

CIGRE 2018

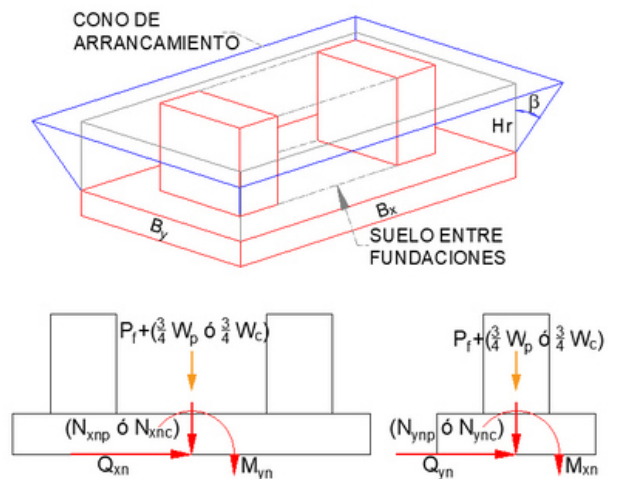
ESTABILIDAD DE FUNDACIONES TIPO ZAPATA COMBINADA POR EL MÉTODO X-Y


CIGRE 2018. ACT. 2020

**RECOMENDACIÓN DE REQUISITOS
SÍSMICOS PARA INSTALACIONES DE
ALTA TENSIÓN.**

ANGEL MANRIQUE


Ingeniero Civil Especialista en Estructuras



| | | |
|---------------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

INDICE

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introducción..... | 3 |
| 2 | Objetivo..... | 3 |
| 3 | Bases para el Diseño..... | 3 |
| 4 | Calidad de los Materiales..... | 4 |
| 4.1 | Hormigón Reforzado..... | 4 |
| 5 | Geometría de la Estructura y Equipo..... | 4 |
| 5.1 | Equipo..... | 4 |
| 5.2 | Estructura..... | 4 |
| 5.3 | Comando..... | 4 |
| 5.4 | Fundación..... | 5 |
| 6 | Parámetros del Suelo..... | 6 |
| 6.1 | Características Geotécnicas..... | 6 |
| 7 | Computos de Cargas..... | 8 |
| 7.1 | Peso propio de Equipo, Estructura y Fundación..... | 8 |
| 7.2 | Sobrecarga Sísmica..... | 9 |
| 7.3 | Fuerza de Viento..... | 9 |
| 7.4 | Acciones Simultaneas con el Sismo..... | 9 |
| 7.5 | Cargas de Operación del Equipo..... | 10 |
| 8 | Hipotesis de Cálculo..... | 10 |
| 9 | Estabilidad de la Fundación al Volcamiento. Método X-Y Modificado..... | 11 |
| 9.1 | Consideraciones Geométricas..... | 12 |
| 9.2 | Tensión de Contacto Máxima. (A2.3.2. DOC. TEC. CIGRE)..... | 14 |
| 9.2 | Verificación del Volcamiento. (A2.3.3. DOC. TEC. CIGRE)..... | 23 |
| 10 | Resumen de Verificación de la Estabilidad de la Fundación..... | 31 |

| | | |
|---------------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

01 INTRODUCCIÓN

El Método X-Y publicado originalmente por el Bureau of Reclamation en el documento denominado Transmission Structures, es el método mayormente utilizado para el análisis por estabilidad de fundaciones tipo zapata aislada, ya sea con uno o varios pedestales, para soportes de estructuras o equipos de subestaciones eléctricas, sobre todo en los equipos de gran tamaño como: Interruptores de Poder y Seccionadores, en los cuales los momentos de volcamiento son elevados en comparación a otros equipos de menor peso como son: Pararrayos, Transformadores de Potencial, Transformadores de Corriente, etc.

También, es comúnmente usado en fundaciones de estructuras altas de patio de subestaciones como lo son los Marcos de Línea, Marcos de Barra, Parrones, etc. Ya que en este tipo de estructuras se tienen fuerzas de arrancamiento y momentos volcantes de gran magnitud.

Básicamente se deben verificar dos condiciones de estabilidad: Presión de contacto y volcamiento, donde en esta última se debe garantizar que al menos un 80% del área de la fundación este en contacto con el suelo de fundación.

Una de las ventajas del Método X-Y es que permite considerar el aporte del suelo sobre fundación, para la verificación por estabilidad al volcamiento considerando el cono de arrancamiento. Esto siempre y cuando se conozca el ángulo de arrancamiento del suelo circundante sobre la fundación. Sin embargo, solo se considera entre un 50 - 75 % del peso del suelo según el tipo de verificación, esto como medida de seguridad para evitar una sobre estimación del momento resistente al volcamiento.

02 OBJETIVO

El presente documento está referido al diseño por estabilidad de fundaciones aisladas mediante el Método X-Y

03 BASES PARA EL DISEÑO

Normas Nacionales


1. NCh 2369.Of2003 - Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
2. NCh 430.Of2008 - Hormigón armado - Requisitos de diseño y cálculo.

Normas Internacionales

1. ACI 318S 19 - Requisitos de reglamento para concreto estructural.

Documentos Técnicos

1. CIGRE 2018. Act-2020. Recomendación de requisitos sísmicos para instalaciones de alta tensión.

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

04 CALIDAD DE LOS MATERIALES

4.1 HORMIGON REFORZADO

Esfuerzo del fluencia del acero de refuerzo NCh 204 Tabla 1

$$f_y := 420 \text{ MPa}$$

Peso unitario

$$\gamma_c := 2500 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Calidad del hormigón

$$f_c := \text{"G20"}$$



Resistencia a la compresión del Hormigón 90% de confianza

$$f_c = 20 \text{ MPa}$$

Modulo de elasticidad del hormigón Art. 19.2.2 ACI 318S-19

$$E_c := 4700 \cdot \sqrt{f_c \text{ MPa}} = 21019,039 \text{ MPa}$$

05 GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA Y EQUIPO

5.1 EQUIPO (INTERRUPTOR)

Sep. baricentos $E_w := 1700 \text{ mm}$

Altura terminales $E_{ht} := 3265 \text{ mm}$

$$E_{ht2} := \frac{1}{2} \cdot E_{ht} = 1632,5 \text{ mm}$$

CG equipo $E_{hcg} := 1501 \text{ mm}$

5.2 ESTRUCTURA

Sep. baricentos $D_a := 2630 \text{ mm}$

Sep. anclajes $D_b := 500 \text{ mm}$

Alto estructura $D_h := 2000 \text{ mm}$

CG estructura $D_{cg} := 1210 \text{ mm}$

Ancho est. $D_c := 600 \text{ mm}$

5.3 COMANDO

CG comando $T_{cg} := 1488 \text{ mm}$

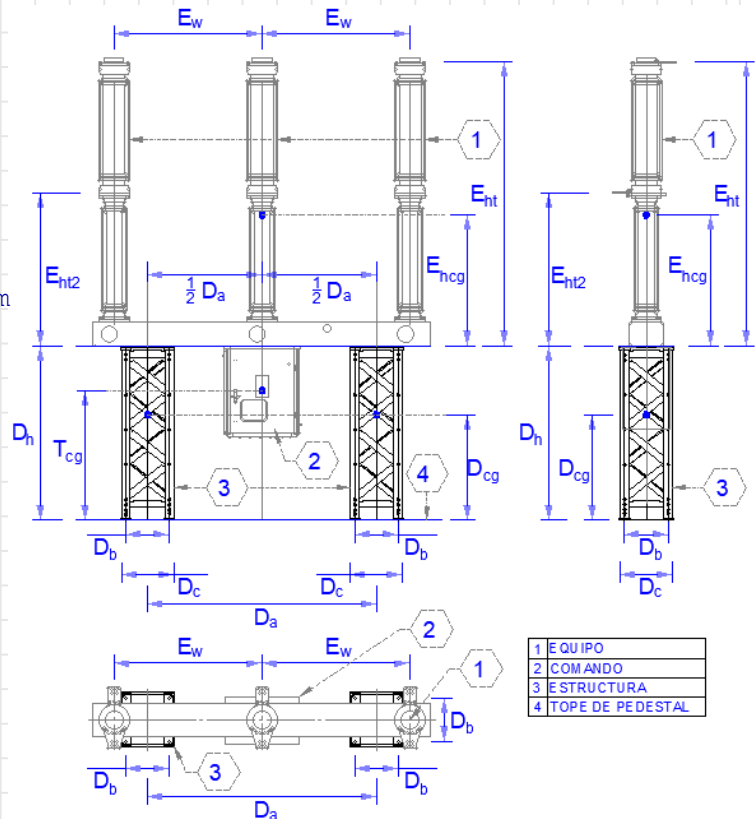



Figura 1. Imagen referencial de la estructura y equipo

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

5.4 FUNDACIÓN

| | |
|---|-------------------------------------|
| Longitud pedestal en X | $b_x := 80 \text{ cm}$ |
| Longitud pedestal en Y | $b_y := 80 \text{ cm}$ |
| Longitud de zarpa en X min=20 cm | $b_{zx} := 41 \text{ cm}$ |
| Longitud de zarpa en Y min=20 cm | $b_{zy} := 60 \text{ cm}$ |
| Altura de relleno | $H_r := 180 \text{ cm}$ |
| Altura de la zapata | $H_z := 50 \text{ cm}$ |
| Altura de emplantillado | $H_c := 5 \text{ cm}$ |
| Altura del pedestal sobre el nivel de terreno | $H_{pt} := 35 \text{ cm}$ |
| Altura de emplantillado | $H_c := 5 \text{ cm}$ |
| Separación entre pedestales | $d_x := D_a - b_x = 183 \text{ cm}$ |

