg/cm$^2$) |
|---|---|---|
| 0.90 | 8.010125 | 2.67 |
| 1.50 | 8.114525 | 2.70 |
| 2.00 | 8.201525 | 2.73 |

La revisión determina que los valores de capacidad de carga admisible otorgados por el estudio de mecánica de suelos son válidos.

## 5.4 PRESIÓN DE CONTACTO EFECTIVA, ÁREAS REQUERIDAS Y PRESIONES EJERCIDAS POR ZAPATAS

La presión de contacto efectiva que puede producir la zapata se calcula de manera análoga a lo hecho en el capítulo 4 generando los resultados siguientes.

Tabla 5.10 Presión Efectiva que Soporta el Suelo

| Nivel de Desplante Df (m) | $q_{adm}$ [1] (kg/cm$^2$) | $q_{adm}$ (ton/m$^2$) | $q_{material}$ (ton/m$^2$) | $q_e$ (ton/m$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 0.90 | 1.82 | 18.2 | 1.37 | 16.83 |
| 1.50 | 2.10 | 21 | 2.414 | 18.586 |
| 2.00 | 2.20 | 22 | 3.284 | 18.716 |

[1] Carga admisible recomendada por laboratorio. A partir de este punto se utilizan estos valores, los cuales ya fueron revisados y son válidos.

A diferencia del capítulo 4, la revisión de presiones ejercidas por zapatas va más allá de revisar que se cumpla el área mínima de zapata requerida, pues en este caso se tienen diferentes tipos de zapatas, no todas cargadas concéntricamente para las cuales se tendrá que llevar a cabo un procedimiento distinto. (Figuras 5.18-5.22).

Para el caso de Zapatas Tipo B1, B2 y B3 que si están concéntricamente cargadas y asumiendo que generan una presión sobre el suelo uniformemente distribuida, se calcula el área mínima que requerirían para producir $q_e$ de acuerdo a las cargas que reciben.

Haciendo uso de la figura 5.23, se determina que las zapatas número 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 23, 24, 25, 26 son las que corresponden a los tipos de zapata B1, B2 y B3 respectivamente.

Mediante la ecuación 2.14 se obtiene el área requerida para cada una de las zapatas mencionadas considerando el nivel de desplante más desfavorable, de 0.90 m, pues como lo indica la tabla 5.10, es el nivel de profundidad que puede soportar menos presión. En caso de que el área de zapatas se cumpla para este desplante, también se estará cumpliendo para los otros dos niveles de desplante.

El proceso de cálculo es análogo al mostrado en el capítulo anterior en su apartado 4.4 y no se muestra, únicamente se presentan los resultados.

La carga de diseño que se tendría, se calculó aplicando un factor de 1.4 a la carga axial bruta. (Ver Tablas 5.11 a 5.13)

Tabla 5.11 Área Requerida Para Zapatas Tipo B1, Df=0.90 m.

| Zapatas Tipo B1 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Zapata | Carga Axial Bruta | Área Requerida | Carga Axial de Diseño | Área Requerida |
| No. | (Ton) | ($m^2$) | (Ton) | ($m^2$) |
| 2 | 34.31 | 2.04 | 48.04 | 2.85 |
| 4 | 58.67 | 3.49 | 82.14 | 4.88 |
| **6** | **61.28** | **3.64** | **85.79** | **5.10** |
| 8 | 48.75 | 2.90 | 68.25 | 4.06 |
| 14 | 53.10 | 3.15 | 74.34 | 4.42 |
| 16 | 53.10 | 3.15 | 74.34 | 4.42 |
| 22 | 53.10 | 3.15 | 74.34 | 4.42 |
| 24 | 53.10 | 3.15 | 74.34 | 4.42 |
| 26 | 29.67 | 1.76 | 41.54 | 2.47 |

Tabla 5.12 Área Requerida Para Zapatas Tipo B2, Df=0.90 m.

| Zapatas Tipo B2 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Zapata | Carga Axial Bruta | Área Requerida | Carga Axial de Diseño | Área Requerida |
| No. | (Ton) | ($m^2$) | (Ton) | ($m^2$) |
| 1 | 21.55 | 1.28 | 30.17 | 1.79 |
| **3** | **74.11** | **4.40** | **103.76** | **6.16** |
| 13 | 65.92 | 3.92 | 92.29 | 5.48 |
| 15 | 65.92 | 3.92 | 92.29 | 5.48 |
| 21 | 65.92 | 3.92 | 92.29 | 5.48 |
| 23 | 65.92 | 3.92 | 92.29 | 5.48 |
| 25 | 36.42 | 2.16 | 50.99 | 3.03 |

Tabla 5.13 Área Requerida Para Zapatas Tipo B3, Df=0.90 m.

| Zapatas Tipo B3 Para una Profundidad de Desplante 0.9m | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Zapata | Carga Axial Bruta | Área Requerida | Carga Axial de Diseño | Área Requerida |
| No. | (Ton) | ($m^2$) | (Ton) | ($m^2$) |
| **5** | **74.11** | **4.40** | **103.76** | **6.16** |
| 7 | 66.86 | 3.97 | 93.61 | 5.56 |

Considerando el área requerida de mayor magnitud para cada uno de los tres tipos (se presentan con negritas en tablas 5.11-5.13), se revisa que las zapatas en proyecto sean adecuadas.

Zapatas tipo B1 (2.00 X 2.40 m.)

$4.8\ m^2 > 3.64 m^2 \Longrightarrow$ La zapata es adecuada

$4.8\ m^2 < 5.1\ m^2 \Longrightarrow$ La zapata no es adecuada para la carga de diseño que se maneja.

En este punto es importante señalar que las Zapatas B1 están ligeramente por debajo del área que se requeriría si se emplean cargas de diseño para su dimensionamiento. En la literatura se emplean ambos métodos.

En todo caso, La diferencia encontrada está afectando un poco el factor de seguridad que se tiene en el cálculo de toda estructura, pero no es una variación determinante ni simboliza un gran riesgo. Considerando que el área de proyecto se comparó con el valor más alto de áreas requeridas calculadas, y que el valor de la capacidad admisible del suelo es conservador, entonces la variación se puede despreciar.

Zapatas tipo B2 (2.50 X 2.70 m.)

$6.75\ m^2 > 4.40\ m^2 \Longrightarrow$ La zapata es adecuada

$6.75\ m^2 > 6.16\ m^2 \Longrightarrow$ La zapata es adecuada para la carga de diseño que se calculó.

Zapatas tipo B3 (2.50 X 2.90 m.)

$7.25\ m^2 > 4.40\ m^2$ ⟹ La zapata es adecuada

$7.25\ m^2 > 6.16\ m^2$ ⟹ La zapata es adecuada para la carga de diseño que se calculó.

Para terminar con el análisis del tipo de zapatas en cuestión, en la tabla 5.14 se presentan las presiones de contacto máximas que generan las zapatas con las dimensiones proyectadas:

Tabla 5.14 Magnitud de Presiones Máximas que ejercen las zapatas Tipo B1,B2 y B3

| Tipo de Zapata | Carga Axial Máxima | Área de Proyecto | Presión de Contacto |
|---|---|---|---|
| | (Ton) | (m2) | (Ton/m2) |
| B1 | 61.28 | 4.8 | 12.77 |
| B2 | 74.11 | 6.75 | 10.98 |
| B3 | 74.11 | 7.25 | 10.22 |

Habiéndose determinado que las zapatas tipo B1, B2 y B3 no presentan problemas en cuanto a que generen presiones mayores al valor de capacidad admisible del suelo, es turno de analizar los tipos B4 y B5.

La excentricidad que presentan dichas zapatas en la aplicación de la carga se da en un solo sentido. El hecho de presentarse una excentricidad determina que la distribución de presión que la zapata generará no puede considerarse uniforme y se va a calcular de acuerdo a lo presentado en el apartado 2.4.

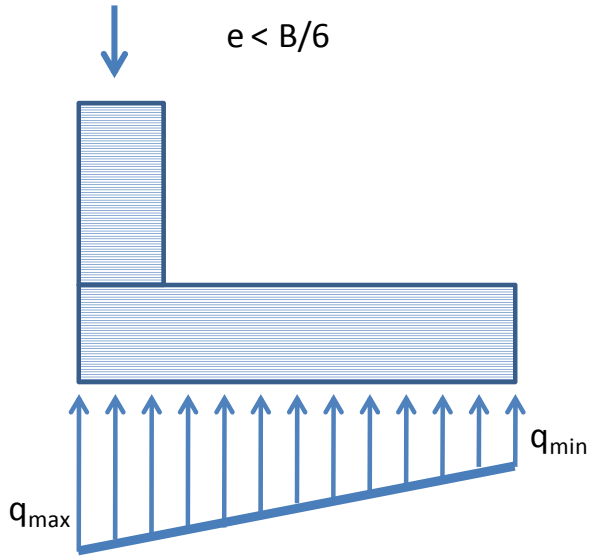



Figura 5.24 Distribución de presión si la excentricidad es menor a B/6

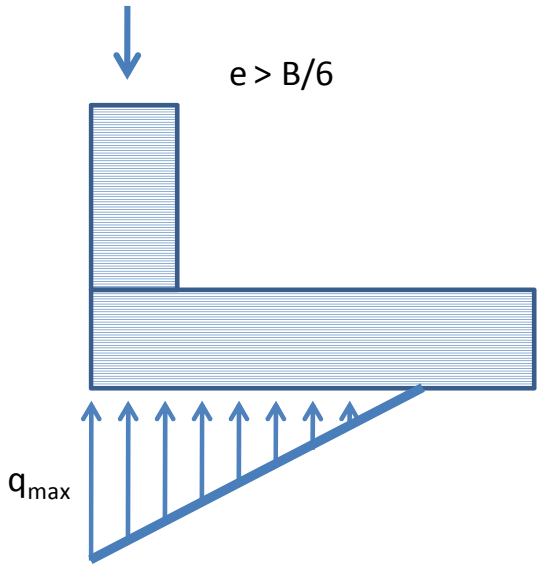



Figura 5.25 Distribución de presión si la excentricidad es mayor a B/6

Zapatas Tipo B4

De acuerdo a la figura 5.23, las zapatas 10, 12, 18 y 20 son del tipo B4 a analizar. Dichas zapatas reciben la carga indicada en la tabla 5.15.

Tabla 5.15 Carga Axial que transmiten las columnas a las Zapatas B4

| Zapatas Tipo B4 | |
|---|---|
| Zapata | Carga Axial en Columna |
| No. | (Ton) |
| 10 | 17.91 |
| 12 | 29.67 |
| 18 | 29.67 |
| 20 | 29.67 |

Se calcula la distribución de presión para la acción más desfavorable en las zapatas, siendo ésta de 29.67 Ton.

En proyecto se considera un dado de 60 X 60 cm. que recibe la columna y la carga axial en su centroide. En base a esto se determina la excentricidad de la carga aplicada en la zapata. (Ver Figura 5.26).

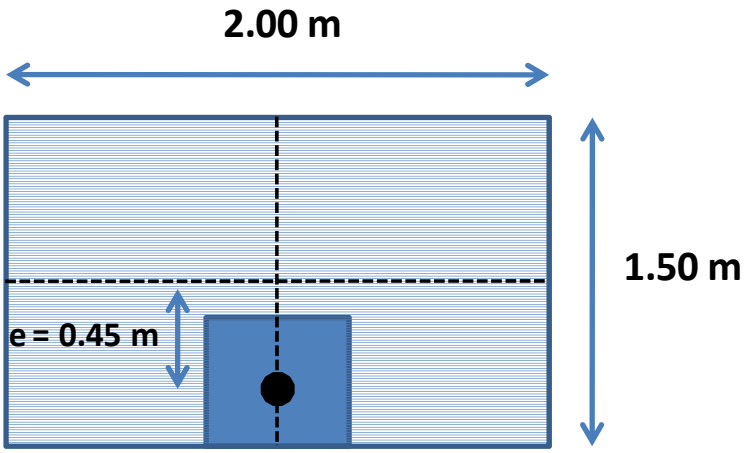



Figura 5.26 Excentricidad en Zapatas Tipo B4

$e = 0.45 > (\frac{1.50}{6})$ Por lo tanto se tiene el caso mostrado en la figura 5.25.

