

REPORTE Y MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL

Nave Industrial
Barilla Duque de Herdez

Ubicación: Av Industrias, Industrial San Luis, 78395
San Luis, S.L.P.

MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL
Nave Industrial de Barilla Duque de Herdez

ÍNDICE

- I. GENERALIDADES
 - a) Alcances
 - b) Estructuración
- II. REGLAMENTOS Y NORMAS DE DISEÑO
- III. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES
 - a) Acero
 - b) Concreto
- IV. FACTORES DE REDUCCIÓN
- V. ANÁLISIS DE CARGAS
 - a) Cargas Muertas
 - b) Cargas Vivas
 - c) Cargas accidentales o instantáneas
- VI. COMBINACIONES DE CARGA
- VII. ANÁLISIS POR VIENTO
- VIII. ANÁLISIS POR SISMO
 - a) Espectro de sitio
 - b) Modelo de análisis
 - c) Respuesta modal de la estructura
 - d) Distorsiones máximas
- IX. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA.
- X. RESUMEN DE ELEMENTOS PARA SUPERESTRUCTURA.
- XI. DISEÑO DE CIMENTACIONES. NUEVA NAVE INDUSTRIAL
- XII. DISEÑO DE TRABE DE LIGA. NUEVA NAVE INDUSTRIAL

I. GENERALIDADES

En esta memoria de calculo se describen los criterios de revisión, análisis y diseño del proyecto "Nave Industrial. Barilla Duque de Herdez" ubicado en Av Industrias, Industrial San Luis, 78395 San Luis, S.L.P.

a) Alcances

Se realiza la revision, análisis y diseño de la estructura con cargas propias del proyecto "Nave Industrial de Barilla Duque de Herdez".

El análisis estructural para la revisión de desplazamientos principales como secundarios se realiza en el programa de elementos finitos SAP2000.

b) Estructuración

La estructura de la "Nave Industrial de Barilla Duque de Herdez" se describe a continuación:

- Es una estructura a base de marcos de acero con sección constante en los elementos verticales y variable en las trabes. Consta de dos marcos a dos aguas cuya longitud es de 23 metros sumando una dimensión transversal de 46 metros. De forma longitudinal cuenta con 17 marcos a cada 10 metros con lo que su longitud total en esta dirección es de 160 metros. Entre los 2 últimos marcos se cuenta con un arreglo diferente, pues en vez de las cubiertas a 2 aguas como se mencionó anteriormente existe una sistema de piso a base de losacero. Finalmente, su cimentación consiste en zapatas aisladas y su altura es de 13.703 metros de los marcos 1 al 13 y del 14 en adelante de 11.703 metros, ambos valores en el centro del claro. Finalmente, cabe mencionar que dada su importancia se considera que la estructura entra en el grupo B y sus factores de carga serán los correspondientes a esta asignación. Se planea una ampliación que por el momento constará de un marco adicional desligado de la estructura ya existente. La estructuración será la mismas.

II. REGLAMENTOS Y NORMAS DE DISEÑO

Para el diseño de los elementos principales como secundarios, así como las cimentaciones descritas a continuación, se emplearon las siguientes especificaciones y normativas de diseño vigentes.

a) Reglamento de Construcciones para la CDMX (RCDF 2017)

b) Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

- c) Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas
- d) Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto
- e) Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería
- f) Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad Diseño por Sismo 2015
- g) Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad Diseño por Viento 2020
- h) Manual de Construcción en Acero del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero IMCA
- i) Steel Construcción Manual del American Institute of Steel Construction AISC
- j) American Society of Civil Engineers (ASCE)

III. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

a) Concreto

Para los elementos de concreto reforzado se empleará una resistencia a la compresión de:

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

b) Acero

El módulo de young para los elementos de acero será:

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2039000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El esfuerzo de fluencia para los elementos de acero varía dependiendo de la sección empleada. Para aquellos elementos hechos a base de placas se considerará el siguiente valor:

$$f_{y1} = 36 \text{ ksi} = 2531 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Mientras que para todos los demás será:

$$f_{y2} = 50 \text{ ksi} = 3515 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

IV. FACTORES DE REDUCCIÓN

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, las resistencias deben afectarse por un factor de reducción (FR). Con las excepciones indicadas en el texto de estas Normas, los factores de resistencia tendrán los valores siguientes:

$F_{RF} := 0.9$ Para flexión

$F_{RC} := 0.75$ Para cortante y torsión

$F_{RA} := 0.65$ Para la transmisión de flexión y cortante en losas y zapatas

$F_{R1} := 0.75$ Cuando el núcleo esté confinado con refuerzo transversal circular que cumpla con los requisitos de la sección 6.2.4 o con estribos que cumplan con los requisitos del inciso 7.3.4.b;

$F_{RC} := 0.75$ Cuando el elemento falle a tensión

$F_{RA} := 0.65$ Si el núcleo no está confinado y la falla es a compresión

$F_{RA1} := 0.65$ Para aplastamiento

V. ANÁLISIS DE CARGAS

Las cargas que actuarán sobre la estructura se obtienen de acuerdo con los materiales que se emplearán, el uso destinado a dicho lugar y los equipos que se colocarán en la estructura. Es por ello por lo que se clasificarán de la siguiente manera:

a) Cargas muertas:

Se consideran como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo. La determinación de las cargas se hace de acuerdo con los pesos volumétricos de los materiales empleados proporcionados por los reglamentos y por los proveedores de los materiales utilizados.

CARGAS MUERTAS: CUBIERTA

$$\text{Cubierta} \quad \omega_{cub} \quad 11.69 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Instalaciones} \quad \omega_{insC} \quad 10 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\overset{W}{W}_{CM_cubierta} := \omega_{cub} + \omega_{insC} = 21.69 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Use:} \quad \overset{W}{W}_{CM_cubierta} := 25 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

CARGAS MUERTAS: AZOTEA LOSACERO

$$\text{Impermeabilizante} \quad \omega_{Impe} := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Entortado de mortero} \quad \omega_{EM} := 60 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Relleno de tepetate o tezontle} \quad \omega_{Relleno} := 120 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Losacero} \quad \omega_{Losacero} := 240 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Falso Plafón} \quad \omega_{FP} := 40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Instalaciones} \quad \omega_{insAL} := 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Sobrecarga extra por reglamento: debido a losacero y entortado} \quad \omega_{extraAL} := 40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\overset{W}{W}_{CM_Alosacero} := \omega_{Impe} + \omega_{EM} + \omega_{Relleno} + \omega_{FP} + \omega_{Losacero} + \omega_{insAL} + \omega_{extraAL} = 535 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

CARGAS MUERTAS: ENTREPISO

$$\text{Acabado cerámico} \quad \omega_{AC} \quad 40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Firme de nivelación	$\omega_{FN} = 30 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Losacero	$\omega_{Losacero} = 240 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Instalaciones	$\omega_{insEL} = 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Falso Plafón	$\omega_{FP} = 40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Sobrecarga extra por reglamento: debido a losacero y firme de nivelación	$\omega_{extraEL} := 40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

$$W_{CM_entrepiso} := \omega_{AC} + \omega_{FN} + \omega_{insEL} + \omega_{Losacero} + \omega_{FP} + \omega_{extraEL} = 405 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

CARGAS MUERTAS: FACHADA

Multymuro	$\omega_{Multymuro} := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Panel W	$\omega_{PanelW} := 92 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Tabla roca 2"	$\omega_{tablaroca} := 2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

b) Cargas vivas:

Se consideran cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. El valor de estas cargas se tomará de acuerdo con las indicadas en las Normas Técnicas del Reglamento de Construcción de la CDMX.

Diferencia de niveles para cubierta (cumbrera-columna) $\delta_{cum_col} = 1.183 \text{ m}$

Revisión de la pendiente de la cubierta:

$$Pendiente := \text{atan} \left(\frac{\delta_{cum_col}}{11.5 \text{ m}} \right) = 5.8733^\circ$$

Cargas vivas: Azotea con pendiente mayor que 5% (Cubierta)

Carga viva máxima	$\omega_{CVMC} := 40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Carga viva instantánea	$\omega_{CVInsc} := 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Carga viva media	$\omega_{CVMedC} := 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

Cargas vivas: Oficinas, despachos y laboratorios (Entrepiso)

Carga viva máxima	$\omega_{CVME} := 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Carga viva instantánea	$\omega_{CVInse} := 180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Carga viva media	$\omega_{CVMedE} := 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

Cargas vivas: Azotea con pendiente menor que 5% (Losacero)

Carga viva máxima	$\omega_{CVML} := 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Carga viva instantánea	$\omega_{CVInsl} := 70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Carga viva media	$\omega_{CVMedL} := 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

c) Cargas accidentales o instantáneas:

La revisión de las acciones dinámicas se revisará con base en los manuales proporcionados por CFE: Manual de diseño por viento 2020 y Manual de diseño por sismo 2015.

VI. COMBINACIONES DE CARGA

El análisis y revisión de los elementos principales se realizó siguiendo los requerimientos que marcan las Nomas Técnicas Complementarias con sus respectivos factores de carga y reducción, y cumpliendo con los estados límites de falla y de servicio. Adicional a lo anterior se considerarán algunas combinaciones complementarias dadas por el ASCE.

Las combinaciones de carga realizada en forma general se considerarán tomando en cuenta que la edificación es perteneciente a Grupo B:

PP :	Peso propio
CM :	Carga muerta
CVM :	Carga viva máxima
CVI :	Carga viva instantánea
Sx :	Sismo en dirección X
Sy :	Sismo en dirección Y
Wx :	Viento en dirección X
Wy :	Viento en dirección Y
G1 :	Granizo en los valles de cubierta
G2 :	Granizo distribuido en toda la cubierta

COMBINACIONES DE CARGA PARA ESFUERZOS MÁXIMOS EN LA ESTRUCTURA:

Cargas gravitacionales	1) $1.3 (CM+PP) + 1.5 (CVM)$
Combinación de sismo en dirección X	2) $1.1 (CM + PP + CVI + Sx) + 0.33 Sy$
	3) $1.1 (CM + PP + CVI + Sx) - 0.33 Sy$
	4) $1.1 (CM + PP + CVI - Sx) + 0.33 Sy$
	5) $1.1 (CM + PP + CVI - Sx) - 0.33 Sy$
Combinación de sismo en dirección Y	6) $1.1 (CM + PP + CVI + Sy) + 0.33 Sx$
	7) $1.1 (CM + PP + CVI + Sy) - 0.33 Sx$
	8) $1.1 (CM + PP + CVI - Sy) + 0.33 Sx$
	9) $1.1 (CM + PP + CVI - Sy) - 0.33 Sx$

Combinación de viento	10) $1.1 (CM + PP + CVI + W_x)$
	11) $1.1 (CM + PP + CVI + W_y)$
	12) $0.9CMT + W_x$
	13) $0.9CMT + W_y$
Combinaciones de granizo	14) $1.2CMT + 1.6CVI + 0.2(G1 \text{ o } G2)$
	15) $1.2CMT + CVI + (G1 \text{ o } G2)$
	16) $1.2CMT + (G1 \text{ o } G2)$
	17) $0.9CMT + (G1 + G2)$
COMBINACIONES DE CARGA PARA DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS EN LA ESTRUCTURA:	
Cargas gravitacionales	14) $CM + PP + CVM$
Combinación de sismo en dirección X	15) $CM + PP + CVI + S_x + 0.3 S_y$
	16) $CM + PP + CVI + S_x - 0.3 S_y$
	17) $CM + PP + CVI - S_x + 0.3 S_y$
	18) $CM + PP + CVI - S_x - 0.3 S_y$
Combinación de sismo en dirección Y	19) $CM + PP + CVI + S_y + 0.3 S_x$
	20) $CM + PP + CVI + S_y - 0.3 S_x$
	21) $CM + PP + CVI - S_y + 0.3 S_x$
	22) $CM + PP + CVI - S_y - 0.3 S_x$

VII. ANÁLISIS POR VIENTO

Dado que se trata de una nave industrial de poca altura, según la tabla 1.2 del Manual de diseño por viento, la estructura se clasifica como una estructura tipo 1 con lo que es factible realizar el procedimiento del análisis estático.

Velocidad de diseño.

La velocidad de diseño se calcula con la siguiente expresión.

$$V_D = F_T \cdot F_{rZ} \cdot V_R$$

Donde:

F_T es el factor de topografía

F_{rZ} es el factor de exposición local

V_R es la velocidad regional de ráfaga

Factor de topografía

A continuación, se muestran imágenes del sitio donde se ubica la estructura.



Visto lo anterior se puede concluir que, de acuerdo con la tabla 2.3 del Manual, el factor de topografía es iguala 1 pues es un terreno plano.

$$F_T := 1$$

Factor de exposición local

Nuevamente, revisando las imagenes del sitio se puede concluir que el terreno es de categoría 2 de acuerdo con la tabla 2.1 del Manual, pues es un terreno plano con pocas obstrucciones. De aquí que las variables α , δ y c sean los siguientes según tabala 2.2.

$$\alpha = 0.095 \quad \delta = 350 \text{ m} \quad c = 1$$

El factor de exposición local varía con la altura por lo que de acuerdo con las expresiones 2.3 y 2.4 del Manual, para este caso particular serán:

$$F_{rz10m} = c = 1$$

$$F_{rz12.52m} := c \cdot \left(\frac{13.703 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right)^\alpha = 1.0304$$

Velocidad regional

Se emplearán los valores mostrados en las tablas del apéndice 4C del Manual para no emplear las isotacas facilitadas por el mismo documento. Para San Luis Potosí, la velocidad regional para un periodo de retorno de 50 años es:

$$V_{RT50} := 151.2 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Velocidad de diseño

Finalmente, la velocidad de diseño es:

$$V_{D10m} := F_T \cdot F_{rz10m} \cdot V_{RT50} = 151.2 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{D12.52m} := F_T \cdot F_{rz12.52m} \cdot V_{RT50} = 155.7935 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{Use esta velocidad para toda la altura}$$

Presión dinámica de base.

Factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar (G)

La altura sobre el nivel del mar de San Luis Potosí es de 1864 msnm. Interpolando entre los valores otorgados por la tabla 3.1 del manual se tiene la presión barométrica en mm de mercurio del lugar es:

⊕

$$\Omega = 609.52$$

Por otro lado, la temperatura media anual del lugar es de 21°C. Con estos dos valores es factible obtener el valor de "G".

$$\tau := 21$$

$$G := \frac{0.392 \cdot \Omega}{273 + \tau} = 0.8127$$

Presión dinámica de base (qz)

Con lo anterior la presión dinámica se calcula a continuación

$$q_z := 0.0048 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \cdot G \cdot \left(\left(\frac{V_{D12.52m}}{\frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \right) = 94.6818 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Primera condición: Viento normal a la generatriz considerando una planta rectangular cerrada

Presiones interiores

Las presiones interiores se calculan con la expresión 3.6 del Manual.

$$P_i = C_{pi} \cdot K_{ra} \cdot q_z$$

El factor K_{ra} no se considera para la estructura principal, por lo que en este caso será igual a 1.

Las presiones interiores se consideran igual en todos los muros de la estructura; todas las paredes de la estructura en este caso particular se considerarán impermeables por lo que el coeficiente de presión interior general será:

$$C_{pi} := \begin{bmatrix} -0.20 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Y el valor de las presiones son:

$$P_i := C_{pi} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -18.9364 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Muro de barlovento

De acuerdo con la tabla 3.9 del Manual, el coeficiente de presión exterior para muro de barlovento es el siguiente:

$$C_{pe1barlo} = 0.7$$

Por otro lado, los factores K_A , K_L y K_{ra} no intervienen en las presiones exteriores para muros de barlovento, por lo que serán igual a 1.

$$K_{A1MB} = 1 \quad K_{L1MB} = 1 \quad K_{ra1MB} = 1$$

La presión exterior presente en el muro de barlovento de la estructura es:

$$P_{e1MB} = C_{pe1barlo} \cdot K_{A1MB} \cdot K_{L1MB} \cdot K_{ra1MB} \cdot q_z = 66.2773 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión neta para el muro de barlovento es:

$$P_{n1MB} := P_{e1MB} - P_i = \left[\begin{matrix} 85.2136 \\ 66.2773 \end{matrix} \right] \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Muro de sotavento

Por otro lado, para el muro de sotavento se consideró la dirección normal de viento a las generatrices para techos a dos aguas y una relación d/b igual a 0.29, con esto se obtiene un coeficiente de -0.5; sin embargo, en la tabla 3.9 para claros múltiples se especifica el siguiente valor.

$$C_{pe1sota} := -0.2$$

Es el mismo caso para los factores K_A , K_L y K_{ra} de forma que la presión en el muro de sotavento es:

$$P_{e1MS} := C_{pe1sota} \cdot K_{A1MB} \cdot K_{L1MB} \cdot K_{ra1MB} \cdot q_z = -18.9364 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión neta para el muro de barlovento es:

$$P_{n1MS} := P_{e1MS} - P_i = \left[\begin{matrix} 0 \\ -18.9364 \end{matrix} \right] \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Muros laterales

Se considera la altura media de la estructura para conseguir los coeficientes, este valores:

$$h_{med1} := \frac{13.703 \text{ m} + 12.52 \text{ m}}{2} = 13.1115 \text{ m}$$

$$\frac{h_{med1}}{46 \text{ m}} = 0.285$$

$$h_{med2} := \frac{11.703 \text{ m} + 10.525 \text{ m}}{2} = 11.114 \text{ m}$$

$$\frac{h_{med2}}{46 \text{ m}} = 0.2416$$

Es importante recordar que se cuenta con tres alturas para la misma estructura, por lo que los muros laterales correspondientes se verán afectados por dichas alturas.

Para el muro lateral relacionado con la altura de 13.11 metros (Eje 1 y 13) se tienen los siguientes coeficientes.

$$C_{pe1ML1} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 13.5 m"} & -0.65 \\ \text{"Para 13.5 a 27 m"} & -0.50 \\ \text{"Para 27 a 40.5 m"} & -0.30 \\ \text{"Para 40.5 a 46 m"} & -0.20 \end{bmatrix}$$

Para el muro lateral relacionado con la altura de 11.11 metros (Eje 16) se tienen los siguientes.

$$C_{pe1ML2} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 m"} & -0.65 \\ \text{"Para 11.5 a 23 m"} & -0.50 \\ \text{"Para 23 a 34.5 m"} & -0.30 \\ \text{"Para 34.5 a 46 m"} & -0.20 \end{bmatrix}$$

La tercera altura encontrada entre los ejes 16 y 17 es de 8.7 metros y su influencia se da en el muro lateral del eje 17. A continuación, se muestran los coeficientes de presiones y sus distancias de afectación en el muro.

$$C_{pe1ML3} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 8.8 m"} & -0.65 \\ \text{"Para 8.8 a 17.6 m"} & -0.50 \\ \text{"Para 17.6 a 26.4 m"} & -0.30 \\ \text{"Para 26.4 a 46 m"} & -0.20 \end{bmatrix}$$

En el caso de los muros laterales, los valores de K_L y K_{ra} siguen siendo iguales a 1, pues se está realizando un análisis para la estructura principal; sin embargo, el valor de K_A si que deberá cambiar. Las áreas que afectan a la estructura que soporta los muros laterales son menores que 100 y mayores que 25 metros cuadrados por lo que, de forma conservadora, su factor valdrá:

$$K_{A1ML} = 0.9$$

$$K_{L1ML} = 1 \quad K_{ra1ML} = 1$$

Las presiones para todos los muros son las siguientes en el mismo orden que se dan los coeficientes de presión. Realmente, son las mismas presiones para todos los muros, pero con una distancia de afectación diferente. Así pues, en el siguiente vector se presentan todas las presiones.

$$P_{e1ML} := \text{col} \left(c_{pe1ML1}, 2 \right) \cdot K_{A1ML} \cdot K_{L1ML} \cdot K_{ra1ML} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -55.3889 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión neta para los muros laterales considerados es:

$$P_{n1ML1} := P_{e1ML} - P_i = \begin{bmatrix} -36.4525 \\ -23.6704 \\ -6.6277 \\ 1.8936 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1ML2} := P_{e1ML} - P_i = \begin{bmatrix} -55.3889 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Cubierta de barlovento

Al igual que en el caso de los muros laterales, para las cubiertas también es necesario considerar la altura de la estructura; así pues, para las cubiertas se tendrán diferentes coeficientes para las diferentes alturas. Para obtener los valores se obtuvo a la tabla 3.4(b) y se interpoló con el valor de la relación ahí especificada. El ángulo de la cubierta se consideró de 6°.

$$c_{pe1CB1} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 m"} & -0.9 \\ \text{"Para 11.5 a 23 m"} & -0.5 \\ \text{"Para 23 a 34.5 m"} & -0.3 \\ \text{"Para 34.5 a 46 m"} & -0.2 \end{bmatrix}$$

$$c_{pe1CB2} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 m"} & -0.4 \\ \text{"Para 11.5 a 23 m"} & 0 \\ \text{"Para 23 a 34.5 m"} & 0.1 \\ \text{"Para 34.5 a 46 m"} & 0.2 \end{bmatrix}$$

Para el valor de los factores se tiene un caso idéntico al de los muros laterales; los factores K_L y K_{ra} son 1. Las áreas que afectan a los elementos estructurales son menores que 100 metros cuadrados, pero mayores que 25; por lo que el valor de K_{ra} es igual a 0.9. La presión exterior que se presente en las cubiertas de barlovento es:

$$K_{A1CB} := 0.9$$

Cubiertas de barlovento, altura mayor

$$P_{e1CB1} := \text{col} \left(c_{pe1CB1}, 2 \right) \cdot q_z = \begin{bmatrix} -85.2136 \\ -47.3409 \\ -28.4045 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Cubiertas de barlovento, altura menor $P_{e1CB2} := \text{col} \left(c_{pe1CB2}, 2 \right) q_z = \begin{bmatrix} -37.8727 \\ 0 \\ 9.4682 \\ 18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Finalmente, las presiones netas de las cubiertas serán las siguientes

$$P_{n1CB1.1} := P_{e1CB1} - P_{i1} = \begin{bmatrix} -66.2773 \\ -28.4045 \\ -9.4682 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CB1.2} := P_{e1CB1} - P_{i2} = \begin{bmatrix} -85.2136 \\ -47.3409 \\ -28.4045 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CB2.1} := P_{e1CB2} - P_{i1} = \begin{bmatrix} -18.9364 \\ 18.9364 \\ 28.4045 \\ 37.8727 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CB2.2} := P_{e1CB2} - P_{i2} = \begin{bmatrix} -37.8727 \\ 0 \\ 9.4682 \\ 18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Cubierta de sotavento

El mismo procedimiento se aplica para cubierta de sotavento. La tabla correspondiente es la 3.4(c) del Manual. Es necesario mencionar que al tratarse de dos claros contiguos, el coeficiente para la segunda cubierta de sotavento será tomado de la tabla 3.9.

$$c_{pe1CS1} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 m"} & -0.9 \\ \text{"Para 11.5 a 23 m"} & -0.5 \\ \text{"Para 23 a 34.5 m"} & -0.3 \\ \text{"Para 34.5 a 46 m"} & -0.2 \end{bmatrix}$$

$$c_{pe1CS2} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 m"} & -0.4 \\ \text{"Para 11.5 a 23 m"} & 0 \\ \text{"Para 23 a 34.5 m"} & 0.1 \\ \text{"Para 34.5 a 46 m"} & 0.2 \end{bmatrix}$$

Los factores serán los mismos que para la cubierta de barlovento

$$P_{e1CS1} := \text{col} \left(c_{pe1CS1}, 2 \right) K_{A1CB} q_z = \begin{bmatrix} -76.6923 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{e1CS2} := \text{col} \left(c_{pe1CS2}, 2 \right) K_{A1CB} q_z = \begin{bmatrix} -34.0854 \\ 0 \\ 8.5214 \\ 17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CS1} := P_{e1CS1} - P_{i1} = \begin{bmatrix} -57.7559 \\ -23.6704 \\ -6.6277 \\ 1.8936 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CS1.1} := P_{e1CS1} - P_{i2} = \begin{bmatrix} -76.6923 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CS2} := P_{e1CS2} - P_{i1} = \begin{bmatrix} -15.1491 \\ 18.9364 \\ 27.4577 \\ 35.9791 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CS2.1} := P_{e1CS2} - P_{i2} = \begin{bmatrix} -34.0854 \\ 0 \\ 8.5214 \\ 17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Para la segunda cubierta de sotavento en contacto con el viento se tienen los siguientes valores para coeficientes de presiones exteriores de acuerdo con la tabla 3.9.

$$m_{pe} := \begin{bmatrix} -0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}$$

Y sus presiones.

$$P_{e1CSm} := m_{pe} K_{A1CB} q_z = \begin{bmatrix} -25.5641 \\ 17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión neta en esta parte de la estructura es:

$$P_{n1CSm1} := P_{e1CSm} - P_{i1} = \begin{bmatrix} -6.6277 \\ 35.9791 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CSm2} := P_{e1CSm} - P_{i2} = \begin{bmatrix} -25.5641 \\ 17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Cubierta Transversal

Para la cubierta transversal ubicada entre los ejes 16 y 17 se deberá recurrir a la tabla 3.4(b) del MOC diseño por viento de la CFE

Dada la altura de 8.8 metros y la dirección transversal de la estructura se tiene una cociente h/d igual a:

$$\frac{8.8 \text{ m}}{46 \text{ m}} = 0.1913$$

Los coeficientes de presión exterior son, para el caso 1:

$$C_{pe1CTC1} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 8.8 metros"} & -0.9 \\ \text{"Para 8.8 a 17.6 metros"} & -0.5 \\ \text{"Para 17.6 a 26.4 metros"} & -0.3 \\ \text{"Para 26.4 a 46 metros"} & -0.2 \end{bmatrix}$$

Para el caso 2:

$$C_{pe1CTC2} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 8.8 metros"} & -0.4 \\ \text{"Para 8.8 a 17.6 metros"} & 0 \\ \text{"Para 17.6 a 26.4 metros"} & 0.1 \\ \text{"Para 26.4 a 46 metros"} & 0.2 \end{bmatrix}$$

Dado que las áreas asociadas a los elementos que soportan la cubierta transversal son menores que 25 metros y se usará un valor conservador 1 en toda la cubierta.