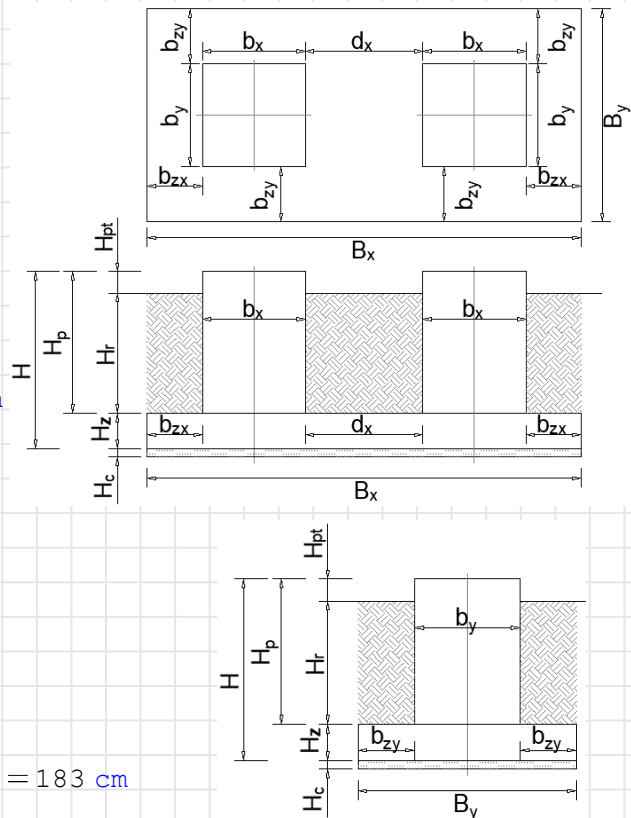



Figura 2. Imagen referencial de la fundación.

| | |
|---|--|
| Longitud de la fundación en X | $B_x := 2 \cdot b_{zx} + 2 \cdot b_x + d_x = 425 \text{ cm}$ |
| Longitud de la fundación en Y | $B_y := 2 \cdot b_{zy} + b_y = 200 \text{ cm}$ |
| Profundidad del sello de fundación | $H_{fs} := H_r + H_z + H_c = 235 \text{ cm}$ |
| Altura del pedestal | $H_p := H_r + H_{pt} = 215 \text{ cm}$ |
| Altura de la fundación | $H := H_z + H_p = 265 \text{ cm}$ |
| Recubrimiento libre de llenado contra terreno en zapata | $r_z := 7,5 \text{ cm}$ |
| Recubrimiento libre de llenado contra moldaje en pedestal | $r_{Lc} := 5 \text{ cm}$ |
| Tamaño nominal máximo del agregado grueso | $TM_{ag} := 40 \text{ mm}$ |

“En cuanto a las dimensiones mínimas del Pedestal b_x y b_y , se recomienda tomar en cuenta el plano ETG - A.0.21 (Plano pernos de anclaje). En este plano se especifican las dimensiones mínimas del pedestal en base al diámetro de la varilla de anclaje entre la estructura y la fundación”.

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

06 PARÁMETROS DEL SUELO

6.1 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

| | | | |
|----------------------------|--|---------------------------|--|
| Peso unitario | $\gamma_s := 1900 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ | Cohesión | $c := 0 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ |
| Ángulo de fricción interna | $\phi := 32,5 \text{ deg}$ | Angulo de inercia sísmico | $\psi := 21,8 \text{ deg}$ |
| Peso unitario del agua | $\gamma_h := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ | Módulo de Poisson | $\mu_g := 0,3$ |
| Módulo de Young | $E_g := 20 \text{ MPa}$ | Angulo de arrancamiento | $\beta := 30 \text{ deg}$ |

Peso unitario de diseño

El peso unitario de diseño corresponde al peso unitario γ_s en suelos sin presencia de napa freática.

Coefficientes de empuje del suelo

Coefficiente de empuje activo $K_a := \frac{1 - \sin(\phi)}{1 + \sin(\phi)} = 0,3$

Coefficiente de empuje en reposo $K_0 := 1 - \sin(\phi) = 0,46$

Coefficiente de empuje sísmico $K_{ae} := \frac{\cos(\phi - \psi)^2}{\cos(\psi)^2 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi) \cdot \sin(\phi - \psi)}{\cos(\psi)}}\right)^2}$
 $K_{ae} = 0,6353$


Coefficiente de empuje pasivo $K_{pn} := \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} = 3,32$

Tensión vertical admisible

Se utilizan las expresiones de Hansen (1970) para determinar la carga admisible vertical, considerando que los factores de inclinación, suelo y base son igual a 1.

Factor N_q $N_q := \exp(\pi \cdot \tan(\phi)) \cdot \left(\tan\left(45 \text{ deg} + \frac{\phi}{2}\right)\right)^2 = 24,58$

Factor N_c $N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\phi) = 37,02$

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

$$\text{Factor } N_V \quad N_V := 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi) = 22,54$$

$$\text{Tensión vertical sin presencia de napa} \quad q_v := \gamma_s \cdot H_{fs} = 0,45 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$



Factores de forma

Tipo de fundación

Aislada



$$\text{Factor de forma } S_c \quad S_c = 1,31$$

$$\text{Factor de forma } S_q \quad S_q := 1 + \frac{\min\left(\left[\begin{matrix} B_x \\ B_y \end{matrix} \right]\right)}{\max\left(\left[\begin{matrix} B_x \\ B_y \end{matrix} \right]\right)} \cdot \sin(\phi) = 1,25$$

$$\text{Factor de forma } S_Y \quad S_Y := \max\left(\left[\left[1 - 0,4 \cdot \frac{\min\left(\left[\begin{matrix} B_x \\ B_y \end{matrix} \right]\right)}{\max\left(\left[\begin{matrix} B_x \\ B_y \end{matrix} \right]\right)} \right], 0,6 \right]\right) = 0,81$$

Factores de profundidad

$$\text{Coeficiente } k \quad k = 0,87$$

$$\text{Factor de profundidad } d_c \quad d_c := 1 + 0,4 \cdot k = 1,35$$

$$\text{Factor de profundidad } d_q \quad d_q := 1 + 2 \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot k = 1,24$$

$$\text{Factor de profundidad } d_V \quad d_V := 1$$

Tensión vertical admisible sin presencia de napa


$$\sigma_{\text{vadm}} := \frac{1}{3} \cdot \left(c \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c + q_v \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot \min\left(\left[\begin{matrix} B_x \\ B_y \end{matrix} \right]\right) \cdot N_V \cdot S_Y \cdot d_V \right)$$

$$\sigma_{\text{vadm}} = 6,8254 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Tensión vertical admisible eventual sin presencia de napa

$$\sigma_{\text{vadmE}} := \frac{1}{2} \cdot \left(c \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c + q_v \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot \min\left(\left[\begin{matrix} B_x \\ B_y \end{matrix} \right]\right) \cdot N_V \cdot S_Y \cdot d_V \right)$$

$$\sigma_{\text{vadmE}} = 10,2381 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

07 COMPUTOS DE CARGAS

7.1 PESO PROPIO DE EQUIPO, ESTRUCTURA Y FUNDACIÓN

Equipo

| | |
|-----------------------|--|
| Peso de equipo | $P_{se} := 2259 \text{ kgf}$ |
| Peso de SF6 | $P_{SF6} := 10 \text{ kgf}$ |
| Peso total del equipo | $P_e := P_{se} + P_{SF6} = 2269 \text{ kgf}$ |

Estructura

| | |
|-----------------------------------|--|
| Peso de estructura | $P_{1es} := 305 \text{ kgf}$ |
| Peso de comando | $P_c := 50 \text{ kgf}$ |
| Peso total de estructura | $P_{est} := 2 \cdot P_{1es} + P_c = 660 \text{ kgf}$ |
| CG ponderado estructura - comando | $h_{TDcg} := \frac{D_{cg} \cdot 2 \cdot P_{1es} + T_{cg} \cdot P_c}{2 \cdot P_{1es} + P_c} = 1,23 \text{ m}$ |

"Para simplificar los cálculos se ha considerado en este diseño CG ponderado estructura - comando. Esto debido a que el centro de comando (Ver Figura 1) se encuentra más cercano a la estructura. También, se puede considerar un CG ponderado equipo - comando obteniendo resultados de cálculo similares".