Para el caso en cuestión, se determina el valor de $q_{max}$ y se genera el diagrama de distribución de presión que se observa en la figura 5.27.

$$q_{max} = \frac{4Q}{3L(B-2e)}$$

$$q_{max} = \frac{4(29.67)}{3(2.00)(1.50-2(0.45))} = 32.96\ Ton/m^2$$

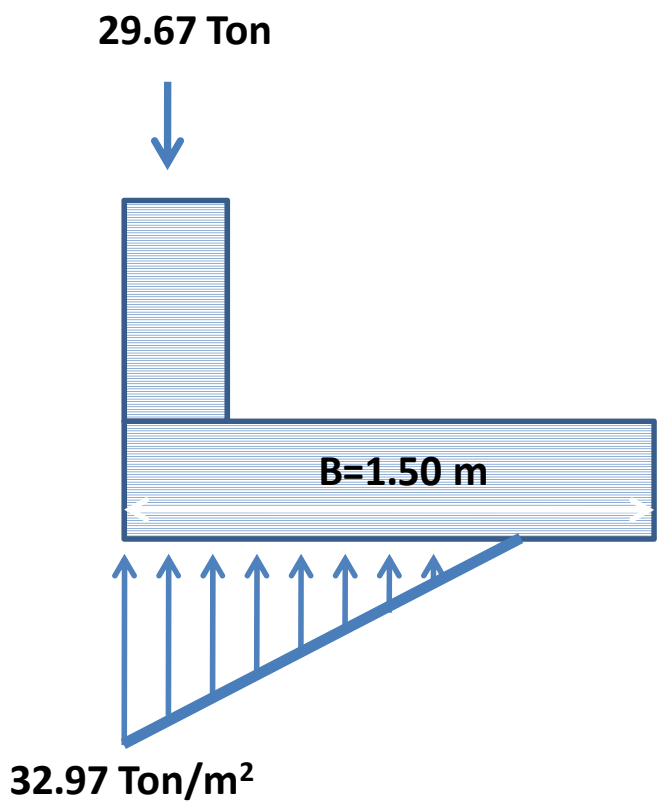



Figura 5.27 Diagrama de distribución de Presión para Zapatas Tipo B4

La figura claramente muestra una presión máxima ejercida de 32.97 Ton/m$^2$ la cual está por encima de lo admisible en la tabla 5.10 y además establece que se van a generar tensiones en la zapata (las cuales se asume están consideradas en el diseño estructural del proyecto).

El análisis podría terminar en este punto, argumentando que los valores sobre los cual se basa la tabla 5.10 son resultados de laboratorio sumamente conservadores por lo que no resulta raro que los valores se sobrepasen en casos aislados.

Lo anterior aunque es una posibilidad de salida bastante sencilla, no resulta coherente si se quiere llegar a una conclusión válida para determinar si las zapatas son o no adecuadas por capacidad de carga admisible.

Para llegar a dicha conclusión, se volverá a revisar el valor de la capacidad de carga admisible presentado por el laboratorio pero particularmente para el caso de las zapatas B4.

Se revisa para este caso el dato mediante el método sugerido por Meyerhof, denominado como el método del área efectiva, aplicado para las zapatas tipo B4. Se hace en base a los mismos parámetros que el laboratorio determinó[2], para poder hacer una comparación.

Para dicho método, se calculan B' y L'.

$$B' = B - 2e = 1.50 - 2(0.45) = 0.60\ m$$

$$L' = L = 2.00\ m$$

Los cuales se van a aplicar a la ecuación para la capacidad de carga última:

$$q'_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Que para la condición ϕ= 0° se presenta de la siguiente manera:

[2] ϕ= 0° y cohesión aparente = 1.0625 kg/cm$^2$

$$q'_u = cN_cF_{cs}F_{cd} + q$$

Los factores se calculan en base a un valor ϕ= 0° y se presentan en la tabla 5.16

Tabla 5.16 Factores $N_q$, $N_c$ y $N_\gamma$ (según Vésic):

| $N_q$ | $N_c$ | $N_\gamma$ | $N_q$/ $N_c$ | tanϕ |
|---|---|---|---|---|
| 1.00 | 5.14 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |

Factor de Forma (considerando ancho y largo efectivo):

$$F_{cs} = 1 + \frac{B'N_q}{L'N_c} = 1 + \frac{(0.60)(0.20)}{2.00} = 1.06$$

Factor de Profundidad (para caso Df/B < 1, Df=0.90m, B=1.50)

$$F_{cd} = 1 + 0.4\frac{Df}{B} = 1 + 0.4\left(\frac{0.90}{1.50}\right) = 1.24$$

Factores de Inclinación (no hay inclinación en la carga aplicada)

$$F_{ci} = F_{qi} = F_{\gamma i} = 1$$

Cohesión (determinada por laboratorio, presentada en capítulo 3)

$$c = 1.0625\ \frac{kg}{cm2} = 10625\ \frac{kg}{m2}$$ = 104.23 KN/m2

$$\gamma = 1.74\frac{Ton}{m3} = 1740\frac{kg}{m3}$$ = 17 KN/m2

$$q = \gamma Df = 1740 * 0.90 = 1566\ \frac{kg}{m2}$$ = 15.36 KN/m2

Aplicando datos a la fórmula:

$$q'_u = cN_cF_{cs}F_{cd} + q$$

$$q'_u = (104.23)(5.14)(1.06)(1.24) + (15.36) = 719\ \frac{KN}{m2} = 73\ Ton/m2$$

Con lo que se tiene una $q_{adm} = 24.33\ Ton/m2$

Este valor es mayor al que se presenta por el laboratorio ($q_{adm}$ $18.2\ Ton/m2$), pero es todavía menor al $q_{max}$ que generan las zapatas Tipo B4 (figura 5.27).

Esto no necesariamente significa que las zapatas son inadecuadas, porque en realidad al revisar con la condición ϕ= 0°, los resultados no son muy representativos del suelo que se tiene, que en realidad si tiene fricción.

Dejando a un lado la condición ϕ= 0°, para obtener un resultado más representativo del suelo que se tiene, se revisará nuevamente la $q_{adm}$ pero haciendo uso de otras herramientas con las que se cuenta como el valor N en la SPT[3].

Se revisa la $q_{adm}$ rápidamente con la correlación para suelos arenosos desarrollada por el mismo Meyerhof (1956) entre ésta y el Valor N. (Descrita en el Apartado 2.6.3)

El N requerido para el suelo en cuestión es de 38 a más de 50 golpes.

Presión vertical a 0.90m de profundidad= 0.175 kg/cm$^2$ = 17.2Kpa

Interpolando de la tabla en apéndice 5 para determinar el factor de corrección de N:

[3] Este valor es un indicador más representativo del suelo en cuestión que la condición ϕ= 0°.

0 Kpa ⟹ 2.0 0 Kpa ⟹ 2.0 0 Kpa ⟹ 2.0

25 Kpa ⟹ 1.5 25 Kpa ⟹ -0.5 17.2Kpa ⟹ 0.34

Entonces el factor de corrección a utilizar es igual a 2.0 – 0.34 = 1.66

Considerando que la teoría en el apartado 2.6.3 señala que el valor de N a aplicar en estas correlaciones no debe ser nunca mayor a 50, entonces se harán los cálculos en base a los N originales sin aplicar el factor de corrección.

Entonces para el rango N=38-50 golpes y utilizando B' se tiene:

$$P_{v,adm} = 6N\left(1+\frac{D}{3B}\right) = 6(38)\left(1+\frac{0.90}{(3)(0.60)}\right) = \ 342\ KN/m^2$$

$$P_{v,adm} = 6N\left(1+\frac{D}{3B}\right) = 6(50)\left(1+\frac{0.90}{(3)(0.60)}\right) = \ 450\ KN/m^2$$

Lo que equivale a un rango de presión admisible entre 34.86 y 45.87 Ton/$m^2$

La capacidad de carga admisible es mayor a la presión máxima ejercida (Figura 5.27), por lo tanto las zapatas Tipo B4 son adecuadas y no presentarán problema en cuanto a falla por cortante en el suelo.

Una vez más queda expuesta la manera tan conservadora en que se calculó el valor de capacidad de carga por el laboratorio.

Zapatas Tipo B5

De manera análoga a lo hecho para las zapatas tipo B4, se hace la revisión en base a la zapata tipo B5 más cargada. (Ver Tabla 5.17)

Tabla 5.17 Descarga en Zapatas Tipo B5

| Zapatas Tipo B5 | |
|---|---|
| Zapata | Carga Axial En Columna |
| No. | (Ton) |
| 9 | 32.71 |
| 11 | 36.91 |
| 17 | 36.42 |
| 19 | 36.91 |

Se determina la excentricidad y distribución de presiones. (Figura 5.28).

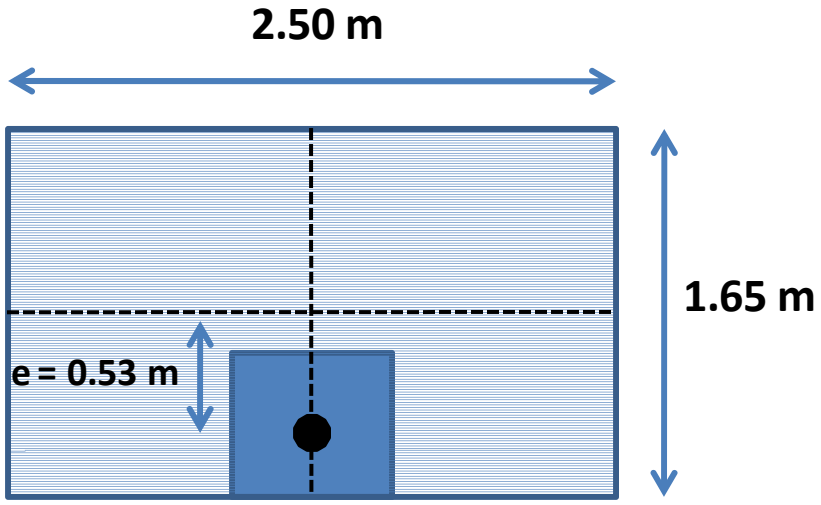



Figura 5.28 Excentricidad en Zapatas Tipo B4

Ancho Efectivo $B' = B - 2e = 1.65 - 2(0.53) = 0.59\ m$

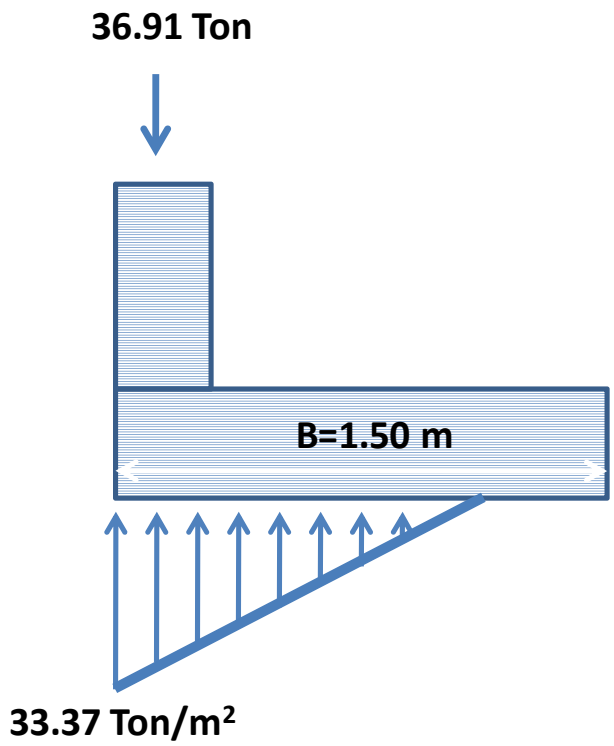



Figura 5.29 Diagrama de Distribución de Presión para Zapatas tipo B5.

Se revisa únicamente mediante la correlación de Meyerhoff entre la presión admisible y el valor N en la SPT.

Entonces para el rango N=38-50 golpes y utilizando B' se tiene:

$$P_{v,adm} = 6N\left(1+\frac{D}{3B}\right) = 6(38)\left(1+\frac{0.90}{(3)(0.59)}\right) = \ 343.9\ KN/m^2$$

$$P_{v,adm} = 6N\left(1+\frac{D}{3B}\right) = 6(50)\left(1+\frac{0.90}{(3)(0.59)}\right) = \ 452.5\ KN/m^2$$

Lo que equivale a un rango de presión admisible entre 35.05 y 46.08 Ton/m$^2$

La presión $q_{max}$ ejercida por las zapatas es menor a la admisible. Se concluye que las zapatas tipo B5 también son adecuadas para resistir la falla por cortante en el suelo.

5.5 INCREMENTO DE ESFUERZOS A PROFUNDIDAD EN EL TERRENO

En el capítulo anterior se determinó el incremento de esfuerzos en el suelo mediante dos métodos distintos. Analizando la similitud de valores obtenidos en ambos casos y por su sencillez, se propone aplicar el método 2:1 para cada tipo de zapata que se analiza en el presente capítulo.

Zapata Tipo B1

L= 2.40 m.

B= 2.00 m.