$$K_{AICT} := 1$$

Las presiones exteriores para el primer caso son :

$$P_{e1CTC1} := \text{col} \left(C_{pe1CTC1}, 2 \right) \cdot K_{AICT} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -85.2136 \\ -47.3409 \\ -28.4045 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Y las presiones netas:

$$P_{n1CTC1.1} := P_{e1CTC1} - P_{i1} = \begin{bmatrix} -66.2773 \\ -28.4045 \\ -9.4682 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CTC1.2} := P_{e1CTC1} - P_{i2} = \begin{bmatrix} -85.2136 \\ -47.3409 \\ -28.4045 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Por otro lado, las presiones exteriores para el segundo caso son :

$$P_{e1CTC2} := \text{col} \left(c_{pe1CTC2}, 2 \right) \cdot K_{A1CT} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -37.8727 \\ 0 \\ 9.4682 \\ 18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Y sus relativas presiones netas:

$$P_{n1CTC2.1} := P_{e1CTC2} - P_{i1} = \begin{bmatrix} -18.9364 \\ 18.9364 \\ 28.4045 \\ 37.8727 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n1CTC2.2} := P_{e1CTC2} - P_{i2} = \begin{bmatrix} -37.8727 \\ 0 \\ 9.4682 \\ 18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Resumen de presiones netas más desfavorables

Muro Barlovento $P_{n1MB} := P_{n1MB1} = 85.2136 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Muro Sotavento $P_{n1MS} := P_{n1MS2} = -18.9364 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Muro Lateral (Ambos muros laterales)
Revisar las dimensiones de aplicación $P_{n1ML} := P_{n1ML2} = \begin{bmatrix} -55.3889 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Cubiertas de Barlovento (Todas) $P_{n1CB} := P_{n1CB1.2} = \begin{bmatrix} -85.2136 \\ -47.3409 \\ -28.4045 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Cubiertas de Sotavento
(Primera en contacto con el viento) $P_{n1CS} := P_{n1CS1.1} = \begin{bmatrix} -76.6923 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Cubiertas de Sotavento
(Segunda en contacto con el viento) $P_{n1CSm} \quad P_{n1CSm1} \quad 35.9791 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

Cubierta Transversal

$$P_{n1CT} := P_{n1CTC1.2} = \begin{bmatrix} -85.2136 \\ -47.3409 \\ -28.4045 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Segunda condición: Viento paralelo a la generatriz considerando una planta rectangular cerrada

Muro de barlovento

De acuerdo con la tabla 3.2 del MOC diseño por viento, el coeficiente de presión exterior para muro de barlovento es el siguiente:

$$C_{pe2MB} := 0.8$$

Por otro lado, los factores K_L , K_A y K_{ra} no intervienen en las presiones exteriores para muros de barlovento. por lo que serán igual a 1.

$$K_{A2MB} := 1 \quad K_{L2MB} := 1 \quad K_{ra2MB} := 1$$

La presión exterior presente en el muro de barlovento de la estructura es:

$$P_{e2MB} := C_{pe2MB} \cdot K_{A2MB} \cdot K_{L2MB} \cdot K_{ra2MB} \cdot q_z = 75.7454 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión neta para el muro de barlovento es:

$$P_{n2MB} := P_{e2MB} - P_i = \begin{bmatrix} 94.6818 \\ 75.7454 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Muro de sotavento

En esta segunda condición se tiene que $d := 160 \text{ m}$ y $b := 46 \text{ m}$. Su relación es:

$$d = 160 \text{ m} \quad b = 46 \text{ m}$$

$$\frac{d}{b} = 3.4783$$

Interpolando con los valores de la tabla 3.2 del Manual para el valor anterior se tiene que el coeficiente de presión exterior es:

$$C_{pe2MS} = 0.23$$

Es el mismo caso para los factores K_A , K_L y K_{ra} de forma que la presión en el muro de sotavento es:

$$P_{e2MS} = C_{pe2MS} K_{A2MB} K_{L2MB} K_{ra2MB} q_z = 21.7768 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión neta para el muro de barlovento es:

$$P_{n2MS} := P_{e2MS} - P_i = \begin{bmatrix} -2.8405 \\ -21.7768 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Es aplicable también en los desniveles de los ejes 13 y 16.

Muros laterales

Considerando que el viento llega a la cara con menor altura .

$$h_{med1} := \frac{11.703 \text{ m} + 10.525 \text{ m}}{2} = 11.114 \text{ m}$$

Los coeficientes de presión exterior y sus distancias a partir del muro de barlovento son las siguientes:

$$C_{pe2ML} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 m"} & -0.65 \\ \text{"Para 11.5 a 23 m"} & -0.50 \\ \text{"Para 23 a 34.5 m"} & -0.30 \\ \text{"Para 34.5 a 160 m"} & -0.20 \end{bmatrix}$$

En el caso de los muros laterales, los valores de K_L y K_{ra} siguen siendo iguales a 1, pues se está realizando un análisis para la estructura principal; sin embargo, el valor de K_A sí que deberá cambiar. Las áreas que afectan a la estructura que soporta los muros laterales son menores que 24 metros cuadrados, aunque mayores que 10, por lo que su factor valdrá de forma conservadora (tabla 3.5 del Manual):

$$K_{A2ML1} = 0.9$$

$$K_{L2ML} = 1 \quad K_{ra2ML} = 1$$

Con excepción de los primeros 1.7 metros del muro, pues el área correspondiente a la primera columna que soporta el muro lateral es de 21.85 metros cuadrados. Nuevamente, de forma conservadora se considera que el factor será (tabla 3.5 del Manual):

$$K_{A2ML2} = 1$$

Dados los coeficientes y los factores de área, las presiones exteriores y su distancia de participación serán:

$$P_{e2ML1.7m} = 0.65 \cdot K_{A2ML2} \cdot q_z = 61.5432 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{e2ML160m} := \text{col} \left(c_{pe2ML}, 2 \right) \cdot K_{A2ML1} \cdot K_{L2ML} \cdot K_{ra2ML} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -55.3889 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{e2ML} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 1.7 m"} & -61.5432 \\ \text{"Para 1.7 a 13.5 m"} & -55.3889 \\ \text{"Para 13.5 a 27 m"} & -42.6068 \\ \text{"Para 27 a 40.5 m"} & -25.5641 \\ \text{"Para 40.5 a 160 m"} & -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión neta para los muros laterales es:

$$P_{n2ML1} := \text{col} \left(P_{e2ML}, 2 \right) - P_{i1} = \begin{bmatrix} -42.6068 \\ -36.4525 \\ -23.6704 \\ -6.6277 \\ 1.8937 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n2ML2} := \text{col} \left(P_{e2ML}, 2 \right) - P_{i2} = \begin{bmatrix} -61.5432 \\ -55.3889 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Cubierta Transversal

Dada la altura de 13.11 metros y la dirección longitudinal de la estructura se tiene un cociente h/d igual a:

$$\frac{13.11 \text{ m}}{160 \text{ m}} = 0.0694$$

Los coeficientes de presión exterior según la tabla 3.4(b) son, para el caso 1:

$$c_{pe2CTC1} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 metros"} & -0.9 \\ \text{"Para 11.5 a 23 metros"} & -0.5 \\ \text{"Para 23 a 34.5 metros"} & -0.3 \\ \text{"Para 34.5 a 160 metros"} & -0.2 \end{bmatrix}$$

Para el caso 2:

$$C_{pe2CTC2} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 metros"} & -0.4 \\ \text{"Para 11.5 a 23 metros"} & 0 \\ \text{"Para 23 a 34.5 metros"} & 0.1 \\ \text{"Para 34.5 a 160 metros"} & 0.2 \end{bmatrix}$$

Dado que las áreas asociadas a los elementos que soportan la cubierta transversal son menores que 100 metros cuadrados y mayores que 25 se usará un valor conservador 0.9 en toda la cubierta.

$$K_{A2CT1} := 0.9$$

Por otro lado, para la cubierta de losacero comprendida entre los ejes 16 y 17 se cuentan con áreas menores que 25 metros cuadrados, pero mayores que 10, por lo que de forma conservadora se empleara:

$$K_{A2CT2} := 1$$

Las presiones exteriores para el primer caso son :

$$P_{e2CTC1_0m} := \text{col}(C_{pe2CTC1}, 2) \cdot K_{A2CT1} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -76.6923 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{e2CTC1_150m} := (-0.2) \cdot K_{A2CT2} \cdot q_z = -18.9364 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{e2CTC1} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 metros"} & -76.6923 \\ \text{"Para 11.5 a 23 metros"} & -42.6068 \\ \text{"Para 23 a 34.5 metros"} & -25.5641 \\ \text{"Para 34.5 a 150 metros"} & -17.0427 \\ \text{"Para 150 a 160 metros"} & -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Para el segundo caso:

$$P_{e2CTC2_0m} := \text{col}(C_{pe2CTC2}, 2) \cdot K_{A2CT1} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -34.0854 \\ 0 \\ 8.5214 \\ 17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{e2CTC2_150m} := (0.2) \cdot K_{A2CT2} \cdot q_z = 18.9364 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{e2CTC2} := \begin{bmatrix} \text{"Para 0 a 11.5 metros"} & -34.0854 \\ \text{"Para 11.5 a 23 metros"} & 0 \\ \text{"Para 23 a 34.5 metros"} & 8.5214 \\ \text{"Para 34.5 a 150 metros"} & 17.0427 \\ \text{"Para 150 a 160 metros"} & 18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Las presiones netas asociadas al primer caso son:

$$P_{n2CTC1.1} := \text{col} \left(P_{e2CTC1}, 2 \right) - P_{i1} = \begin{bmatrix} -57.7559 \\ -23.6704 \\ -6.6277 \\ 1.8937 \\ -4.0605 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n2CTC1.2} := \text{col} \left(P_{e2CTC1}, 2 \right) - P_{i2} = \begin{bmatrix} -76.6923 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Y para el segundo caso:

$$P_{n2CTC2.1} := \text{col} \left(P_{e2CTC2}, 2 \right) - P_{i1} = \begin{bmatrix} -15.149 \\ 18.9364 \\ 27.4578 \\ 35.9791 \\ 37.8728 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$P_{n2CTC2.2} := \text{col} \left(P_{e2CTC2}, 2 \right) - P_{i2} = \begin{bmatrix} -34.0854 \\ 0 \\ 8.5214 \\ 17.0427 \\ 18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Resumen de presiones netas más desfavorables

Muro Barlovento	$P_{n2MB} := P_{n2MB1} = 94.6818 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Muro Sotavento	$P_{n2MS} := P_{n2MS2} = -21.7768 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Muro Lateral (Ambos muros laterales) Revisar las dimensiones de aplicación	$P_{n2ML} := P_{n2ML2} = \begin{bmatrix} -61.5432 \\ -55.3889 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Cubierta Transversal	$P_{n2CT} := P_{n2CTC1.2} = \begin{bmatrix} -76.6923 \\ -42.6068 \\ -25.5641 \\ -17.0427 \\ -18.9364 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

VIII. Análisis Sísmico

Para la revisión por sismo se considera lo siguiente:

a) Espectro de sitio

Dentro del MDOC, se considera a la estructura de la que trata esta memoria de cálculo dentro del grupo "Estructuras Tipo 2: Estructuras Industriales". A su vez, será considerada como parte del subgrupo: "Tipo Industrial I" por sus características inherentes. Por otro lado, se considera un amortiguamiento del 5% de acuerdo con la tabla 4.1 del Manual.

También, la estructura será considerada como de baja altura por su relación ; pues aun considerando su máxima altura, el cociente anterior no supera 0.5. De la mano con lo anterior se seleccionaron los parámetros que se describen en el siguiente párrafo.

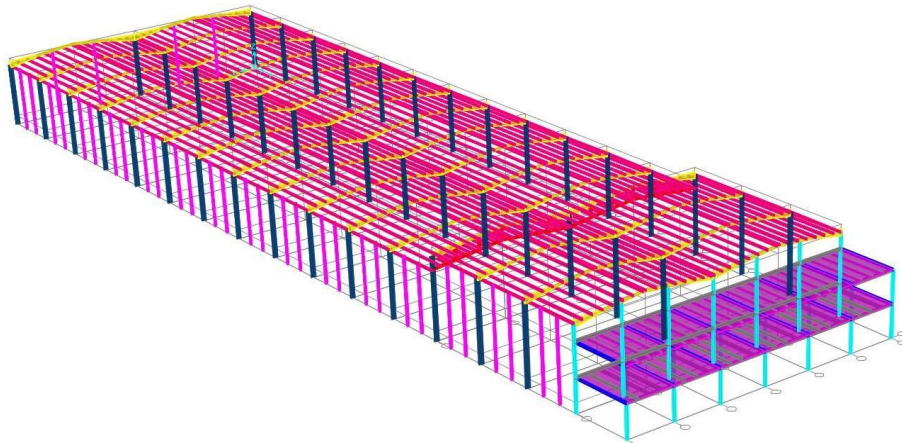
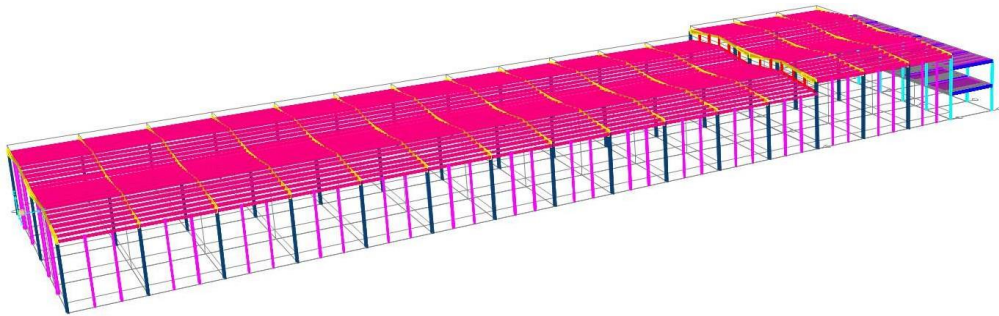
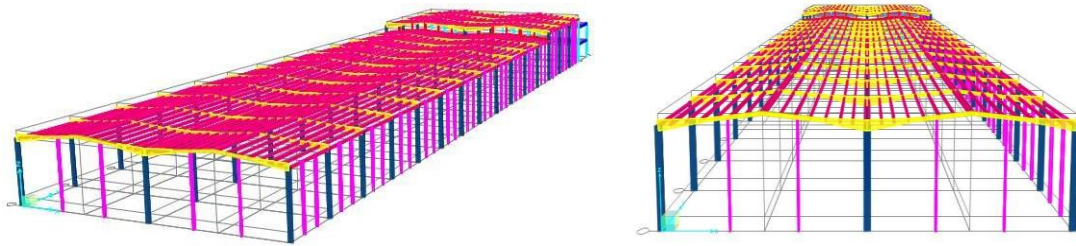
Un factor de redundancia " ρ " igual a 1 por sus dos crujías en el sentido transversal y, de acuerdo con la tabla 4.2, un coeficiente sísmico Q igual a 2 y un factor de sobre resistencia " R_0 " igual a 1.8.

Estos fueron los valores empleados en PRODISIS para obtener el espectro de diseño modificado que posteriormente se habrá de cargar a SAP2000. Los espectros transparente y modificado de diseño se muestran en la siguiente imagen.

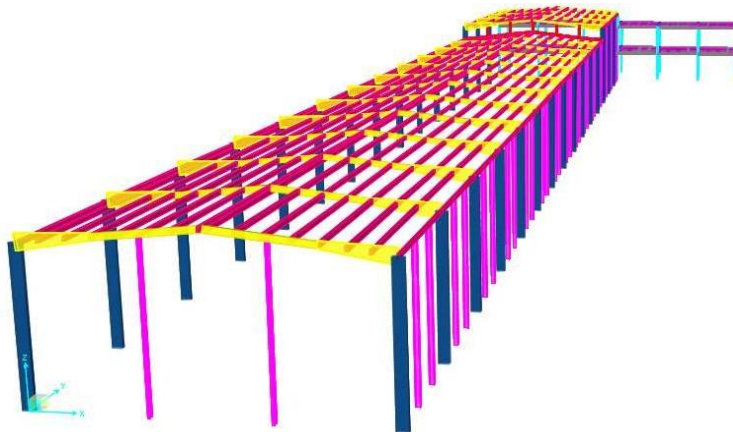


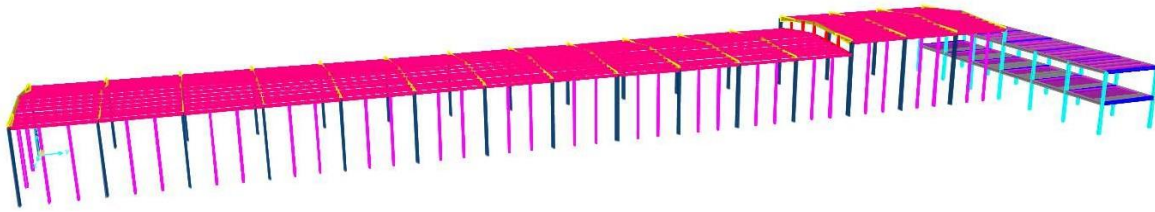
b) Modelo de análisis

A continuación, se presentan imágenes del modelo estructural realizado en SAP200. Primero se expone la estructura ya existente la cual consta de 2 naves. Posteriormente, se puede observar el modelo realizado para la nueva nave para la que se dimensionarán elementos estructurales más adelante.



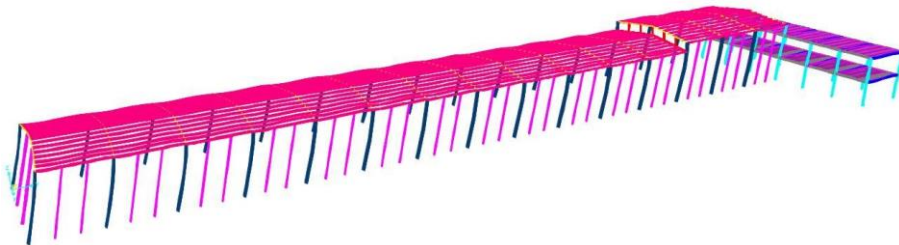
La nueva nave se ve de la siguiente manera.



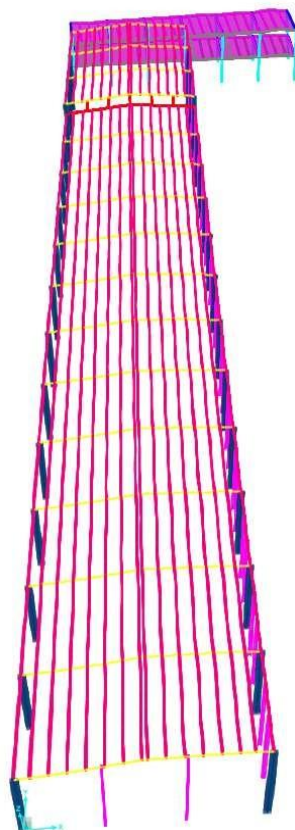


c) Respuesta modal de la estructura

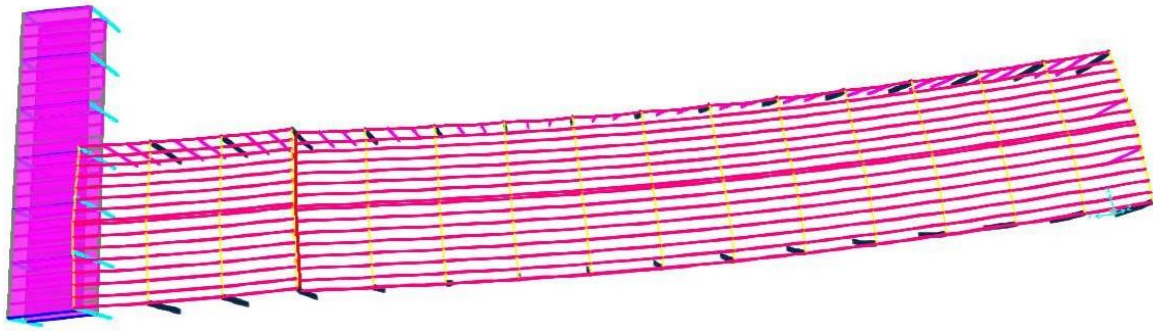
La siguiente es principal forma modal de la estructura. Al ser una estructura sumamente irregular y flexible en el sentido longitudinal su periodo resulta algo elevado alcanzando 2.51 segundos. Nótese que es la forma modal en el sentido longitudinal



En la segunda forma modal gobierna la rotación de la estructura.



Finalmente, en la tercera debería gobernar la traslación en el sentido transversal de la estructura; sin embargo, como ya se mencionó, la estructura es altamente irregular y el centro de masas este desplazado del centro de rigideces por lo que se puede apreciar un poco de rotación.



d) Distorsiones máximas.

Las distorsiones máximas para seguridad contra colapso en estructuras a base de marcos de acero y con ductilidad baja ($Q=2$) es de 0.015, según la tabla 4.3 del MDOC de la CFE. Las distorsiones tanto para la zona de la nave como de oficinas son las siguientes respectivamente.

$$\delta_y := 0.005 \quad \delta_x := 0.008$$

Ambas son menores que 0.015, por lo que cumplen con la norma. Por otro lado; en la zona de las oficinas se tienen las siguientes:

$$\delta_y := 0.009 \quad \delta_x := 0.013$$

De igual forma, no revisan el límite permitido

Así mismo, se revisarán las distorsiones ante sismos frecuentes considerando el espectro transparente dividido por 5.5 como se establece en el apartado 3.3.1.8. El límite para estas será de 0.004, pues se considera que no hay elementos afectados por las deformaciones. Las distorsiones en la zona de la nave son:

$$\delta_y \quad 0.0014 \quad \delta_x \quad 0.0018$$

Y en la zona de oficinas son:

$$\delta_y \quad 0.0013 \quad \delta_x \quad 0.0021$$

Todas son menores que 0.004, por lo que se cumple con la normativa.

IX. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS

DISEÑO DE TRABE SECUNDARIA

Perfil: W16X40

Revisión del estado de servicio.

$$L := 10 \text{ m}$$

$$\Delta_{perm} := \frac{L}{240} = 41.67 \text{ mm}$$

$$\Delta := 40.66 \text{ mm}$$

```
Deflexión := if Δ ≤ Δperm = "Cumple"
              "Cumple"
            else
              "Cambiar perfil"
```

Revisión del estado de falla

Elementos mecánicos de diseño

$$M_u := 29.88 \text{ tonnef m}$$

$$V_u := 11.95 \text{ tonnef}$$

Flexión

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 50 \text{ ksi} = 3515.35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b_f := 17.78 \text{ cm}$$

$$t_f := 1.28 \text{ cm}$$

$$h := 37.06 \text{ cm}$$

$$t_w := 0.77 \text{ cm}$$

$$b := \frac{b_f}{2} = 8.89 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b}{t_f} = 6.95$$

$$\lambda_{fp} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9.15$$

$$\lambda_{fr} := 1 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 24.08$$

```
Patín := if λf ≤ λfp = "Compacto"
           "Compacto"
         else
           if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
             "No compacto"
           else
             "Esbelto"
```

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 48.13$$

$$\lambda_{wp} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90.55$$

$$\lambda_{fr} := 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.27$$

$$Alma := \begin{cases} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_{wp} & = \text{"Compacta"} \\ \text{"Compacta"} \\ \text{else} \\ \text{if } (\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr}) & \\ \text{"No compacta"} \\ \text{else} & \\ \text{"Esbelta"} \end{cases}$$

Momentos resistentes

$$Z_x := 1196 \text{ cm}^3$$

$$r_y := 3.99 \text{ cm}$$

$$r_{ts} := 4.72 \text{ cm}$$

$$J := 33 \text{ cm}^4$$

$$S_x := 1060 \text{ cm}^3$$

$$h_0 := 39.37 \text{ cm}$$

$$c := 1$$

$$M_p := f_y \cdot Z_x = 42.04 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.69 \text{ m}$$

$$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} = 4.84 \text{ m}$$

$$L_b := 2 \text{ m}$$

$$\text{Como: } (L_p < L_b) \wedge (L_b < L_r)$$

$$C_b := 1$$

De forma conservadora igual a 1

$$M_n := C_b \cdot \left(M_p - (M_p - 0.7 \cdot f_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right) = 40.48 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_n := 0.9 \cdot M_n = 36.43 \text{ tonnef m}$$

$$\%M \quad \frac{M_u}{\phi M_n} \quad 82.02 \%$$

Cortante

$$d := 40.64 \text{ cm}$$

$$A_w := d \cdot t_w = 31.29 \text{ cm}^2$$

$$\frac{h}{t_w} = 48.13 \quad 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 53.95$$

$$C_{v1} := 1 \quad \phi_v := 1$$

$$\phi V_n := \phi_v \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} = 66 \text{ tonnef}$$

$$\%V := \frac{V_u}{\phi V_n} = 18.11 \%$$

DISEÑO DE TRABE PRINCIPAL

Perfil: W16X40

Revisión del estado de servicio.

$$L := 7.7 \text{ m}$$

$$\Delta_{perm} := \frac{L}{240} = 32.08 \text{ mm}$$

$$\Delta := 12.77 \text{ mm}$$

$$\text{Deflexión} := \begin{cases} \text{if } \Delta \leq \Delta_{perm} & = \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"Cambiar perfil"} \end{cases}$$

Revisión del estado de falla
Elementos mecánicos de diseño

$$M_u := 31.85 \text{ tonnef m}$$

$$V_u := 19.37 \text{ tonnef}$$

Dado que es el mismo perfil y con las mismas características que las trabes secundarias, las resistencias nominales serán las mismas, por lo que:

$$\phi M_n = 36.43 \text{ tonnef m}$$

$$\phi V_n = 66 \text{ tonnef}$$

$$\%M \quad \frac{M_u}{\phi M_n} \quad 87.43 \%$$

$$\%V \quad \frac{V_u}{\phi V_n} \quad 29.35 \%$$

DISEÑO DE TRABE SECUNDARIA

Perfil: W16X36

Revisión del estado de servicio.

$$L := 10 \text{ m}$$

$$\Delta_{perm} := \frac{L}{240} = 41.67 \text{ mm}$$

$$\Delta := 36.92 \text{ mm}$$

```
Deflexión := if Δ ≤ Δperm      = "Cumple"
              "Cumple"
              else
              "Cambiar perfil"
```