Fundación


Sin presencia de napa

Peso de Fundación (Zapata + Pedestal)

$$P_f := (B_x \cdot B_y \cdot H_z + 2 \cdot b_y \cdot b_x \cdot H_p) \cdot \gamma_c = 17505 \text{ kgf}$$

Peso de porción de suelo sobre la zapata sin considerar cono de arrancamiento

$$P_s := (B_x \cdot B_y - 2 \cdot b_y \cdot b_x) \cdot H_r \cdot \gamma_s = 24692,4 \text{ kgf}$$

| | | |
|---------------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

7.2 SOBRECARGA SÍSMICA

Las fuerzas sísmicas actuantes sobre el sistema Equipo - Estructura – Fundación se pueden obtener según lo descrito en los artículos 3.2.6 y 3.3.1 del Documento Técnico del CIGRE 2018 mediante el método estático de los coeficientes sísmicos.



Fuerza sísmica horizontal

Fuerza sísmica horizontal sobre el equipo $f_{i1} = 1998,9548 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica horizontal sobre la estructura $f_{i2} = 760,5076 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica horizontal sobre la fundación $f_{i3} = 8425,5359 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica vertical

Fuerza sísmica vertical sobre el equipo $f_{v1} = 544,56 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica vertical sobre la estructura $f_{v2} = 158,4 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica vertical sobre la fundación $f_{v3} = 5926,176 \text{ kgf}$

Coeficiente de reducción de momentos
Art. 3.3.1.1b DOC. TEC. CIGRE

$$J_1 = 1 \quad J_3 = 0,8455$$

$$J_2 = 1,0124$$

7.3 FUERZA DE VIENTO

La presión viento sobre la estructura y la fundación se puede determinar mediante la norma NCh 432. Of 2010




Fuerza de viento horizontal sobre el equipo $F_z = 149,5859 \text{ kgf}$

Fuerza de viento horizontal sobre la estructura $F_{zeq} = 195,7249 \text{ kgf}$

7.4 ACCIONES SIMULTANEAS CON EL SISMO

Para el diseño estructuras y fundaciones para soportes de equipos eléctricos de subestaciones se debe considerar que durante un evento sísmico se pueden producir cortocircuitos en los equipos o tirones mecánicos de los cables en los terminales. Tanto la fuerza de cortocircuito como la del tirón se pueden determinar mediante las ecuaciones indicadas en los artículos 2.91 y 1.4.4 respectivamente.

| | | |
|---------------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Fuerza de corto circuito

| | |
|--|---|
| Fuerza de Corto Circuito total sobre los bushings Art. 2.9.1 DOC. TEC. CIGRE | $F_{cc} = 22,66 \text{ kgf}$ |
| Altura desde la base del equipo hasta el punto de apliación del la fuerza de cortocircuito | $D_{FCC} := E_{ht2} + \frac{1}{2} \cdot (E_{ht} - E_{ht2})$ $D_{FCC} = 2448,75 \text{ mm}$ |

Fuerza de tirón

| | |
|---|----------------------------|
| De manera conservadora se considera para el diseño que la fuerza de tiron esta actuando en el terminal ubicado a mayor altura del equipo. | |
| Fuerza de Tirón total sobre los bushings por efecto dinámico de conexiones flexibles Art. 1.4.4 DOC. TEC. CIGRE | $T_{dc} = 306 \text{ kgf}$ |


7.5 CARGAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

| | |
|--|----------------------------|
| Carga de operación en sentido X | $C_{ox} := 0 \text{ kgf}$ |
| Carga de operación en sentido Y | $C_{oy} := 0 \text{ kgf}$ |
| Carga de operación en sentido Z (Desendente) | $C_{oz1} := 44 \text{ kN}$ |
| Carga de operación en sentido Z (Asendente) | $C_{oz2} := 22 \text{ kN}$ |

08 HIPOTESIS DE CÁLCULO

8.1 SIN PRESENCIA DE NAPA

| | |
|--|--|
| A1: Pf + Ps + PPE + PPEq + Cox + Coz1 + Fccx + Tdcx A2: Pf + Ps + PPE + PPEq + Coy + Coz1 + Fccy + Tdcy A3: Pf + Ps + PPE + PPEq + Cox - Coz2 + Fccx + Tdcx A4: Pf + Ps + PPE + PPEq + Coy - Coz2 + Fccy + Tdcy | Factor de sobrecarga caso Normal (Ai, Bi) $F_{sn} := 1,7$ |
| B1: Pf + Ps + PPE + PPEq + Cox + Coz1 + Fccx + Tdcx + Vx B2: Pf + Ps + PPE + PPEq + Coy + Coz1 + Fccy + Tdcy + Vy B3: Pf + Ps + PPE + PPEq + Cox - Coz2 + Fccx + Tdcx + Vx B4: Pf + Ps + PPE + PPEq + Coy - Coz2 + Fccy + Tdcy + Vy | Factor de sobrecarga caso Eventual (Ci) $F_{se} := 1,3$ |
| C1: Pf + Ps + PPE + PPEq + Cox + Coz1 + Fccx + Tdcx + Shx + Sv C2: Pf + Ps + PPE + PPEq + Coy + Coz1 + Fccy + Tdcy + Shy + Sv C3: Pf + Ps + PPE + PPEq + Cox - Coz2 + Fccx + Tdcx + Shx - Sv C4: Pf + Ps + PPE + PPEq + Coy - Coz2 + Fccy + Tdcy + Shy - Sv | |

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

09 ESTABILIDAD DE LA FUNDACIÓN AL VOLCAMIENTO. MÉTODO X-Y MODIFICADO

El **DOC. TEC. CIGRE** establece en su anexo **A2.3 dos tipos de verificaciones por estabilidad** que deben cumplir las fundaciones tipo zapata. Toda fundación utilizada como soporte de equipos y estructuras de subestaciones eléctricas debe tener las dimensiones necesarias para cumplir de manera satisfactoria las siguientes condiciones de estabilidad.

- 1) Verificación de la presión de contacto máximo en el sello de fundación.
- 2) Verificación del volcamiento de la fundación.

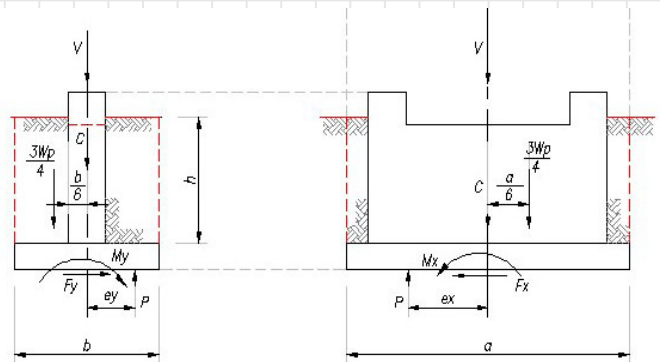
Cabe destacar que dentro de la **verificación por volcamiento** existe un caso particular de **verificación por arrancamiento de la fundación**. En general, este caso de verificación se realiza cuando se tienen **fuerzas de tensión en el tope de pedestales**. Un claro **ejemplo** de aplicación de esta verificación ocurre para **estructuras altas como Marcos de Barra, Marcos de Línea**, etc., donde existen **cantoneras que están sometidas en tensión** y estas se **apoyan directamente sobre fundaciones tipo zapatas aisladas**.

En cuanto a la **acción sísmica horizontal** se realiza aplicando las solicitaciones en dos **direcciones ortogonales, en forma independiente**, sin condiderar participación entre ellas. Art. 1.4.2b DOC. TEC. CIGRE

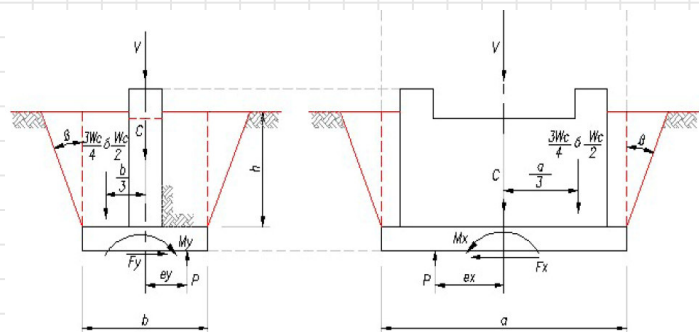
En general en el diseño de fundaciones de soporte para equipos de subestaciones eléctricas la **condición más desfavorable** viene dada por **volcamiento originado por las acciones sísmicas**, es decir, para condiciones eventuales.

Sin embargo, **se recomienda siempre verificar** la estabilidad al volcamiento y sobre todo la **presión de contacto** máxima para **condiciones normales**. Esto debido a que, la **capacidad resistente del suelo siempre es ligeramente menor** para **condiciones estáticas**.

En el artículo A2.3.4 del DOC. TEC. CIGRE indica que "Para la **estabilidad al volcamiento se deberá considerar** que el campo de **aceleraciones verticales**, de existir, **afecta a todas las masas sobre el sello de fundación**, es decir, también **incluye a la fundación "C" y al suelo** directamente sobre la fundación "Wp"."