$q_0$ = 12.77 Ton/m$^2$

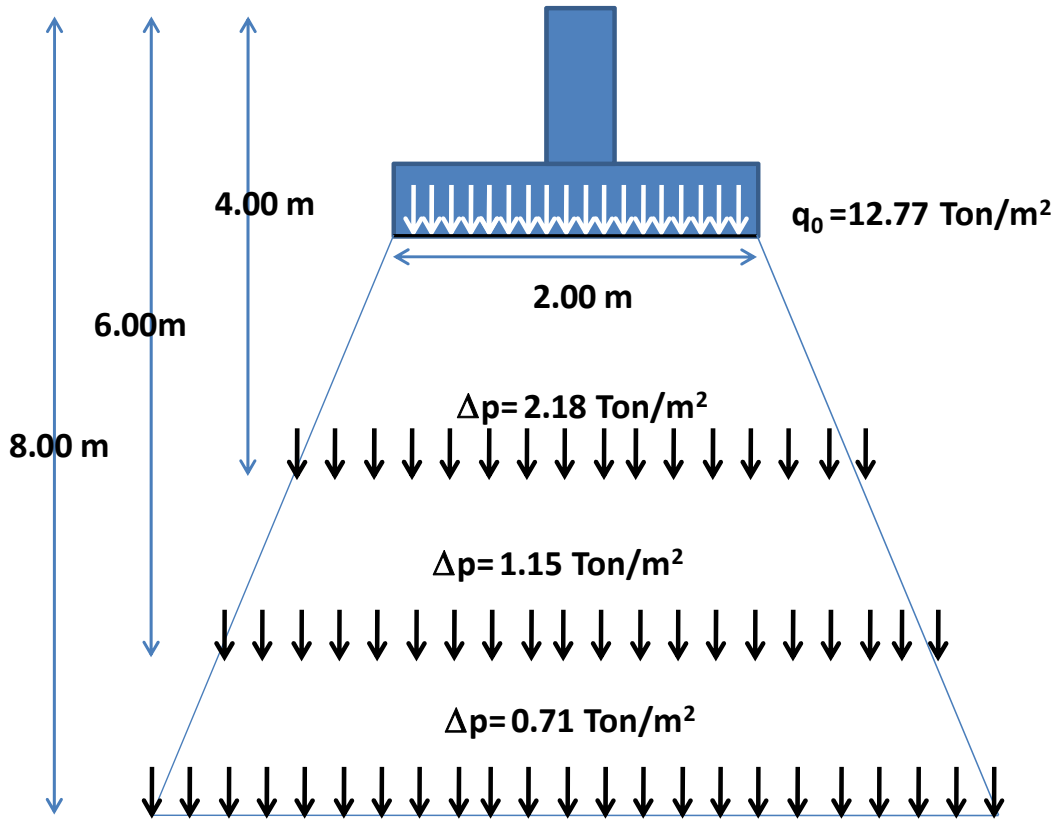



Figura 5.30 Incremento de esfuerzos en el suelo bajo zapatas tipo B1

Zapata Tipo B2

L= 2.70 m.

B= 2.50 m.

$q_0$ = 10.98 Ton/m$^2$

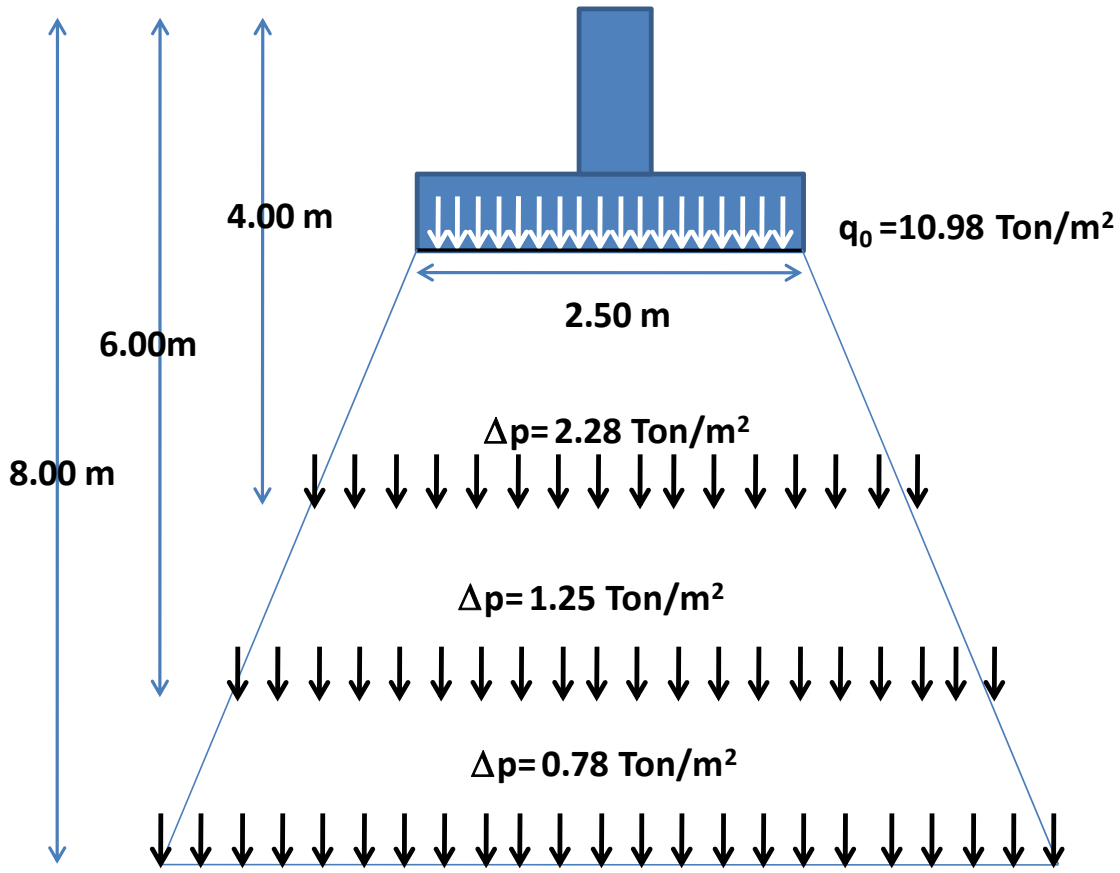



Figura 5.31 Incremento de esfuerzos en el suelo bajo zapatas tipo B2

Zapata Tipo B3

L= 2.90 m.

B= 2.50 m.

$q_0$ = 10.22 Ton/m$^2$

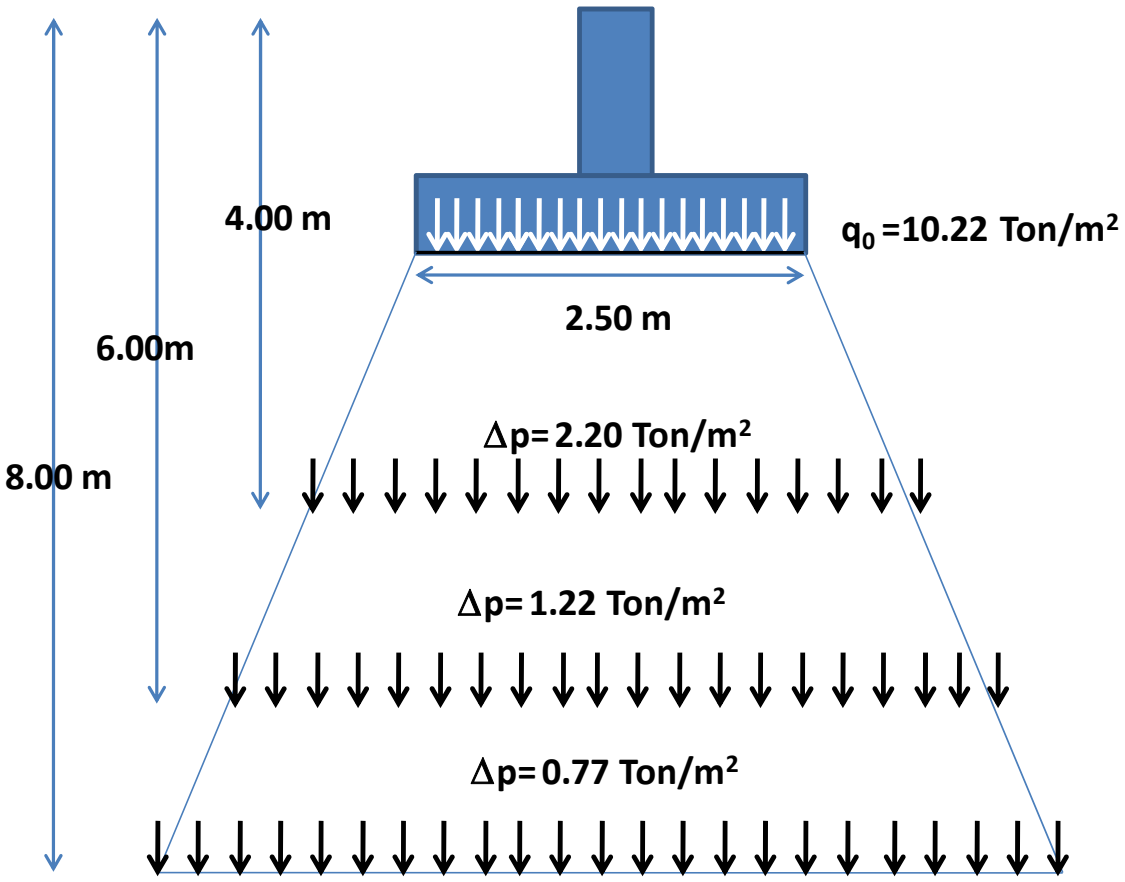



Figura 5.32 Incremento de esfuerzos en el suelo bajo zapatas tipo B3

Zapata Tipo B4

El análisis se realiza utilizando un caso hipotético en el que la presión $q_{max}$ está actuando de manera uniformemente distribuida.

L= 2.00 m.

B= 1.50 m.

$q_{max}$ = 32.96 Ton/m$^2$

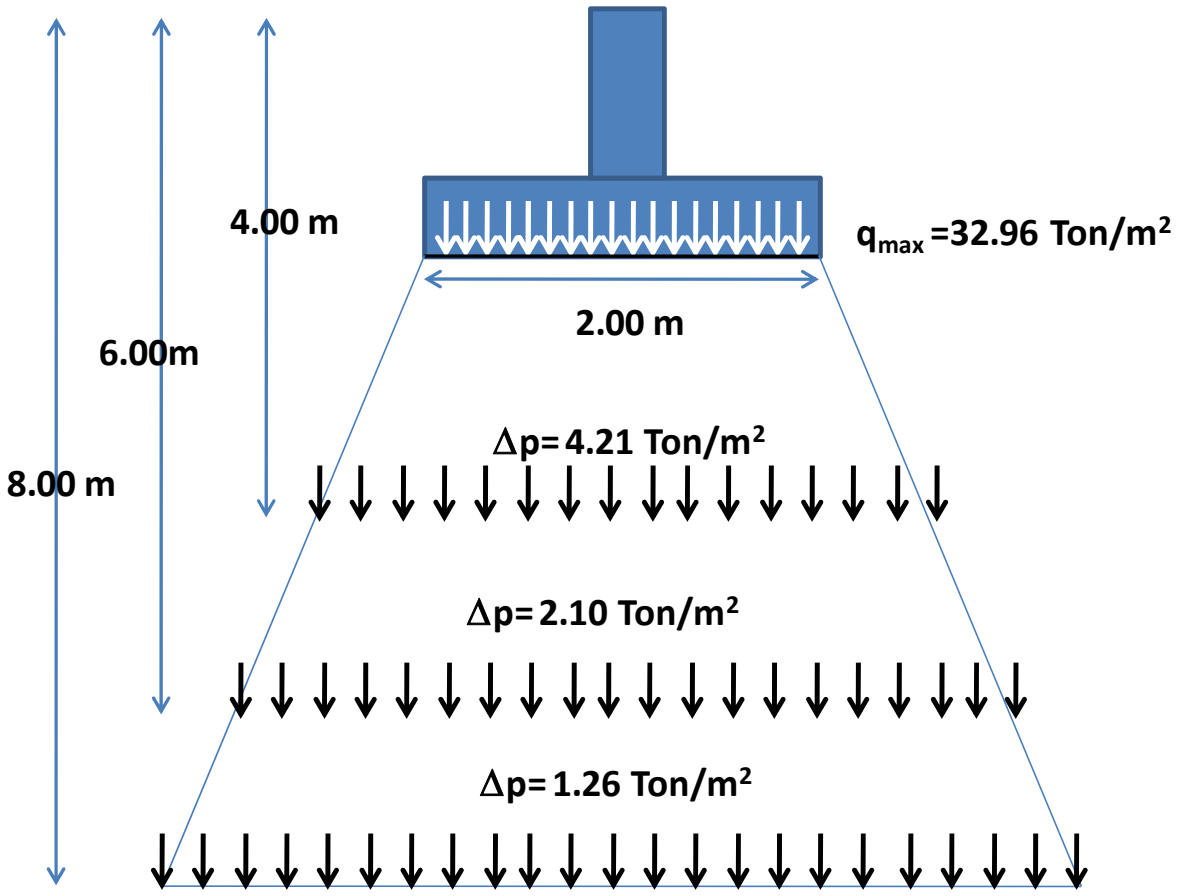



Figura 5.33 Incremento de esfuerzos en el suelo bajo zapatas tipo B4

Zapata Tipo B5

El análisis se realiza utilizando un caso hipotético en el que la presión $q_{max}$ está actuando de manera uniformemente distribuida.

L= 2.50 m.

B= 1.65 m.