Revisión del estado de falla
Elementos mecánicos de diseño

$$M_u := 22.56 \text{ tonnef m}$$

$$V_u := 9.03 \text{ tonnef}$$

Flexión

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 50 \text{ ksi} = 3515.35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b_f := 17.75 \text{ cm}$$

$$t_f := 1.09 \text{ cm}$$

$$h := 37.34 \text{ cm}$$

$$t_w := 0.75 \text{ cm}$$

$$b := \frac{b_f}{2} = 8.88 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b}{t_f} = 8.14$$

$$\lambda_{fp} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9.15$$

$$\lambda_{fr} := 1 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 24.08$$

```
Patín := if λf ≤ λfp      = "Compacto"
           "Compacto"
           else
           if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
           "No compacto"
           else
           "Esbelto"
```

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 49.79$$

$$\lambda_{wp} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90.55$$

$$\lambda_{fr} := 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.27$$

```

Alma := if  $\lambda_w \leq \lambda_{wp}$  = "Compacta"
        "Compacta"
      else
        if  $(\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr})$ 
          "No compacta"
        else
          "Esbelta"

```

Momentos resistentes

$$Z_x := 1049 \text{ cm}^3 \quad r_y := 3.86 \text{ cm} \quad r_{ts} := 4.65 \text{ cm} \quad J := 23 \text{ cm}^4$$

$$S_x := 926 \text{ cm}^3 \quad h_0 := 39.37 \text{ cm} \quad c := 1$$

$$M_p := f_y \cdot Z_x = 36.88 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.64 \text{ m}$$

$$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot f_y}{E} \right)^2} = 4.65 \text{ m}$$

$$L_b := 2 \text{ m}$$

Como: $(L_p < L_b) \wedge (L_b < L_r)$

$$C_b := 1$$

De forma conservadora igual a 1

$$M_n := C_b \cdot \left(M_p - \left(M_p - 0.7 \cdot f_y \cdot S_x \right) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right) = 35.18 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_n := 0.9 \cdot M_n = 31.66 \text{ tonnef m}$$

$$\%M \quad \frac{M_u}{\phi M_n} \quad 71.26 \%$$

Cortante

$$d := 40.39 \text{ cm}$$

$$A_w := d \cdot t_w = 30.29 \text{ cm}^2$$

$$\frac{h}{t_w} = 49.79 \quad 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 53.95$$

$$C_{v1} := 1 \quad \phi_v := 1$$

$$\phi V_n := \phi_v \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} = 63.89 \text{ tonnef}$$

$$\%V := \frac{V_u}{\phi V_n} = 14.13 \%$$

DISEÑO DE TRABE PRINCIPAL

Perfil: W16X36

Revisión del estado de servicio.

$$L := 7.7 \text{ m}$$

$$\Delta_{perm} := \frac{L}{240} = 32.08 \text{ mm}$$

$$\Delta := 13.36 \text{ mm}$$

$$\text{Deflexión} := \begin{cases} \text{if } \Delta \leq \Delta_{perm} & = \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{else} & \\ \text{"Cambiar perfil"} \end{cases}$$

Revisión del estado de falla
Elementos mecánicos de diseño

$$M_u \quad 25.1 \text{ tonnef m} \quad V_u \quad 14.82 \text{ tonnef}$$

Dado que es el mismo perfil y con las mismas características que las traveses secundarias, las resistencias nominales serán las mismas, por lo que:

$$\phi M_n \quad 31.66 \text{ tonnef m} \quad \phi V_n \quad 63.89 \text{ tonnef}$$

$$\%M \quad \frac{M_u}{\phi M_n} \quad 79.29 \%$$

$$\%V \quad \frac{V_u}{\phi V_n} \quad 23.19 \%$$

DISEÑO DE TRABE PRINCIPAL

Perfil: W16X31

Revisión del estado de servicio.

$$L := 10 \text{ m}$$

$$\Delta_{perm} := \frac{L}{240} = 41.67 \text{ mm}$$

$$\Delta := 15 \text{ mm}$$

```
Deflexión := if Δ ≤ Δperm = "Cumple"
              "Cumple"
            else
              "Cambiar perfil"
```

Revisión del estado de falla
Elementos mecánicos de diseño

$$M_{ux} := 20.16 \text{ tonnef m}$$

$$V_{uy} := 11.84 \text{ tonnef}$$

Flexión

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 50 \text{ ksi} = 3515.35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b_f := 14.05 \text{ cm}$$

$$t_f := 1.12 \text{ cm}$$

$$h := 37.27 \text{ cm}$$

$$t_w := 0.7 \text{ cm}$$

$$b := \frac{b_f}{2} = 7.02 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b}{t_f} = 6.27$$

$$\lambda_{fp} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9.15$$

$$\lambda_{fr} := 1 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 24.08$$

```
Patín := if λf ≤ λfp = "Compacto"
          "Compacto"
        else
          if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
            "No compacto"
          else
            "Esbelto"
```

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 53.24$$

$$\lambda_{wp} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90.55$$

$$\lambda_{fr} := 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.27$$

```

Alma := if  $\lambda_w \leq \lambda_{wp}$                                 = "Compacta"
        "Compacta"
      else
        if  $(\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr})$ 
          "No compacta"
        else
          "Esbelta"

```

Momentos resistentes

$$Z_x := 885 \text{ cm}^3$$

$$r_y := 2.97 \text{ cm}$$

$$r_{ts} := 3.61 \text{ cm}$$

$$J := 19 \text{ cm}^4$$

$$S_x := 773 \text{ cm}^3$$

$$h_0 := 39.37 \text{ cm}$$

$$c := 1$$

$$M_p := f_y \cdot Z_x = 31.11 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.26 \text{ m}$$

$$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} = 3.61 \text{ m}$$

$$L_b := 2 \text{ m}$$

Como: $(L_p < L_b) \wedge (L_b < L_r)$

$$C_b := 1$$

De forma conservadora igual a 1

$$M_n := C_b \cdot \left[M_p - \left(M_p - 0.7 \cdot f_y \cdot S_x \right) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] = 27.29 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_n := 0.9 \cdot M_n = 24.57 \text{ tonnef m}$$

$$\%M \quad \frac{M_{ux}}{\phi M_n} \quad 82.07 \%$$

Cortante

$$d := 40.39 \text{ cm}$$

$$A_w := d \cdot t_w = 28.27 \text{ cm}^2$$

$$\frac{h}{t_w} = 53.24 \quad 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 53.95$$

$$C_{v1} := 1 \quad \phi_v := 1$$

$$\phi V_n := \phi_v \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} = 59.63 \text{ tonnef}$$

$$\%V := \frac{V_{uy}}{\phi V_n} = 19.85 \%$$

DISEÑO DE TRABE PRINCIPAL

Perfil: Trabe de sección variable

Revisión del estado de servicio.

$$L := 11.56 \text{ m}$$

$$\Delta_{perm} := \frac{L}{240} = 4.82 \text{ cm}$$

$$\Delta := 5.43 \text{ mm}$$

$$\text{Deflexión} := \begin{cases} \text{if } \Delta \leq \Delta_{perm} & = \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"Cambiar perfil"} \end{cases}$$

Revisión del estado de falla (18inX8inX6/8in)

Elementos mecánicos de diseño

$$\text{Clear}(M_{ux}, V_{uy}) = 1$$

$$M_{ux1} := 28.75 \text{ tonnef m} \quad V_{uy1} := 10.93 \text{ tonnef}$$

$$M_{ux2} := 30.52 \text{ tonnef m} \quad V_{uy2} := 11.12 \text{ tonnef}$$

Flexión

$$E \quad 29000 \text{ ksi} \quad 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y \quad 36 \text{ ksi} \quad 2531.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b \quad 20.32 \text{ cm} \quad t_f \quad 1.905 \text{ cm} \quad d \quad 45.72 \text{ cm} \quad t_w \quad 0.7925 \text{ cm}$$

$$b_D \quad b \quad 3 \quad 0.93 \quad t_w \quad 18.11 \text{ cm}$$

$$h \quad d \quad 3 \quad 0.93 \quad t_f \quad 40.41 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b}{t_f} = 10.67$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79$$

$$\lambda_{fr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

```

Patines := if λf ≤ λfp                                = "Compactos"
            "Compactos"
          else
            if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
              "No compactos"
            else
              "Esbeltos"

```

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 50.98$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

```

Almas := if λw ≤ λwp                                = "Compactas"
          "Compactas"
        else
          if (λwp < λw) ∧ (λw ≤ λwr)
            "No compactas"
          else
            "Esbeltas"

```

Revisando sólo el pandeo lateral-torsional

$$Z_x := 1722 \text{ cm}^3 \quad r_y := 7.91 \text{ cm} \quad J := 22253 \text{ cm}^4 \quad A_g := 139.66 \text{ cm}^2 \quad S_x := 1992 \text{ cm}^3$$

$$M_p := f_y \cdot Z_x = 43.58 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_p} = 8.48 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_x} = 161.12 \text{ m}$$

$$L_b := 2 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$\phi M_n := 0.9 \cdot M_p = 39.23 \text{ tonnef m}$$

$$\%M := \frac{M_{ux}}{\phi M_n} = \left[\begin{array}{c} 73.29 \\ 77.81 \end{array} \right] \%$$

Cortante

$$d = 45.72 \text{ cm}$$

$$A_w := 2 \cdot d \cdot t_w = 72.47 \text{ cm}^2$$

$$k_v := 5$$

$$\frac{h}{t_w} = 50.98 \quad 1.1 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 69.81$$

$$C_{v2} := 1 \quad \phi_v := 0.9$$

$$\phi V_n := \phi_v \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v2} = 99.04 \text{ tonnef}$$

$$\%V := \frac{V_{uy}}{\phi V_n} = \left[\frac{11.04}{11.23} \right] \%$$

Revisión del estado de falla (42inX8inX6/8in)**Elementos mecánicos de diseño**

$$M_{ux1} := 75.93 \text{ tonnef m} \quad V_{uy1} := 18.75 \text{ tonnef}$$

$$M_{ux2} := 74.72 \text{ tonnef m} \quad V_{uy2} := 18.98 \text{ tonnef}$$

Flexión

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y := 36 \text{ ksi} = 2531.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b := 20.32 \text{ cm} \quad t_f := 1.905 \text{ cm} \quad d := 106.68 \text{ cm} \quad t_w := 0.7925 \text{ cm}$$

$$b_D := b - 3 \cdot 0.93 \cdot t_w = 18.11 \text{ cm} \quad h := d - 3 \cdot 0.93 \cdot t_f = 101.37 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b}{t_f} = 10.67 \quad \lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79 \quad \lambda_{fr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$


```

Patines := if  $\lambda_f \leq \lambda_{fp}$                                 = "Compactos"
            "Compactos"
          else
            if  $(\lambda_{fp} < \lambda_f) \wedge (\lambda_f \leq \lambda_{fr})$ 
              "No compactos"
            else
              "Esbeltos"

```

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 127.91$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

```

Almas := if  $\lambda_w \leq \lambda_{wp}$                                 = "No compactas"
          "Compactas"
        else
          if  $(\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr})$ 
            "No compactas"
          else
            "Esbeltas"

```

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_x := 5939 \text{ cm}^3 \quad r_y := 8.7 \text{ cm} \quad J := 57755 \text{ cm}^4 \quad A_g := 233.47 \text{ cm}^2 \quad S_x := 6485 \text{ cm}^3$$

$$M_p := f_y \cdot Z_x = 150.32 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_p} = 5.63 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_x} = 113.38 \text{ m}$$

$$L_b := 2 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$\phi M_{n1} := 0.9 \cdot M_p = 135.29 \text{ tonnef m}$$

Revisando el pandeo local del alma

$$M_n := M_p - (M_p - f_y \cdot S_x) \cdot \left(0.305 \cdot \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} - 0.738 \right) = 159.12 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{n2} = 0.9 \cdot M_n = 143.2 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_n := \min \left(\left[\phi M_{n1} \quad \phi M_{n2} \right] \right) = 135.29 \text{ tonnef m}$$

$$\%M := \frac{M_{ux}}{\phi M_n} = \left[\frac{56.13}{55.23} \right] \%$$

Cortante

$$d = 106.68 \text{ cm}$$

$$A_w := 2 \cdot d \cdot t_w = 169.09 \text{ cm}^2$$

$$k_v := 5$$

$$\frac{h}{t_w} = 127.91 \quad 1.1 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 69.81 \quad 1.37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 86.95$$

$$C_{v2} := \frac{1.51 \cdot k_v \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \cdot f_y} = 0.37 \quad \phi_v := 0.9$$

$$\phi V_n := \phi_v \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v2} = 85.92 \text{ tonnef}$$

$$\%V := \frac{V_{uy}}{\phi V_n} = \left[\frac{21.82}{22.09} \right] \%$$

DISEÑO DE COLUMNA CO-2 (10.525m)

Perfil: Sección en cajón a base de placas (30inX12in)

Revisión del estado de falla

Elementos mecánicos de diseño

$$P_{u1} := 23.47 \text{ tonnef}$$

$$M_{ux1} := 81.11 \text{ tonnef m}$$

$$M_{uy1} := 0.1 \text{ tonnef m}$$

$$P_{u2} := 9.88 \text{ tonnef}$$

$$M_{ux2} := 2.8 \text{ tonnef m}$$

$$M_{uy2} := 9.21 \text{ tonnef m}$$

$$P_{u3} := 24.84 \text{ tonnef}$$

$$M_{ux3} := 24.62 \text{ tonnef m}$$

$$M_{uy3} := 0.22 \text{ tonnef m}$$

Compresión

$$E \quad 29000 \text{ ksi} \quad 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y \quad 36 \text{ ksi} \quad 2531.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b \quad 30.48 \text{ cm} \quad t_f \quad 1.27 \text{ cm} \quad d \quad 76.2 \text{ cm} \quad t_w \quad 0.7925 \text{ cm}$$

$$b_D \quad b \quad 3 \quad 0.93 \quad t_w \quad 28.27 \text{ cm} \quad h \quad d \quad 3 \quad 0.93 \quad t_f \quad 72.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_f \frac{b}{t_f} \quad 24 \quad \lambda_w \frac{h}{t_w} \quad 91.68$$

$$\lambda_r := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

$$\text{Patines} := \begin{cases} \text{if } \lambda_f \leq \lambda_r & = \text{"No esbeltos"} \\ \text{"No esbeltos"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltos"} \end{cases}$$

$$\text{Almas} := \begin{cases} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_r & = \text{"Esbeltas"} \\ \text{"No esbeltas"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltas"} \end{cases}$$

$$L := 10.525 \text{ m} \quad k := 1 \quad r_y := 12.78 \text{ cm} \quad r_x := 28.84 \text{ cm}$$

$$r := \min \left(\left[\begin{matrix} r_x & r_y \end{matrix} \right] \right) = 12.78 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r} \frac{k}{r} = 82.36 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 133.68$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L \cdot k}{r} \right)^2} = 2966.97 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cr} := \left(0.658 \frac{f_y}{F_e} \right) f_y = 1771.06 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_w = 91.68 \quad \lambda_r \cdot \sqrt{\frac{f_y}{F_{cr}}} = 50.56$$

$$c_1 := 0.18 \quad c_2 := 1.31$$

$$F_{el} := \left(c_2 \cdot \frac{\lambda_r}{\lambda_w} \right)^2 \cdot f_y = 924.18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$h_e := h \cdot \left(1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = 45.66 \text{ cm}$$

$$A_g := 194.17 \text{ cm}^2$$

$$A_e := A_g - \left(2 \cdot (b_D - b_D) \cdot t_f + 2 \cdot (h - h_e) \cdot t_w \right) = 151.38 \text{ cm}^2$$

$$P_n := F_{cr} \cdot A_e = 268.11 \text{ tonnef}$$

$$\phi P_n := 0.9 \cdot P_n = 241.3 \text{ tonnef}$$

Flexión alrededor del eje fuerte

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

$$\text{Almas} := \begin{cases} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_{wp} & = \text{"No compactas"} \\ \text{"Compactas"} \\ \text{else} \\ \text{if } (\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr}) & \\ \text{"No compactas"} \\ \text{else} & \\ \text{"Esbeltas"} \end{cases}$$

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_f} = 22.26$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79$$

$$\lambda_{fr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

$$\text{Patines} := \begin{cases} \text{if } \lambda_f \leq \lambda_{fp} & = \text{"Compactos"} \\ \text{"Compactos"} \\ \text{else} \\ \text{if } (\lambda_{fp} < \lambda_f) \wedge (\lambda_f \leq \lambda_{fr}) & \\ \text{"No compactos"} \\ \text{else} & \\ \text{"Esbeltos"} \end{cases}$$

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_x = 5050 \text{ cm}^3 \quad r_y = 12.78 \text{ cm} \quad J = 84818 \text{ cm}^4 \quad A_g = 194.17 \text{ cm}^2 \quad S_x = 4238 \text{ cm}^3$$

$$M_{px} = f_y \cdot Z_x = 127.82 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{px}} = 10.76 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_x} = 281.66 \text{ m}$$

$$L_b := 10.525 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$\phi M_{nx1} := 0.9 \cdot M_{px} = 115.04 \text{ tonnef m}$$

Revisando el pandeo local del alma

$$M_n := M_{px} - (M_{px} - f_y \cdot S_x) \cdot \left(0.305 \cdot \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} - 0.738 \right) = 122.74 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{nx2} := 0.9 \cdot M_n = 110.46 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{nx} := \min \left(\left[\phi M_{nx2} \quad \phi M_{nx1} \right] \right) = 110.46 \text{ tonnef m}$$

Flexión alrededor del eje débil

$$h := b - 3 \cdot 0.93 \cdot t_w = 28.27 \text{ cm}$$

$$b_D := d - 3 \cdot 0.93 \cdot t_f = 72.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_w := \frac{h}{t_f} = 22.26$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

```

Almas := if λw ≤ λwp                                = "Compactas"
          "Compactas"
        else
          if (λwp < λw) ∧ (λw ≤ λwr)
            "No compactas"
          else
            "Esbeltas"

```

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79$$

$$\lambda_{wr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

```

Patines := if λf ≤ λfp = "Esbeltos"
            "Compactos"
          else
            if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
              "No compactos"
            else
              "Esbeltos"

```

Revisando el pandeo lateral-
torsional

$$Z_y := 2323 \text{ cm}^3 \quad r_x = 28.84 \text{ cm} \quad J = 84818 \text{ cm}^4 \quad A_g = 194.17 \text{ cm}^2 \quad S_y = 2081 \text{ cm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot Z_y = 58.8 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_x \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{py}} = 52.76 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_x \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_y} = 1294.45 \text{ m}$$

$$L_b := 10.525 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$\phi M_{ny1} := 0.9 \cdot M_{py} = 52.92 \text{ tonnef m}$$

Revisando el pandeo local del patín

$$b_e := 1.92 \cdot t_w \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left(1 - \frac{0.34}{\frac{b_D}{t_w}} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) = 38.64 \text{ cm}$$

$$I := 2 \cdot \left(\frac{h^3 \cdot t_f}{12} \right) + 2 \cdot \left(\frac{b_e \cdot t_w^3}{12} + b_e \cdot t_w \cdot \left(\frac{h - t_w}{2} \right)^2 \right) = 16344.31 \text{ cm}^4$$

$$c = \frac{h}{2} = 14.13 \text{ cm}$$

$$S_e = \frac{I}{c} = 1156.34 \text{ cm}^3$$

$$M_n = f_y \cdot S_e = 29.27 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{ny2} = 0.9 M_n = 26.34 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{ny} := \min \left(\left[\phi M_{ny2} \quad \phi M_{ny1} \right] \right) = 26.34 \text{ tonnef m}$$

Flexocompresión

$$\text{Ecuación} := \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} \text{"H1-1b"} \\ \text{"H1-1b"} \\ \text{"H1-1b"} \end{bmatrix}$$

$$\left| \begin{array}{l} P_u \\ \text{if } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ \quad a_i := \text{"H1-1a"} \\ \text{else} \\ \quad a_i := \text{"H1-1b"} \end{array} \right|$$

$$a$$

$$\text{Interacción} := \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} 78.67 \\ 39.55 \\ 28.27 \end{bmatrix} \%$$

$$\left| \begin{array}{l} P_u \\ \text{if } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ \quad a_i := \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \\ \text{else} \\ \quad a_i := \frac{P_u}{2 \phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \end{array} \right|$$

$$a$$

DISEÑO DE COLUMNA CO-2 (1.995m)

Perfil: Sección en cajón a base de placas (30inX12in)

Revisión del estado de falla

Elementos mecánicos de diseño

$$\text{Clear}(P_u, M_{ux}, M_{uy}) = 1$$

P_u	22.18 tonnef	M_{ux}	91.23 tonnef m	M_{uy}	0.3 tonnef m
1		1		1	
P_u	7.25 tonnef	M_{ux}	25.37 tonnef m	M_{uy}	9.04 tonnef m
2		2		2	
P_u	22.28 tonnef	M_{ux}	90.86 tonnef m	M_{uy}	0.6 tonnef m
3		3		3	

Compresión

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y := 36 \text{ ksi} = 2531.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b := 30.48 \text{ cm} \quad t_f := 1.27 \text{ cm} \quad d := 76.2 \text{ cm} \quad t_w := 0.7925 \text{ cm}$$

$$b_D := b - 3 \cdot 0.93 \cdot t_w = 28.27 \text{ cm} \quad h := d - 3 \cdot 0.93 \cdot t_f = 72.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_f} = 22.26 \quad \lambda_w := \frac{h}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_r := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

$$\text{Patines} := \begin{cases} \text{if } \lambda_f \leq \lambda_r & = \text{"No esbeltos"} \\ \text{"No esbeltos"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltos"} \end{cases}$$

$$\text{Almas} := \begin{cases} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_r & = \text{"Esbeltas"} \\ \text{"No esbeltas"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltas"} \end{cases}$$

$$L := 1.995 \text{ m} \quad k := 1 \quad r_y := 12.78 \text{ cm} \quad r_x := 28.84 \text{ cm}$$

$$r := \min \left(\left[\begin{array}{c} r_x \\ r_y \end{array} \right] \right) = 12.78 \text{ cm}$$

$$\frac{L \cdot k}{r} = 15.61 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 133.68$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L \cdot k}{r} \right)^2} = 82579.44 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cr} := \left(0.658 \cdot \frac{f_y}{F_e} \right) \cdot f_y = 2498.79 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_w = 91.68 \quad \lambda_r \cdot \sqrt{\frac{f_y}{F_{cr}}} = 42.56$$

$$c_1 \quad 0.18 \quad c_2 \quad 1.31$$

$$F_{el} := \left(c_2 \cdot \frac{\lambda_r}{\lambda_w} \right)^2 \cdot f_y = 924.18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$h_e := h \cdot \left(1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = 39.35 \text{ cm}$$

$$A_g := 194.17 \text{ cm}^2$$

$$A_e := A_g - \left(2 \cdot (b_D - b_D) \cdot t_f + 2 \cdot (h - h_e) \cdot t_w \right) = 141.38 \text{ cm}^2$$

$$P_n := F_{cr} \cdot A_e = 353.27 \text{ tonnef}$$

$$\phi P_n := 0.9 \cdot P_n = 317.95 \text{ tonnef}$$

Flexión alrededor del eje fuerte

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

```

Almas := | if  $\lambda_w \leq \lambda_{wp}$                                 = "No compactas"
           | "Compactas"
           | else
           | if  $(\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr})$ 
           | "No compactas"
           | else
           | "Esbeltas"

```

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_f} = 22.26$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79$$

$$\lambda_{fr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

```

Patines := | if  $\lambda_f \leq \lambda_{fp}$                                 = "Compactos"
            | "Compactos"
            | else
            | if  $(\lambda_{fp} < \lambda_f) \wedge (\lambda_f \leq \lambda_{fr})$ 
            | "No compactos"
            | else
            | "Esbeltos"

```

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_x = 5050 \text{ cm}^3 \quad r_y = 12.78 \text{ cm} \quad J = 84818 \text{ cm}^4 \quad A_g = 194.17 \text{ cm}^2 \quad S_x = 4238 \text{ cm}^3$$

$$M_{px} = f_y \cdot Z_x = 127.82 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{px}} = 10.76 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_x} = 281.66 \text{ m}$$

$$L_b := 1.995 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$\phi M_{nx1} := 0.9 \cdot M_{px} = 115.04 \text{ tonnef m}$$

Revisando el pandeo local del alma

$$M_n := M_{px} - (M_{px} - f_y \cdot S_x) \cdot \left(0.305 \cdot \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} - 0.738 \right) = 122.74 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{nx2} := 0.9 \cdot M_n = 110.46 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{nx} := \min \left(\left[\phi M_{nx2} \quad \phi M_{nx1} \right] \right) = 110.46 \text{ tonnef m}$$

Flexión alrededor del eje débil

$$h := b - 3 \cdot 0.93 \cdot t_w = 28.27 \text{ cm}$$

$$b_D := d - 3 \cdot 0.93 \cdot t_f = 72.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_w := \frac{h}{t_f} = 22.26$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

```

Almas  if λw ≤ λwp                                "Compactas"
        "Compactas"
    else
        if λwp ≤ λw ≤ λwr
            "No compactas"
        else
            "Esbeltas"

```

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79$$

$$\lambda_{wr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

$$\text{Patines} := \begin{cases} \text{if } \lambda_f \leq \lambda_{fp} & = \text{"Esbeltos"} \\ \text{"Compactos"} \\ \text{else} \\ \text{if } (\lambda_{fp} < \lambda_f) \wedge (\lambda_f \leq \lambda_{fr}) & \\ \text{"No compactos"} \\ \text{else} & \\ \text{"Esbeltos"} \end{cases}$$

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_y := 2323 \text{ cm}^3 \quad r_x = 28.84 \text{ cm} \quad J := 84818 \text{ cm}^4 \quad A_g = 194.17 \text{ cm}^2 \quad S_y := 2081 \text{ cm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot Z_y = 58.8 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_x \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{py}} = 52.76 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_x \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_y} = 1294.45 \text{ m}$$

$$L_b := 1.995 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$\phi M_{ny1} := 0.9 \cdot M_{py} = 52.92 \text{ tonnef m}$$