Caso1) Sin cono de arrancamiento



Caso2) Con cono de arrancamiento

Figura 3. Casos de validación por estabilidad. Fig. 1 y 2 DOC. TEC. CIGRE

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

9.1 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS

Porción de suelo entre pedestales

En el artículo **A2.3.4 del DOC. TEC. CIGRE** indica que "Para el caso de **fundaciones compuestas por losa con pilares o vástagos y relleno compactado entre pilares**, se puede considerar que el **suelo entre los pilares es "solidario a la fundación de hormigón si la losa de apoyo es lo suficientemente rígida** como para que el conjunto se comporte como **cuerpo rígido**. Se considera que un buen valor para el **espesor de la losa** para lograr esto es que sea superior a **un tercio de la separación libre de los pilares.**"

+

¿Considerar porción de suelo entre pedestales? $H_z \geq \frac{d_x}{3}$ "FAIL. NO CONSIDERAR"

Peso del suelo incluyendo cono de arrancamiento

El **método X-Y** permite considerar un **porcentaje del peso de suelo sobre la fundación incluyendo el cono de arrancamiento** para la verificación por estabilidad. El porcentaje del cono a considerar depende no solo de si se verifica la presión de contacto o el volcamiento, sino que también considera si la fuerza vertical resultante actúa dentro del tercio central de la base la fundación

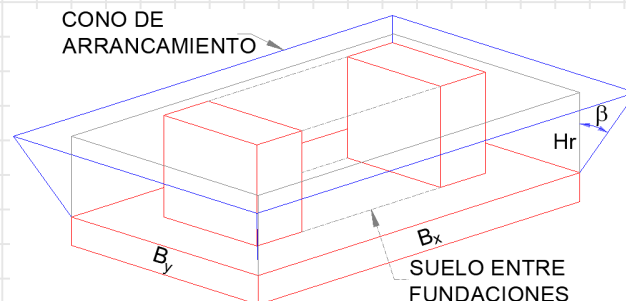


Figura 4. Cono de arrancamiento

Para el cálculo del volumen del cono de arrancamiento se considera un sólido tipo pirámide tronco piramidal truncada de base cuadrada.

Área de base menor $A_{sc1} := B_x \cdot B_y = 8,5 \text{ m}^2$

Área de base mayor $A_{sc2} := (B_x + 2 \cdot H_r \cdot \tan(\beta)) \cdot (B_y + 2 \cdot H_r \cdot \tan(\beta)) = 25,81 \text{ m}^2$

Volumen total del suelo $V_{st} := \frac{1}{3} \cdot H_r \cdot (A_{sc1} + A_{sc2} + \sqrt{A_{sc1} \cdot A_{sc2}}) = 29,47 \text{ m}^3$

Volumen entre pedestales A2.3.4 del DOC. TEC. CIGRE $V_{ep} := b_y \cdot d_x \cdot H_r = 2,64 \text{ m}^3$ "NO CONSIDERAR"


Volumen de pedestales $V_p := b_x \cdot b_y \cdot H_r = 1,15 \text{ m}^3$

+

Volumen total considerado $V_{sc} = V_{st} - V_{ep} - V_p$ "APLICA" $V_{sc} = 24,53 \text{ m}^3$

$V_{sc} = V_{st} - V_p$ "NO APLICA"


Peso de porción de suelo incluyendo cono de arrancamiento $W_c := V_{sc} \cdot \gamma_s = 46614,76 \text{ kgf}$

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Peso de porción de suelo sin considerar como de arrancamiento

| | | |
|--|---|-----------------|
| Volumen total del suelo | $V_{spt} := B_x \cdot B_y \cdot H_r = 15,3 \text{ m}^3$ | |
| Volumen entre pedestales A2.3.4 del DOC. TEC. CIGRE | $V_{ep} = 2,64 \text{ m}^3$ | "NO CONSIDERAR" |
| Volumen de pedestales | $V_p = 1,15 \text{ m}^3$ | |
| <hr/> | | |
| Volumen de suelo considerado | $V_{sp} = V_{spt} - V_p$ | "NO APLICA" |
| | $V_{sp} = V_{spt} - V_{ep} - V_p$ | "APLICA" |
| | $V_{sp} = 11,51 \text{ m}^3$ | |
| Peso de porción de suelo sin considerar cono de arrancamiento | $W_p := \gamma_s \cdot V_{sp} = 21874,32 \text{ kgf}$ | |

Para **fundaciones que, no desarrollen el cono de arranque de suelo**, como por ejemplo, aquellas en las que al menos uno de sus lados es **colindante con un foso, muro u otra fundación**, entre otros. **Podrán igualmente diseñarse con el Caso 2** considerando que "Wc" definido en el método corresponde sólo al **peso del suelo directamente sobre la fundación**, es decir, "Wp". Artículo A2.3.4 del DOC. TEC. CIGRE

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

9.2 TENSIÓN DE CONTACTO MÁXIMA (A2.3.2. DOC. TEC. CIGRE) SIN NAPA

Cargas normales sentido X (Hipotesis B1)

Solicitaciones en sello de fundación

Resultante vertical

$$N_{xnp} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{xnp} = 41326,4913 \text{ kgf}$$

$$N_{xnc} := \frac{3}{4} \cdot W_c + P_e + P_{est} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{xnc} = 59881,8221 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X

$$Q_{xn} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + F_z + F_{zeq}$$

$$Q_{xn} = 673,9745 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y $Q_{yn} := 0 \text{ kgf}$

Momento alrededor de X $M_{xn} := 0 \text{ kgf m}$

Momento alrededor de Y

$$M_{yn} := C_{ox} \cdot \left(h_{i1} \right) + T_{dc} \cdot \left(H + D_h + E_{ht} \right) + F_{cc} \cdot \left(H + D_h + D_{FCC} \right) + F_z \cdot \left(H + \frac{D_h}{2} \right) +$$

$$+ F_{zeq} \cdot \left(H + D_h + \frac{E_{ht}}{2} \right)$$

$$M_{yn} = 4358,5 \text{ kgf m}$$

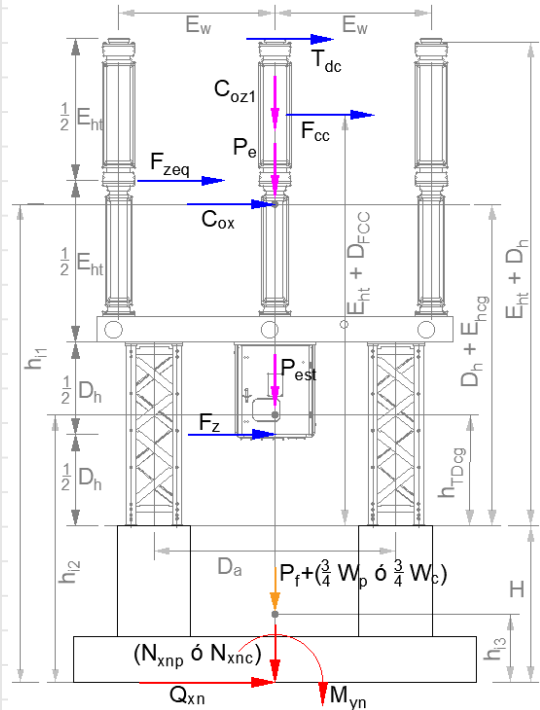



Figura 5. DCL sentido X

Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación

Para el **cálculo de las excentricidades** las ecuaciones consideran el **aporte del peso del suelo sobre la fundación**, por tanto, si la **excentricidad calculada resulta en un valor negativo** esta debe **considerarse igual a cero** ya que el valor negativo indica que el momento resistente originado por el peso del suelo es mayor al momento originado por las cargas actuantes.

En cuanto al cálculo de la **excentricidad en el sentido ortogonal** a la aplicación de las cargas, esta **se considera igual a cero**. Esto debido a que, las **solicitaciones se aplican en direcciones ortogonales independientes**. Art. 1.4.2b DOC. TEC. CIGRE

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión $P_{xC1tcn} := N_{xnp} = 41326,49 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC1tcn} := \text{Max} \left(\frac{M_{yn} - 0,125 \cdot B_x \cdot W_p}{P_{xC1tcn}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yC1tcn} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

$$\frac{e_{xC1tcn}}{B_x} + \frac{e_{yC1tcn}}{B_y} = 0 \quad \text{--->} \quad \frac{e_{xC1tcn}}{B_x} + \frac{e_{yC1tcn}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "OK. Dentro del tercio central"

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{xC2tcn} := N_{xnc} = 59881,82 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2tcn} := \text{Max} \left(\frac{M_{yn} - 0,25 \cdot B_x \cdot W_c}{P_{xC2tcn}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yC2tcn} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

$$\frac{e_{xC2tcn}}{B_x} + \frac{e_{yC2tcn}}{B_y} = 0 \quad \text{--->} \quad \frac{e_{xC2tcn}}{B_x} + \frac{e_{yC2tcn}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "N/A"

Condición de excentricidad para la verificación "CASO 1"