$q_{max}$ = 33.37 Ton/m$^2$

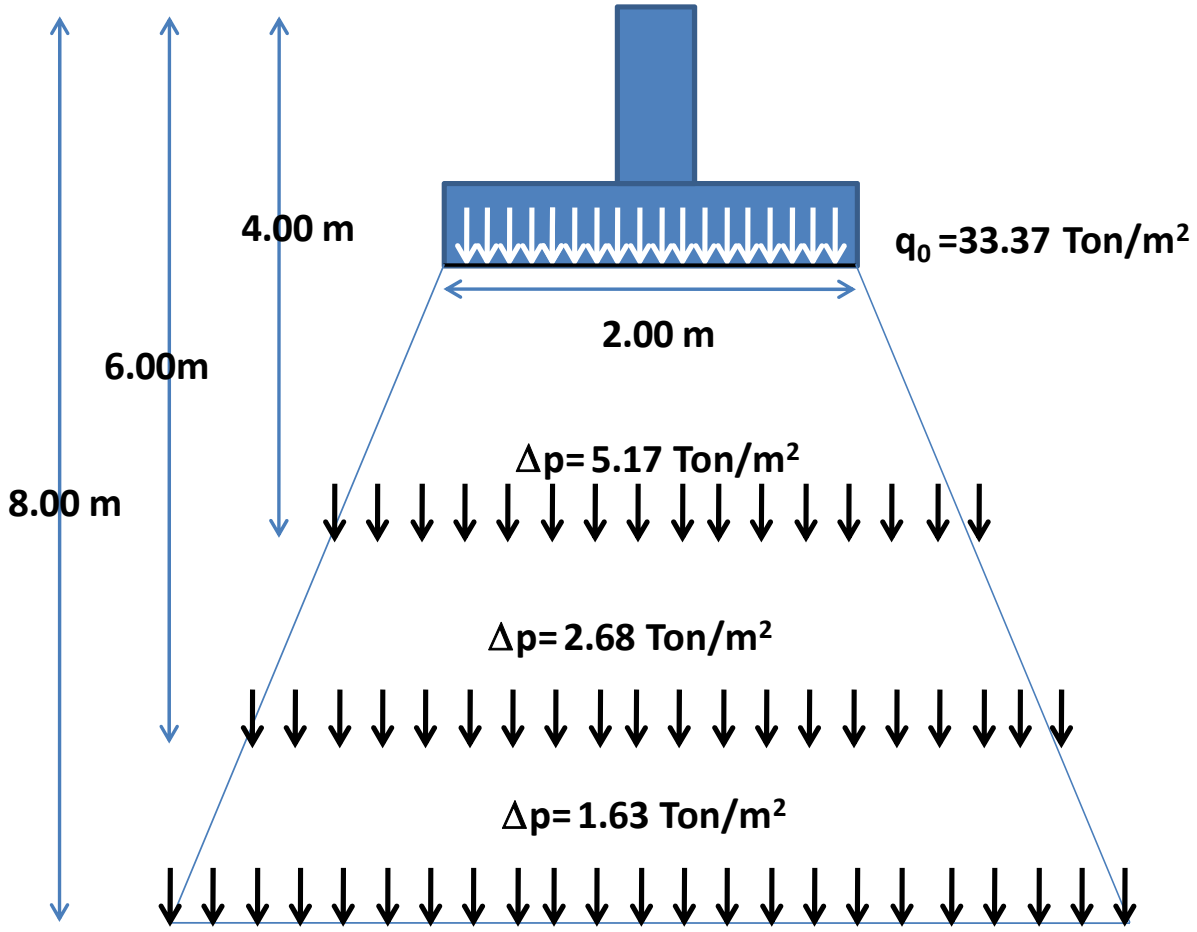



Figura 5.34 Incremento de esfuerzos en el suelo bajo zapatas tipo B4

## 5.6 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Para evitar caer en redundancias, basta con señalar que lo determinado para el capítulo 4 para los edificios tipo A, tiene validez para todo el complejo CENTIA y por lo tanto para el presente capítulo.[4]

## 5.7 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL SUELO Y RELACIÓN DE POISSON

Los valores no varían con respecto a los calculados en el apartado 4.8.

$E_s$= 29.1 – 38.3 MN/m$^2$

$\mu$ =0.30

## 5.8 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS INMEDIATOS

En base a la teoría elástica se calculan los asentamientos inmediatos bajo las zapatas.

Para el caso de Zapatas B1, B2 y B3, el cálculo de asentamientos se realiza en base a la presión uniformemente distribuida que generan en el suelo y se calculan asentamientos en el centro y las esquinas. Para el Caso de las Zapatas B4 y B5, se toma como parámetro el $q_{max}$ y se calcula un valor de asentamiento promedio.

El cálculo es análogo a lo hecho en capitulo 4 por lo que se presenta muy resumido en esta sección.

[4] Revisar apartado 4.7 para cualquier aclaración.

Asentamiento inmediato en Zapatas Tipo B1 (L/B = 2.40/2.00 = 1.2)

$p_u$ = 12.77 Ton/m$^2$ = 125.27 KN/m$^2$

$\alpha$ = 1.25

$S_e\ en\ centro$ = 7.44-9.79 mm.

$S_e\ en\ esquina$ =3.72-4.89 mm.

Asentamiento inmediato en Zapatas Tipo B2 (L/B = 2.70/2.50 = 1.08)

$p_u$ = 10.98 Ton/m$^2$ = 107.71 KN/m$^2$

$\alpha$ = 1.15

$S_e\ en\ centro$ = 7.35 – 9.68 mm.

$S_e\ en\ esquina$ =3.68 – 4.84 mm.

Asentamiento inmediato en Zapatas Tipo B3 (L/B = 2.90/2.50 = 1.16)

$p_u$ = 10.22 Ton/m$^2$ = 100.25 KN/m$^2$

$\alpha$ = 1.2

$S_e\ en\ centro$ = 7.14 – 9.40 mm.

$S_e\ en\ esquina$ = 3.57 – 4.70mm.

Asentamiento inmediato en Zapatas B4 (L/B = 2.00/1.50 =1.33)

$q_{max}$ =32.97 Ton/m$^2$ = 325 KN/m$^2$

$\alpha_{prom} =$ 1.15

$S_e\ promedio =$ 13.3 – 17.5 mm.

Asentamiento inmediato en Zapatas B5 (L/B = 2.00/1.65 =1.21)

$q_{max}$ =33.37 Ton/m$^2$ = 327.6 KN/m$^2$

$\alpha_{prom} =$ 1.1

$S_e\ promedio =$ 14.1 – 18.6 mm.

Se determina que los asentamientos inmediatos producidos en el suelo bajo todos los casos de zapatas son bastante pequeños y están por debajo de los límites máximos admisibles por reglamento.

Los asentamientos a largo plazo son nulos o despreciables según lo indica el estudio de mecánica de suelos presentado en el capítulo 3.

## 5.9 JUSTIFICACIÓN DE TIPO DE CIMENTACIÓN EN PROYECTO

Para revisar mediante el criterio de área total de zapatas y planta que se soporta, se realiza lo siguiente:

Revisando la figura 5.23 que presenta la distribución de zapatas por tipo, se determina que se proyectan:

9 zapatas Tipo B1 = (9)(2.40m)(2.00m) = 43.2 $m^2$

7 Zapatas Tipo B2 = (7)(2.70m)(2.50m) = 47.25 $m^2$

2 Zapatas Tipo B3 = (2)(2.90m)(2.50m)= 14.5 $m^2$

4 Zapatas Tipo B4 = (4)(2.00m)(1.50m)= 12 $m^2$

4 Zapatas Tipo B4 = (4)(1.65m)(2.50m)= 16.5 $m^2$

Con lo que se determina que el área total de zapatas es de 133.45 $m^2$

El área total de planta se determina mediante el proyecto ejecutivo como: (5.30 m)( 98.6 m) = 522.58 $m^2$

El área total de zapatas equivale al 25 % del área en planta que se soporta.

El criterio de área total de zapatas indica que la solución mediante zapatas aisladas es la más adecuada y conveniente.

## 5.10 CONCLUSIÓN DE REVISÍON GEOTÉCNICA

Las presiones ejercidas por zapatas B1, B2 y B3 cargadas concéntricamente no exceden a las admisibles presentadas por el laboratorio.

Las presiones máximas ejercidas por zapatas B4 y B5 con carga excéntrica sobrepasan los valores admisibles expuestos por la empresa contratada, sin embargo, mediante la revisión se determinó que estos valores son muy conservadores. Mediante cálculos más representativos

para los casos de zapatas B4 y B5 en particular, se determinó que la presión ejercida no sobrepasa la admisible calculada.

Se concluye que todos los tipos de zapatas proyectados para los edificios tipo B, son adecuadas para resistir la falla por sobrepasar la capacidad de carga admisible del suelo.

Los asentamientos calculados fluctuaron en el orden de 3.57 – 18.6 mm, presentándose los mayores en el centro de zapatas y en zapatas de lindero. El uso de contratrabes añade rigidez a la estructura y evita que las zapatas puedan moverse diferencialmente.

Adicionalmente, estos asentamientos inmediatos están muy por debajo de los permisibles de acuerdo al reglamento de construcción del Distrito Federal. Si se considera que los asentamientos diferidos son nulos[5] entonces no se considera que puedan haber problemas.

El incremento de esfuerzos calculado a profundidades de 4.00, 6.00 y 8.00 m. permite concluir que la presión generada por las zapatas se está disipando adecuadamente en el segundo estrato.

El uso de zapatas es adecuado en base al criterio del área total de zapatas y de planta que soportan. No se determina necesidad de utilizar otro método de cimentación que podría resultar más costoso y contraproducente.

[5] De acuerdo al laboratorio que realizó el estudio de mecánica de suelos

## 5.11 PROPUESTA DE CIMENTACIÓN

En base a lo aclarado en el apartado 4.11, Se propone una cimentación que sea adecuada solamente para el análisis gravitacional hecho y datos geotécnicos con los que se cuenta.

Como punto de partida se revisa la carga axial que transmite cada columna. (Tabla 5.18)

Tabla 5.18 Carga Axial en Columnas Obtenidas de Bajada de Cargas

| Carga Axial en Columnas | | | |
|---|---|---|---|
| | (Ton) | | (Ton) |
| Columna 1 | 21.55 | Columna 14 | 53.10 |
| Columna 2 | 34.31 | Columna 15 | 65.92 |
| Columna 3 | 74.11 | Columna 16 | 53.10 |
| Columna 4 | 58.67 | Columna 17 | 36.42 |
| Columna 5 | 74.11 | Columna 18 | 29.67 |
| Columna 6 | 61.28 | Columna 19 | 36.91 |
| Columna 7 | 66.86 | Columna 20 | 29.67 |
| Columna 8 | 48.75 | Columna 21 | 65.92 |
| Columna 9 | 32.71 | Columna 22 | 53.10 |
| Columna 10 | 17.91 | Columna 23 | 65.92 |
| Columna 11 | 36.91 | Columna 24 | 53.10 |
| Columna 12 | 29.67 | Columna 25 | 36.42 |
| Columna 13 | 65.92 | Columna 26 | 29.67 |

Las columnas están distribuidas de la siguiente manera (Figura 5.35).

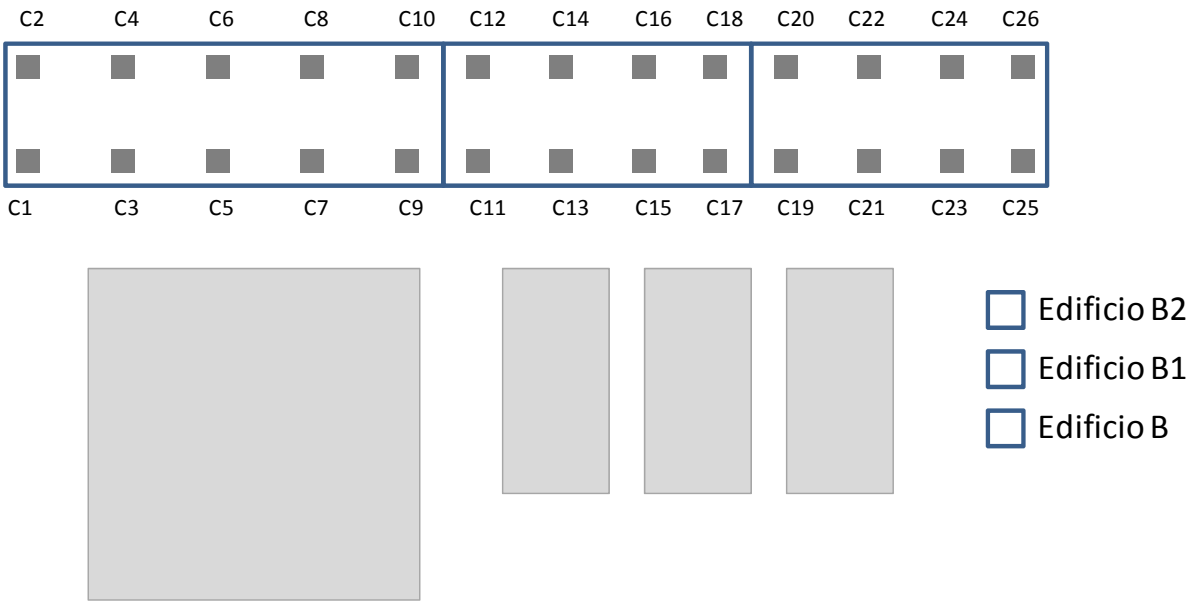



Figura 5.35 Distribución de Columnas en Planta.

En base a lo determinado por la revisión geotécnica, se proponen zapatas aisladas bajo cada columna y se numeran de la misma manera que las columnas.

Las zapatas 9, 10, 11, 12, 17, 18, 19 y 20 deberán ser zapatas de lindero. Todas las demás se proponen como aisladas simples.

Las zapatas de lindero se catalogan para esta propuesta como Zapatas Tipo P1 y al no tener una gran variación en la carga que deben de recibir, se proponen de las mismas dimensiones.

Las zapatas 1, 2, 8, 25, y 26 tampoco presentan gran variación en cuanto a la carga que deben de soportar. Se catalogan como Zapatas tipo P2 y se proponen que sean de dimensiones idénticas.

Las zapatas restantes, se proponen de mismas dimensiones y se catalogan como Zapatas Tipo P3.