Revisando el pandeo local del patín

$$b_e := 1.92 \cdot t_w \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left(1 - \frac{0.34}{\frac{b_D}{t_w}} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) = 38.64 \text{ cm}$$

$$I := 2 \cdot \left(\frac{h^3 \cdot t_f}{12} \right) + 2 \cdot \left(\frac{b_e \cdot t_w^3}{12} + b_e \cdot t_w \cdot \left(\frac{h - t_w}{2} \right)^2 \right) = 16344.31 \text{ cm}^4$$

$$c = \frac{h}{2} = 14.13 \text{ cm}$$

$$S_e = \frac{I}{c} = 1156.34 \text{ cm}^3$$

$$M_n = f_y \cdot S_e = 29.27 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{ny2} = 0.9 M_n = 26.34 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{ny} := \min \left(\left[\phi M_{ny2} \quad \phi M_{ny1} \right] \right) = 26.34 \text{ tonnef m}$$

Flexocompresión

$$\text{Ecuación} := \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} \text{"H1-1b"} \\ \text{"H1-1b"} \\ \text{"H1-1b"} \end{bmatrix}$$

$$\left| \begin{array}{l} P_u \\ \text{if } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ \quad a_i := \text{"H1-1a"} \\ \text{else} \\ \quad a_i := \text{"H1-1b"} \end{array} \right|$$

$$a$$

$$\text{Interacción} := \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} 87.22 \\ 58.43 \\ 88.03 \end{bmatrix} \%$$

$$\left| \begin{array}{l} P_u \\ \text{if } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ \quad a_i := \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \\ \text{else} \\ \quad a_i := \frac{P_u}{2 \phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \end{array} \right|$$

$$a$$

DISEÑO DE COLUMNA CO-2 (12.52m)

Perfil: Sección en cajón a base de placas (30inX12in)

Revisión del estado de falla

Elementos mecánicos de diseño

$$\text{Clear}(P_u, M_{ux}, M_{uy}) = 1$$

P_u ₁	23.96 tonnef	M_{ux} ₁	79.62 tonnef m	M_{uy} ₁	0.09 tonnef m
P_u ₂	8.97 tonnef	M_{ux} ₂	18.68 tonnef m	M_{uy} ₂	2.62 tonnef m
P_u ₃	23.96 tonnef	M_{ux} ₃	78.58 tonnef m	M_{uy} ₃	0.24 tonnef m

Compresión

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 36 \text{ ksi} = 2531.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b := 30.48 \text{ cm}$$

$$t_f := 1.27 \text{ cm}$$

$$d := 76.2 \text{ cm}$$

$$t_w := 0.7925 \text{ cm}$$

$$b_D := b - 3 \cdot 0.93 \cdot t_w = 28.27 \text{ cm}$$

$$h := d - 3 \cdot 0.93 \cdot t_f = 72.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_f} = 22.26$$

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_r := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

$$\text{Patines} := \begin{cases} \text{if } \lambda_f \leq \lambda_r & = \text{"No esbeltos"} \\ \text{"No esbeltos"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltos"} \end{cases}$$

$$\text{Almas} := \begin{cases} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_r & = \text{"Esbeltas"} \\ \text{"No esbeltas"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltas"} \end{cases}$$

$$L := 12.52 \text{ m}$$

$$k := 1$$

$$r_y := 12.78 \text{ cm}$$

$$r_x := 28.84 \text{ cm}$$

$$r := \min \left(\begin{bmatrix} r_x & r_y \end{bmatrix} \right) = 12.78 \text{ cm}$$

$$\frac{L \cdot k}{r} = 97.97$$

$$4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 133.68$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L \cdot k}{r} \right)^2} = 2096.76 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cr} := \left(0.658 \frac{f_y}{F_e} \right) \cdot f_y = 1527.13 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_w = 91.68 \quad \lambda_r \cdot \sqrt{\frac{f_y}{F_{cr}}} = 54.44$$

$$c_1 := 0.18 \quad c_2 := 1.31$$

$$F_{el} := \left(c_2 \cdot \frac{\lambda_r}{\lambda_w} \right)^2 \cdot f_y = 924.18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$h_e := h \cdot \left(1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = 48.61 \text{ cm}$$

$$A_g := 194.17 \text{ cm}^2$$

$$A_e := A_g - \left(2 \cdot (b_D - b_D) \cdot t_f + 2 \cdot (h - h_e) \cdot t_w \right) = 156.05 \text{ cm}^2$$

$$P_n := F_{cr} \cdot A_e = 238.31 \text{ tonnef}$$

$$\phi P_n := 0.9 \cdot P_n = 214.48 \text{ tonnef}$$

Flexión alrededor del eje fuerte

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

```
Almas := if λw ≤ λwp                                = "No compactas"
          "Compactas"
        else
          if (λwp < λw) ∧ (λw ≤ λwr)
            "No compactas"
          else
            "Esbeltas"
```

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_f} = 22.26$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79$$

$$\lambda_{fr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

```
Patines := if λf ≤ λfp                                = "Compactos"
            "Compactos"
          else
            if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
              "No compactos"
            else
              "Esbeltos"
```

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_x = 5050 \text{ cm}^3 \quad r_y = 12.78 \text{ cm} \quad J = 84818 \text{ cm}^4 \quad A_g = 194.17 \text{ cm}^2 \quad S_x = 4238 \text{ cm}^3$$

$$M_{px} = f_y \cdot Z_x = 127.82 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{px}} = 10.76 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_x} = 281.66 \text{ m}$$

$$L_b := 12.52 \text{ m}$$

Como: $L_p < L_b$

$$C_b := 1$$

$$M_{nx1} := C_b \cdot \left(M_{px} - \left(M_{px} - 0.7 \cdot f_y \cdot S_x \right) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right) = 127.5 \text{ tonnef m}$$

Revisando el pandeo local del alma

$$M_{nx2} := M_{px} - \left(M_{px} - f_y \cdot S_x \right) \cdot \left(0.305 \cdot \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} - 0.738 \right) = 122.74 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{nx} := 0.9 \cdot \min \left(\left[M_{nx2} \quad M_{nx1} \right] \right) = 110.46 \text{ tonnef m}$$

Flexión alrededor del eje débil

$$h := b - 3 \cdot 0.93 \cdot t_w = 28.27 \text{ cm}$$

$$b_D := d - 3 \cdot 0.93 \cdot t_f = 72.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_w := \frac{h}{t_f} = 22.26$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 68.69$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 161.78$$

```

Almas := if λw ≤ λwp                                = "Compactas"
          "Compactas"
        else
          if (λwp < λw) ∧ (λw ≤ λwr)
            "No compactas"
          else
            "Esbeltas"

```

$$\lambda_f := \frac{b_D}{t_w} = 91.68$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 31.79$$

$$\lambda_{wr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42.29$$

```

Patines := if λf ≤ λfp                                = "Esbeltos"
            "Compactos"
          else
            if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
              "No compactos"
            else
              "Esbeltos"

```

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_y := 2323 \text{ cm}^3 \quad r_x = 28.84 \text{ cm} \quad J := 84818 \text{ cm}^4 \quad A_g = 194.17 \text{ cm}^2 \quad S_y := 2081 \text{ cm}^3$$

$$M_{py} := f_y \cdot Z_y = 58.8 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_x \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{py}} = 52.76 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_x \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_y} = 1294.45 \text{ m}$$

$$L_b := 12.52 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$M_{ny1} := M_{py} = 58.8 \text{ tonnef m}$$

Revisando el pandeo local del patín

$$b_e := 1.92 \cdot t_w \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left(1 - \frac{0.34}{\frac{b_D}{t_w}} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) = 38.64 \text{ cm}$$

$$I := 2 \cdot \left(\frac{h^3 \cdot t_f}{12} \right) + 2 \cdot \left(\frac{b_e \cdot t_w^3}{12} + b_e \cdot t_w \cdot \left(\frac{h - t_w}{2} \right)^2 \right) = 16344.31 \text{ cm}^4$$

$$c \quad \frac{h}{2} \quad 14.13 \text{ cm}$$

$$S_e \quad \frac{I}{c} \quad 1156.34 \text{ cm}^3$$

$$M_n \quad f_y \quad S_e \quad 29.27 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{ny2} \quad 0.9 \quad M_n \quad 26.34 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{ny} := \min \left(\left[\phi M_{ny2} \quad \phi M_{ny1} \right] \right) = 26.34 \text{ tonnef m}$$

Flexocompresión

$$\text{Ecuación} := \left[\begin{array}{l} \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] \\ \quad \left[\begin{array}{l} \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ a_i := \text{"H1-1a"} \\ \text{else} \\ a_i := \text{"H1-1b"} \end{array} \right] \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{"H1-1b"} \\ \text{"H1-1b"} \\ \text{"H1-1b"} \end{array} \right]$$

$$\text{Interacción} := \left[\begin{array}{l} \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] \\ \quad \left[\begin{array}{l} \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ a_i := \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \\ \text{else} \\ a_i := \frac{P_u}{2 \phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \end{array} \right] \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 78.01 \\ 28.95 \\ 77.63 \end{array} \right] \%$$

DISEÑO DE COLUMNA

Perfil: HSS12X12X5/8

Revisión del estado de falla
Elementos mecánicos de diseño

$$\text{Clear} \left(P_u, M_{ux}, M_{uy} \right) = 1$$

$$\begin{array}{lll} P_u & 16.34 \text{ tonnef} & M_{ux} \quad 15.32 \text{ tonnef m} \quad M_{uy} \quad 6.45 \text{ tonnef m} \\ 1 & & 1 \quad 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} P_u & 28.6 \text{ tonnef} & M_{ux} \quad 2.11 \text{ tonnef m} \quad M_{uy} \quad 16.18 \text{ tonnef m} \\ 2 & & 2 \quad 2 \end{array}$$

$$P_u := 89.3 \text{ tonnef}$$

$$M_{ux} := 0.13 \text{ tonnef m}$$

$$M_{uy} := 3.4 \text{ tonnef m}$$

Compresión

$$E := 29000 \text{ ksi} = 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y := 50 \text{ ksi} = 3515.35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b := 30.5 \text{ cm}$$

$$t_f := 1.48 \text{ cm}$$

$$d := 30.5 \text{ cm}$$

$$t_w := 1.48 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := 17.7$$

$$\lambda_w := 17.7$$

$$\lambda_r := 1.4 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 33.72$$

$$\text{Patines} := \begin{cases} \text{if } \lambda_f \leq \lambda_r & = \text{"No esbeltos"} \\ \text{"No esbeltos"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltos"} \end{cases}$$

$$\text{Almas} := \begin{cases} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_r & = \text{"No esbeltas"} \\ \text{"No esbeltas"} \\ \text{else} \\ \text{"Esbeltas"} \end{cases}$$

$$L := 5.05 \text{ m}$$

$$k := 1$$

$$r_y := 11.73 \text{ cm}$$

$$r_x := 11.73 \text{ cm}$$

$$r := \min \left(\left[\begin{matrix} r_x & r_y \end{matrix} \right] \right) = 11.73 \text{ cm}$$

$$\frac{L \cdot k}{r} = 43.05 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 113.43$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L \cdot k}{r} \right)^2} = 10856.99 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cr} := \left(0.658 \cdot \frac{f_y}{F_e} \right) f_y = 3069.82 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$A_g = 165.81 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = 0.9 \cdot F_{cr} \cdot A_g = 458.1 \text{ tonnef}$$

Flexión alrededor del eje fuerte

$$\lambda_w := 17.7$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 58.28$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.27$$

```

Almas := if  $\lambda_w \leq \lambda_{wp}$                                 = "Compactas"
          "Compactas"
        else
          if  $(\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr})$ 
            "No compactas"
          else
            "Esbeltas"

```

$$\lambda_f := 17.7$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 26.97$$

$$\lambda_{fr} := 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 33.72$$

```

Patines := if  $\lambda_f \leq \lambda_{fp}$                                 = "Compactos"
            "Compactos"
          else
            if  $(\lambda_{fp} < \lambda_f) \wedge (\lambda_f \leq \lambda_{fr})$ 
              "No compactos"
            else
              "Esbeltos"

```

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_x := 1786.2 \text{ cm}^3 \quad r_y = 11.73 \text{ cm} \quad J := 36836.5 \text{ cm}^4 \quad A_g = 165.81 \text{ cm}^2 \quad S_x := 1497.8 \text{ cm}^3$$

$$M_{px} := f_y \cdot Z_x = 62.79 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{px}} = 12.24 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_x} = 320.74 \text{ m}$$

$$L_b = 5.05 \text{ m}$$

Como: $L_b < L_p$

$$\phi M_{nx} := 0.9 M_{px} = 56.51 \text{ tonnef m}$$

Por simetría:

$$\phi M_{ny} := 0.9 M_{py} = 56.51 \text{ tonnef m}$$

Flexocompresión

$$\text{Ecuación} := \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} "H1-1b" \\ "H1-1b" \\ "H1-1b" \end{bmatrix}$$

$$\left| \begin{array}{l} \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ a_i := "H1-1a" \\ \text{else} \\ a_i := "H1-1b" \end{array} \right| a$$

$$\text{Interacción} := \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} 40.31 \\ 35.49 \\ 15.99 \end{bmatrix} \%$$

$$\left| \begin{array}{l} \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ a_i := \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \\ \text{else} \\ a_i := \frac{P_u}{2 \phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \end{array} \right| a$$

REVISIÓN DE COLUMNAS DE VIENTO

Perfil: W12x30

Se considera que la columna de viento sólo trabaja a flexión y cortante debido a la fuerza del viento.

Revisión del estado de falla

Elementos mecánicos de diseño

$$\text{Clear}(P_u, M_{ux}, M_{uy}) = 1$$

$$\begin{array}{cc} P_u & 2.88 \text{ tonnef} \\ 1 & \end{array} \quad \begin{array}{cc} M_{ux} & 11.03 \text{ tonnef m} \\ 1 & \end{array}$$

$$P_u = 3.41 \text{ tonnef} \quad M_{ux} = 0 \text{ tonnef m}$$

$$V_u = 4.51 \text{ tonnef}$$

Compresión

$$b_f := 16.56 \text{ cm} \quad t_f := 1.12 \text{ cm} \quad h := 28.12 \text{ cm} \quad t_w := 0.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_w := 41.8 \quad \lambda_f := 7.41$$

$$E := 29000 \text{ ksi} \quad f_y := 50 \text{ ksi}$$

$$\lambda_{fr} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 13.49 \quad \lambda_{wr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 35.88$$

$$L := 5 \text{ m} \quad k := 1 \quad r_y := 3.86 \text{ cm} \quad r_x := 13.23 \text{ cm}$$

$$r := \min \left(\left[\begin{array}{c} r_x \\ r_y \end{array} \right] \right) = 3.86 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r} \cdot k = 129.53 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 113.43$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L \cdot k}{r} \right)^2} = 1199.31 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cr} := 0.877 \cdot F_e = 1051.79 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$A_g := 56.71 \text{ cm}^2$$

$$P_n := F_{cr} \cdot A_g = 59.65 \text{ tonnef}$$

$$\phi P_n := 0.9 \cdot P_n = 53.68 \text{ tonnef}$$

Flexión

$$E := 29000 \text{ ksi} \quad 2038901.78 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y \quad 50 \text{ ksi} \quad 3515.35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b_f \quad 16.56 \text{ cm} \quad t_f \quad 1.12 \text{ cm} \quad h \quad 28.12 \text{ cm} \quad t_w \quad 0.66 \text{ cm}$$

$$b \quad \frac{b_f}{2} \quad 8.28 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := 7.41 \quad \lambda_{fp} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9.15 \quad \lambda_{fr} := 1 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 24.08$$

```

Patín := if λf ≤ λfp                                = "Compacto"
        "Compacto"
      else
        if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
          "No compacto"
        else
          "Esbelto"

```

$$\lambda_w := 41.8 \quad \lambda_{wp} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90.55 \quad \lambda_{fr} := 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.27$$

```

Alma := if λw ≤ λwp                                = "Compacta"
        "Compacta"
      else
        if (λwp < λw) ∧ (λw ≤ λwr)
          "No compacta"
        else
          "Esbelta"

```

Momentos resistentes

$$Z_x := 706 \text{ cm}^3 \quad r_y := 3.86 \text{ cm} \quad r_{ts} := 4.5 \text{ cm} \quad J := 19 \text{ cm}^4$$

$$S_x := 633 \text{ cm}^3 \quad h_0 := 30.23 \text{ cm} \quad c := 1$$

$$M_p := f_y \cdot Z_x = 24.82 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.64 \text{ m}$$

$$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot f_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} = 4.76 \text{ m}$$

$$L_b := 5 \text{ m}$$

Como: $L_b > L_r$

$$C_b := 1.3$$

$$F_{cr} := \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.078 \cdot \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \cdot \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} = 2964 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi M_{nx} := 0.9 \cdot F_{cr} \cdot S_x = 16.88 \text{ tonnef m}$$

$$\text{Ecuación} := \begin{cases} \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} \text{"H1-1b"} \\ \text{"H1-1b"} \end{bmatrix} \\ \left| \begin{array}{l} P_u \\ \text{if } \frac{i}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ a_i := \text{"H1-1a"} \\ \text{else} \\ a_i := \text{"H1-1b"} \end{array} \right| \\ a \end{cases}$$

$$\text{Interacción} := \begin{cases} \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] = \begin{bmatrix} 68.01 \\ 3.18 \end{bmatrix} \% \\ \left| \begin{array}{l} P_u \\ \text{if } \frac{i}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ a_i := \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \right) \\ \text{else} \\ a_i := \frac{P_u}{2 \cdot \phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \right) \end{array} \right| \\ a \end{cases}$$

Cortante

$$d := 31.24 \text{ cm}$$

$$A_w := d \cdot t_w = 20.62 \text{ cm}^2$$

$$\frac{h}{t_w} = 42.61 \quad 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 53.95$$

$$C_{v1} = 1 \quad \phi_v = 1$$

$$\phi V_n = \phi_v \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} = 43.49 \text{ tonnef}$$

$$\%V = \frac{V_u}{\phi V_n} = 10.37 \%$$

REVISIÓN DE POLINES EJE 13

Perfil: HSS12X8X1/4

Revisión del estado de falla
Elementos mecánicos de diseño

Tensión

$$P_{ut} := 34.84 \text{ tonnef}$$

$$A_g := 57.81 \text{ cm}^2$$

$$f_y := 50 \text{ ksi} = 3515 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad E = 2039000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi P_{nt} := 0.9 \cdot A_g \cdot f_y = 182.9 \text{ tonnef}$$

$$\%P_t := \frac{P_{ut}}{\phi P_{nt}} = 19.05 \%$$

Compresión

De la tabla 4-3 del Manual del AISC y con la longitud efectiva respecto al radio de giro menor se tiene que el perfil tiene una resistencia nominal a la compresión de:

$$P_u := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 9.04 \end{bmatrix} \text{ tonnef}$$

$$k := 1 \quad L := 2 \text{ m} \quad r_y := 8.43 \text{ cm} \quad r_x := 11.51 \text{ cm}$$

$$\phi P_n := 337 \text{ kip} = 152.9 \text{ tonnef}$$

Flexión alrededor del eje fuerte y cortante en dirección del eje débil

$$M_{ux} := \begin{bmatrix} 7.34 \\ 1.93 \\ 1.27 \end{bmatrix} \text{ tonnef m} \quad V_{uy} := 2.97 \text{ tonnef}$$

$$\lambda_w := 48.5$$

$$\lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 58.28$$

$$\lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.27$$

```

Almas := if λw ≤ λwp                                = "Compactas"
          "Compactas"
        else
          if (λwp < λw) ∧ (λw ≤ λwr)
            "No compactas"
          else
            "Esbeltas"

```

$$\lambda_f := 31.3$$

$$\lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 26.97$$

$$\lambda_{fr} := 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 33.72$$

```

Patines := if λf ≤ λfp                                = "No compactos"
            "Compactos"
          else
            if (λfp < λf) ∧ (λf ≤ λfr)
              "No compactos"
            else
              "Esbeltos"

```

Revisando el pandeo lateral-torsional

$$Z_x := 599.8 \text{ cm}^3 \quad r_y = 8.43 \text{ cm} \quad J := 8407.9 \text{ cm}^4 \quad A_g = 57.81 \text{ cm}^2 \quad S_x := 501.4 \text{ cm}^3$$

$$M_{px} := f_y \cdot Z_x = 21.09 \text{ tonnef m}$$

$$L_p := 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_{px}} = 7.39 \text{ m}$$

$$L_r := 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot f_y \cdot S_x} = 194.24 \text{ m}$$

$$L_b := 2 \text{ m}$$

$$M_{nx1} := M_{px} = 21.09 \text{ m tonnef}$$

Revisando el pandeo local del patín

$$b := 20.3 \text{ cm} - 3 \cdot 0.93 \cdot 0.59 \text{ cm} = 18.65 \text{ cm}$$

$$t_f := 0.59 \text{ cm}$$

$$M_{nx2} := M_{px} - \left(M_{px} - f_y \cdot S_x \right) \cdot \left(3.57 \cdot \frac{b}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} - 4 \right) = 18.71 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{nx} := 0.9 \cdot \min \left(\left[\begin{array}{cc} M_{nx1} & M_{nx2} \end{array} \right] \right) = 16.84 \text{ tonnef m}$$

$$\%M_x := \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} = \left[\begin{array}{c} 43.59 \\ 11.46 \\ 7.542 \end{array} \right] \%$$

Cortante

$$f_y = 3515 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad d := 30.5 \text{ cm} \quad t_w := 0.59 \text{ cm}$$

$$A_w := 2 \cdot d \cdot t_w = 35.99 \text{ cm}^2$$

$$k_v := 5$$

$$\lambda_w = 48.5 \quad 1.1 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59.24$$

$$C_{v2} := 1$$

$$\phi V_{ny} := 0.9 \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v2} = 68.32 \text{ tonnef}$$

$$\%V_y := \frac{V_{uy}}{\phi V_{ny}} = 4.347 \%$$

Flexión alrededor del eje débil y cortante en dirección del eje fuerte

$$M_{uy} := \left[\begin{array}{c} 0.27 \\ 4.97 \\ 2.71 \end{array} \right] \text{ tonnef m} \quad V_{ux} := 3.43 \text{ tonnef}$$

$$\lambda_w := 31.3 \quad \lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 58.28 \quad \lambda_{wr} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.27$$

$$Almas := \left| \begin{array}{l} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_{wp} \\ \quad \text{"Compactas"} \\ \text{else} \\ \quad \text{if } (\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr}) \\ \quad \quad \text{"No compactas"} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad \text{"Esbeltas"} \end{array} \right| = \text{"Compactas"}$$

$$\lambda_f := 48.5 \quad \lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 26.97 \quad \lambda_{fr} := 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 33.72$$

```

Patines := if  $\lambda_f \leq \lambda_{fp}$                                 = "No compactos"
            "Compactos"
        else
            if  $(\lambda_{fp} < \lambda_f) \wedge (\lambda_f \leq \lambda_{fr})$ 
                "No compactos"
            else
                "Esbeltos"

```

Revisando el pandeo local del patín

$$h := 20.3 \text{ cm} - 3 \cdot 0.93 \cdot 0.59 \text{ cm} = 18.65 \text{ cm} \quad b := 30.5 \text{ cm} - 3 \cdot 0.93 \cdot 0.59 \text{ cm} = 28.85 \text{ cm}$$

$$t := 0.59 \text{ cm}$$

$$b_e := 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left(1 - \frac{0.34}{\lambda_f} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) = 22.68 \text{ cm}$$

$$I := 2 \cdot \left(\frac{h^3 \cdot t}{12} \right) + 2 \cdot \left(\frac{b_e \cdot t^3}{12} + b_e \cdot t \cdot \left(\frac{h-t}{2} \right)^2 \right) = 2821.79 \text{ cm}^4$$

$$c := \frac{20.3}{2} \text{ cm} = 10.15 \text{ cm}$$

$$S_e := \frac{I}{c} = 278.01 \text{ cm}^3$$

$$M_n := f_y \cdot S_e = 9.77 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_{ny} := 0.9 \cdot M_n = 8.8 \text{ tonnef m}$$

$$\%M_y := \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} = \begin{bmatrix} 3.07 \\ 56.5 \\ 30.81 \end{bmatrix} \%$$

Cortante

$$f_y = 3515 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \quad d := 20.3 \text{ cm} \quad t_w := 0.59 \text{ cm}$$

$$A_w := 2 \cdot d \cdot t_w = 23.95 \text{ cm}^2$$

$$k_v := 5$$

$$\lambda_w = 31.3 \quad 1.1 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59.24$$

$$C_{v2} = 1$$

$$\phi V_{nx} = 0.9 \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v2} = 45.47 \text{ tonnef}$$

$$\%V_x = \frac{V_{ux}}{\phi V_{nx}} = 7.543 \%$$

Flexocompresión

$$Ecuación := \left[\begin{array}{l} \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] \\ \quad \left[\begin{array}{l} \text{if } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ \quad a_i := "H1-1a" \\ \text{else} \\ \quad a_i := "H1-1b" \end{array} \right] \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} "H1-1b" \\ "H1-1b" \\ "H1-1b" \end{array} \right]$$

$$Interacción := \left[\begin{array}{l} \text{for } i \in [1..\text{length}(P_u)] \\ \quad \left[\begin{array}{l} \text{if } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ \quad a_i := \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \\ \text{else} \\ \quad a_i := \frac{P_u}{2 \phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \end{array} \right] \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} 46.66 \\ 67.97 \\ 41.31 \end{array} \right] \%$$

REVISIÓN DE LARGUEROS

Perfil: 2-12MT12

Revisión del estado de falla

Elementos mecánicos de diseño

$$W = 353.71 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

La carga W se aplica en el sentido vertical; es decir, de la gravedad por lo que es necesario descomponerla en los ejes locales del elemento.

$$h_1 = 11.703 \text{ m}$$

$$h_2 = 10.525 \text{ m}$$

$$L = 11.5 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 1.178 \text{ m}$$