Tensión de contacto máxima en el suelo

Excentricidad de diseño en sentido X $e_{xtcn} = 0 \text{ cm}$

Excentricidad de diseño en sentido Y $e_{ytcn} = 0$

Carga vertical en compresión $P_{xtcn} = 41326,4913 \text{ kgf}$

Para el cálculo de la **constante K** utilizado para determinar la **tensión de contacto en el sello de fundación** se ha generado una **ecuación de manera empírica**. Se basa en el principio de que al menos **una de las excentricidades es igual a cero**, esto debido a que las sollicitaciones ortogonales se consideran independientes.

| | | |
|---------------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

$$K_{x_{tcn}} := 16805 \cdot \left(\frac{e_{x_{tcn}}}{B_x} \right)^6 - 17486 \cdot \left(\frac{e_{x_{tcn}}}{B_x} \right)^5 + 7034,8 \cdot \left(\frac{e_{x_{tcn}}}{B_x} \right)^4 - 1284,7 \cdot \left(\frac{e_{x_{tcn}}}{B_x} \right)^3 + 103,61 \cdot \left(\frac{e_{x_{tcn}}}{B_x} \right)^2 + 3,0387 \cdot \left(\frac{e_{x_{tcn}}}{B_x} \right) + 1,0135$$

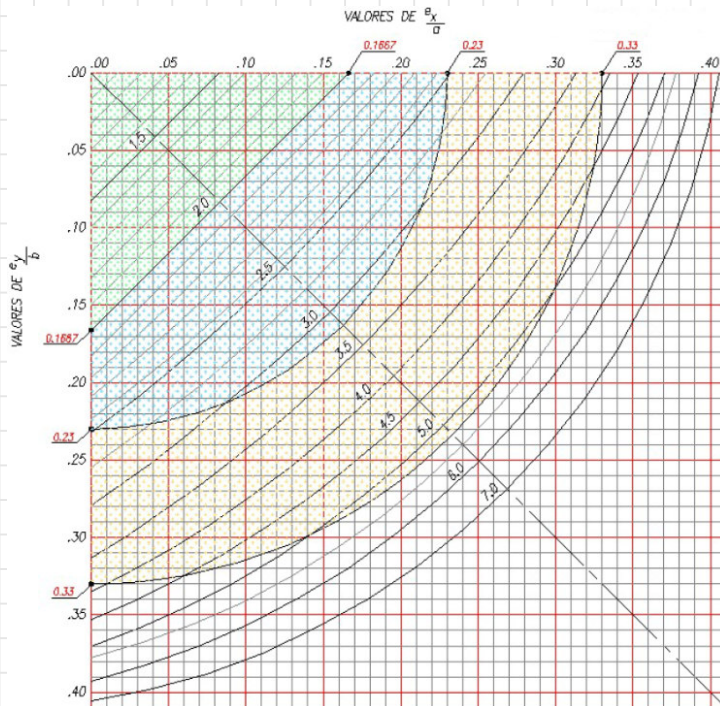


Figura 6. Valores de K. Fundaciones excéntricas

Excentricidades

$$\frac{e_{x_{tcn}}}{B_x} = 0$$

$$\frac{e_{y_{tcn}}}{B_y} = 0$$

Constante K Fig. 4 DOC. TEC. CIGRE)

$$K_{x_{tcn}} = 1,01$$

Carga vertical en compresión

$$P_{x_{tcn}} = 41326,49 \text{ kgf}$$

Tensión de contacto en sello de fundación

$$\sigma_{x_{adm}} := \frac{K_{x_{tcn}} \cdot P_{x_{tcn}}}{B_x \cdot B_y}$$


$$\sigma_{x_{adm}} = 0,4928 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Tensión vertical admisible del suelo

$$\sigma_{vadm} = 6,83 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x_{adm}} \leq \sigma_{vadm}$$

"OK"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Cargas normales sentido Y (Hipotesis B2)

Solicitaciones en tope de pedestal

Resultante vertical

$$N_{ynp} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{ynp} = 41326,4913 \text{ kgf}$$

$$N_{ync} := \frac{3}{4} \cdot W_c + P_e + P_{est} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{ync} = 59881,8221 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y

$$Q_{yn} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + F_z + F_{zeq}$$

$$Q_{yn} = 673,9745 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X

$$Q_{xn} := 0 \text{ kgf}$$

Momento alrededor de Y

$$M_{yn} := 0 \text{ kgf m}$$

Momento alrededor de X

$$M_{xn} := C_{ox} \cdot \left(h_{i1} \right) + T_{dc} \cdot \left(H + D_h + E_{ht} \right) + F_{cc} \cdot \left(H + D_h + D_{FCC} \right) + F_z \cdot \left(H + \frac{D_h}{2} \right) + F_{zeq} \cdot \left(H + D_h + \frac{E_{ht}}{2} \right)$$

$$M_{xn} = 4358,5 \text{ kgf m}$$

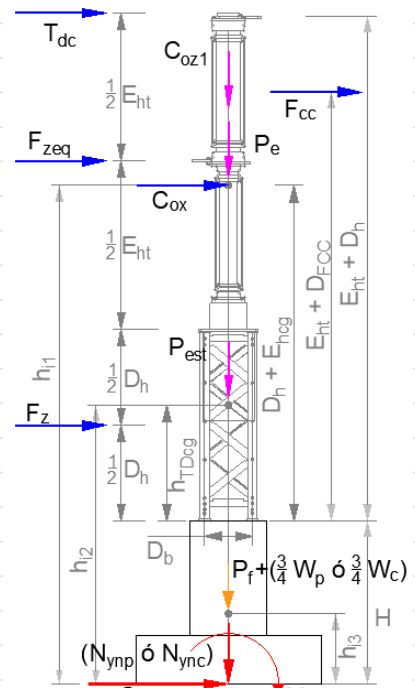


Figura 7. DCL sentido Y

Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación


Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión $P_{yCltcn} := N_{ynp} = 41326,49 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xCltcn} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

Excentricidad en Y $e_{yCltcn} := \text{Max} \left(\frac{M_{xn} - 0,125 \cdot B_y \cdot W_p}{P_{yCltcn}} ; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

$$\frac{e_{xCltcn}}{B_x} + \frac{e_{yCltcn}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xCltcn}}{B_x} + \frac{e_{yCltcn}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Condición de excentricidad "OK. Dentro del tercio central"

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{yC2tcn} := N_{ync} = 59881,82 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2tcn} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

Excentricidad en Y $e_{yC2tcn} := \text{Max} \left(\frac{M_{xn} - 0,25 \cdot B_y \cdot W_p}{P_{yC2tcn}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

$$\frac{e_{xC2tcn}}{B_x} + \frac{e_{yC2tcn}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC2tcn}}{B_x} + \frac{e_{yC2tcn}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "N/A"

Condición de excentricidad para la verificación "CASO 1"

Tensión de contacto máxima en el suelo

Excentricidad de diseño en sentido X $e_{xtcn} = 0 \text{ cm}$

Excentricidad de diseño en sentido Y $e_{ytcn} = 0 \text{ cm}$

Carga vertical en compresión $P_{ytcn} = 41326,4913 \text{ kgf}$

Excentricidades $\frac{e_{xtcn}}{B_x} = 0$ $\frac{e_{ytcn}}{B_y} = 0$


Constante K Fig. 4 DOC. TEC. CIGRE)

$$K_{ytcn} := 16805 \cdot \left(\frac{e_{ytcn}}{B_y} \right)^6 - 17486 \cdot \left(\frac{e_{ytcn}}{B_y} \right)^5 + 7034,8 \cdot \left(\frac{e_{ytcn}}{B_y} \right)^4 - 1284,7 \cdot \left(\frac{e_{ytcn}}{B_y} \right)^3 + 103,61 \cdot \left(\frac{e_{ytcn}}{B_y} \right)^2 + 3,0387 \cdot \left(\frac{e_{ytcn}}{B_y} \right) + 1,0135$$

$$K_{ytcn} = 1,01$$

Tensión de contacto en sello de fundación $\sigma_{yadm} := \frac{K_{ytcn} \cdot P_{ytcn}}{B_x \cdot B_y} = 0,49 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Tensión vertical admisible del suelo $\sigma_{vadm} = 6,83 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\sigma_{yadm} \leq \sigma_{vadm}$ "OK"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Cargas eventuales sentido X (Hipotesis C1)

Solicitaciones en sello de fundación

Resultante vertical

$$N_{xep} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} + f_{v1} + f_{v2} + f_{v3} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{xep} = 47955,63 \text{ kgf}$$

$$N_{xec} := \frac{3}{4} \cdot W_c + P_e + P_{est} + f_{v1} + f_{v2} + f_{v3} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{xec} = 66510,96 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X

$$Q_{xe} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + f_{i1} + f_{i2} + f_{i3}$$

$$Q_{xe} = 11513,6619 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y $Q_{ye} := 0 \text{ kgf}$