La distribución de las mismas se observa en el siguiente diagrama:

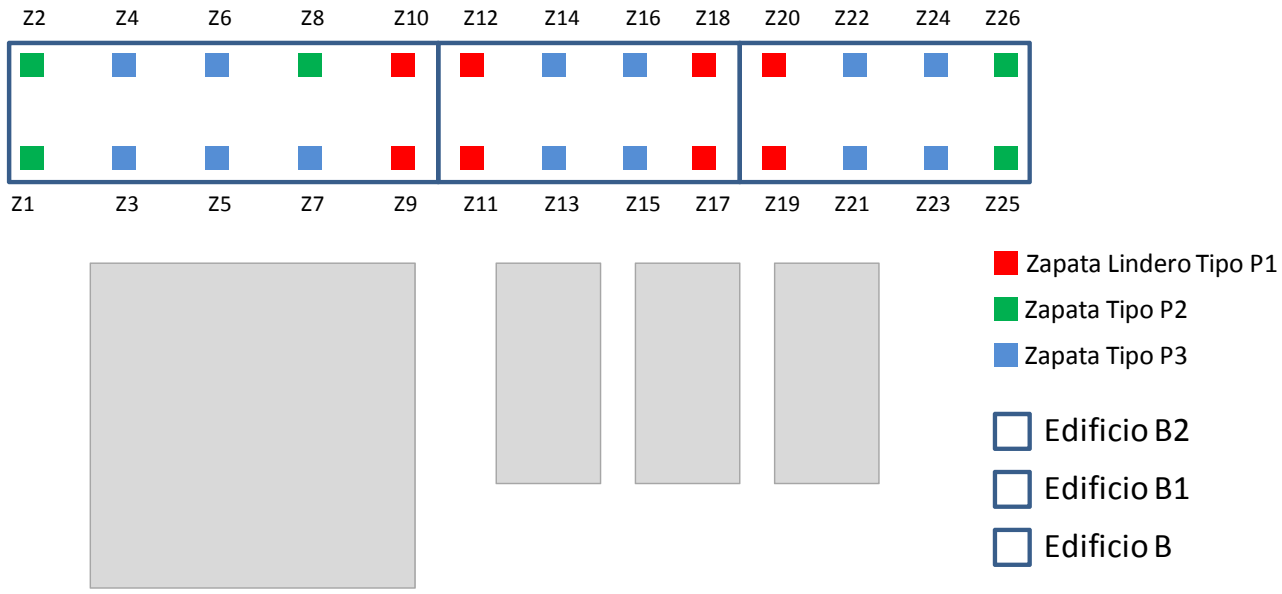



Figura 5.36 Distribución propuesta de zapatas

El diseño para cada tipo de zapata propuesta se hará en base a la carga de mayor magnitud. El procedimiento utilizado es bastante similar al utilizado para el capítulo 4 por lo que se resume en lo posible.

El proceso para diseñar las zapatas de lindero tipo P1 se presenta completo por ser diferente a lo visto hasta ahora. Las cargas que se emplearán son:

Para Zapata Tipo P1 = 36.91 Ton

Para Zapata Tipo P2 = 48.75 Ton

Para Zapata Tipo P3 = 74.11 Ton

5.11.1 DISEÑO DE ZAPATA TIPO P1

De acuerdo a lo visto en el apartado 5.4, para un tipo de zapatas muy similares, se calculó un rango de $q_{adm}$ de entre 35 y 45 Ton/m$^2$. Para el diseño de las Zapatas tipo P1, se usará un valor de $q_{adm}$ de 45 Ton/m$^2$.

Dimensiones de columnas en proyecto= 50x50 cm.

Carga Axial en columna= 36.91 Ton

El diseño se hará en base a iteraciones entre áreas y peraltes propuestas.

Primera Iteración: (área 1.5x1.5 m y peralte 40cm) Figura 5.37

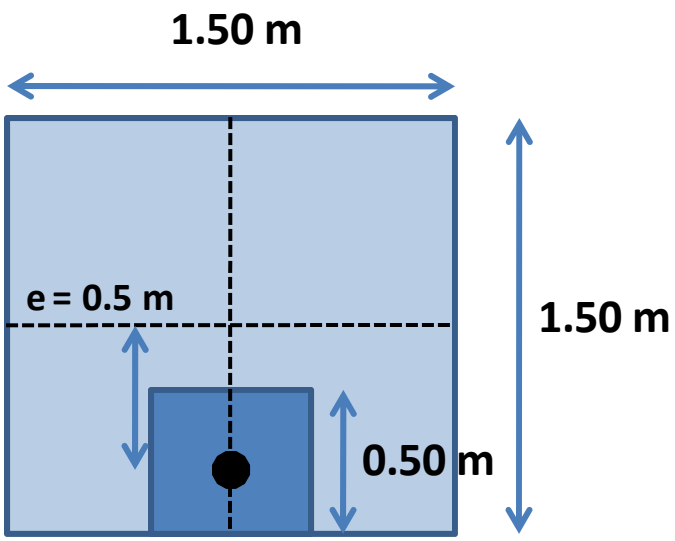



Figura 5.37 Primera Iteración de diseño Zapatas P1

Con el área y peralte propuestos, se estima rápidamente el peso de la cimentación. W = 2.16 Ton.

Con esto se calcula el $P_u$ de diseño.

$$P_u = 1.4(36.91\,Ton + 2.16\,Ton) = 54.69\,Ton$$

En base a este valor, se determina una presión de contacto la cual para simplificar el estudio, se asume que se distribuye uniformemente. Se usa el área efectiva.

$p_u = \frac{54.69}{(1.50)(1.50-2(0.5))} = 72.9\frac{Ton}{m^2}$ > $q_{adm}$ No se puede continuar. Las dimensiones propuestas para la primera iteración no son válidas.

Segunda Iteración: (área 2.0x2.0 m y peralte 40cm) Figura 5.38

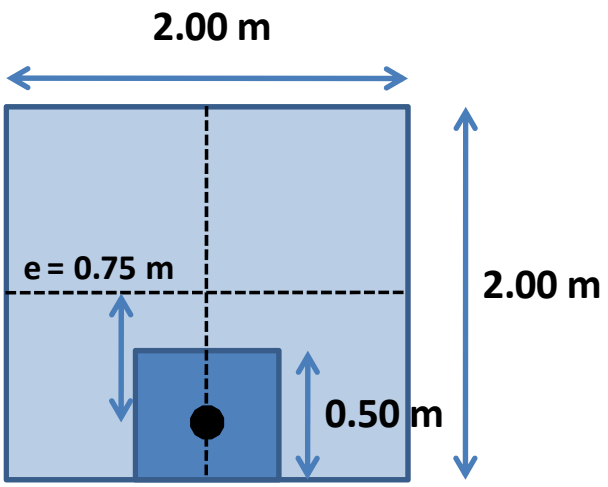



Figura 5.38 segunda Iteración de diseño Zapatas P1

W estimado de la cimentación = 3.84 Ton.

$$P_u = 1.4(36.91\,Ton + 3.84\,Ton) = 57.05\,Ton$$

$p_u = \frac{57.05}{(2.00)(2.00-2(0.75))} = 57.05\,\frac{Ton}{m^2}$ > $q_{adm}$ Las dimensiones no son adecuadas

Aunque se aumentó el área de manera significativa, el resultado siguió siendo el mismo, se sobrepasó la $q_{adm,}$. Mediante una revisión rápida se observa que al aumentar las dimensiones por igual, también se está aumentando la excentricidad de la carga, por lo que el área efectiva se ve reducida y los valores de presión de contacto no disminuyen en gran medida. Esto se toma en cuenta para la tercera iteración.

Tercera iteración: (área 2.50x1.50 m y peralte 40cm) Figura 5.39

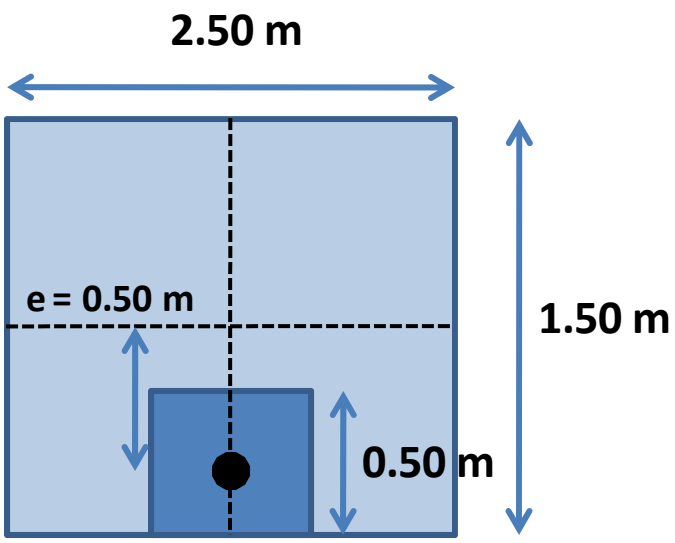



Figura 5.39 Tercera Iteración de diseño Zapatas P1

W estimado de la cimentación = 3.6 Ton.

$$P_u = 1.4(36.91\,Ton + 3.6\,Ton) = 56.71\,Ton$$

$$p_u = \frac{55.07}{(2.5)(1.50-2(0.5))} = 45.32\ \frac{Ton}{m^2}$$ = $q_{adm}$ Las dimensiones propuestas son adecuadas.

Se continúa el diseño.

Cortante por Punzonamiento:

Presión de contacto sin considerar peso de la cimentación:

$$p_u = \frac{(1.4)(36.91)}{(2.5)(1.5-2(0.5))} = 41.33\,\frac{Ton}{m^2}$$

Haciendo uso de la ecuación 2.19 se obtienen el perímetro crítico $B_o$ y el área crítica $S$.

$$B_o = 3.2\ m$$

$S = (3.2)(0.40) = 1.28\ m^2$ = 12800 cm$^2$

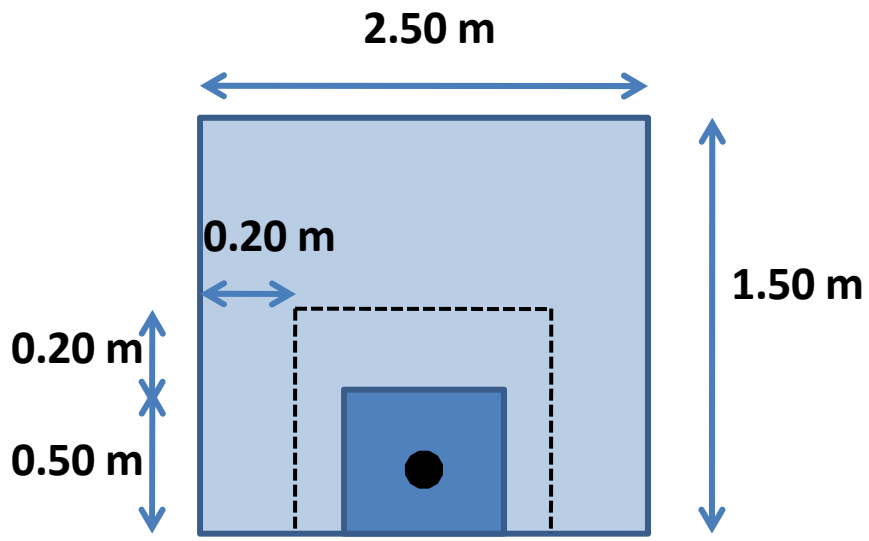



Figura 5.40 Cálculo de área crítica por punzonamiento para zapata P1

Mediante la ecuación 2.20c se obtiene la fuerza cortante actuante en la sección crítica $V_u$

$$V_u = 25.63\ Ton$$

Antes de determinar el esfuerzo cortante, al ser una zapata excéntrica, se debe considerar el cortante que genera el momento actuante. Para revisar que fracción del momento ∝ se debe considerar por reglamento, se hace la siguiente comparación de acuerdo a lo presentado en el apartado 2.8.1:

$$0.2V_u = 5.12\ Ton$$

$$M_u = P_u * e = 25.837\ Ton.m$$

$$0.2V_u < M_u \qquad \rightarrow \qquad \alpha = 1 - \frac{1}{1 + 0.67\sqrt{\frac{c_1 + d/2}{c_2 + d}}}$$

Se determinan los valores necesarios:

$$\propto = 0.37,\ C_{ab} = 15.31,\ g = 54.68,\ J_c = 6.04E6$$

Y se calcula el esfuerzo cortante mediante la ecuación 2.23

$$v_u = \frac{V_u}{S} + \frac{\alpha(M_u - V_u g)C_{AB}}{J_c}$$

$v_u = 4.43$ Kg/cm$^2$

Este valor se compara con el $v_R$ que se calcula por reglamento de la siguiente forma:

$$v_R = FR\sqrt{f^*}c = 0.8\sqrt{(0.8)(200)} = 10.12\ Kg/cm^2$$

$v_u > v_R$ La zapata es adecuada por punzonamiento pero está sobrada.