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{\Delta h}{L}\right) = 5.849^\circ$$

$$W_x := W \cdot \cos(\alpha) = 351.9 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \quad W_y := W \cdot \sin(\alpha) = 36.04 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$L_{MT} := 10 \text{ m}$$

$$M_{ux} := \frac{W_x \cdot L_{MT}^2}{8} = 4.398 \text{ tonnef m}$$

$$M_{uy} := \frac{W_y \cdot L_{MT}^2}{8} = 0.4505 \text{ tonnef m}$$

$$V_{ux} := \frac{W_x \cdot L_{MT}}{2} = 1.759 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := \frac{W_y \cdot L_{MT}}{2} = 0.1802 \text{ tonnef}$$

$$E = 2039000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y = 3515 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad L_b := 5 \text{ m}$$

$$b := 17.8 \text{ cm} \quad t_f := 0.266 \text{ cm} \quad d := 30.4 \text{ cm} \quad t_w := 0.266 \text{ cm}$$

$$b_f := b - 3 \cdot 0.93 \cdot t_w = 17.06 \text{ cm} \quad h := d - 3 \cdot 0.93 \cdot t_f = 29.66 \text{ cm}$$

$$\lambda_f := \frac{b_f}{t_f} = 64.13 \quad \lambda_{fp} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 26.97 \quad \lambda_{fr} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 35.88$$

$$\text{Patines} := \begin{cases} \text{if } \lambda_f \leq \lambda_{fp} & = \text{"Esbeltos"} \\ \text{"Compactos"} \\ \text{else} \\ \text{if } (\lambda_{fp} < \lambda_f) \wedge (\lambda_f \leq \lambda_{fr}) & \\ \text{"No compactos"} \\ \text{else} & \\ \text{"Esbeltos"} \end{cases}$$

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 111.5 \quad \lambda_{wp} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 58.28 \quad \lambda_{wr} := 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137.3$$

$$\text{Almas} := \begin{cases} \text{if } \lambda_w \leq \lambda_{wp} & = \text{"No compactas"} \\ \text{"Compactas"} \\ \text{else} \\ \text{if } (\lambda_{wp} < \lambda_w) \wedge (\lambda_w \leq \lambda_{wr}) & \\ \text{"No compactas"} \\ \text{else} & \\ \text{"Esbeltas"} \end{cases}$$

Revisando el pandeo local de los patines

$$b_e := 1.92 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left(1 - \frac{0.34}{\frac{b_f}{t_f}} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) = 10.73 \text{ cm}$$

$$I := 2 \cdot \left(\frac{h^3 \cdot t_w}{12} \right) + 2 \cdot \left(\frac{b_e \cdot t_f^3}{12} + b_e \cdot t_f \cdot \left(\frac{h - t_f}{2} \right)^2 \right) = 2389.29 \text{ cm}^4$$

$$c := \frac{h}{2} = 14.83 \text{ cm}$$

$$S_e := \frac{I}{c} = 161.12 \text{ cm}^3$$

$$M_n := f_y \cdot S_e = 5.66 \text{ tonnef m}$$

$$\phi M_n := 0.9 \cdot M_n = 5.1 \text{ tonnef m}$$

$$\%M := \frac{M_{ux}}{\phi M_n} = 86.28 \%$$

Cortante

$$d = 30.4 \text{ cm}$$

$$A_w := 2 \cdot d \cdot t_w = 16.17 \text{ cm}^2$$

$$k_v := 5$$

$$\frac{h}{t_w} = 111.5 \quad 1.1 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59.24 \quad 1.37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 73.78$$

$$C_{v2} := \frac{1.51 \cdot k_v \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \cdot f_y} = 0.35 \quad \phi_v := 0.9$$

$$\phi V_n := \phi_v \cdot 0.6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v2} = 10.81 \text{ tonnef}$$

$$\%V = \frac{V_{ux}}{\phi V_n} = 16.27 \%$$

X. Resumen de perfiles de la superestructura

1. TRABE SECUNDARIA OFICINAS:

Perfil: W16X36 – Momento (71.26%); Cortante (14.13%)

Perfil: W16X40 – Momento (82%); Cortante (18.11%)

2. TRABE PRINCIPAL OFICINAS:

Perfil: W16X36 – Momento (79.3%); Cortante (23.2%)

Perfil: W16X40 – Momento (87.43%); Cortante (29.35%)

3. TRABE PRINCIPAL OFICINAS: Perfil: W16X31

Momento (82%); Cortante (19.85%)

4. TRABE PRINCIPAL NAVE: Sección variable

TA-2: 18inX8inX6/8in

Momento (77.81%); Cortante (11.23%)

TA-1: 42inX8inX6/8in

Momento (56.13%); Cortante (22.09%)

5. COLUMNAS NAVE: CO-2 (30inX12in)

H= 10.525 m

Flexocompresión (78.67%)

H= 1.995 m

Flexocompresión (88.03%)

H= 12.52 m

Flexocompresión (78.01%)

6. COLUMNAS OFICINAS: HSS12X12X5/8

H=5 m

Flexocompresión (40.31%)

6. COLUMNAS DE VIENTO: W12x30

Lb= 5 m

Flexocompresión (68.01%); Cortante (10.37%)

6. POLINES EJE 13: HSS12X8X1/4

Tensión (19.05%)

Flexocompresión (67.97%)

7. LARGUEROS DE CUBIERTA: 2-12MT12

Momento (86%); Cortante (16%)

XI. DISEÑO DE CIMENTACIONES

REVISIÓN DE ZAPATA ZA-1

El siguiente conjunto de solicitaciones es dado considerando dos naves, pues se piensa construir otra contigua más adelante.

$$P_u := 48.82 \text{ tonnef}$$

$$V_y := 0 \text{ tonnef}$$

$$V_x := 0.03 \text{ tonnef}$$

Estas otras son las correspondientes a la nave de la que trata esta memoria de cálculo.

$$P_{u2} := 24.84 \text{ tonnef}$$

$$V_{y2} := 2.34 \text{ tonnef}$$

$$V_{x2} := 0.0034 \text{ tonnef}$$

$$P_{u2} := 23.47 \text{ tonnef}$$

$$V_{y2} := 7.61 \text{ tonnef}$$

$$V_{x2} := 0.0095 \text{ tonnef}$$

Por otro lado, la carga de extracción más crítica se presenta en considerando dos naves y es:

$$P_{extr} := 8.62 \text{ tonnef}$$

Placa base

Dimensiones y propiedades

$$d_c := 762 \text{ mm}$$

$$b_f := 305 \text{ mm}$$

$$f_y := 36 \text{ ksi}$$

$$f_{ypl} := 36 \text{ ksi}$$

$$E_s := 29000 \text{ ksi}$$

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi_b := 0.9$$

$$\phi_A := 0.65$$

$$P_u := P_u = 48.82 \text{ tonnef}$$

$$h_p := 1200 \text{ mm}$$

$$b_p := 650 \text{ mm}$$

$$A_2 := h_p \cdot b_p = 7800 \text{ cm}^2$$

Cálculo del área requerida

$$A_1 := \left| \begin{array}{l} g(x) := \phi_A \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{x}} \cdot x - P_u \\ i := 1 \text{ cm}^2 \\ \text{while } g(i) < 0 \\ \quad i := i + 1 \text{ cm}^2 \\ i \end{array} \right| = 26 \text{ cm}^2$$

Se proponen las siguientes dimensiones.

$$N = 950 \text{ mm} \quad B = 600 \text{ mm}$$

$$A_1 = N \cdot B = 5700 \text{ cm}^2$$

La resistencia por aplastamiento del concreto es:

$$B_{n1} := \phi_A \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot A_1 \cdot \min \left(\left[\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \right], 2 \right) = 736.8 \text{ tonnef}$$

$$B_{n2} := \phi_A \cdot 2 \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot A_1 = 1260 \text{ tonnef}$$

Para determinar el espesor de la placa se sabe que:

$$M_{upl} := \frac{P_u}{B \cdot N} \cdot \frac{l^2}{2}$$

$$\phi M_{plr} := \phi_b \cdot f_{yp1} \cdot \frac{t_p^2}{4}$$

Donde l es el mayor de los siguientes tres valores:

$$m := \frac{N - 0.95 \cdot d_c}{2} = 11.3 \text{ cm} \quad n := \frac{B - 0.8 \cdot b_f}{2} = 17.8 \text{ cm} \quad \lambda'_n := \frac{\sqrt{d_c \cdot b_f}}{4} = 12.05 \text{ cm}$$

$$l := \max \left(\left[m \quad n \quad \lambda'_n \right] \right) = 17.8 \text{ cm}$$

$$f(t_p) := \phi_b \cdot f_{yp1} \cdot \frac{t_p^2}{4} - \frac{P_u}{B \cdot N} \cdot \frac{l^2}{2}$$

$$t_p := \begin{cases} f(x) := \phi_b \cdot f_{yp1} \cdot \frac{x^2}{4} - \frac{P_u}{B \cdot N} \cdot \frac{l^2}{2} = \frac{5}{8} \text{ in} \\ i := \frac{1}{16} \text{ in} \\ \text{while } f(i) < 0 \\ i := i + \frac{1}{16} \text{ in} \\ i \end{cases}$$

$$t_p = \frac{6}{8} \text{ in}$$

$$M_{upl} = 1.357 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}} \quad \phi M_{plr} = 2.067 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$\%M_{pl} := \frac{M_{upl}}{\phi M_{plr}} = 65.65 \%$$

Use placa de 6/8 de pulgada

Anclas

Dimensiones y propiedades. Las cargas últimas de diseño serán las consideradas por extracción, pues se considera la más desfavorable.

$$T_u := 8.62 \text{ tonnef} \quad V_u := 1.13 \text{ tonnef}$$

$$\phi_s := 0.75 \quad \phi_A := 2.5 \text{ cm} \quad N_T := 6 \quad N_S := 6 \quad F_{ya} := 250 \text{ MPa} \quad F_{ua} := 400 \text{ MPa}$$

$$A_{seV} := \frac{\pi \cdot \phi_A^2}{4} = 4.909 \text{ cm}^2 \quad \phi_s := 0.75$$

De la tabla J3.2 de las especificaciones del AISC 360-16, pues en el capítulo J9 del mismo documento se menciona que los anclajes deberán seguir las consideraciones de las partes roscadas de dicha tabla, se tienen los esfuerzos a tensión y cortante de las anclas.

$$F_{nt} := 0.75 \cdot F_{ua} = 300 \text{ MPa} \quad F_{nv} := 0.45 \cdot F_{ua} = 180 \text{ MPa}$$

El esfuerzo actuante en cada ancla.

$$f_t := \frac{T_u}{N_T \cdot A_{seV}} = 28.7 \text{ MPa} \quad f_v := \frac{V_u}{N_S \cdot A_{seV}} = 3.763 \text{ MPa}$$

Resistencia a la tensión considerando el cortante actuante de acuerdo con el AISC para conexiones atornilladas cuya falla es el aplastamiento.

$$\phi F'_{nt} := 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi_s \cdot F_{nv}} \cdot f_v = 381.6 \text{ MPa}$$

$$\phi R_n := \phi_s \cdot \phi F'_{nt} \cdot A_{seV} = 14.33 \text{ tonnef}$$

$$\%T := \frac{T_u}{N_T \cdot \phi R_n} = 10.03 \%$$

La longitud de anclaje se calcula considerando la longitud de desarrollo de las varillas de refuerzo del pedestal; estas terminan con ganchos, por lo que esta distancia es la siguiente de acuerdo con el ACI.

$$f_{yl} := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \lambda = 1 \quad \psi_r = 1 \quad \psi_e = 1 \quad \psi_o = 1 \quad f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\psi_c := \frac{f'_c}{15000 \text{ psi}} + 0.6 = 0.7896$$

$$\emptyset_{varillaP} := 31.8 \text{ mm}$$

$$l_{dh1} := \frac{f_{yl}}{55 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}} \cdot \psi_r \cdot \psi_e \cdot \psi_o \cdot \psi_c \cdot \left(\frac{\emptyset_{varillaP}}{\text{in}} \right)^{1.5} \quad \text{in} = 572.2 \text{ mm}$$

$$l_{dh2} := 8 \cdot \emptyset_{varillaP} = 254.4 \text{ mm}$$

$$l_{dh3} := 6 \text{ in} = 152.4 \text{ mm}$$

Considerando que el cono de concreto se arranca con 35° respecto a la horizontal.

$$g := 402 \text{ mm} \quad r := 50 \text{ mm}$$

$$h_{ef} := l_{dh1} + r + \frac{g}{1.5} = 890.2 \text{ mm}$$

Dado

Se considerará el momento existente debido al cortante en dirección longitudinal del dado; es decir, alrededor de su eje X.

$$l := 120 \text{ cm} \quad b := 65 \text{ cm} \quad H := 2.5 \text{ m}$$

$$A_{smin} = 0.01 \cdot l \cdot b = 78 \text{ cm}^2$$

$$A_g = l \cdot b = 7800 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0.04 \cdot l \cdot b = 312 \text{ cm}^2$$

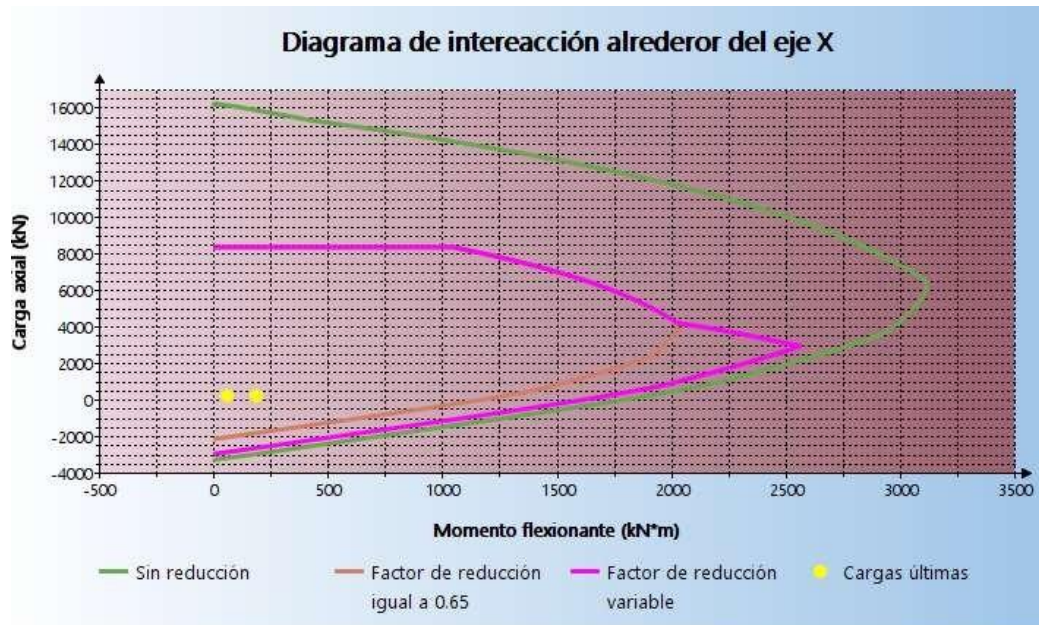
Se propone el siguiente arreglo para acero longitudinal con varillas del #10.

$$N = 10 \quad A_{s\#} = 794 \text{ mm}^2 \quad \emptyset_s = 31.8 \text{ mm}$$

$$A_s = N \cdot A_{s\#} = 7940 \text{ mm}^2$$

El diagrama de interacción y las resistencias nominales que considera las excentricidades debido a los cortantes son:

$$f_{yv} = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$



$$P_{R\phi x} := \begin{bmatrix} 685 \\ 316.45 \end{bmatrix} \text{ tonnef}$$

$$\%P_1 := \frac{P_{u2}}{P_{R\phi x}} \frac{1}{1} = 3.626 \% \quad \%P_2 := \frac{P_{u2}}{P_{R\phi x}} \frac{2}{2} = 7.417 \%$$

Obteniendo el arreglo para el refuerzo transversal. Se propone usar estribos del número 3.

$$\phi_{st} := 0.95 \text{ cm} \quad A_{st} := 0.71 \text{ cm}^2$$

$$s_{max} := \min \left(\left[\frac{850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{f_y \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \phi_s 48 \phi_{st} \frac{b}{2} \right] \right) = 32.5 \text{ cm}$$

Longitud de confinamiento.

$$l_{conf} := \max \left(\left[1 \frac{H}{6} 60 \text{ cm} \right] \right) = 120 \text{ cm}$$

$$s_{conf} = \frac{s_{max}}{2} = 16.25 \text{ cm}$$

Use 15 cm de separación dentro de la zona de confinamiento

Zapata

Se revisarán las dimensiones de la zapata para cubrir con las solicitaciones.

$$q_a := 22.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad H_{desplante} := 2.5 \text{ m} \quad l := 120 \text{ cm} \quad b := 65 \text{ cm}$$

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad r := 5 \text{ cm} \quad \gamma_c := 2.4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_s := 1.993 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} \quad \phi_v := 0.75 \quad \phi_b := 0.9$$

Se proponen las siguientes dimensiones para la zapata.

$$d := 25 \text{ cm} \quad L := 3 \text{ m} \quad B := 2 \text{ m}$$

Comprobando la presión de contacto.

$$h := d + r = 30 \text{ cm}$$

Revisando el efecto de la excentricidad por los cortantes presentes en la zapata.

$$M_1 := V_{y2} \cdot h \quad M_2 := V_{y2} \cdot h$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.702 \\ 2.283 \end{bmatrix} \text{ tonnef m}$$

$$e_1 := \frac{M_1}{P_{u2}} \quad e_2 := \frac{M_2}{P_{u2}}$$

$$e = \begin{bmatrix} 2.826 \\ 9.727 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

$$\frac{L}{6} = 50 \text{ cm}$$

Como la excentricidad es menor que el tercio medio:

$$q_{\max} := \frac{P_{u2}}{L \cdot B} + \frac{6 \cdot M}{B \cdot L^2} = 4.673 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_{\min} := \left(\frac{P_{u2}}{L \cdot B} - \frac{6 \cdot M}{B \cdot L^2} \right) = 3.151 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

La presión debido a las dos naves es:

$$q_u := \frac{P_u}{L \cdot B} = 8.137 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

De forma que se considerará la presión máxima como la de diseño

$$q_e := q_a - \gamma_c \cdot (d + r) - \gamma_s \cdot (H_{\text{desplante}} - (d + r)) = 17.63 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$P_C := \begin{cases} \text{if } q_{\max} < q_e & = \text{"El suelo resiste"} \\ \text{"El suelo resiste"} \\ \text{else} \\ \text{"El suelo no resiste"} \end{cases}$$

Revisando el factor de seguridad para extracción.

$$P_{\text{zapata}} := L \cdot B \cdot h \cdot \gamma_c = 4.32 \text{ tonnef}$$

$$P_{\text{dado}} := l \cdot b \cdot (H_{\text{desplante}} - h) \cdot \gamma_c = 4.118 \text{ tonnef}$$

$$P_{\text{suelo}} := (L \cdot B - l \cdot b) \cdot (H_{\text{desplante}} - h) \cdot \gamma_s = 22.89 \text{ tonnef}$$

$$P_{\text{cimentación}} := P_{\text{zapata}} + P_{\text{dado}} + P_{\text{suelo}} = 31.33 \text{ tonnef}$$

$$F_{S_{\text{extracción}}} := \frac{P_{\text{cimentación}}}{P_{\text{extr}}} = 3.634$$

$$\text{Extracción} := \begin{cases} \text{if } F_{S_{\text{extracción}}} \geq 2 & = \text{"No hay extracción"} \\ \text{"No hay extracción"} \\ \text{else} \\ \text{"Modificar cimentación"} \end{cases}$$

Revisando el factor de seguridad para volteo. En este caso se consideraron los siguientes elementos mecánicos. Nótese que la carga axial es de tensión y que el cortante en la dirección x es 0, pues se considera que las trabes de liga dan estabilidad en esa dirección. Estas cargas se presentan con una nueva nave.

$$P_{uV} \quad 4.8 \text{ tonnef}$$

$$V_{yV} \quad 5.88 \text{ tonnef}$$

$$V_{xV} \quad 0 \text{ tonnef}$$

EL momento de los elementos que dan estabilidad es:

$$M_{estabilidad} \quad 47 \text{ tonnef m}$$

El momento ocasionado por la tensión más el cortante es:

$$M_{PuV} := - \left(P_{uV} \cdot \frac{L}{2} \right) = 7.2 \text{ tonnef m}$$

$$M_{VyV} := V_{yV} \cdot H_{desplante} = 14.7 \text{ tonnef m}$$

$$M_{volteo} := M_{PuV} + M_{VyV} = 21.9 \text{ tonnef m}$$

$$F_{-S_{estabilidad}} := \frac{M_{estabilidad}}{M_{volteo}} = 2.146$$

$$Estabilidad := \begin{cases} \text{if } F_{-S_{estabilidad}} \geq 2 & = \text{"No hay volteo"} \\ \text{"No hay volteo"} \\ \text{else} \\ \text{"Modificar cimentación"} \end{cases}$$

Revisando cortante en una dirección.

Plano Y (Paralelo a L)

$$\phi V_y := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot L \cdot d = 42.19 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := q_u \cdot L \cdot \left(\frac{B-b}{2} - d \right) = 10.37 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{y1D} := \frac{V_{uy}}{\phi V_y} = 24.59 \%$$

Plano X (Paralelo a B)

$$\phi V_x := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot B \cdot d = 28.12 \text{ tonnef}$$

$$V_{ux} := q_u \cdot B \cdot \left(\frac{L-l}{2} - d \right) = 10.58 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{x1D} \quad \frac{V_{ux}}{\phi V_x} \quad 37.61 \%$$

Revisando cortante en dos direcciones.

$$V_{u2D} := P_u - q_u \cdot (b + d) \cdot (l + d) = 38.2 \text{ tonnef}$$

$$\beta := \frac{L}{B} = 1.5$$

$$b_0 := 2 \cdot (l + d) + 2 \cdot (b + d) = 470 \text{ cm}$$

$$\alpha_s := 40$$

$$\phi V_{c1} := \phi_v \cdot 4 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 132.2 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c2} := \phi_v \cdot \left(2 + \frac{4}{\beta}\right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 154.2 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c3} := \phi_v \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2\right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 136.4 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{2D} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c1}} \quad \%V_{2D} \begin{matrix} 2 \\ 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c2}} \quad \%V_{2D} \begin{matrix} 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c3}}$$

$$\%V_{2D} = \begin{vmatrix} 28.9 \\ 24.77 \\ 28.01 \end{vmatrix} \%$$

Revisando la flexión en ambos sentidos.

Plano Y (Paralelo a L)

$$M_{uy} := \frac{q_u \cdot \left(\left(\frac{B-b}{2}\right)^2\right)}{2} = 1.854 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{uy} := \frac{M_{uy}}{d^2} = 29.66 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_y := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{uy}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}}\right) = 0.0007924$$

$$A_{sy} = \rho_y \cdot d = 1.981 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s\#} := 1.27 \text{ cm}^2$$

$$S_y := \frac{A_{s\#}}{A_{sy}} = 64.11 \text{ cm}$$

Plano X (Paralelo a B)

$$M_{ux} := \frac{q_u \cdot \left(\left(\frac{L-1}{2} \right)^2 \right)}{2} = 3.295 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{ux} := \frac{M_{ux}}{d^2} = 52.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_x := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{ux}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.00142$$

$$A_{sx} := \rho_x \cdot d = 3.549 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_x := \frac{A_{s\#}}{A_{sx}} = 35.78 \text{ cm}$$

Acero mínimo para ambas direcciones.

$$A_{smín} := \min \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot d, \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot d \right] \right) = 6.696 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{smín} := \frac{A_{s\#}}{A_{smín}} = 18.97 \text{ cm}$$

Acero por temperatura.

$$A_{stemp} := 0.0018 \cdot h = 5.4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{stemp} = \frac{A_{s\#}}{A_{stemp}} = 23.52 \text{ cm}$$

Separación mínima por temperatura.

$$S_{smintemp} = 18 \text{ in} = 45.72 \text{ cm}$$

Separación del acero longitudinal.

$$S_x := \min \left(\left[S_x \quad S_{smín} \quad S_{stemp} \quad S_{smintemp} \right] \right) = 18.97 \text{ cm}$$

$$S_y := \min \left(\left[S_y \quad S_{smín} \quad S_{stemp} \quad S_{smintemp} \right] \right) = 18.97 \text{ cm}$$

Usar varillas del #4@15cm

REVISIÓN DE ZAPATA ZA-5

Son las zapatas que soportarán a las columnas de viento.

$$\text{Clear} \left(P_u, V_y, V_x \right) = 1$$

$$P_{u1} := 3.4 \text{ tonnef} \quad V_{y1} := -0 \text{ tonnef} \quad V_{x1} := 0 \text{ tonnef}$$

$$P_{u2} := 2.88 \text{ tonnef} \quad V_{y2} := 4.2 \text{ tonnef} \quad V_{x2} := 0 \text{ tonnef}$$

No se tienen cargas de extracción, pues no se le transmiten cargas axiales a las columnas de viento.