Momento alrededor de Y

$$M_{ye} := \left(C_{ox} + J_1 \cdot (f_{i1}) \right) \cdot (h_{i1}) + T_{dc} \cdot (H + D_h + E_{ht}) + F_{cc} \cdot (H + D_h + D_{FCC}) + J_2 \cdot (f_{i2}) \cdot h_{i2} + J_3 \cdot (f_{i3}) \cdot h_{i3}$$

$$M_{ye} = 29880,3 \text{ kgf m}$$

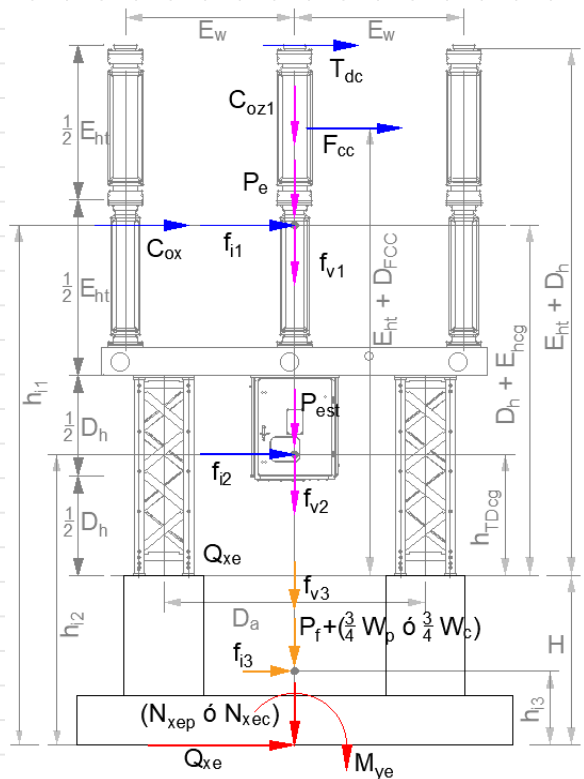


Figura 8. DCL sentido X

Momento alrededor de X $M_{xe} := 0 \text{ kgf m}$


Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión $P_{xC1tce} := N_{xep} = 47955,63 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC1tce} := \text{Max} \left(\frac{M_{ye} - 0,125 \cdot B_x \cdot W_p}{P_{xC1tce}} ; 0 \text{ cm} \right) = 38,08 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yC1tce} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

$$\frac{e_{xC1tce}}{B_x} + \frac{e_{yC1tce}}{B_y} = 0,09 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1tce}}{B_x} + \frac{e_{yC1tce}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "OK. Dentro del tercio central"

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{xC2tce} := N_{xec} = 66510,96 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2tce} := \text{Max} \left(\frac{M_{ye} - 0,25 \cdot B_x \cdot W_c}{P_{xC2tce}} ; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yC2tce} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

$$\frac{e_{xC2tce}}{B_x} + \frac{e_{yC2tce}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC2tce}}{B_x} + \frac{e_{yC2tce}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "N/A"

Condición de excentricidad para la verificación "CASO 1"

Tensión de contacto máxima en el suelo

Excentricidad de diseño en sentido X $e_{xtce} = 38,08 \text{ cm}$

Excentricidad de diseño en sentido Y $e_{ytce} = 0 \text{ cm}$

Carga vertical en compresión $P_{xtce} = 47955,6273 \text{ kgf}$

Constante K Fig. 4 DOC. TEC. CIGRE)


$$K_{xtce} := 16805 \cdot \left(\frac{e_{xtce}}{B_x} \right)^6 - 17486 \cdot \left(\frac{e_{xtce}}{B_x} \right)^5 + 7034,8 \cdot \left(\frac{e_{xtce}}{B_x} \right)^4 - 1284,7 \cdot \left(\frac{e_{xtce}}{B_x} \right)^3 + 103,61 \cdot \left(\frac{e_{xtce}}{B_x} \right)^2 + 3,0387 \cdot \left(\frac{e_{xtce}}{B_x} \right) + 1,0135$$

$K_{xtce} = 1,5545$

Excentricidades $\frac{e_{xtce}}{B_x} = 0,09$ $\frac{e_{ytce}}{B_y} = 0$

Tensión de contacto en sello de fundación $\sigma_{xadme} := \frac{K_{xtce} \cdot P_{xtce}}{B_x \cdot B_y} = 0,88 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Tensión vertical admisible del suelo $\sigma_{vadmE} = 10,24 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\sigma_{xadme} \leq \sigma_{vadmE}$ "OK"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Cargas eventuales sentido Y (Hipotesis C2)

Solicitaciones en sello de fundación

Resultante vertical

$$N_{xep} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} + f_{v1} + f_{v2} + f_{v3} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{xep} = 47955,63 \text{ kgf}$$

$$N_{xec} := \frac{3}{4} \cdot W_c + P_e + P_{est} + f_{v1} + f_{v2} + f_{v3} + C_{oz1} + P_f$$

$$N_{xec} = 66510,96 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y

$$Q_{ye} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + f_{i1} + f_{i2}$$

$$Q_{ye} = 3088,1261 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X $Q_{xe} := 0 \text{ kgf}$

Momento alrededor de Y $M_{ye} := 0 \text{ kgf m}$

Momento alrededor de X

$$M_{xe} := \left(C_{ox} + J_1 \cdot \left(f_{i1} \right) \right) \cdot \left(h_{i1} \right) + T_{dc} \cdot \left(H + D_h + E_{ht} \right) + F_{cc} \cdot \left(H + D_h + D_{FCC} \right) + J_2 \cdot \left(f_{i2} \right) \cdot h_{i2} + J_3 \cdot \left(f_{i3} \right) \cdot h_{i3}$$

$$M_{xe} = 29880,3 \text{ kgf m}$$

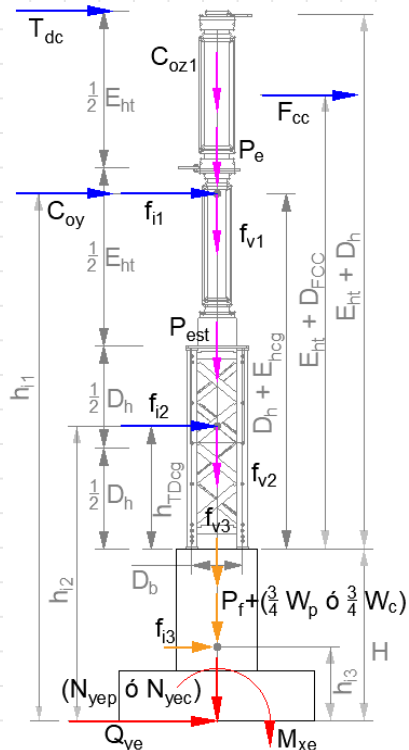


Figura 9. DCL sentido Y


Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión $P_{yCltce} := N_{xep} = 47955,63 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xCltce} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

Excentricidad en Y $e_{yCltce} := \text{Max} \left(\frac{M_{xe} - 0,125 \cdot B_y \cdot W_p}{P_{yCltce}}; 0 \text{ cm} \right) = 0,51 \text{ m}$

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

$$\frac{e_{xC1tce}}{B_x} + \frac{e_{yC1tce}}{B_y} = 0,25 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1tce}}{B_x} + \frac{e_{yC1tce}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "N/A. Fuera del tercio central"

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{yC2tce} := N_{xec} = 66510,96 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2tce} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

Excentricidad en Y $e_{yC2tce} := \text{Max} \left(\frac{M_{xe} - 0,25 \cdot B_y \cdot W_p}{P_{yC2tce}}; 0 \text{ cm} \right) = 28,48 \text{ cm}$

$$\frac{e_{xC2tce}}{B_x} + \frac{e_{yC2tce}}{B_y} = 0,14 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC2tce}}{B_x} + \frac{e_{yC2tce}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "APLICA"

Condición de excentricidad para la verificación "CASO 2"

Tensión de contacto máxima en el suelo

Excentricidad de diseño en sentido X $e_{xtce} = 0 \text{ cm}$

Excentricidad de diseño en sentido Y $e_{ytce} = 28,4812 \text{ cm}$

Carga vertical en compresión $P_{ytce} = 66510,9581 \text{ kgf}$

Constante K Fig. 4 DOC. TEC. CIGRE)


$$K_{ytce} := 16805 \cdot \left(\frac{e_{ytce}}{B_y} \right)^6 - 17486 \cdot \left(\frac{e_{ytce}}{B_y} \right)^5 + 7034,8 \cdot \left(\frac{e_{ytce}}{B_y} \right)^4 - 1284,7 \cdot \left(\frac{e_{ytce}}{B_y} \right)^3 + 103,61 \cdot \left(\frac{e_{ytce}}{B_y} \right)^2 + 3,0387 \cdot \left(\frac{e_{ytce}}{B_y} \right) + 1,0135$$

$$K_{ytce} = 1,8465$$

Excentricidades $\frac{e_{xtce}}{B_x} = 0$ $\frac{e_{ytce}}{B_y} = 0,14$

Tensión de contacto en sello de fundación $\sigma_{yadmE} := \frac{K_{ytce} \cdot P_{ytce}}{B_x \cdot B_y} = 1,44 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Tensión vertical admisible del suelo $\sigma_{vadmE} = 10,24 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\sigma_{yadmE} \leq \sigma_{vadmE}$ "OK"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

9.2 VERIFICACIÓN DEL VOLCAMIENTO (A2.3.3. DOC. TEC. CIGRE) SIN NAPA

Cargas normales sentido X (Hipotesis B3)