Se cambia el peralte a 0.30m y se obtiene un $v_u = 7.59$ Kg/cm$^2$

Cortante por acción de viga:

L' se calcula: 0.70m (Figura 5.41)

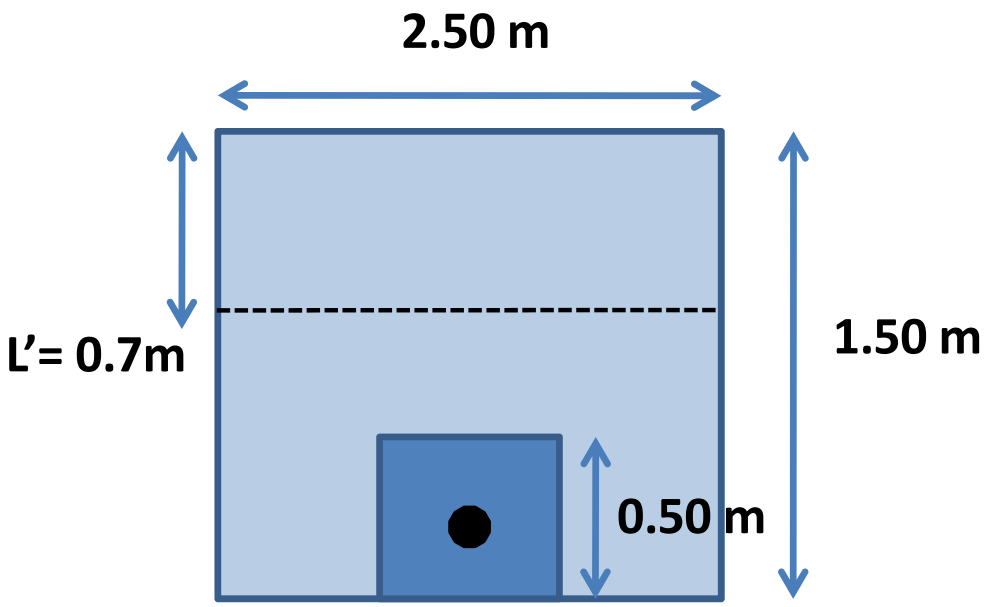



Figura 5.41 cálculo de L' para zapata P1

Y se determina el área crítica $S$

$$S = (2.50m)(0.30m) = 0.75m2 = 7500cm2$$

Mediante la ecuación 2.27 se obtiene el valor de la fuerza cortante

$$V_u = p_u BL' = (41.33)\big(1.50 - 2(0.5)\big)(0.70) = 14.46\ Ton = 14460\ \text{Kg}$$

Con lo cual se tiene un esfuerzo de cortante $v_u = 1.93\ Kg/cm2$

$v_u < v_R$ Entonces el peralte de 30cm es adecuado.

Refuerzo por Flexión:

Se calcula para la dirección más desfavorable:

Se determina la sección crítica (Figura 5.42)

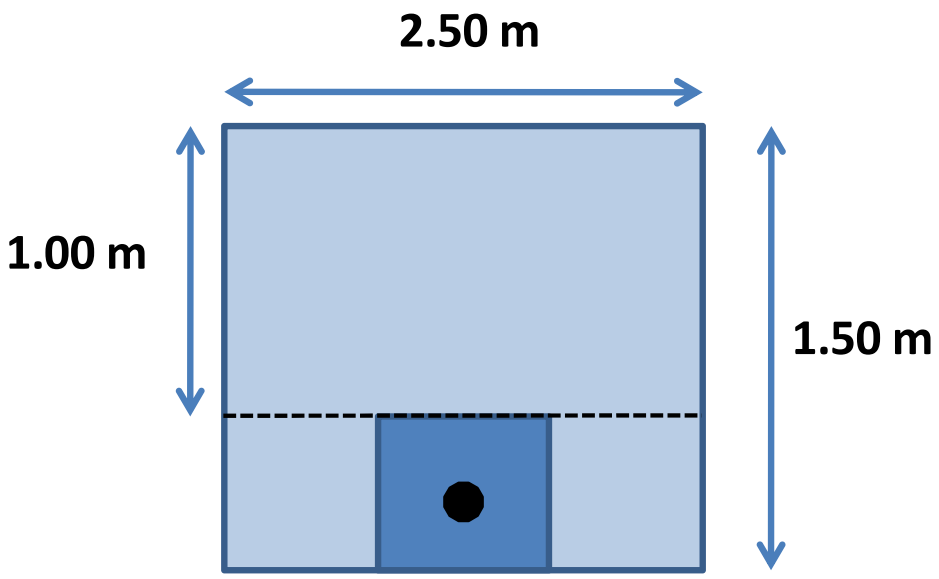



Figura 5.42 sección crítica por flexión Zapata P1

En base a la teoría mostrada en el capítulo 2, se calcula el momento flexionante debido a la reacción del terreno.

Se cuenta con $p_u = 41.33$ Ton/m$^2$

Se calcula el área de contacto que se tiene: $(1.00m)(2.50m) = 2.50m2$

Y mediante a estática básica se obtiene el momento flector y el área de acero requerida:

$M_u = (41.33)(2.50)(0.50) = 51.66\, Ton.m$

$A_s = 50.63\ cm^2$

Proponiéndose cubrir con 10 varillas del #8

Estas varillas que irán en el sentido paralelo a lado más corto de la zapata no pueden estar a una separación constante, pues la zapata proyectada es rectangular.

De acuerdo a lo visto en la literatura, el refuerzo en dirección paralela al lado corto de la zapata tendrá un espaciamiento menor en una franja central de ancho B. Para esto se calcula la fracción del $A_s$ que debe de ir en esta franja y lo demás se repartirá en las franjas laterales.

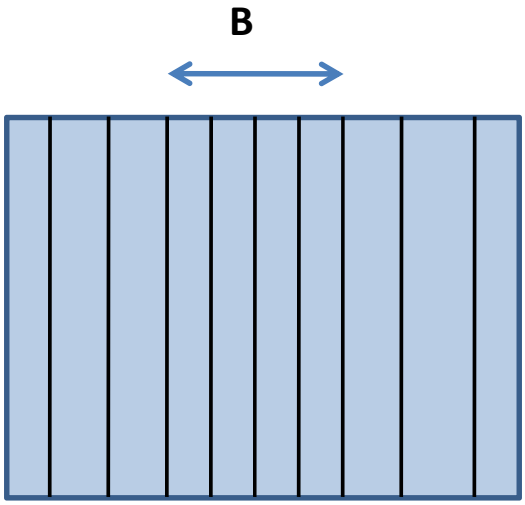



Figura 5.43 Franja central de espaciamiento menor en Zapatas Rectangulares

La fracción del $A_s$ que va en la franja central se calcula:

$$\frac{2B}{A+B} = \frac{(2)(1.50)}{(2.50+1.50)} = 0.75$$

$$0.75A_s = (19.33)(0.57) = 37.97\ cm^2$$

Lo que equivale a 7 de las 10 varillas propuestas.

Estas 7 varillas irán repartidas en una franja central de 1.50 m a una separación de 21 cm.

A las tres restantes se le agrega una para tener dos en cada franja lateral de 0.5 m que irán a una separación de 0.25 cm.

Posteriormente se calcula el refuerzo para la dirección menos desfavorable (Fig. 5.44)

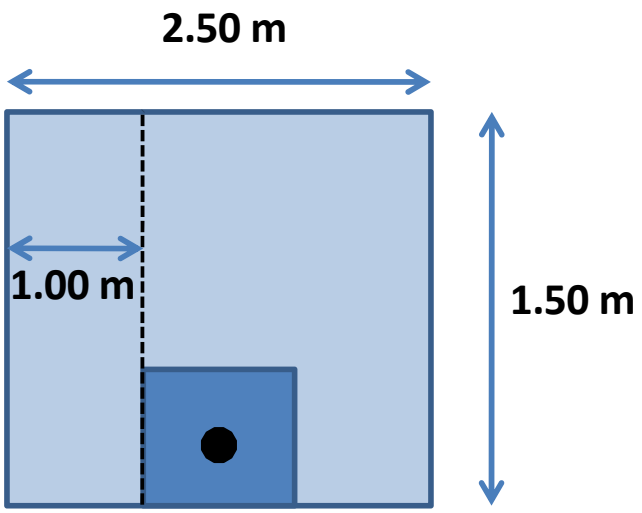



Figura 5.44 sección crítica por flexión Zapata P1

Área de Contacto: $(1.00)(1.50) = 1.50\ \mathrm{m}^2$

$M_u = (41.33)(1.50)(0.50) = 30.9\ Ton.m$

$A_s = 30.27\ cm^2$

Y se propone cubrir el área con 6 varillas del # 8

Éstas varillas se proponen con una separación constante de 0.25 cm como se observa en la figura 5.45.

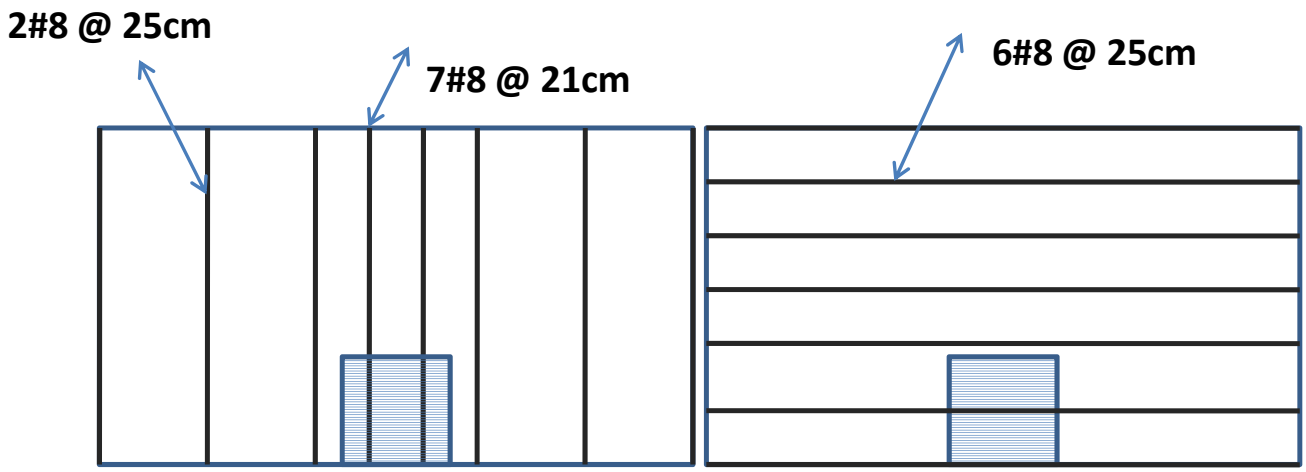



Figura 5.45 Separaciones Proyectadas

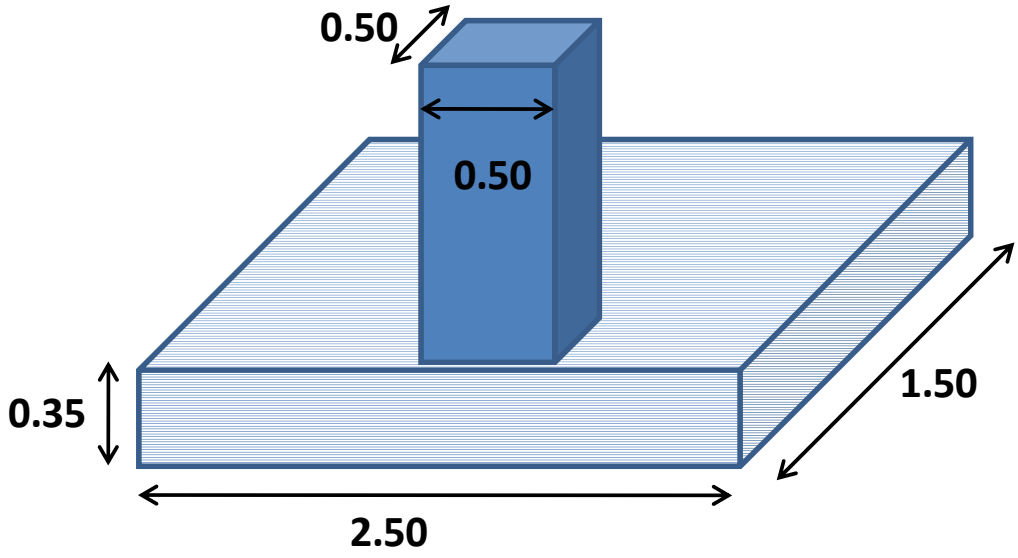



Figura 5.46 Dimensiones finales de Zapata Tipo P1.

5.11.2 DISEÑO DE ZAPATA TIPO P2

El diseño se hace de manera idéntica a lo hecho para las zapatas en el capítulo 4, pues se trata del mismo caso, zapatas concéntricas. Se resume el diseño en lo posible.

El diseño se hace en base a $q_e = 16.83\ ton/m^2$ que se obtuvo a partir de los datos proporcionados por el laboratorio.

La carga más desfavorable para este tipo de zapatas se determina de 48.75 Ton.

W estimado de la cimentación (6% de la carga) = 2.92 Ton

Carga Axial de diseño = 72.345 Ton

$A_{Req} = 4.29\ m^2$

Se propone una zapata cuadrada de 2.1x2.1 m de lado, generando un área = 4.41 $m^2$

La carga sin considerar peso de cimentación entre el área propuesta produce una presión $p_u = 15.47\ ton/m^2$

Cortante por Punzonamiento:

Se propone un peralte inicial de 30 cm

Sección crítica:

$perímetro\ crítico\ B_o =$ 3.2m

$Área\ crítica\ S =$ 0.96 $m^2$ = 7200$cm^2$

$V_u = 58.34$ Ton = 58345 Kg

$esfuerzo\ cortante\ v_u =$ 6.08 Kg/cm$^2$

$v_R = 10.12$ Kg/cm$^2$

El peralte supuesto es adecuado pero está un poco sobrado

Se cambia el peralte a 25 cm, $esfuerzo\ cortante\ v_u = 7.94$ Kg/cm$^2$, es más adecuado.