Placa base

Dimensiones y propiedades

$$d_c := 313 \text{ mm} \quad b_f := 166 \text{ mm}$$

$$f_y := 50 \text{ ksi} \quad f_{yp1} := 36 \text{ ksi} \quad E_s := 29000 \text{ ksi} \quad f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi_b = 0.9 \quad \phi_A = 0.65$$

$$P_{upb} = P_{u1} = 3.4 \text{ tonnef}$$

$$h_p = 650 \text{ mm} \quad b_p = 400 \text{ mm}$$

$$A_2 = h_p \cdot b_p = 2600 \text{ cm}^2$$

Cálculo del área requerida

$$A_1 := \left\{ \begin{array}{l} g(x) := \phi_A \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{x}} \cdot x - P_u = 1 \text{ cm}^2 \\ i := 1 \text{ cm}^2 \\ \text{while } g(i) < 0 \\ \quad i := i + 1 \text{ cm}^2 \\ i \end{array} \right.$$

Dimensiones mínimas de la placa base

$$N_{min} := d_c = 31.3 \text{ cm}$$

$$B_{min} := b_f = 16.6 \text{ cm}$$

Se proponen las siguientes dimensiones.

$$N := 360 \text{ mm} \quad B := 300 \text{ mm}$$

$$A_1 := N \cdot B = 1080 \text{ cm}^2$$

La resistencia por aplastamiento del concreto es:

$$B_{n1} := \phi_A \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 185.2 \text{ tonnef}$$

$$B_{n2} := \phi_A \cdot 2 \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot A_1 = 238.7 \text{ tonnef}$$

Para determinar el espesor de la placa se sabe que:

$$M_{upl} := \frac{P_{upb}}{B \cdot N} \cdot \frac{l^2}{2}$$

$$\phi M_{plr} := \phi_b \cdot f_{yp1} \cdot \frac{t_p^2}{4}$$

Donde l es el mayor de los siguientes tres valores:

$$m := \frac{N - 0.95 \cdot d_c}{2} = 3.132 \text{ cm} \quad n := \frac{B - 0.8 \cdot b_f}{2} = 8.36 \text{ cm} \quad \lambda'_n := \frac{\sqrt{d_c \cdot b_f}}{4} = 5.699 \text{ cm}$$

$$l := \max \left(\left[m \quad n \quad \lambda'_n \right] \right) = 8.36 \text{ cm}$$

$$f \left(t_p \right) := \phi_b \cdot f_{yp1} \cdot \frac{t_p^2}{4} - \frac{P_u}{B \cdot N} \cdot \frac{l^2}{2}$$

$$t_p := \left| \begin{array}{l} f(x) := \phi_b \cdot f_{yp1} \cdot \frac{x^2}{4} - \frac{P_{upb}}{B \cdot N} \cdot \frac{l^2}{2} = \frac{3}{16} \text{ in} \\ i := \frac{1}{16} \text{ in} \\ \text{while } f(i) < 0 \\ \quad i := i + \frac{1}{16} \text{ in} \\ i \end{array} \right.$$

$$t_p = \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$M_{up1} := \frac{P_{upb}}{B \cdot N} \cdot \frac{l^2}{2} = 0.11 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$\phi M_{plr} := \phi_b \cdot f_{yp1} \cdot \frac{t_p^2}{4} = 0.1292 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$\%M_{pl} := \frac{M_{up1}}{\phi M_{plr}} = 85.17 \%$$

Use placa de 3/16 de pulgada

Anclas

Dimensiones y propiedades. Dado que no hay extracción o alguna otra fuerza de tensión, sólo se considerará cortante en las anclas.

$$T_u := 0 \text{ tonnef}$$

$$V_u := 4.2 \text{ tonnef}$$

$$\phi_s := 0.75$$

$$\phi_A := 2.5 \text{ cm}$$

$$N_s := 2$$

$$F_{ya} := 250 \text{ MPa}$$

$$F_{ua} := 400 \text{ MPa}$$

$$A_{seV} := \frac{\pi \cdot \phi_A^2}{4} = 4.909 \text{ cm}^2$$

$$\phi_s := 0.75$$

Revisión por cortante.

$$\phi F_{nv} := \phi_s \cdot 0.45 \cdot F_{ua} = 135 \text{ MPa}$$

$$f_v := \frac{V_u}{N_s \cdot A_{seV}} = 41.95 \text{ MPa}$$

$$\%V = \frac{f_v}{\phi F_{nv}} = 31.08 \%$$

Calculando la longitud de anclaje.

$$f_{yl} = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \lambda = 1 \quad \Psi_r = 1 \quad \Psi_e = 1 \quad \Psi_o = 1 \quad f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\Psi_c := \frac{f'_c}{15000 \text{ psi}} + 0.6 = 0.7896$$

$$\varnothing_{varillaP} := 19.1 \text{ mm}$$

$$l_{dh1} := \frac{f_{yl}}{55 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_e \cdot \Psi_o \cdot \Psi_c \cdot \left(\frac{\varnothing_{varillaP}}{\text{in}} \right)^{1.5} \text{ in} = 266.3 \text{ mm}$$

$$l_{dh2} := 8 \cdot \varnothing_{varillaP} = 152.8 \text{ mm}$$

$$l_{dh3} := 6 \text{ in} = 152.4 \text{ mm}$$

Considerando que el cono de concreto se arranca con 35° respecto a la horizontal.

$$g := 280 \text{ mm} \quad r := 50 \text{ mm}$$

$$h_{ef} := l_{dh1} + r + \frac{g}{1.5} = 503 \text{ mm}$$

Dado

Debido a la ausencia de momento, el pedestal se revisará como columna corta sometida sólo a carga axial.

$$l := 65 \text{ cm} \quad b := 40 \text{ cm} \quad H := 1.2 \text{ m}$$

$$A_{smin} = 0.01 \cdot l \cdot b = 26 \text{ cm}^2 \quad A_g = l \cdot b = 2600 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0.04 \cdot l \cdot b = 104 \text{ cm}^2$$

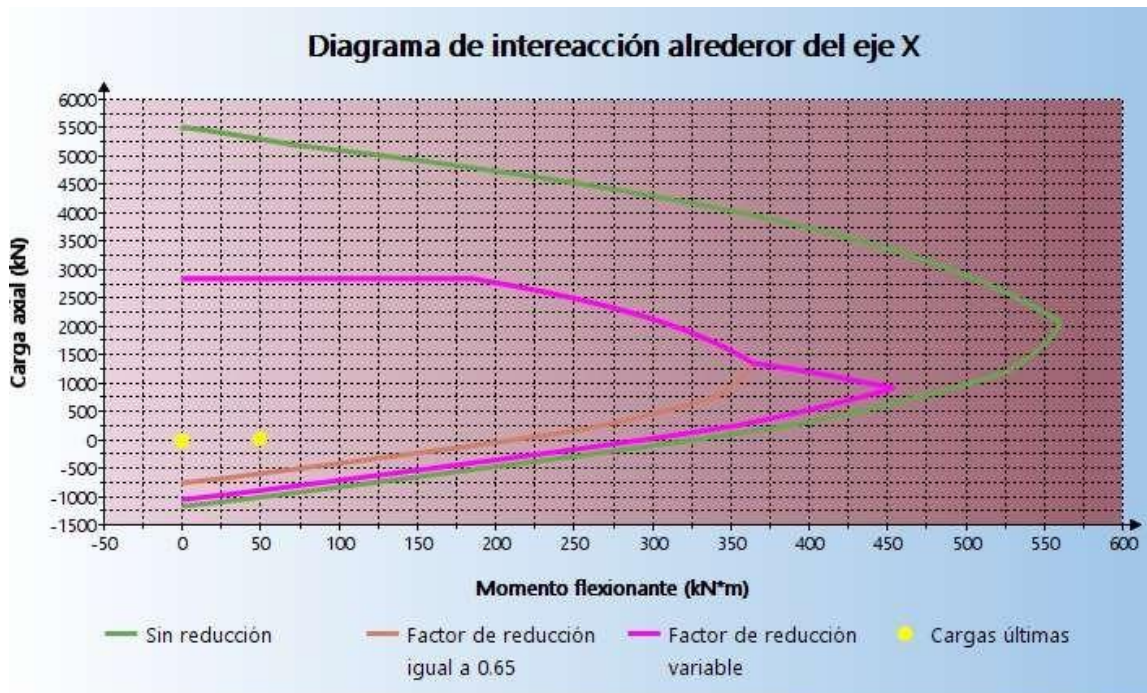
Se propone el siguiente arreglo para acero longitudinal.

$$N = 10 \quad A_{s\#} = 285 \text{ mm}^2 \quad \varnothing_s = 19.1 \text{ mm}$$

$$A_s = N \cdot A_{s\#} = 2850 \text{ mm}^2$$

La resistencia que considera la excentricidad es:

$$f_{yv} := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$



$$P_{R\phi x} := 19.8 \text{ tonnef}$$

$$\%P := \frac{P_u}{P_{R\phi x}} = 14.55 \%$$

Obteniendo el arreglo para el refuerzo transversal. Se propone usar estribos del número 3.

$$\phi_{st} := 0.95 \text{ cm} \quad A_{st} := 0.71 \text{ cm}^2$$

$$s_{max} := \min \left(\left[\frac{850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{f_y \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot \phi_s \cdot 48 \cdot \phi_{st} \cdot \frac{b}{2} \right], \left[\frac{H}{6} \right] \right) = 20 \text{ cm}$$

Longitud de confinamiento.

$$l_{conf} := \max \left(\left[1 \cdot \frac{H}{6} \right], 60 \text{ cm} \right) = 65 \text{ cm}$$

$$s_{conf} = \frac{s_{max}}{2} = 10 \text{ cm}$$

Use 10 cm de separación dentro de la zona de confinamiento

Se revisarán las dimensiones de la zapata para cubrir con estas solicitaciones.

$$q_a := 22.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad H_{desplante} := 1.2 \text{ m} \quad l := 65 \text{ cm} \quad b := 40 \text{ cm}$$

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad r := 5 \text{ cm} \quad \gamma_c := 2.4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_s := 1.993 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} \quad \phi_v := 0.75 \quad \phi_b := 0.9$$

Se proponen las siguientes dimensiones para la zapata.

$$d := 15 \text{ cm} \quad L := 2 \text{ m} \quad B := 2 \text{ m}$$

$$h := r + d = 20 \text{ cm}$$

Se considerará un cortante importante, por lo que se revisarán las excentricidades para determinar la presión de contacto.

$$M_1 := V_{y1} \cdot h = 0 \text{ tonnef m} \quad M_2 := V_{y2} \cdot h = 0.84 \text{ tonnef m}$$

$$e_{1y} := \frac{M_1}{P_{u1}} = 0 \text{ cm} \quad e_{2y} := \frac{M_2}{P_{u2}} = 29.17 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{6} = 33.33 \text{ cm}$$

Se encuentra dentro del tercio medio. Revisando las cargas con la excentricidad mayor.

$$q_{max} := \frac{P_u}{L \cdot B} + \frac{6 \cdot M_2}{B \cdot L^2} = 1.35 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_{min} := \left(\frac{P_u}{L \cdot B} - \frac{6 \cdot M_2}{B \cdot L^2} \right) = 0.09 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Comprobando la presión de contacto.

$$q_e := q_a - \gamma_c \cdot (h) - \gamma_s \cdot (H_{desplante} - (h)) = 20.26 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_{u1} := q_{\max} = 1.35 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_{u2} := \frac{P_u}{B \cdot L} = 0.85 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$P_C := \begin{cases} \text{if } q_{u1} < q_e & = \text{"El suelo resiste"} \\ \text{"El suelo resiste"} & \\ \text{else} & \\ \text{"El suelo no resiste"} & \end{cases}$$

Revisando el factor de seguridad para volteo. En este caso se consideraron los siguientes elementos mecánicos. Como la carga axial es compresión, favorece a la estabilidad.

$$P_{uV} := 2.88 \text{ tonnef} \quad V_{yV} := 4.21 \text{ tonnef} \quad V_{xV} := 0 \text{ tonnef}$$

EL momento de los elementos que dan estabilidad es:

$$M_{\text{estabilidad}} := 13.02 \text{ tonnef m}$$

El momento ocasionado por la tensión más el cortante es:

$$M_{PuV} := 0 \text{ tonnef} = 0 \text{ tonnef m}$$

$$M_{VyV} := V_{yV} \cdot H_{desplante} = 5.052 \text{ tonnef m}$$

$$M_{\text{volteo}} := M_{PuV} + M_{VyV} = 5.052 \text{ tonnef m}$$

$$F_S_{\text{estabilidad}} := \frac{M_{\text{estabilidad}}}{M_{\text{volteo}}} = 2.577$$

$$\text{Estabilidad} := \begin{cases} \text{if } F_S_{\text{estabilidad}} \geq 2 & = \text{"No hay volteo"} \\ \text{"No hay volteo"} & \\ \text{else} & \\ \text{"Modificar cimentación"} & \end{cases}$$

Revisando cortante en una dirección.

Plano Y (Paralelo a L)

$$\phi V_y := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot L \cdot d = 16.87 \text{ tonnef}$$

$$q := \frac{\left(B - \left(\frac{B-b}{2} - d \right) \right) \cdot (q_{\max} - q_{\min})}{B} + q_{\min} = 0.9405 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$V_{uyq} := q \cdot L \cdot \left(\frac{B-b}{2} - d \right) = 1.223 \text{ tonnef}$$

$$V_{uyq\max} := \frac{(q_{\max} - q) \cdot L \cdot \left(\frac{B-b}{2} - d \right)}{2} = 0.2662 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := V_{uyq} + V_{uyq\max} = 1.489 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{y1D} := \frac{V_{uy}}{\phi V_y} = 8.823 \%$$

Plano X (Paralelo a B)

$$\phi V_x := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot B \cdot d = 16.87 \text{ tonnef}$$

$$q_{ux} := \frac{P_u}{L \cdot B} = 0.85 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$V_{ux} := q_{ux} \cdot B \cdot \left(\frac{L-l}{2} - d \right) = 0.8925 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{x1D} := \frac{V_{ux}}{\phi V_x} = 5.289 \%$$

Revisando cortante en dos direcciones. La presión más desfavorable con base en la excentricidad es:

$$q_{ux} = 0.85 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_{2D} := \frac{q_{\max} - q_{\min}}{B} \cdot \frac{B - (b + d)}{2} + q_{\min} = 0.5468 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

La presión de contacto más grande es la que se presenta en la dirección de X considerando la carga axial más grande.

$$V_{u2D} := P_u - q_{ux} \cdot (b + d) \cdot (l + d) = \begin{bmatrix} 3.026 \\ 2.506 \end{bmatrix} \text{ tonnef}$$

$$\beta := \frac{L}{B} = 1$$

$$b_0 := 2 \cdot (l + d) + 2 \cdot (b + d) = 270 \text{ cm}$$

$$\alpha_s := 40$$

$$\phi V_{c1} := \phi_v \cdot 4 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 45.56 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c2} := \phi_v \cdot \left(2 + \frac{4}{\beta} \right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 68.34 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c3} := \phi_v \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2 \right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 48.09 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{2D}_1 := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c1}} \quad \%V_{2D}_2 := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c2}} \quad \%V_{2D}_3 := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c3}}$$

$$\%V_{2D} = \begin{bmatrix} 6.642 \\ 4.428 \\ 6.292 \end{bmatrix} \%$$

Revisando la flexión en ambos sentidos.

Plano Y (Paralelo a L)

$$M_{uy} := \frac{q_{ux} \cdot \left(\left(\frac{B-b}{2} \right)^2 \right)}{2} = 0.272 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{uy} = \frac{M_{uy}}{d^2} = 12.09 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_y := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{uy}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.0003211$$

$$A_{sy} := \rho_y \cdot d = 0.4816 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s\#} := 127 \text{ mm}^2$$

$$S_y := \frac{A_{s\#}}{A_{sy}} = 263.7 \text{ cm}$$

Plano X (Paralelo a B)

$$q_{uf} := \frac{q_{\max} - q_{\min}}{B} \cdot \left(B - \frac{B - b}{2} \right) + q_{\min} = 0.846 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$M_{ux} := \frac{q_{uf} \cdot \left(\left(\frac{L - l}{2} \right)^2 \right)}{2} = 0.1927 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{ux} := \frac{M_{ux}}{d^2} = 8.566 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_x := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{ux}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.0002272$$

$$A_{sx} := \rho_x \cdot d = 0.3409 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_x := \frac{A_{s\#}}{A_{sx}} = 372.6 \text{ cm}$$

Acero mínimo para ambas direcciones.

$$A_{s\min} := \min \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot d \quad \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot d \right] \right) = 4.018 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{s\min} = \frac{A_{s\#}}{A_{s\min}} = 31.61 \text{ cm}$$

Acero por temperatura.

$$A_{stemp} = 0.0018 \cdot h \cdot 3.6 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{stemp} := \frac{A_{s\#}}{A_{stemp}} = 35.28 \text{ cm}$$

Separación mínima por temperatura.

$$S_{smintemp} := 18 \text{ in} = 45.72 \text{ cm}$$

Separación del acero longitudinal.

$$S_x := \min \left(\left[S_x \quad S_{smín} \quad S_{stemp} \quad S_{smintemp} \right] \right) = 31.61 \text{ cm}$$

$$S_y := \min \left(\left[S_y \quad S_{smín} \quad S_{stemp} \quad S_{smintemp} \right] \right) = 31.61 \text{ cm}$$

Usar varillas del #4@30cm

REVISIÓN DE ZAPATA ZA-2

Estas son las cimentaciones para la zona de oficinas. Dado que se tienen trabes de liga en una dirección y zapata corrida en la otra, Se considerará que la zapata trabaja sólo a carga axial.

$$P_u := 89.26 \text{ tonnef}$$

Debido a las grandes cargas en esta zona, no se presentan cargas de extracción, pues la carga muerta compensa el efecto del viento. o sismo.

Dado

Combinaciones para la revisión del dado:

P_{uD} 1	89.26 tonnef	M_{uDx} 1	3.4 tonnef m	M_{uDy} 1	0.13 tonnef m
P_{uD} 2	64.17 tonnef	M_{uDx} 2	14.8 tonnef m	M_{uDy} 2	0.007 tonnef m
P_{uD} 3	31.97 tonnef	M_{uDx} 3	2.1 tonnef m	M_{uDy} 3	6.3 tonnef m

Las dimensiones del dado son las siguientes

$$l := 75 \text{ cm}$$

$$b := 75 \text{ cm}$$

$$H := 2.5 \text{ m}$$

$$A_{smin} = 0.01 \cdot l \cdot b = 56.25 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = l \cdot b = 5625 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0.04 \cdot l \cdot b = 225 \text{ cm}^2$$

Se propone el siguiente arreglo para acero longitudinal.

$$N = 12$$

$$A_{s\#} := 507 \text{ mm}^2$$

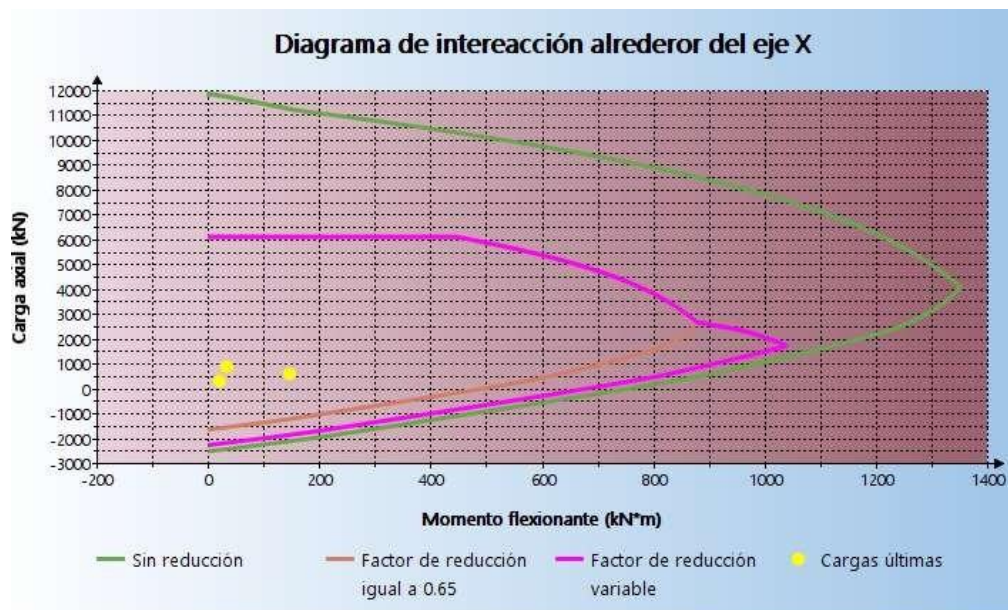
$$\phi_s = 25.4 \text{ mm}$$

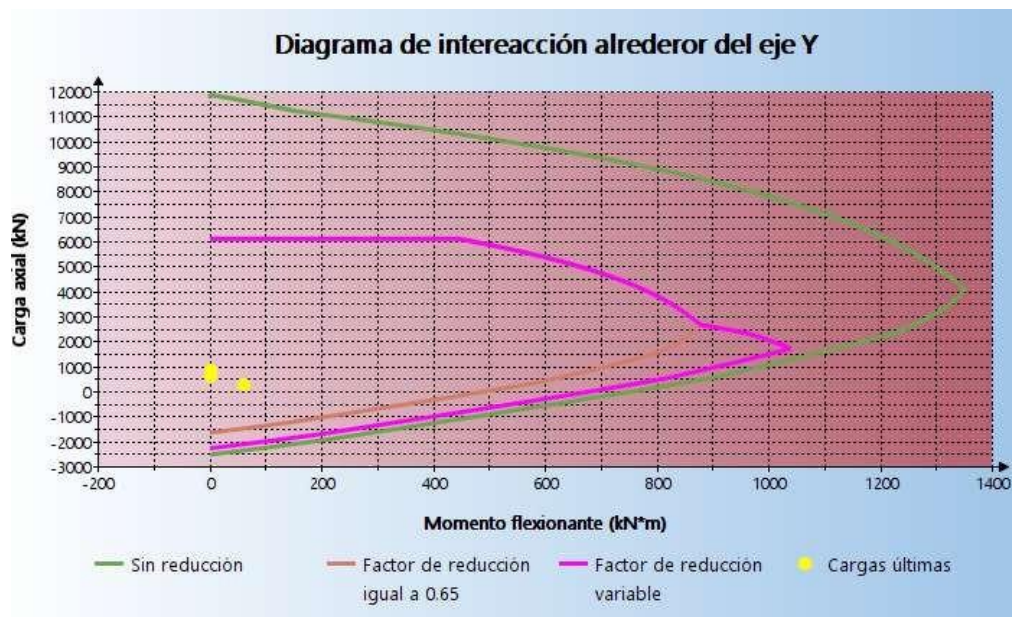
$$A_s := N \cdot A_{s\#} = 60.84 \text{ cm}^2$$

Los diagramas de interacción en ambos sentidos son los siguientes.

$$f_{yv} := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$





Considerando las excentricidades, las cargas que puede resistir el dado son:

$$P_n := \begin{bmatrix} 520.5 \\ 325.3 \\ 359.7 \end{bmatrix} \text{ tonnef}$$

$$\%P_{n1} := \frac{P_{uD}}{P_n} \frac{1}{1} = 17.15 \%$$

$$\%P_{n2} := \frac{P_{uD}}{P_n} \frac{2}{2} = 19.73 \%$$

$$\%P_{n3} := \frac{P_{uD}}{P_n} \frac{3}{3} = 8.888 \%$$

Obteniendo el arreglo para el refuerzo transversal. Se propone usar estribos del número 3.

$$\phi_{st} := 0.95 \text{ cm} \quad A_{st} := 0.71 \text{ cm}^2$$

$$s_{max} := \min \left(\left[\frac{850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{f_{yv} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \phi_s \geq 48 \phi_{st} \frac{b}{2} \right] \right) = 33.31 \text{ cm}$$

Longitud de confinamiento.

$$l_{conf} := \max \left(\left[1 \frac{H}{6} \geq 60 \text{ cm} \right] \right) = 75 \text{ cm}$$

$$s_{conf} \frac{s_{max}}{2} = 16.66 \text{ cm}$$

Use 15 cm de separación dentro de la zona de confinamiento

Placa base

Revisando la segunda combinación, pues resultó la más desfavorable:

$$P_u := 64.17 \text{ tonnef} \quad M_u := 14.8 \text{ tonnef m} \quad f_{yp1} := 36 \text{ ksi} \quad \phi_b := 0.9 \quad \phi_B := 0.65$$

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad A_2 = 5625 \text{ cm}^2$$

$$\emptyset_{ancla} := 19 \text{ mm} \quad d := 305 \text{ mm} \quad b := 305 \text{ mm} \quad G := 200 \text{ mm} \quad N := 500 \text{ mm} \quad B := 500 \text{ mm}$$

$$J := 106 \text{ mm}$$

Dimensiones mínimas de la placa.

$$N_{min} := 2 \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \emptyset_{ancla}) + d = 419 \text{ mm}$$

$$B_{min} := 2 \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \emptyset_{ancla}) + b = 419 \text{ mm}$$

Con la fórmula de la escuadría se obtiene la distribución de los esfuerzos.

$$A_1 := N \cdot B = 2500 \text{ cm}^2$$

$$S := \frac{B \cdot N^2}{6} = 20830 \text{ cm}^3$$

$$f := \begin{bmatrix} \frac{P_u}{A_1} + \frac{M_u}{S} \\ \frac{P_u}{A_1} - \frac{M_u}{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 96.71 \\ -45.37 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Como los esfuerzos no se distribuyen en toda la longitud, se obtiene la tensión en las anclas y la compresión en el concreto con sumatoria de momentos y de fuerzas.

$$\begin{aligned} -P_u - T + \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) &= 0 \\ T \cdot G + \left(\frac{N}{2} - \frac{1}{3} \cdot kd \right) \cdot \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) - M_u &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} kd &:= \begin{cases} i := 1 \text{ mm} \\ w(kd) := \left(-P_u + \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) \right) \cdot G + \left(\frac{N}{2} - \frac{1}{3} \cdot kd \right) \cdot \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) - M_u \\ \text{while } w(i) \leq 0 \\ \quad i := i + 1 \text{ mm} \\ i \end{cases} &= 340 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$T := \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) - P_u = 18.03 \text{ tonnef}$$

$$C := \frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B = 82.2 \text{ tonnef}$$

El esfuerzo por la fuerza de compresión, el cual varía de forma lineal, es:

$$f_{d1} := \frac{C}{kd \cdot B} = 48.35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{d2} := \frac{2}{3} \cdot f_{d1} = 32.24 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi B_n := \min \left(\left[\phi_B \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad \phi_B \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot 2 \right] \right) = 165.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El momento de diseño es

$$M_p := f_{d2} \cdot \frac{J^2}{2} + (f_{d1} - f_{d2}) \cdot \frac{J}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot J = 2.415 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

Momento en la dirección transversal

$$t_p := \sqrt{\frac{6 \cdot M_p}{\phi_b \cdot f_{yp1}}} = 25.22 \text{ mm}$$

$$t_p := 1 \text{ in}$$

Anclas

Los dos cortantes actuando en la placa base correspondientes a la combinación más desfavorable son:

$$V_{y\text{ancla}} := 5272 \text{ kgf} \quad V_{x\text{ancla}} := 251 \text{ kgf}$$

$$V_u := \sqrt{V_{y\text{ancla}}^2 + V_{x\text{ancla}}^2} = 5.278 \text{ tonnef}$$

$$T_u := T = 18.03 \text{ tonnef} \quad F_{ya} := 250 \text{ MPa} \quad F_{ua} := 400 \text{ MPa} \quad A_a := \frac{\phi_{\text{ancla}}^2 \cdot \pi}{4} = 2.835 \text{ cm}^2$$

$$\phi_{\text{ancla}} = 19 \text{ mm} \quad N_T := 3 \quad N_S := 8 \quad \phi_s := 0.75$$

$$f_t = \frac{T_u}{N \cdot A_a} = 207.9 \text{ MPa} \quad f_v = \frac{V_u}{N \cdot A_a} = 22.82 \text{ MPa}$$

La resistencia considerando tensión y cortante es:

$$F_{nt} = 0.75 \cdot F_{ua} = 300 \text{ MPa} \quad F_{nv} = 0.45 \cdot F_{ua} = 180 \text{ MPa}$$

$$F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} \cdot \frac{F_{nt}}{\phi_s \cdot F_{nv}} \cdot f_v = 339.3 \text{ MPa}$$

$$\phi R_n := \phi_s \cdot F'_{nt} \cdot A_a = 7.357 \text{ tonnef}$$

$$\%T := \frac{T_u}{N_T \cdot \phi R_n} = 81.7 \%$$

Longitud de anclaje.

$$f_{yl} := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \lambda := 1 \quad \psi_r := 1 \quad \psi_e := 1 \quad \psi_o := 1 \quad f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\psi_c := \frac{f'_c}{15000 \text{ psi}} + 0.6 = 0.7896$$

$$\phi_{varillaP} := 25.4 \text{ mm}$$

$$l_{dh1} := \frac{f_{yl}}{55 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}} \cdot \psi_r \cdot \psi_e \cdot \psi_o \cdot \psi_c \cdot \left(\frac{\phi_{varillaP}}{\text{in}} \right)^{1.5} \quad \text{in} = 408.4 \text{ mm}$$

$$l_{dh2} := 8 \cdot \phi_{varillaP} = 203.2 \text{ mm}$$

$$l_{dh3} := 6 \text{ in} = 152.4 \text{ mm}$$

Considerando que el cono de concreto se arranca con 35° respecto a la horizontal.

$$g := 177 \text{ mm} \quad r := 50 \text{ mm}$$

$$h_{ef} := l_{dh1} + r + \frac{g}{1.5} = 576.4 \text{ mm}$$

Las dimensiones de la zapata y las propiedades del suelo son:

$$q_a = 22.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad H_{desplante} = 2.5 \text{ m} \quad l = 75 \text{ cm} \quad b = 75 \text{ cm}$$

$$f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad r = 5 \text{ cm} \quad \gamma_c = 2.4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_s = 1.993 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} \quad \phi_v = 0.75 \quad \phi_b = 0.9$$

Se proponen las siguientes dimensiones para la zapata.

$$d = 20 \text{ cm} \quad L = 2.3 \text{ m} \quad B = 2.3 \text{ m}$$

Dado que la excentricidad es muy pequeña, se considerará que la presión de contacto es uniforme.

$$h := d + r = 25 \text{ cm}$$

$$q_e := q_a - \gamma_c \cdot (h) - \gamma_s \cdot (H_{desplante} - (d + r)) = 17.65 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_u := \frac{P_u}{L \cdot B} = 12.13 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$P_C := \begin{cases} \text{if } q_u < q_e & = \text{"El suelo resiste"} \\ \text{"El suelo resiste"} \\ \text{else} \\ \text{"El suelo no resiste"} \end{cases}$$

Revisando cortante en una dirección.