Solicitaciones en sello de fundación

Resultante vertical

$$N_{xnp} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} - C_{oz2} + P_f$$

$$N_{xnp} = 34596,3643 \text{ kgf}$$

$$N_{xnc} := \frac{1}{2} \cdot W_c + P_e + P_{est} - C_{oz2} + P_f$$

$$N_{xnc} = 41498,0048 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X

$$Q_{xn} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + F_z + F_{zeq}$$

$$Q_{xn} = 673,9745 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y

$$Q_{yn} := 0 \text{ kgf}$$

Momento alrededor de X

$$M_{xn} := 0 \text{ kgf m}$$

Momento alrededor de Y

$$M_{yn} := C_{ox} \cdot \left(h_{i1} \right) + T_{dc} \cdot \left(H + D_h + E_{ht} \right) + F_{cc} \cdot \left(H + D_h + D_{FCC} \right) + F_z \cdot \left(H + \frac{D_h}{2} \right) + F_{zeq} \cdot \left(H + D_h + \frac{E_{ht}}{2} \right)$$

$$M_{yn} = 4358,5 \text{ kgf m}$$

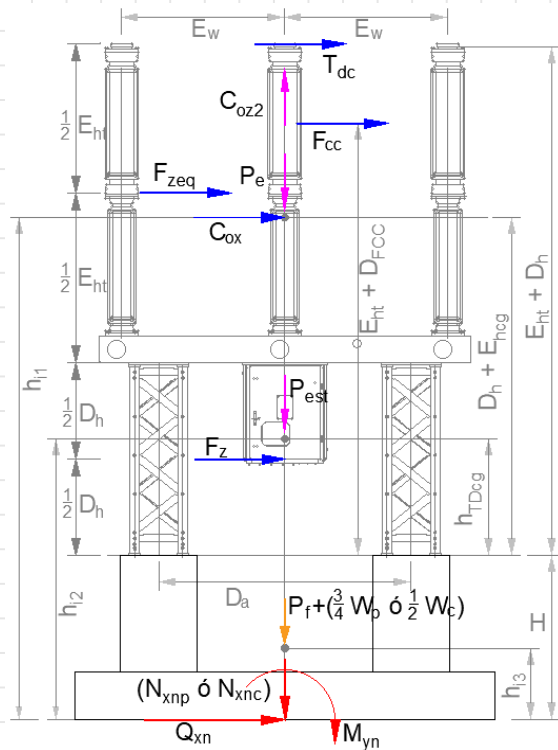


Figura 10. DCL sentido X

Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación


Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión

$$P_{xc1Vn} := N_{xnp} = 34596,36 \text{ kgf}$$

Excentricidad en X

$$e_{xc1Vn} := \text{Max} \left(\frac{M_{yn} - 0,125 \cdot B_x \cdot W_p}{P_{xc1Vn}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$$

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Excentricidad en Y $e_{yC1Vn} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

$$\frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "OK. Dentro del tercio central"

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{xC2Vn} := N_{xnc} = 41498 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2Vn} := \text{Max} \left(\frac{M_{yn} - 0,167 \cdot B_x \cdot W_c}{P_{xC2Vn}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yC2Vn} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

$$\frac{e_{xC2Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC2Vn}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC2Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC2Vn}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "N/A"

Condición de excentricidad para la verificación "CASO 1"

Verificación de área comprimida

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta


$$\frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} \leq \frac{1}{6} \quad \text{"APLICA. OK"}$$

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Vn}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Vn}}{B_y}\right)^2} = 0$$

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Vn}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Vn}}{B_y}\right)^2} \leq 0,23 \quad \text{"NO APLICA"}$$

Area comprimida de la fundación "100% OK" "CASO 1"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Cargas normales sentido Y (Hipotesis B4)

Solicitaciones en sello de fundación

Resultante vertical

$$N_{xnp} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} - C_{oz2} + P_f$$

$$N_{xnp} = 34596,3643 \text{ kgf}$$

$$N_{xnc} := \frac{1}{2} \cdot W_c + P_e + P_{est} - C_{oz2} + P_f$$

$$N_{xnc} = 41498,0048 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y

$$Q_{yn} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + F_z + F_{zeq}$$

$$Q_{yn} = 673,9745 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X

$$Q_{xn} := 0 \text{ kgf}$$

Momento alrededor de Y

$$M_{yn} := 0 \text{ kgf m}$$

Momento alrededor de X

$$M_{xn} := C_{oy} \cdot \left(h_{i1} \right) + T_{dc} \cdot \left(H + D_h + E_{ht} \right) + F_{cc} \cdot \left(H + D_h + D_{FCC} \right) + F_z \cdot \left(H + \frac{D_h}{2} \right) + F_{zeq} \cdot \left(H + D_h + \frac{E_{ht}}{2} \right)$$

$$M_{xn} = 4358,5041 \text{ kgf m}$$

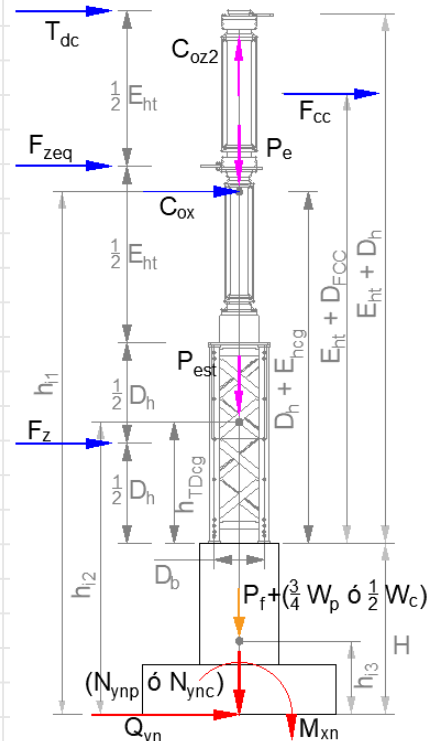


Figura 11. DCL sentido Y

Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión

$$P_{yC1Vn} := N_{xnp} = 34596,36 \text{ kgf}$$

Excentricidad en X


$$e_{xC1Vn} := 0 \text{ cm}$$

"Direcciones ortogonales independientes"

Excentricidad en Y

$$e_{yC1Vn} := \text{Max} \left(\frac{M_{xn} - 0,125 \cdot B_y \cdot W_p}{P_{yC1Vn}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$$

☐

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

$$\frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad **"OK. Dentro del tercio central"**

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{yC2Vn} := N_{xnc} = 41498 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2Vn} := 0 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yC2Vn} := \text{Max} \left(\frac{M_{xn} - 0,167 \cdot B_y \cdot W_c}{P_{yC2Vn}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

$$\frac{e_{xC2Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC2Vn}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC2Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC2Vn}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad **"N/A"**

Condición de excentricidad para la verificación **"CASO 1"**

Verificación de área comprimida

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta


$$\frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} \leq \frac{1}{6} \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1Vn}}{B_x} + \frac{e_{yC1Vn}}{B_y} \leq \frac{1}{6} \quad \text{"APLICA. OK"}$$

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Vn}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Vn}}{B_y}\right)^2} = 0$$

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Vn}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Vn}}{B_y}\right)^2} \leq 0,23 \quad \text{"NO APLICA"}$$

Area comprimida de la fundación **"100% OK"** **"CASO 1"**

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Cargas eventuales sentido X (Hipotesis C3)

Solicitaciones en sello de fundación

Resultante vertical

$$N_{xep} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} + P_f - f_{v1} - f_{v2} - f_{v3} - C_{oz2}$$

$$N_{xep} = 27967,23 \text{ kgf}$$

$$N_{xec} := \frac{1}{2} \cdot W_c + P_e + P_{est} + P_f - f_{v1} - f_{v2} - f_{v3} - C_{oz2}$$

$$N_{xec} = 34868,87 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X

$$Q_{xe} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + f_{i1} + f_{i2} + f_{i3}$$

$$Q_{xe} = 11513,6619 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y $Q_{ye} := 0 \text{ kgf}$