Cortante por acción de viga (viga ancha):

Por lo general no rige en zapatas cuadradas, se presenta el resultado para corroborar esto: $v_u$= 3.36 Kg/cm$^2$

Refuerzo por Flexión:

$$M_u = p_s A \left( \frac{B-a}{8} \right)^2$$

$M_u = 10.4$ Ton.m (para ambos sentidos)

$$A_s = \frac{M_u}{F_R 0.9d\ f_y}$$

$A_s$ = 12.22 cm$^2$

Se proponen 6 varillas del # 5.

La separación será constante en ambos sentidos, será de 35 cm (Figura 5.47).

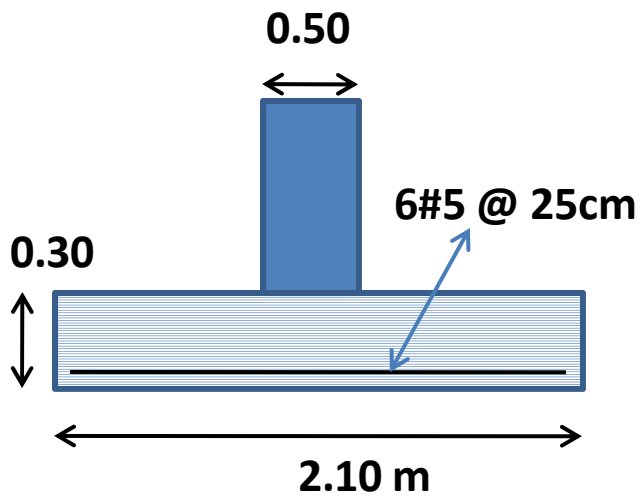



Figura 5.47 Esquema de Zapata Propuesta Tipo P2

5.11.3 DISEÑO DE ZAPATA TIPO P3

Por ser una repetición del proceso anterior, por sensibilidad al lector no se presenta el proceso de diseño resumido, se presentan los resultados principales y el esquema de resultado para la zapata tipo P3.

Carga más desfavorable para el tipo de zapatas P3 = 74.11 Ton

Se propone un área de 2.6 x 2.6 m que genera una presión:

$p_u = 15.64\ ton/m^2$

Cortante por Punzonamiento:

Se propone un peralte de 0.30 m.

$esfuerzo\ cortante\ v_u =$ 9.78 Kg/cm$^2$

$v_R = 10.12$ Kg/cm$^2$

Cortante por acción de viga:

No rige para zapatas cuadradas

Refuerzo por Flexión:

$M_u = 21.99$ Ton.m (para ambos sentidos)

$A_s$ = 21.55 cm$^2$

Se proponen 11 varillas del # 5

Separación = 0.24 cm (para ambos sentidos)

Peralte total = 30cm + 5cm (libres) = 35 cm.

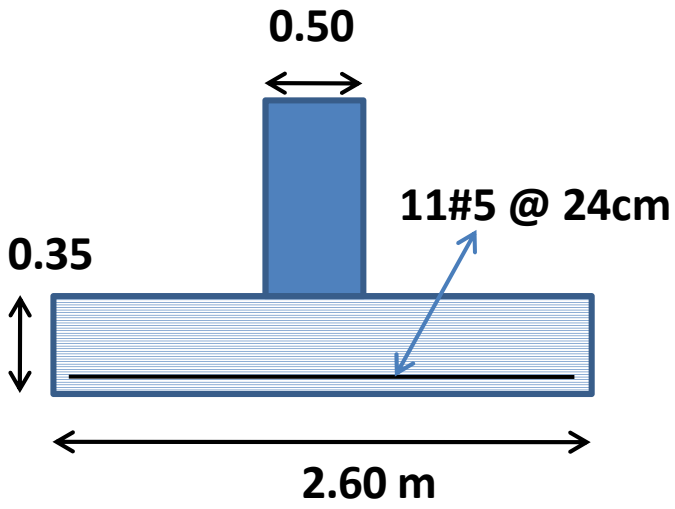



Figura 5.48 Esquema de Zapata Propuesta P3

Con esto termina la propuesta de zapatas para el edificio B. En base a lo hecho, se pueden entender varios conceptos que en un principio no se tenían muy claros. Se entendió el concepto de zapatas excéntricas y su diseño preliminar en base a la excentricidad que tienen y el área efectiva.

También se pudo comprender de alguna manera que el uso de contratrabes puede estar diseñado para contrarestar los momentos que se generan en las zapatas, por tener casos de lindero en los que la excentricidad de la zapata es bastante elevada y se producen momentos importantes.

En este ejercicio de propuesta de cimentación, las cantidad de acero para el caso de las zapata tipo P1 resultó bastante grande, pues se está considerando que la zapata como tal debe de resistir todo el momento que se está generando.

Figura 5.4 áreas tributarias y numeración de trabes, vigas y columnas para azotea edificio B2

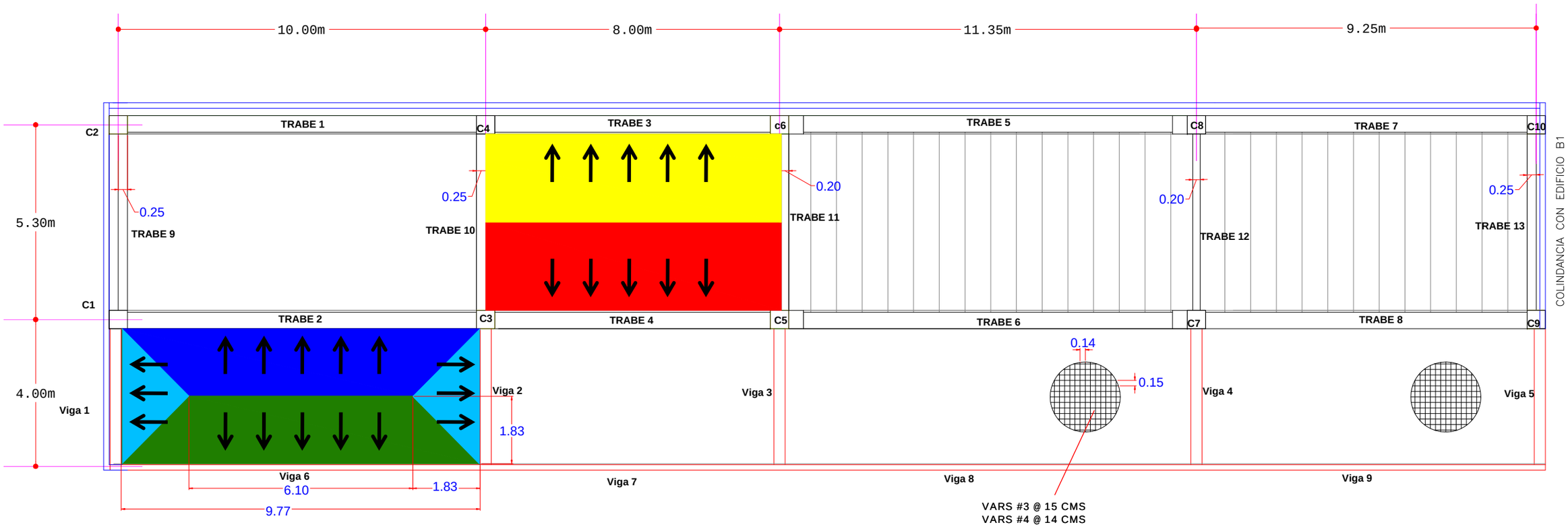


Figura 5.10 áreas tributarias y numeración de trabes, vigas y columnas para entrepiso edificio B2

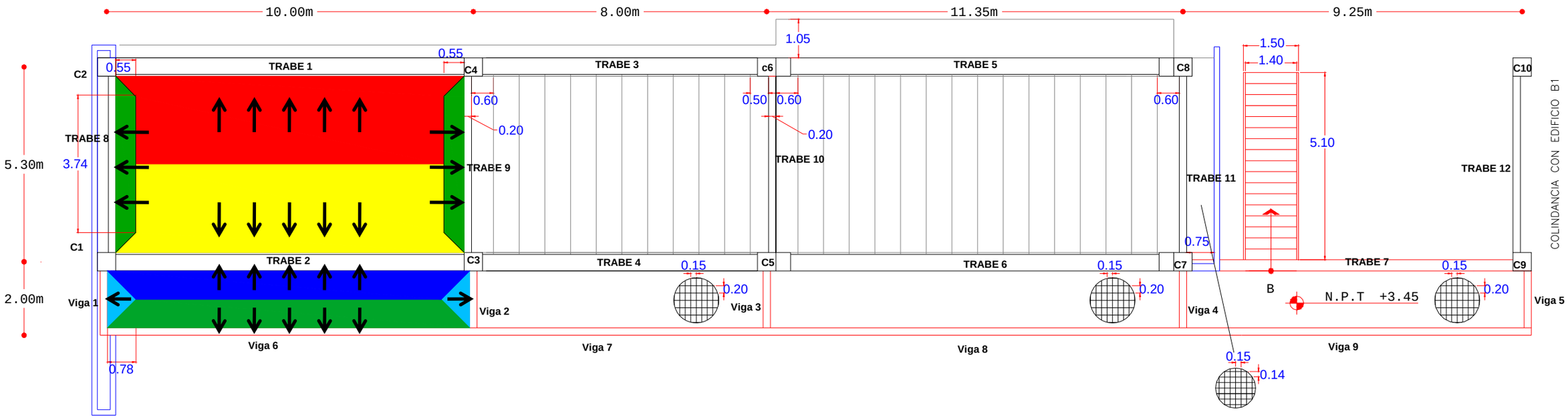


Figura 5.12 áreas tributarias y numeración de trabes, vigas y columnas para Azotea Edificio B y B1