Ambos planos (Cimentación simétrica)

$$\phi V_y := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot L \cdot d = 25.87 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := q_u \cdot L \cdot \left(\frac{B-b}{2} - d \right) = 16.04 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{y1D} := \frac{V_{uy}}{\phi V_y} = 62 \%$$

Revisando cortante en dos direcciones.

$$V_{u2D} := P_u - q_u \cdot (b + d) \cdot (1 + d) = 53.22 \text{ tonnef}$$

$$\beta := \frac{L}{B} = 1$$

$$b_0 := 2 \cdot (1 + d) + 2 \cdot (b - d) = 380 \text{ cm}$$

$$\alpha_s := 40$$

$$\phi V_{c1} := \phi_v \cdot 4 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 85.5 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c2} := \phi_v \cdot \left(2 + \frac{4}{\beta} \right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 128.2 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c3} := \phi_v \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2 \right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 87.75 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{2D} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c1}} \quad \%V_{2D} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c2}} \quad \%V_{2D} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c3}}$$

$$\%V_{2D} = \begin{vmatrix} 62.25 \\ 41.5 \\ 60.65 \end{vmatrix} \%$$

Revisando la flexión en ambos sentidos.

Ambos Planos

$$M_{uy} := \frac{q_u \cdot \left(\left(\frac{B-b}{2} \right)^2 \right)}{2} = 3.643 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{uy} := \frac{M_{uy}}{d^2} = 91.07 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_y := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{uy}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.002486$$

$$A_{sy} := \rho_y \cdot d = 4.971 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s\#} := 1.27 \text{ cm}^2$$

$$S_y := \frac{A_{s\#}}{A_{sy}} = 25.55 \text{ cm}$$

Acero mínimo para ambas direcciones.

$$A_{smin} := \min \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot d \cdot \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot d \right] \right) = 5.357 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{smin} \frac{A_{s\#}}{A_{smin}} = 23.71 \text{ cm}$$

Acero por temperatura.

$$A_{stemp} = 0.0018 \cdot h \cdot 4.5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{stemp} := \frac{A_{s\#}}{A_{stemp}} = 28.22 \text{ cm}$$

Separación mínima por temperatura.

$$S_{smintemp} := 18 \text{ in} = 45.72 \text{ cm}$$

Separación del acero longitudinal.

$$S := \min \left(\left[S_y \quad S_{smin} \quad S_{stemp} \quad S_{smintemp} \right] \right) = 23.71 \text{ cm}$$

Use varillas del #4@15 cm

REVISIÓN DE ZAPATA ZA-3

Se refiere a las fundaciones que soportarán las columnas del eje E, donde las oficinas se separan en dos cuerpos. La carga última se obtuvo de sumar la más desfavorable con la carga de su columna colindante.

$$P_{u1} := 40.26 \text{ tonnef} \quad P_{u2} := 35.46 \text{ tonnef}$$

$$P_u := P_{u1} + P_{u2} = 75.72 \text{ tonnef}$$

No se presentan cargas de extracción por razones que ya se han explicado anteriormente.

Dado

Combinaciones para la revisión del dado:

$P_{uD1} := 61.4 \text{ tonnef}$	$M_{uDx1} := 17.5 \text{ tonnef m}$	$M_{uDy1} := 1.4 \text{ tonnef m}$
$P_{uD2} := 55 \text{ tonnef}$	$M_{uDx2} := 3 \text{ tonnef m}$	$M_{uDy2} := 6.5 \text{ tonnef m}$
$P_{uD3} := 76.3 \text{ tonnef}$	$M_{uDx2} := 2.3 \text{ tonnef m}$	$M_{uDy2} := 0.24 \text{ tonnef m}$

Las dimensiones del dado son las siguientes

$$l := 55 \text{ cm} \quad b := 100 \text{ cm} \quad H := 2.5 \text{ m}$$

$$A_{smin} := 0.01 \cdot l \cdot b = 55 \text{ cm}^2$$

$$A_2 \cdot l \cdot b = 5500 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0.04 \cdot l \cdot b = 220 \text{ cm}^2$$

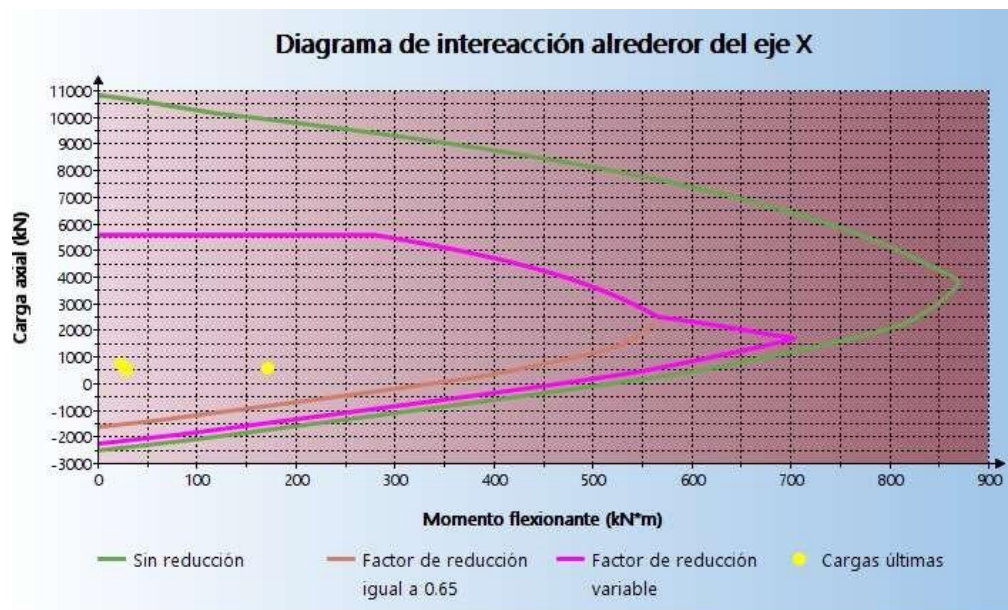
Se propone el siguiente arreglo para acero longitudinal.

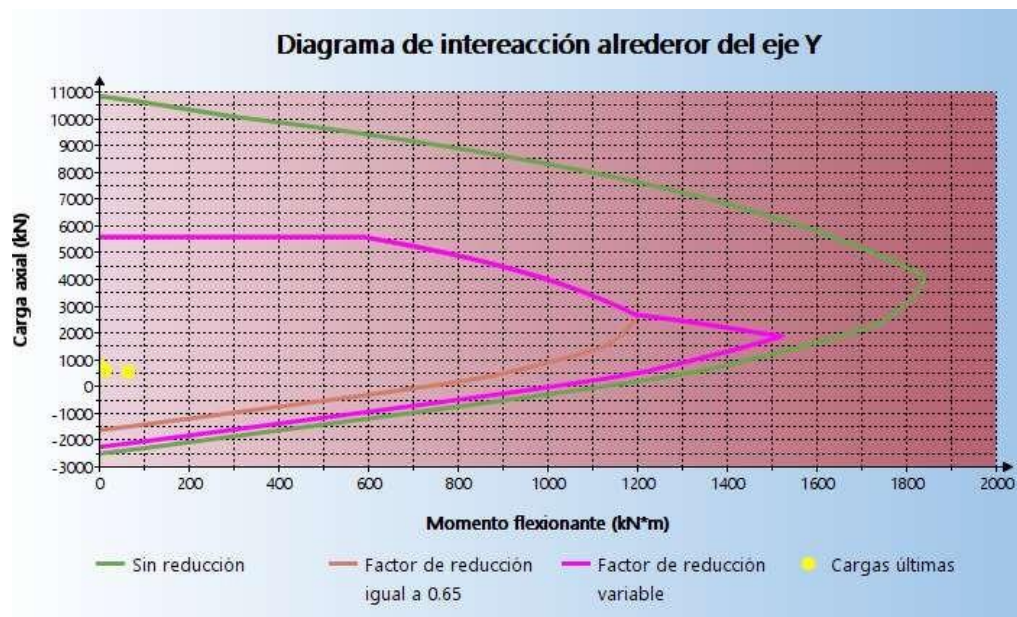
$$N = 12 \quad A_{s\#} = 507 \text{ mm}^2 \quad \phi_s = 25.4 \text{ mm}$$

$$A_s = N \cdot A_{s\#} = 60.84 \text{ cm}^2$$

Los diagramas de interacción en ambos sentidos son los siguientes.

$$f_{yv} := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$





Considerando las excentricidades, las cargas que puede resistir el dado son:

$$P_n := \begin{bmatrix} 207.19 \\ 454.94 \\ 474.46 \end{bmatrix} \text{ tonnef}$$

$$\%P_{n1} := \frac{P_{uD}}{P_n} \frac{1}{1} = 29.63 \% \quad \%P_{n2} := \frac{P_{uD}}{P_n} \frac{2}{2} = 12.09 \% \quad \%P_{n3} := \frac{P_{uD}}{P_n} \frac{3}{3} = 16.08 \%$$

Obteniendo el arreglo para el refuerzo transversal. Se propone usar estribos del número 3.

$$\phi_{st} := 0.95 \text{ cm} \quad A_{st} := 0.71 \text{ cm}^2$$

$$s_{max} := \min \left(\left[\frac{850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{f_{yv} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \phi_s \geq 48 \phi_{st} \frac{b}{2} \right] \right) = 33.31 \text{ cm}$$

Longitud de confinamiento.

$$l_{conf} := \max \left(\left[l \frac{H}{6} \geq 60 \text{ cm} \right] \right) = 60 \text{ cm}$$

$$s_{conf} \frac{s_{max}}{2} = 16.66 \text{ cm}$$

Use 15 cm de separación dentro de la zona de confinamiento

Placa base

Revisando la segunda combinación, pues resultó la más desfavorable:

$$P_u := 61.4 \text{ tonnef} \quad M_u := 17.5 \text{ tonnef m} \quad f_{yp1} := 36 \text{ ksi} \quad \phi_b := 0.9 \quad \phi_B := 0.65$$

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad A_2 = 5500 \text{ cm}^2$$

$$\phi_{ancla} := 19 \text{ mm} \quad d := 305 \text{ mm} \quad b := 730 \text{ mm} \quad G := 190 \text{ mm} \quad N := 500 \text{ mm} \quad B := 950 \text{ mm}$$

$$J := 106 \text{ mm}$$

Dimensiones mínimas de la placa.

$$N_{min} := 2 \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \phi_{ancla}) + d = 419 \text{ mm}$$

$$B_{min} := 2 \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \phi_{ancla}) + b = 844 \text{ mm}$$

Con la fórmula de la escuadría se obtiene la distribución de los esfuerzos.

$$A_1 := N \cdot B = 4750 \text{ cm}^2$$

$$S := \frac{B \cdot N^2}{6} = 39580 \text{ cm}^3$$

$$f := \begin{bmatrix} \frac{P_u}{A_1} + \frac{M_u}{S} \\ \frac{P_u}{A_1} - \frac{M_u}{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 57.14 \\ -31.28 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Como los esfuerzos no se distribuyen en toda la longitud, se obtiene la tensión en las anclas y la compresión en el concreto con sumatoria de momentos y de fuerzas.

$$-P_u - T + \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) = 0$$

$$T \cdot G + \left(\frac{N}{2} - \frac{1}{3} \cdot kd \right) \cdot \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) - M_u = 0$$

$$kd := \begin{cases} i := 1 \text{ mm} \\ w(kd) := \left(-P_u + \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) \right) \cdot G + \left(\frac{N}{2} - \frac{1}{3} \cdot kd \right) \cdot \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) - M_u \\ \text{while } w(i) \leq 0 \\ i := i + 1 \text{ mm} \\ i \end{cases} = 324 \text{ mm}$$

$$T := \left(\frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B \right) - P_u = 26.53 \text{ tonnef}$$

$$C := \frac{kd}{2} \cdot f_1 \cdot B = 87.93 \text{ tonnef}$$

El esfuerzo por la fuerza de compresión, el cual varía de forma lineal, es:

$$f_{d1} := \frac{C}{kd \cdot B} = 28.57 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{d2} := \frac{2}{3} \cdot f_{d1} = 19.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi B_n := \min \left(\left[\phi_B \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad \phi_B \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot 2 \right] \right) = 118.9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El momento de diseño es

$$M_p := f_{d2} \cdot \frac{J^2}{2} + (f_{d1} - f_{d2}) \cdot \frac{J}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot J = 1.427 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

Momento en la dirección transversal

$$t_p := \sqrt{\frac{6 \cdot M_p}{\phi_b \cdot f_{yp1}}} = 19.38 \text{ mm}$$

$$t_p := \frac{7}{8} \text{ in}$$

Anclas

Los dos cortantes actuando en la placa base correspondientes a la combinación más desfavorable son:

$$V_{yancla} := 5562 \text{ kgf} \quad V_{xancla} := 353 \text{ kgf}$$

$$V_u := \sqrt{V_{yancla}^2 + V_{xancla}^2} = 5.573 \text{ tonnef}$$

$$T_u \quad T \quad 26.53 \text{ tonnef} \quad F_{ya} \quad 250 \text{ MPa} \quad F_{ua} \quad 400 \text{ MPa} \quad A_a \quad \frac{\phi_{ancla}^2 \cdot \pi}{4} \quad 2.835 \text{ cm}^2$$

$$\phi_{ancla} \quad 19 \text{ mm} \quad N_T \quad 5 \quad N_S \quad 12 \quad \phi_s \quad 0.75$$

$$f_t = \frac{T_u}{N \cdot A_s} = 183.5 \text{ MPa} \quad f_v = \frac{V_u}{N \cdot A_s} = 16.06 \text{ MPa}$$

La resistencia considerando tensión y cortante es:

$$F_{nt} := 0.75 \cdot F_{ua} = 300 \text{ MPa} \quad F_{nv} := 0.45 \cdot F_{ua} = 180 \text{ MPa}$$

$$F'_{nt} := 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi_s \cdot F_{nv}} \cdot f_v = 354.3 \text{ MPa}$$

$$\phi R_n := \phi_s \cdot F'_{nt} \cdot A_a = 7.683 \text{ tonnef}$$

$$\%T := \frac{T_u}{N_T \cdot \phi R_n} = 69.07 \%$$

Longitud de anclaje.

$$f_{yl} := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \lambda := 1 \quad \Psi_r := 1 \quad \Psi_e := 1 \quad \Psi_o := 1 \quad f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\Psi_c := \frac{f'_c}{15000 \text{ psi}} + 0.6 = 0.7896$$

$$\emptyset_{varillaP} := 25.4 \text{ mm}$$

$$l_{dh1} := \frac{f_{yl}}{55 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_e \cdot \Psi_o \cdot \Psi_c \cdot \left(\frac{\emptyset_{varillaP}}{\text{in}} \right)^{1.5} \text{ in} = 408.4 \text{ mm}$$

$$l_{dh2} := 8 \cdot \emptyset_{varillaP} = 203.2 \text{ mm}$$

$$l_{dh3} := 6 \text{ in} = 152.4 \text{ mm}$$

Considerando que el cono de concreto se arranca con 35° respecto a la horizontal.

$$g := 57 \text{ mm} \quad r := 50 \text{ mm}$$

$$h_{ef} := l_{dh1} + r + \frac{g}{1.5} = 496.4 \text{ mm}$$

Las dimensiones de la zapata y las propiedades del suelo son:

$$\begin{aligned}
 q_a &= 22.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} & H_{desplante} &= 2.5 \text{ m} & l &= 100 \text{ cm} & b &= 55 \text{ cm} \\
 f'_c &= 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} & f_y &= 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} & r &= 5 \text{ cm} & \gamma_c &= 2.4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} \\
 \gamma_s &= 1.993 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} & \phi_v &= 0.75 & \phi_b &= 0.9
 \end{aligned}$$

Se proponen las siguientes dimensiones para la zapata.

$$d := 20 \text{ cm} \quad L := 2.5 \text{ m} \quad B := 1.8 \text{ m}$$

Dado que se cuenta con trabes de liga y contratrabe que dan soporte a las zapatas en ambas direcciones se considerará que la zapata sólo trabaja por carga concentrada

$$h := d + r = 25 \text{ cm}$$

$$q_e := q_a - \gamma_c \cdot (h) - \gamma_s \cdot (H_{desplante} - (d + r)) = 17.65 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_u := \frac{P_u}{L \cdot B} = 13.64 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$P_C := \begin{cases} \text{if } q_u < q_e & = \text{"El suelo resiste"} \\ \text{"El suelo resiste"} & \\ \text{else} & \\ \text{"El suelo no resiste"} & \end{cases}$$

Revisando cortante en una dirección.

Planos Y

$$\phi V_y := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot L \cdot d = 28.12 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := q_u \cdot L \cdot \left(\frac{B-b}{2} - d \right) = 14.5 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{Y1D} := \frac{V_{uy}}{\phi V_y} = 51.55 \%$$

Planos X

$$\phi V_y := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot B \cdot d = 20.25 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := q_u \cdot B \cdot \left(\frac{L-l}{2} - d \right) = 13.51 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{Y1D} := \frac{V_{uy}}{\phi V_y} = 66.71 \%$$

Revisando cortante en dos direcciones.

$$V_{u2D} := P_u - q_u \cdot (b+d) \cdot (l+d) = 49.12 \text{ tonnef}$$

$$\beta := \frac{L}{B} = 1.389$$

$$b_0 := 2 \cdot (l+d) + 2 \cdot (b+d) = 390 \text{ cm}$$

$$\alpha_s := 40$$

$$\phi V_{c1} := \phi_v \cdot 4 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 87.75 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c2} := \phi_v \cdot \left(2 + \frac{4}{\beta} \right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 107.1 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c3} := \phi_v \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2 \right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 88.87 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{2D}_1 := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c1}} \quad \%V_{2D}_2 := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c2}} \quad \%V_{2D}_3 := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c3}}$$

$$\%V_{2D} = \begin{bmatrix} 55.98 \\ 45.88 \\ 55.27 \end{bmatrix} \%$$

Revisando la flexión en ambos sentidos.

Plano Y

$$M_{uy} := \frac{q_u \cdot \left(\left(\frac{B-b}{2} \right)^2 \right)}{2} = 2.665 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{uy} = \frac{M_{uy}}{d^2} = 66.62 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_y := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{uy}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.001803$$

$$A_{sy} := \rho_y \cdot d = 3.605 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s\#} := 1.27 \text{ cm}^2$$

$$S_y := \frac{A_{s\#}}{A_{sy}} = 35.23 \text{ cm}$$

Plano X

$$M_{ux} := \frac{q_u \cdot \left(\left(\frac{L - l}{2} \right)^2 \right)}{2} = 3.838 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{ux} := \frac{M_{ux}}{d^2} = 95.94 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_x := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{ux}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.002623$$

$$A_{sx} := \rho_x \cdot d = 5.246 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_x := \frac{A_{s\#}}{A_{sx}} = 24.21 \text{ cm}$$

Acero mínimo para ambas direcciones.

$$A_{s\min} := \min \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot d \cdot \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot d \right] \right) = 5.357 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{s\min} := \frac{A_{s\#}}{A_{s\min}} = 23.71 \text{ cm}$$

Acero por temperatura.

$$A_{stemp} := 0.0018 \cdot h = 4.5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{stemp} = \frac{A_{s\#}}{A_{stemp}} = 28.22 \text{ cm}$$

Separación mínima por temperatura.

$$S_{smintemp} = 18 \text{ in} = 45.72 \text{ cm}$$

Separación del acero longitudinal.

$$S_y := \min \left(\left[S_y \quad S_{smín} \quad S_{stemp} \quad S_{smintemp} \right] \right) = 23.71 \text{ cm}$$

$$S_x := \min \left(\left[S_x \quad S_{smín} \quad S_{stemp} \quad S_{smintemp} \right] \right) = 23.71 \text{ cm}$$

REVISIÓN DE CORRIDA ZC-1

Para la revisión de esta zapata se considerará el peso propio del murete que soporta; así pues, se piensa que las solicitaciones son sumamente bajas.

$$\omega_{ZC} := 2.4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0.15 \text{ m} \cdot 1.3 = 468 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Las propiedades y dimensiones del suelo son las siguientes

$$q_a := 22.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad H_{desplante} := 1.2 \text{ m}$$

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad r := 5 \text{ cm} \quad \gamma_c := 2.4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_s := 1.993 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} \quad \phi_v := 0.75 \quad \phi_b := 0.9$$

$$B := 1 \text{ m} \quad h := 20 \text{ cm} \quad t := 20 \text{ cm}$$

La presión efectiva del suelo es:

$$q_e := q_a - \gamma_c \cdot h - \gamma_c \cdot (H_{desplante} - h) - \gamma_s \cdot (H_{desplante} - h) = 17.86 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

La presión aplicada al suelo por la carga es:

$$q_u = \frac{\omega_{ZC}}{B} = 0.468 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Revisión por cortante.

$$d = h - r = 15 \text{ cm}$$

$$\phi V_y := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot 1 \text{ m} \cdot d = 8.437 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := q_u \cdot 1 \text{ m} \cdot \left(\frac{B-t}{2} \right) = 0.1872 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{Y1D} := \frac{V_{uy}}{\phi V_y} = 2.219 \%$$

Revisión por flexión.

$$M_u := \frac{q_u \cdot \left(\left(\frac{B-t}{2} \right)^2 \right)}{2} = 0.03744 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_u := \frac{M_u}{d^2} = 1.664 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.00004405$$

$$A_s := \rho \cdot d = 0.06607 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s\#} := 71 \text{ mm}^2$$

$$S := \frac{A_{s\#}}{A_s} = 1075 \text{ cm}$$

Acero mínimo para ambas direcciones.

$$A_{s\min} := \min \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot d \cdot \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot d \right] \right) = 4.018 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{s\min} := \frac{A_{s\#}}{A_{s\min}} = 17.67 \text{ cm}$$

Acero por temperatura.

$$A_{stemp} := 0.0018 \cdot h = 3.6 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$S_{stemp} = \frac{A_{s\#}}{A_{stemp}} = 19.72 \text{ cm}$$

Separación mínima por temperatura.

$$S_{smintemp} = 18 \text{ in} = 45.72 \text{ cm}$$

La separación que rige es la mínima, por lo que en ambos sentidos se deberán colocar varillas del #3@15 cm

Finalmente, para el diseño del contratrabe se considera el siguiente momento último en el que se considera la presión del suelo, el peso del muro y los momentos transmitidos por las columnas.

$$M_u := 3.6 \text{ tonnef m}$$

Dado que el momento es muy pequeño, se revisará el momento resistente proporcionado por el acero mínimo.

$$f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad b := 20 \text{ cm} \quad d := 115 \text{ cm} \quad r := 5 \text{ cm}$$

$$A_{smín} := \max \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot b \cdot d \quad \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot b \cdot d \right] \right) = 770 \text{ mm}^2$$

Se considera colocar la mitad del área mínima cerca de la cara de tensión y el resto distribuido en las caras laterales con una separación como lo establece el código ACI 318-19 en su artículo 9.7.2.3

$$A_{s\#} := 127 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} := \frac{A_{smín}}{2} = 3.85 \text{ cm}^2$$

$$N := \frac{A_{st}}{A_{s\#}} = 3.032$$

Se sugiere colocar 3 varillas en el lecho inferior y 4 varillas en dos capas a 180 milímetros. La separación cumple con las máximas establecidas en el artículo 24.3.2 del código.

$$s_1 := 15 \text{ in} \cdot \frac{40000 \text{ psi}}{\frac{2}{3} \cdot f_y} - 2.5 \cdot r = 257.7 \text{ mm}$$

$$s_2 = 12 \text{ in} \cdot \frac{40000 \text{ psi}}{\frac{2}{3} \cdot f_y} = 306.1 \text{ mm}$$

Calculando el momento resistente de la sección.

$$E_s := 29000 \text{ ksi} = 199900 \text{ MPa} \quad E_c := 57000 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} = 20960 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{E_s}{E_c} = 9.539$$

$$A_{ST1} := 3 \cdot A_{s\#} \cdot n = 36.34 \text{ cm}^2$$

$$A_{ST2} := 2 \cdot A_{s\#} \cdot n = 24.23 \text{ cm}^2$$

$$A_{ST3} := 2 \cdot A_{s\#} \cdot n = 24.23 \text{ cm}^2$$

$$b \cdot c \cdot \frac{c}{2} = A_{ST1} \cdot (d - c) + A_{ST2} \cdot ((d - 18 \text{ cm}) - c) + A_{ST3} \cdot ((d - 36 \text{ cm}) - c)$$

$$c := 25.13 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_1 := \frac{0.003}{c} \cdot (d - c) = 0.0107$$

$$\varepsilon_2 := \frac{0.003}{c} \cdot (d - 18 \text{ cm} - c) = 0.0086$$

$$\varepsilon_3 := \frac{0.003}{c} \cdot (d - 36 \text{ cm} - c) = 0.0064$$

La deformación unitaria es mayor que 0.0021

$$\beta_1 := \begin{cases} \text{if } 2500 \text{ psi} \leq f'_c < 4000 \text{ psi} & = 0.85 \\ \quad a := 0.85 \\ \text{if } 4000 \text{ psi} < f'_c < 8000 \text{ psi} \\ \quad \text{if } 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f'_c - 4000 \text{ psi})}{1000 \text{ psi}} \geq 0.65 \\ \quad \quad a := 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f'_c - 4000 \text{ psi})}{1000 \text{ psi}} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad a := 0.65 \\ \text{if } f'_c \geq 8000 \text{ psi} \\ \quad a := 0.65 \\ a \end{cases}$$

$$a \quad \beta_1 \quad c \quad 21.36 \text{ cm}$$

$$M_R := f_y \cdot 3 \cdot A_{s\#} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + f_y \cdot 2 \cdot A_{s\#} \cdot \left(d - 36 \text{ cm} - \frac{a}{2} \right) + 33.19 \text{ tonnef m} \\ + f_y \cdot 2 \cdot A_{s\#} \cdot \left(d - 18 \text{ cm} - \frac{a}{2} \right)$$

$$\%M := \frac{M_u}{M_R} = 10.85 \%$$

Para cortante se colocará el acero a una separación máxima.

$$s_{max} := \min \left(\left[\frac{d}{4} \quad 300 \text{ mm} \right] \right) = 28.75 \text{ cm}$$

Colocar varillas del #3@20 cm.