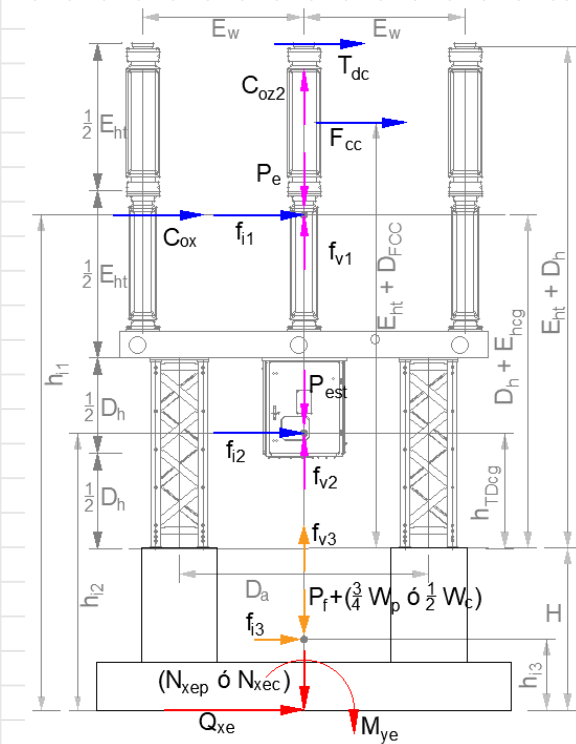


Figura 12. DCL sentido X

Momento alrededor de X $M_{xe} := 0 \text{ kgf m}$

Momento alrededor de Y

$$M_{ye} := \left(C_{ox} + J_1 \cdot \left(f_{i1} \right) \right) \cdot \left(h_{i1} \right) + T_{dc} \cdot \left(H + D_h + E_{ht} \right) + F_{cc} \cdot \left(H + D_h + D_{FCC} \right) + J_2 \cdot \left(f_{i2} \right) \cdot h_{i2} + J_3 \cdot \left(f_{i3} \right) \cdot h_{i3}$$

$$M_{ye} = 29880,3 \text{ kgf m}$$


Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión $P_{xc1Ve} := N_{xep} = 27967,23 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xc1Ve} := \text{Max} \left(\frac{M_{ye} - 0,125 \cdot B_x \cdot W_p}{P_{xc1Ve}} ; 0 \text{ cm} \right) = 65,29 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yc1Ve} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

$$\frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} = 0,15 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad **"OK. Dentro del tercio central"**

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{xC2Ve} := N_{xec} = 34868,87 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2Ve} := \text{Max} \left(\frac{M_{ye} - 0,167 \cdot B_x \cdot W_c}{P_{xC2Ve}}; 0 \text{ cm} \right) = 0 \text{ cm}$

Excentricidad en Y $e_{yC2Ve} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

+

$$\frac{e_{xC2Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC2Ve}}{B_y} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC2Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC2Ve}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad **"N/A"**

+

Condición de excentricidad para la verificación **"CASO 1"**

Verificación de área comprimida

+

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta


$$\frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} = 0,15 \quad \frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} \leq \frac{1}{6} \quad \text{"APLICA. OK"}$$

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Ve}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Ve}}{B_y}\right)^2} = 0$$

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Ve}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Ve}}{B_y}\right)^2} \leq 0,23 \quad \text{"NO APLICA"}$$

Area comprimida de la fundación **"100% OK"** **"CASO 1"**

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

Cargas eventuales sentido Y (Hipotesis C4)

Solicitaciones en sello de fundación

Resultante vertical

$$N_{yep} := \frac{3}{4} \cdot W_p + P_e + P_{est} + P_f - f_{v1} - f_{v2} - f_{v3} - C_{oz2}$$

$$N_{yep} = 27967,23 \text{ kgf}$$

$$N_{yec} := \frac{1}{2} \cdot W_c + P_e + P_{est} + P_f - f_{v1} - f_{v2} - f_{v3} - C_{oz2}$$

$$N_{yec} = 34868,87 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en Y

$$Q_{ye} := C_{ox} + F_{cc} + T_{dc} + f_{i1} + f_{i2} + f_{i3}$$

$$Q_{ye} = 11513,6619 \text{ kgf}$$

Fuerza cortante en X

$$Q_{xe} := 0 \text{ kgf}$$

Momento alrededor de Y

$$M_{ye} := 0 \text{ kgf m}$$

Momento alrededor de X

$$M_{xe} := \left(C_{ox} + J_1 \cdot \left(f_{i1} \right) \right) \cdot \left(h_{i1} \right) + T_{dc} \cdot \left(H + D_h + E_{ht} \right) + F_{cc} \cdot \left(H + D_h + D_{FCC} \right) + J_2 \cdot \left(f_{i2} \right) \cdot h_{i2} + J_3 \cdot \left(f_{i3} \right) \cdot h_{i3}$$

$$M_{xe} = 29880,3 \text{ kgf m}$$

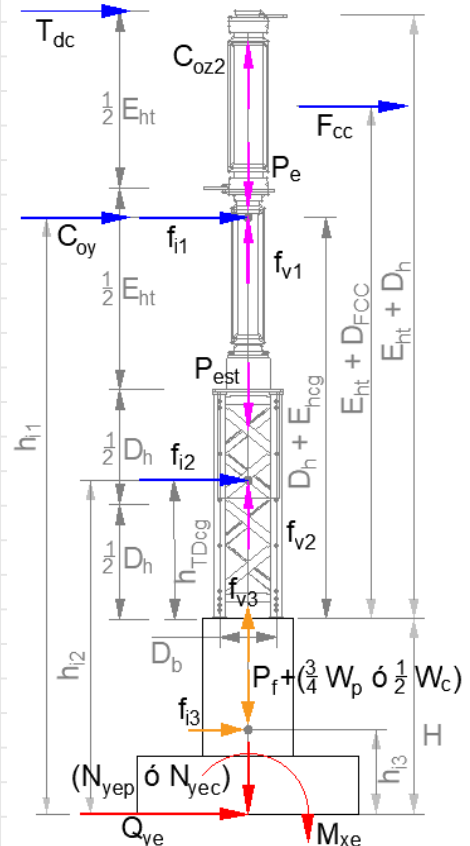


Figura 13. DCL sentido Y


Condición de excentricidad. Nivel sello de fundación

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta

Carga vertical en compresión $P_{yc1Ve} := N_{yep} = 27967,23 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xc1Ve} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

Excentricidad en Y $e_{yc1Ve} := \text{Max} \left(\frac{M_{xe} - 0,125 \cdot B_y \cdot W_p}{P_{yc1Ve}}; 0 \text{ cm} \right) = 87,29 \text{ cm}$

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

$$\frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} = 0,44 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} \leq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "N/A. Fuera del tercio central"

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

Carga vertical en compresión $P_{yC2Ve} := N_{yec} = 34868,87 \text{ kgf}$

Excentricidad en X $e_{xC2Ve} := 0 \text{ cm}$ "Direcciones ortogonales independientes"

Excentricidad en Y $e_{yC2Ve} := \text{Max} \left(\frac{M_{xe} - 0,167 \cdot B_y \cdot W_c}{P_{yC2Ve}}; 0 \text{ cm} \right) = 41,04 \text{ cm}$

$$\frac{e_{xC2Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC2Ve}}{B_y} = 0,21 \quad \rightarrow \quad \frac{e_{xC2Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC2Ve}}{B_y} \geq \frac{1}{6}$$

Condición de excentricidad "APLICA"

Condición de excentricidad para la verificación "CASO 2"

Verificación de área comprimida

Caso 1: Carga vertical de compresión y excentricidades menores a un sexto de sus dimensiones en planta


$$\frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} = 0,44 \quad \frac{e_{xC1Ve}}{B_x} + \frac{e_{yC1Ve}}{B_y} \leq \frac{1}{6} \quad \text{"NO APLICA"}$$

Caso 2: Carga vertical de compresión y resultante fuera del tercio central

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Ve}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Ve}}{B_y}\right)^2} = 0,21$$

$$\sqrt{\left(\frac{e_{xC2Ve}}{B_x}\right)^2 + \left(\frac{e_{yC2Ve}}{B_y}\right)^2} \leq 0,23 \quad \text{"APLICA. OK"}$$

Area comprimida de la fundación ">80% OK" "CASO 2"

| | | |
|--------------------|---|--|
| DESCRIPCIÓN: | Estabilidad de Fundaciones tipo Zapata Combinada por el Método X-Y. CIGRE 2018. Act. 2020 |  |
| DISCIPLINA: | Ingeniería Estructural | |
| TIPO DE DOCUMENTO: | Educativo | |
| ÁREA DE INTERÉS: | Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder) | |

10 RESUMEN DE VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA FUNDACIÓN

TENSIÓN DE CONTACTO MÁXIMA (A2.3.2. DOC. TEC. CIGRE) SIN NAPA

| | | |
|---|-------------------------------------|------|
| <u>Cargas normales sentido X (Hipotesis B1)</u> | $\sigma_{xadm} \leq \sigma_{vadm}$ | "OK" |
| <u>Cargas normales sentido Y (Hipotesis B2)</u> | $\sigma_{yadm} \leq \sigma_{vadm}$ | "OK" |
| <u>Cargas eventuales sentido X (Hipotesis C1)</u> | $\sigma_{xadme} \leq \sigma_{vadm}$ | "OK" |
| <u>Cargas eventuales sentido Y (Hipotesis C2)</u> | $\sigma_{yadme} \leq \sigma_{vadm}$ | "OK" |

VERIFICACIÓN DEL VOLCAMIENTO (A2.3.3. DOC. TEC. CIGRE) SIN NAPA

| | | |
|---|-----------|----------|
| <u>Cargas normales sentido X (Hipotesis B3)</u> | "100% OK" | "CASO 1" |
| <u>Cargas normales sentido Y (Hipotesis B4)</u> | "100% OK" | "CASO 1" |
| <u>Cargas eventuales sentido X (Hipotesis C3)</u> | "100% OK" | "CASO 1" |
| <u>Cargas eventuales sentido Y (Hipotesis C4)</u> | ">80% OK" | "CASO 2" |