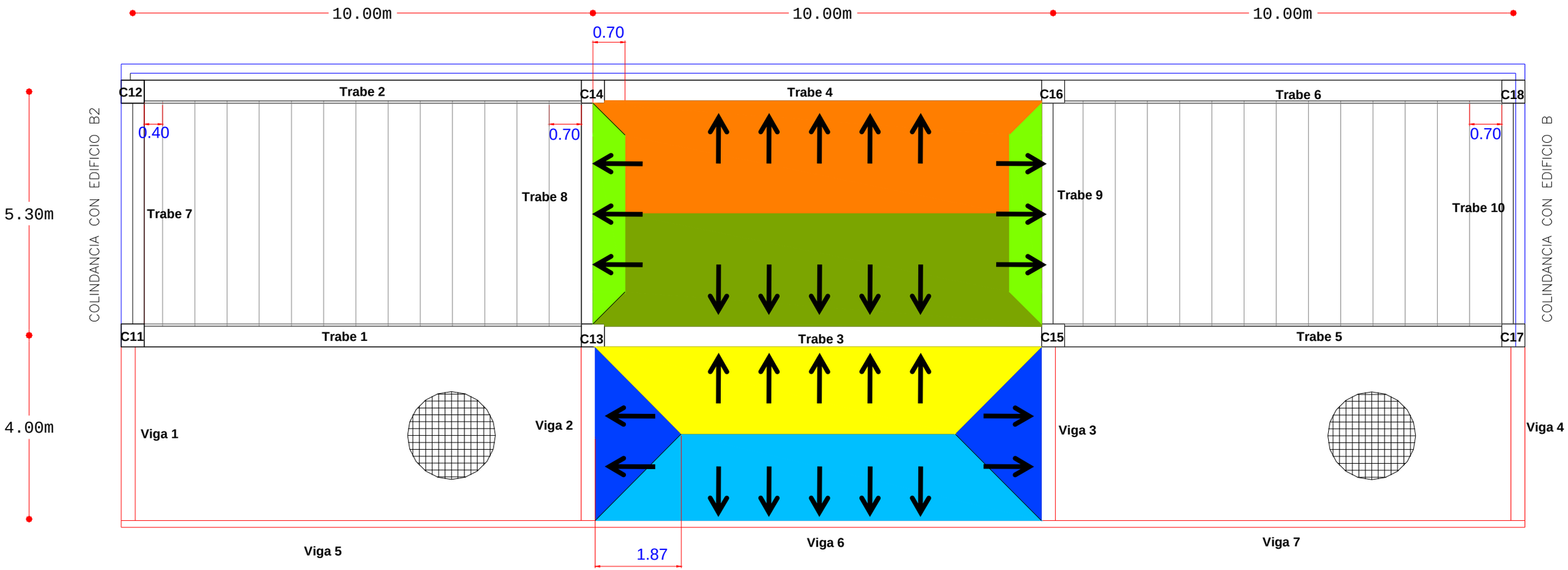
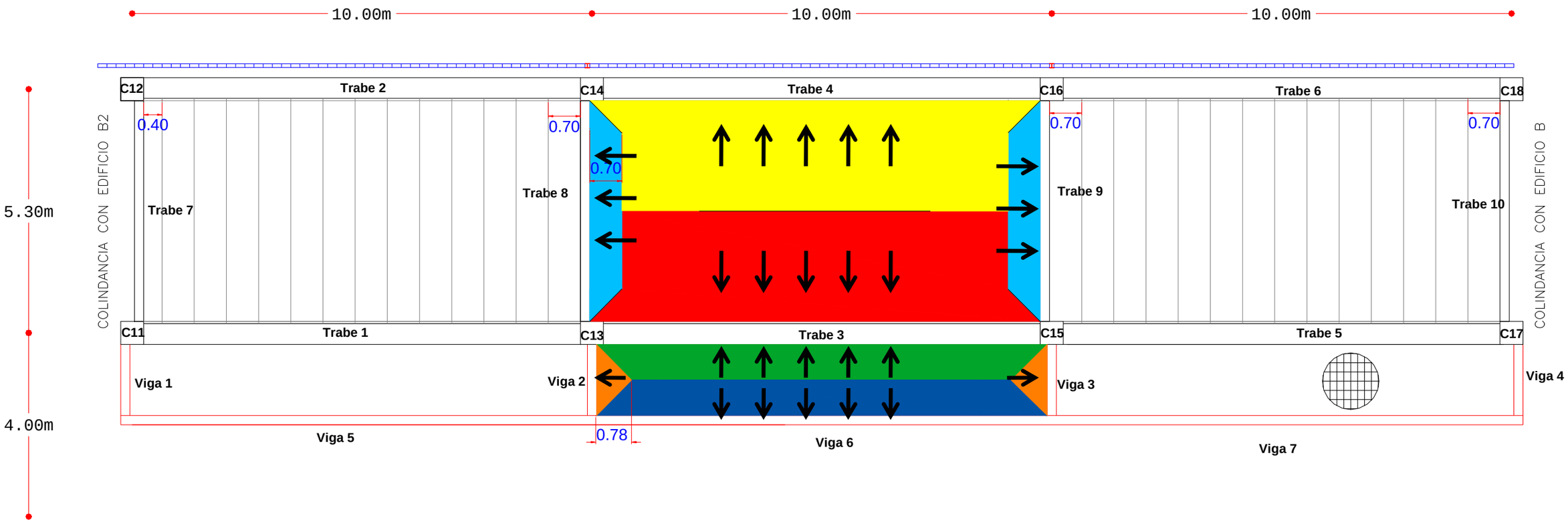
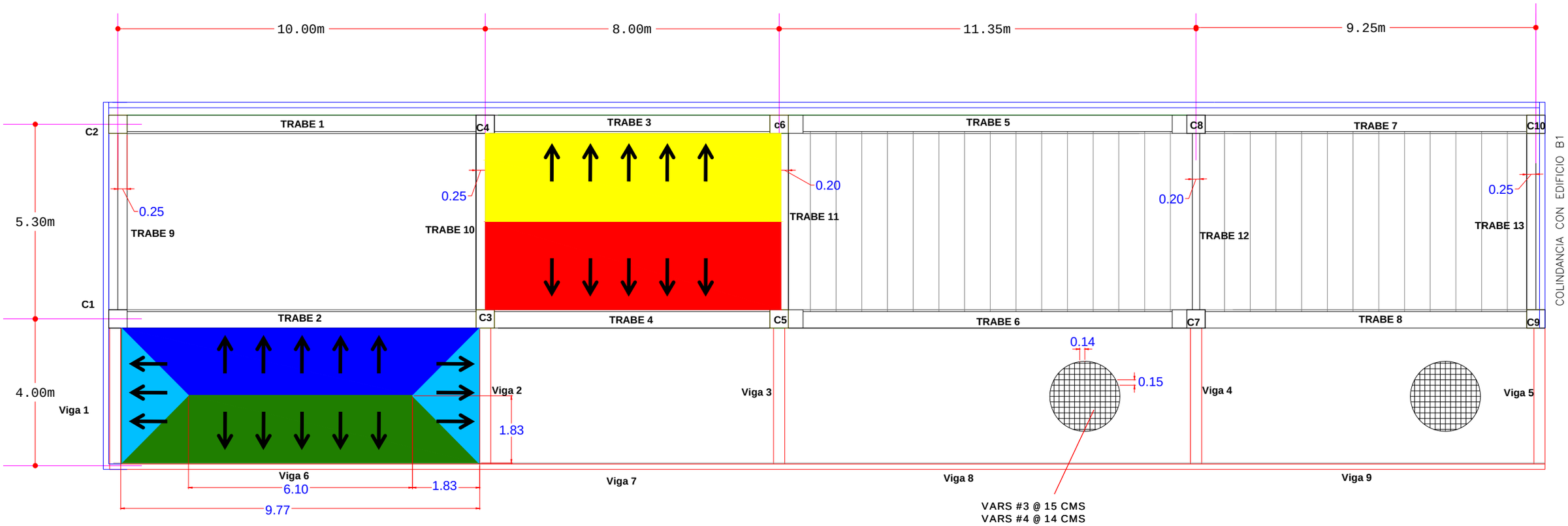


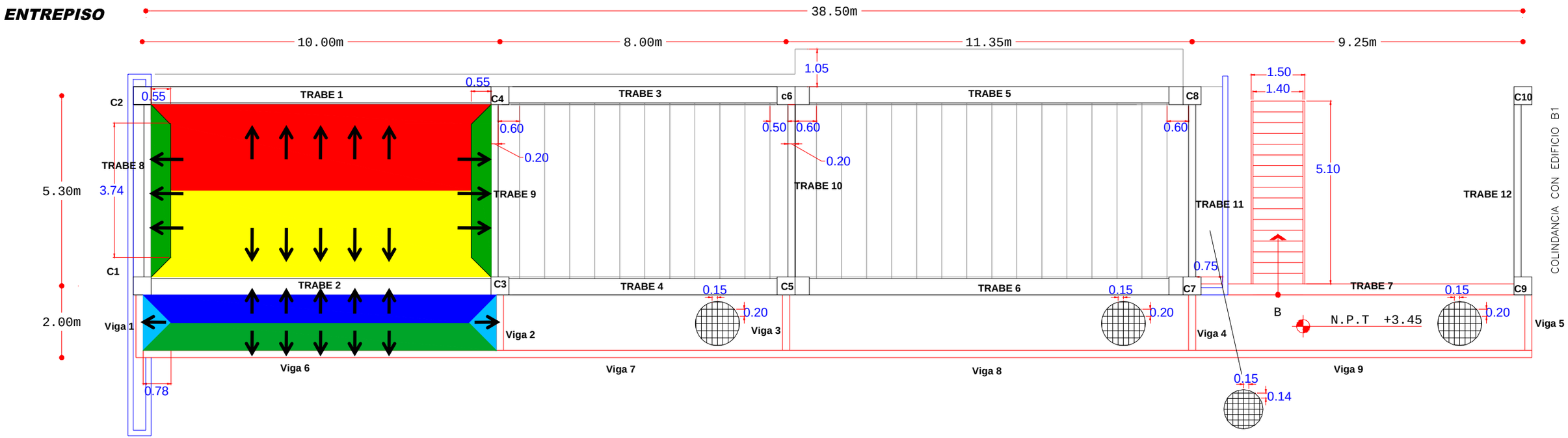
Figura 5.13 áreas tributarias y numeración de trabes, vigas y columnas para Entrepiso Edificio B y B1



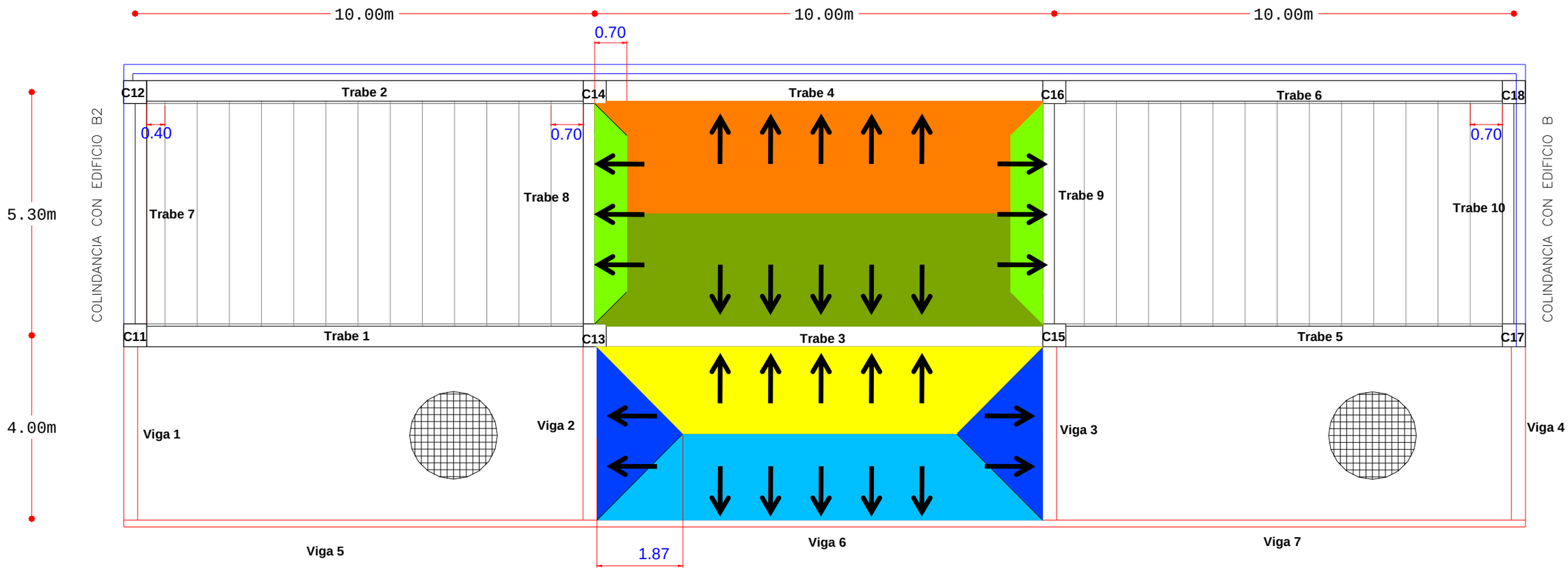
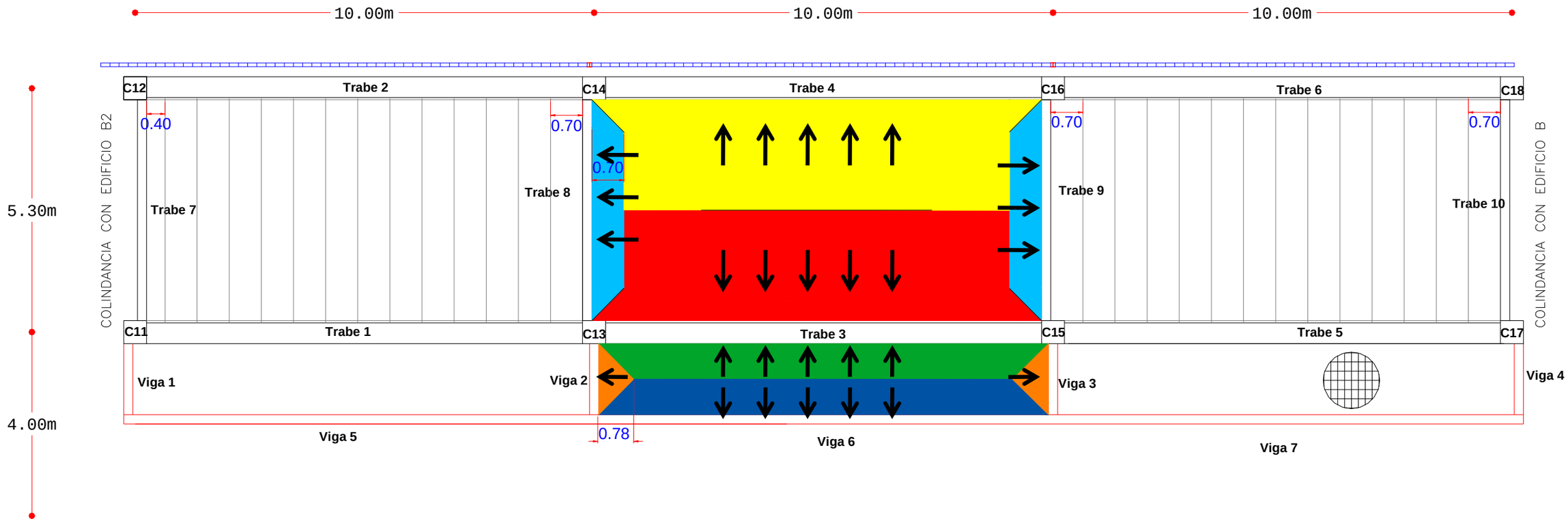
ÁREAS TRIBUTARIAS Y NUMERACIÓN DE TRABES Y COLUMNAS PARA AZOTEA EDIFICIO B2



ÁREAS TRIBUTARIAS Y NUMERACIÓN DE TRABES Y COLUMNAS PARA ENTREPISO EDIFICIO B2



ÁREAS TRIBUTARIAS Y NUMERACIÓN DE TRABES Y COLUMNAS PARA AZOTEA EDIFICIOS B Y B1



ÁREAS TRIBUTARIAS Y NUMERACIÓN DE TRABES Y COLUMNAS PARA ENTREPISO EDIFICIOS B Y B1