REVISIÓN DE ZAPATA DE LA NAVE EXISTENTE

Dado

$$h_p := 1000 \text{ mm} \quad b_p := 600 \text{ mm} \quad H := 40 \text{ cm}$$

$$A_2 := h_p \cdot b_p = 6000 \text{ cm}^2$$

El área de acero mínimo para la columna es:

$$A_{smin} := 0.01 \cdot A_2 = 60 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\#8} := 507 \text{ mm}^2$$

$$N_b := \frac{A_{smin}}{A_{s\#8}} = 11.83$$

Se propone usar 12 varillas del número 8 para cumplir con el acero mínimo. Dado que el la longitud es demasiado pequeña se revisará que el pedestal sólo resista la carga axial aplicada. La descarga para transfiere la columna de la nueva nave es:

$$P_u := 23.5 \text{ tonnef}$$

$$\phi_B := 0.65 \quad f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad A_s := 12 \cdot A_{s\#8} = 60.84 \text{ cm}^2 \quad f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi P_n := 0.8 \cdot \phi_B \cdot \left(0.85 \cdot f'_c \cdot (A_2 - A_s) + f_y \cdot A_s \right) = 657.9 \text{ tonnef}$$

$$\%P := \frac{P_u}{\phi P_n} = 3.572 \%$$

El refuerzo transversal para colocar se calcula a continuación; se consideran estribos del número 3:

$$\phi_{rl} = 25.4 \text{ mm}$$

$$\phi_{st} = 0.95 \text{ cm} \quad A_{st} = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$s_{max} := \min \left(\left[\frac{850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{f_y \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot \phi_{rl} \cdot 48 \cdot \phi_{st} \cdot \frac{b_p}{2} \right] \right) = 30 \text{ cm}$$

Longitud de confinamiento.

$$l_{conf} := \max \left(\left[h_p \cdot \frac{H}{6} \cdot 60 \text{ cm} \right] \right) = 100 \text{ cm}$$

$$s_{conf} := \frac{s_{max}}{2} = 15 \text{ cm}$$

Use 15 cm en todo el pedestal

Placa base

La carga para el diseño de la placa base es la misma que para el pedestal. En este caso particular se piensa que el tamaño sea igual al del pedestal.

$$P_u = 23.5 \text{ tonnef} \quad f_{yp} := 36 \text{ ksi} \quad \phi_b := 0.9 \quad \phi_B = 0.65 \quad f'_c = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$A_2 = 6000 \text{ cm}^2 \quad \phi_{ancla} := 25 \text{ mm} \quad d := 762 \text{ mm} \quad b := 305 \text{ mm}$$

$$N := 1000 \text{ mm} \quad B := 600 \text{ mm}$$

$$N_{min} := 2 \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \phi_{ancla}) + d = 912 \text{ mm} \quad B_{min} := 2 \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \phi_{ancla}) + b = 455 \text{ mm}$$

$$A_1 := N \cdot B = 6000 \text{ cm}^2$$

El esfuerzo actuante es:

$$f = \frac{P_u}{A_1} = 3.917 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

c

m

2

El esfuerzo resistente del concreto es:

$$\phi B_n := \phi_B \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 110.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\%B := \frac{f}{\phi B_n} = 3.544 \%$$

La distancia del voladizo es:

$$J := \max \left(\left[\frac{N - 0.95 \cdot d}{2} \quad \frac{B - 0.8 \cdot b}{2} \quad \frac{\sqrt{b \cdot d}}{4} \right] \right) = 178 \text{ mm}$$

El momento de diseño es:

$$M := \frac{f \cdot J^2}{2} = 0.6205 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

Y el espesor de la placa considerando el módulo de sección elástico:

$$t := \sqrt{\frac{6 \cdot M}{\phi_b \cdot f_{yp}}} = 12.78 \text{ mm}$$

$$t := \frac{5}{8} \text{ in}$$

$$\phi M_{npl} := \frac{\phi_b \cdot f_{yp} \cdot t^2}{4} = 1.435 \text{ tonnef}$$

$$:= \frac{\phi M}{\phi M_{npl}} = 43.23 \%$$

Anclas

Los cortantes serán los correspondientes a la combinación donde se presenta la carga de extracción en la columna, por viento, estas cargas son:

$$T_u := 1.77 \text{ tonnef}$$

$$V_{yancla} := 2.34 \text{ tonnef}$$

$$V_{xancla} := 0.2 \text{ tonnef}$$

$$V_u := \sqrt{V_{yancla}^2 + V_{xancla}^2} = 2.349 \text{ tonnef}$$

$$F_{ya} = 250 \text{ MPa} \quad F_{ua} = 400 \text{ MPa} \quad A_{ancla} = \frac{\varnothing_{ancla}^2 \pi}{4} = 4.909 \text{ cm}^2$$

Las 6 anclas que se proponen resistirán el cortante y la tensión presente.

$$N_T := 6 \quad N_S := 6$$

Los esfuerzos de tensión y cortante últimos son los siguientes.

$$f_t := \frac{T_u}{N_T \cdot A_{ancla}} = 5.893 \text{ MPa} \quad f_v := \frac{V_u}{N_S \cdot A_{ancla}} = 7.82 \text{ MPa}$$

Los esfuerzos resistentes de acuerdo con la tabla J3.2 son:

$$F_{nt} := 0.75 \cdot F_{ua} = 300 \text{ MPa} \quad F_{nv} := 0.45 \cdot F_{ua} = 180 \text{ MPa}$$

$$\phi_s := 0.75$$

Resistencia de tensión considerando el cortante.

$$F'_{nt} := 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi_s \cdot F_{nv}} \cdot f_v = 372.6 \text{ MPa}$$

$$\phi R_n := \phi_s \cdot F'_{nt} \cdot A_{ancla} = 13.99 \text{ tonnef}$$

$$\%T := \frac{T_u}{N_T \cdot \phi R_n} = 2.109 \%$$

Calculando la longitud de anclaje para una barra con gancho.

$$\lambda := 1 \quad \psi_r := 1 \quad \psi_e := 1 \quad \psi_o := 1$$

$$\psi_c := \frac{f'_c}{15000 \text{ psi}} + 0.6$$

$$l_{dh} := \frac{f_y \cdot \psi_r \cdot \psi_e \cdot \psi_o \cdot \psi_c}{55 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}} \cdot \left(\frac{\varnothing_{rl}}{\text{in}} \right)^{1.5} \quad \text{in} = 408.4 \text{ mm}$$

Y la longitud de anclaje es:

$$g = 301 \text{ mm} \quad r = 50 \text{ mm}$$

$$h_{ef} := l_{dh} + r + \frac{g}{1.5} = 659.1 \text{ mm}$$

Para poder revisar la zapata de esta cimentación es necesario proporcionar las cargas por separado, pues dos columnas desplantarán en ella. Las cargas son las siguientes.

$$P_{u1} := 23.5 \text{ tonnef} \quad V_{y1} := 7.66 \text{ tonnef} \quad V_{x1} := (-0.009) \text{ tonnef}$$

$$P_{u2} := 21.9 \text{ tonnef} \quad V_{y2} := (-6.78) \text{ tonnef} \quad V_{x2} := 0.007 \text{ tonnef}$$

Por otro lado, para revisar la extracción y el volteo:

$$P_{extr1} := 1.77 \text{ tonnef} \quad V_{yextr1} := (-2.34) \text{ tonnef} \quad V_{xextr1} := (-0.2) \text{ tonnef}$$

$$P_{extr2} := 1.7 \text{ tonnef} \quad V_{yextr2} := 2 \text{ tonnef} \quad V_{xextr2} := (-0.4) \text{ tonnef}$$

Se revisarán las dimensiones de la zapata para cubrir con estas solicitaciones.

$$q_a := 22.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2} \quad H_{desplante} := 0.8 \text{ m} \quad l := 100 \text{ cm} \quad b := 60 \text{ cm}$$

$$f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad r := 5 \text{ cm} \quad \gamma_c := 2.4 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_s := 1.993 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3} \quad \phi_v := 0.75 \quad \phi_b := 0.9$$

Se proponen las siguientes dimensiones para la zapata.

$$d := 35 \text{ cm} \quad L := 3.5 \text{ m} \quad B := 2 \text{ m}$$

Revisando el factor de seguridad para extracción.

$$h := d + r = 40 \text{ cm}$$

$$P_{zapata} = L B h \gamma_c = 6.72 \text{ tonnef}$$

$$P_{\text{dado}} := l \cdot b \cdot (H_{\text{desplante}} - h) \cdot \gamma_c = 0.576 \text{ tonnef}$$

$$P_{\text{suelo}} := (L \cdot B - l \cdot b) \cdot (H_{\text{desplante}} - h) \cdot \gamma_s = 5.102 \text{ tonnef}$$

$$P_{\text{cimentación}} := P_{\text{zapata}} + P_{\text{dado}} + P_{\text{suelo}} = 12.4 \text{ tonnef}$$

$$F_{\text{S}_{\text{extracción}}} := \frac{P_{\text{cimentación}}}{P_{\text{extr1}} + P_{\text{extr2}}} = 3.573$$

```
Extracción := if F_S_extracción ≥ 2      = "No hay extracción"
                "No hay extracción"
            else
                "Modificar cimentación"
```

Revisando el factor de seguridad para volteo,

$$P_{uV} := 3.33 \text{ tonnef}$$

$$V_{yV} := 0.31 \text{ tonnef}$$

$$V_{xV} := 0 \text{ tonnef}$$

EL momento de los elementos que dan estabilidad es:

$$M_{\text{estabilidad}} := 21.74 \text{ tonnef m}$$

El momento ocasionado por el cortante es:

$$M_{\text{volteo}} := 3.41 \text{ tonnef m}$$

$$F_{\text{S}_{\text{estabilidad}}} := \frac{M_{\text{estabilidad}}}{M_{\text{volteo}}} = 6.375$$

```
Estabilidad := if F_S_estabilidad ≥ 2      = "No hay volteo"
                "No hay volteo"
            else
                "Modificar cimentación"
```

El momento de volteo se obtuvo considerando las cargas de excentricidad aplicándose a cada columna. Es importante destacar que el cortante que se genera en la columna de la nave ya existente se aplica directamente a la losa de la zapata, pues no existe dado.

Comprobando la presión de contacto considerando la excentricidad del cortante en dirección Y. Haciendo sumatoria de momentos en el centro de la zapata.

$$M = 24.6 \text{ tonnef m}$$

$$P = 57.8 \text{ tonnef}$$

$$e = \frac{M}{P} = 42.56 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{6} = 58.33 \text{ cm}$$

Dado que la excentricidad es pequeña:

$$S := \frac{B \cdot L^2}{6} = 4083000 \text{ cm}^3$$

$$q_{\max} := \frac{P}{L \cdot B} + \frac{M}{S} = 14.28 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_{\min} := \frac{P}{L \cdot B} - \frac{M}{S} = 2.233 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$q_e := q_a - \gamma_c \cdot (h) - \gamma_s \cdot (H_{\text{desplante}} - (h)) = 20.97 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$P_C := \begin{cases} \text{if } q_{\max} < q_e & = \text{"El suelo resiste"} \\ \text{"El suelo resiste"} \\ \text{else} \\ \text{"El suelo no resiste"} \end{cases}$$

Revisando la flexión en ambos sentidos.

Plano Y (Paralelo a L)

$$q_{\text{prom}} := \frac{q_{\max} + q_{\min}}{2} = 8.257 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$M_{uy} = \frac{q_{\text{prom}} \cdot \left(\left(\frac{B-b}{2} \right)^2 \right)}{2} = 2.023 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{uy} = \frac{M_{uy}}{d^2} = 16.51 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_y := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{uy}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.0004393$$

$$A_{sy} := \rho_y \cdot d = 1.537 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Plano X (Paralelo a B)

$$q_{flexión} := \frac{q_{máx} - q_{mín}}{350 \text{ cm}} \cdot (1369 \text{ mm}) + q_{mín} = 6.946 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$M_{ux} := \frac{q_{mín} \cdot (136.9 \text{ cm})^2}{2} + (q_{flexión} - q_{mín}) 136.9 \text{ cm} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 136.9 \text{ cm} \right) = 5.036 \frac{\text{tonnef m}}{\text{m}}$$

$$R_{ux} := \frac{M_{ux}}{d^2} = 41.11 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_x := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_{ux}}{\phi_b \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.001103$$

$$A_{sx} := \rho_x \cdot d = 3.859 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Acero mínimo para ambas direcciones.

$$A_{smín} := \min \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot d, \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot d \right] \right) = 9.375 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Acero por temperatura.

$$A_{stemp} = 0.0018 \cdot h = 7.2 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Separación mínima por temperatura.

$$s_{temp} = 18 \text{ in} = 45.72 \text{ cm}$$

Acero por colocar en el plano Y

$$A_y := \max \left(\left[A_{sy} \quad A_{smín} \quad A_{stemp} \right] \right) = 9.375 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s\#y} := 198 \text{ mm}^2$$

$$S_y := \min \left(\left[\frac{A_{s\#y}}{A_y} \quad s_{temp} \right] \right) = 21.12 \text{ cm}$$

Usar varillas del #5@20cm

Acero por colocar en el plano X

$$A_x := \max \left(\left[A_{sx} \quad A_{smín} \quad A_{stemp} \right] \right) = 9.375 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s\#x} := 198 \text{ mm}^2$$

$$S_x := \min \left(\left[\frac{A_{s\#x}}{A_x} \quad s_{temp} \right] \right) = 21.12 \text{ cm}$$

Usar varillas del #5@20cm

Revisando cortante en una dirección.

Plano Y (Paralelo a L)

$$\phi V_y := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot L \cdot d = 68.9 \text{ tonnef}$$

$$V_{uy} := q_{prom} \cdot L \cdot \left(\frac{B-b}{2} - d \right) = 10.12 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{y1D} := \frac{V_{uy}}{\phi V_y} = 14.68 \%$$

Plano X (Paralelo a B)

$$\phi V_x := 2 \cdot \phi_v \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot B \cdot d = 39.37 \text{ tonnef}$$

$$q_v := \frac{q_{máx} - q_{mín}}{350 \text{ cm}} \cdot (136.9 \text{ cm} - d) + q_{mín} = 5.741 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$V_{ux} := q_{mín} \cdot B \cdot (136.9 \text{ cm} - d) = 4.55 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{X1D} = \frac{V_{ux}}{\phi V_x} = 11.56 \%$$

Revisando cortante en dos direcciones.

$$q_{v2d} := \frac{q_{max} - q_{min}}{350 \text{ cm}} \cdot (350 \text{ cm} - 35 \text{ cm}) + q_{min} = 13.08 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

$$V_{u2D} := P - q_{v2d} \cdot (188.1 \text{ cm}) \cdot (60 \text{ cm}) = 43.04 \text{ tonnef}$$

$$\beta := \frac{L}{B} = 1.75$$

$$b_0 := 2 \cdot (188.1 \text{ cm}) + 2 \cdot (60 \text{ cm}) = 496.2 \text{ cm}$$

$$\alpha_s := 30$$

$$\phi V_{c1} := \phi_v \cdot 4 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 195.4 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c2} := \phi_v \cdot \left(2 + \frac{4}{\beta}\right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 209.3 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_{c3} := \phi_v \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2\right) \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b_0 \cdot d = 201 \text{ tonnef}$$

$$\%V_{2D} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c1}} \quad \%V_{2D} \begin{matrix} 2 \\ 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c2}} \quad \%V_{2D} \begin{matrix} 3 \end{matrix} := \frac{V_{u2D}}{\phi V_{c3}}$$

$$\%V_{2D} = \begin{vmatrix} 22.03 \\ 20.56 \\ 21.41 \end{vmatrix} \%$$

XII. Diseño de trabe de liga

Para el diseño de la trabe de liga se obtuvo que el momento máximo se obtuvo en la zona de oficinas debido al momento que se transfiere a la cimentación. específicamente, la trabe de liga que conecta las zapatas del eje E (Zapata Z-3) bajo la combinación que involucra al viento en la dirección Y; es decir, paralela a la cumbrera de la nave industrial; además, se añadió la carga distribuida debido al pequeño muro que se colocará sobre el elemento. El momento de diseño que se ha obtenido es el siguiente:

$$M_u = 5.26 \text{ tonnef m}$$

Este valor se presenta tanto positivo como negativo en los extremos, teniendo así en el centro del claro un valor muy cercano a cero. Las dimensiones y propiedades son las siguientes:

$$h = 400 \text{ mm} \quad b = 200 \text{ mm} \quad d = 350 \text{ mm} \quad f'_c := 200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.003 \quad E_s = 2039000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \lambda_c = 1 \quad f_{yt} = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta_1 := \begin{cases} \text{if } 2500 \text{ psi} \leq f'_c < 4000 \text{ psi} & = 0.85 \\ \quad a := 0.85 \\ \text{if } 4000 \text{ psi} < f'_c < 8000 \text{ psi} \\ \quad \text{if } 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f'_c - 4000 \text{ psi})}{1000 \text{ psi}} \geq 0.65 \\ \quad \quad a := 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f'_c - 4000 \text{ psi})}{1000 \text{ psi}} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad a := 0.65 \\ \text{if } f'_c \geq 8000 \text{ psi} \\ \quad a := 0.65 \\ a \end{cases}$$

$$A_{smín} := \max \left(\left[\frac{3 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}}}{f_y} \cdot b \cdot d \quad \frac{200 \text{ psi}}{f_y} \cdot b \cdot d \right] \right) = 234.4 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon_y := \frac{f_y}{E_s} = 0.00206$$

$$A_{smáx} := \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_y + 0.003 + \varepsilon_{cu}} \right) \cdot b \cdot d = 896.4 \text{ mm}^2$$

$$R_n := \frac{M_u}{0.9 \cdot b \cdot d^2} = 23.85 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\rho_{teo} := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.006146$$

$$A_{steo} := \begin{cases} \text{if } \rho_{teo} < \frac{A_{smín}}{b \cdot d} & = 4.302 \text{ cm}^2 \\ a := A_{smín} \\ \text{if } \frac{A_{smín}}{b \cdot d} \leq \rho_{teo} \leq \frac{A_{smáx}}{b \cdot d} & \\ a := \rho_{teo} \cdot b \cdot d & \\ \text{if } \rho_{teo} > \frac{A_{smáx}}{b \cdot d} & \\ a := \text{"Modificar sección"} & \\ a & \end{cases}$$

Probando con varillas del número 5.

$$A_{s\#} := 198 \text{ mm}^2$$

$$n := \frac{A_{steo}}{A_{s\#}} = 2.173$$

$$A_s := 3 \cdot A_{s\#} = 5.94 \text{ cm}^2$$

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.008486$$

El momento resistente es:

$$a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} = 7.338 \text{ cm}$$

$$\phi M_n := 0.9 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 7.035 \text{ tonnef m}$$

$$\%M := \frac{M_u}{\phi M_n} = 74.77 \%$$

Diseño por cortante. Este elemento mecánico se distribuye a lo largo de toda la trabe de forma casi constante.

$$V_u := 2.28 \text{ tonnef} \quad N_u := 0 \text{ tonnef} \quad \lambda := 1$$

$$V_{cmáx} := 5 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b \cdot d = 13.12 \text{ tonnef}$$

$$V_{smáx} := 8 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b \cdot d = 21 \text{ tonnef}$$

$$f_{yest} := \begin{cases} \text{if } f_{yt} \leq 60000 \text{ psi} = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ f_{yt} \\ \text{else} \\ 60000 \text{ psi} \end{cases}$$

$$Avmin_s := \max \left(\left[0.75 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot \frac{b}{f_{yt}} \quad 50 \text{ psi} \cdot \frac{b}{f_{yt}} \right] \right) = 167.4 \frac{\text{mm}}{\text{m}}$$

$$A_g := b \cdot h = 800 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_s := \min \left(\left[\sqrt{\frac{2}{1 + \frac{d}{10 \text{ in}}}} \quad 1 \right] \right) = 0.9171$$

$$V_c := \begin{cases} V_1 := \left(2 \cdot \lambda_c \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} + \min \left(\left[\frac{N_u}{6 \cdot A_g} \quad 0.05 \cdot f'_c \right] \right) \right) \cdot b \cdot d & = 5.25 \text{ tonnef} \\ V_2 := \left(8 \cdot \lambda_c \cdot \rho^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} + \min \left(\left[\frac{N_u}{6 \cdot A_g} \quad 0.05 \cdot f'_c \right] \right) \right) \cdot b \cdot d \\ \text{if } V_u > 0.75 \cdot \lambda_c \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b \cdot d \\ \quad a := \max \left(\left[V_1 \quad V_2 \right] \right) \\ \text{else} \\ \quad a := \left(8 \cdot \lambda_s \cdot \lambda_c \cdot \rho^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} + \min \left(\left[\frac{N_u}{6 \cdot A_g} \quad 0.05 \cdot f'_c \right] \right) \right) \cdot b \cdot d \end{cases}$$

$$V_{umax} := 0.75 \cdot \left(V_c + 8 \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b \cdot d \right) = 19.69 \text{ tonnef}$$

$$A_{v_s} := \begin{cases} q := \frac{V_u - 0.75 \cdot V_c}{0.75 \cdot f_{yest} \cdot d} & = 167.4 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \\ \text{if } V_u > 0.75 \cdot \lambda_c \cdot \sqrt{f'_c \text{ psi}} \cdot b \cdot d \\ \quad a := \max \left(\left[Avmin_s \quad q \right] \right) \\ \text{else} \\ \quad a := 0 \end{cases}$$

Considerando estribos del número 3 con dos ramas:

$$a_{est} = 2 \cdot 71 \text{ mm}^2 = 142 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{a_{est}}{A_{v-s}} = 84.83 \text{ cm}$$

$$V_s := A_{v-s} \cdot f_{yest} \cdot d = 2.461 \text{ tonnef}$$

Dada la gran separación, seguramente gobernará la separación máxima la cual se calculará a continuación:

$$s_{m\acute{a}x} := \begin{cases} \text{if } V_s \leq \frac{V_{sm\acute{a}x}}{2} & = 17.5 \text{ cm} \\ a := \min \left(\left[\frac{d}{2} \quad 600 \text{ mm} \right] \right) \\ \text{else} \\ a := \min \left(\left[\frac{d}{4} \quad 300 \text{ mm} \right] \right) \\ a \end{cases}$$

$$s_{max} := \min \left(\left[\frac{d}{2} \quad 600 \text{ mm} \right] \right) = 17.5 \text{ cm}$$

Colocar estribos de 2 ramas del número 3 a cada 15 cm.

El área de por cambios volumétricos será de:

$$A_{stemp\acute{e}ratura} := 0.003 \cdot b \cdot 20 \text{ cm} = 1.2 \text{ cm}^2$$

Para el cálculo del área anterior se consideró que las varillas por flexión abarcan 2 recubrimientos por el ancho del elemento; así pues, el área por temperatura es el área libre de concreto.

$$N_{temperatura} = \frac{A_{stemp\acute{e}ratura}}{71 \text{ mm}^2} = 1.69$$

Colocar 2 varillas del #3 en ambas caras del elemento.