



DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. 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.....	5
6.1	Características Geotécnicas.....	5
7	Computos de Cargas.....	6
7.1	Peso propio de Equipo, Estructura y Fundación.....	6
7.2	Sobrecarga Sísmica.....	7
7.3	Fuerza de Viento.....	13
7.4	Acciones Simultaneas con el Sismo.....	16
7.5	Cargas de Operación del Equipo.....	17
8	Hipotesis de Cálculo.....	18

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

01 INTRODUCCIÓN

Las estructuras y fundaciones a ser utilizadas como soporte de equipos de subestaciones eléctricas tienen la particularidad que para el diseño se deben considerar las fuerzas actuantes en el sistema Equipo - Estructura - (Suelo + Fundación). El hecho de considerar la fundación como parte del sistema para el cálculo de las solicitaciones, se debe principalmente a que las fundaciones son mucho más pesadas que los equipos y estructuras que soportan. Es decir, el nivel basal de diseño corresponde a la base de contacto entre el suelo y la fundación.

En cuanto al suelo sobre la fundación, en la metodología desarrollada en el CIGRE se considera que aporta al peso sísmico para el cálculo de las solicitaciones. Esto debido a que, al estar compactado este acelera en conjunto con la fundación. Este punto por supuesto tiene mucho debate, entre quienes consideran que es una sobre estimación de la fuerza sísmica sobre el sistema, ya que convencionalmente no se considera que el suelo acelera de esta forma.

Para las solicitaciones de diseño de la estructura se considera el carácter de movilidad que tienen el equipo y la estructura de soporte, es decir, pueden ser reutilizados y reubicados en diferentes subestaciones con zonas sísmicas de diferente intensidad. Por lo tanto, el equipo como la estructura deben ser diseñados con una aceleración basal de 0.5g. No obstante, esto no ocurre con las fundaciones, estas se diseñan según la zona sísmica del proyecto ya que no se considera que puedan movilizarse.

El cálculo de la fuerza asociada al cortocircuito en el equipo se determina en base a la corriente que circula a través del equipo. Es decir, que, para equipos con un solo terminal como Pararrayos, Transformadores de corriente, etc., la fuerza de cortocircuito es igual a cero.

02 OBJETIVO

El presente documento está referido al cálculo de las solicitaciones sobre equipos bajos de subestaciones eléctricas.


03 BASES PARA EL DISEÑO

Normas Nacionales

1. NCh 2369.Of2003 - Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
2. NCh 432. Of 2010 - Diseño Estructural - Cargas de viento.

Documentos Técnicos

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

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. 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

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

05 GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA Y EQUIPO

5.1 EQUIPO (INTERRUPTOR)

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

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

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

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

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

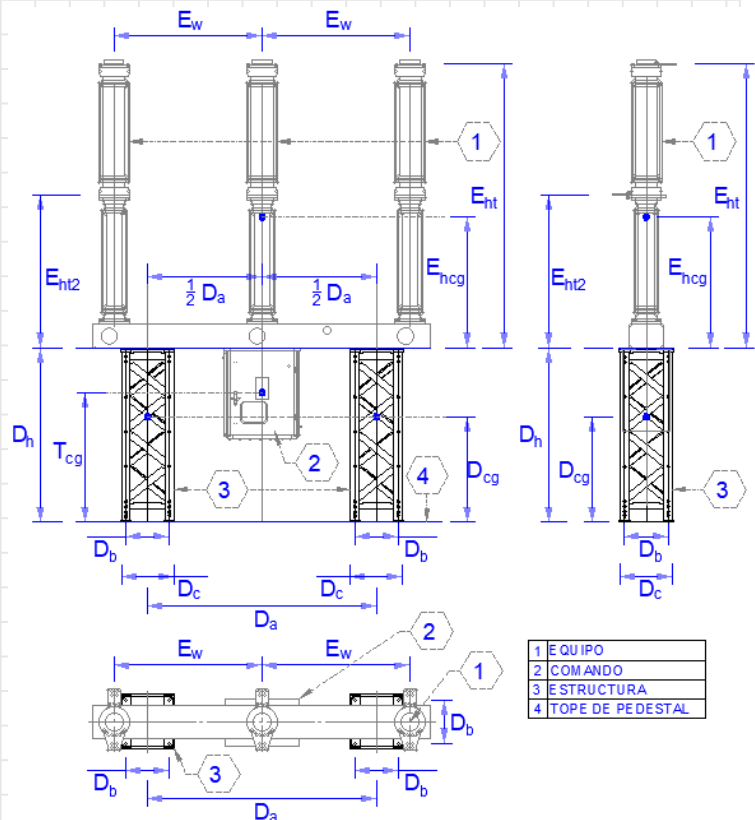



Figura 1. Imagen referencial de la estructura y equipo

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. 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	$d_x := D_a - b_x = 183 \text{ cm}$

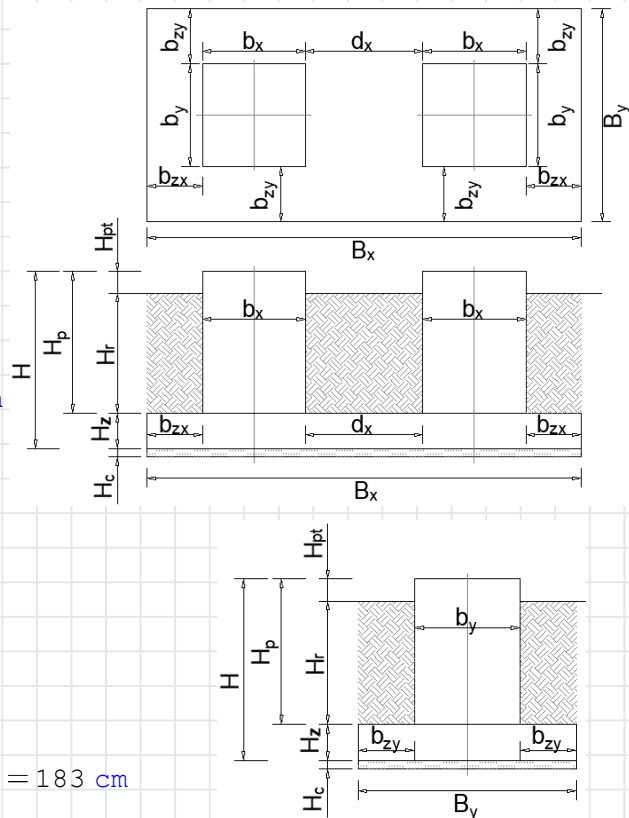



Figura 2. Imagen referencial de la fundación.

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	$H := H_z + H_p = 265 \text{ cm}$

06 PARÁMETROS DEL SUELO

6.1 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Peso unitario	$\gamma_s := 1900 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$
---------------	--------------------------------------------------

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

07 COMPUTOS DE CARGAS

Para el cálculo de **las solicitaciones** que actúan sobre los **equipos bajos de subestaciones** se debe considerar la **interacción Equipo - Estructura - Suelo + Fundación**. Uno de los principales motivos es que a diferencia de otras estructuras **la mayor masa se ubica en la fundación**, es decir, las fundaciones son mucho más pesadas que los equipos y estructuras que soportan. Por tanto, **se debe estudiar como la componente sísmica afecta al sistema completo**. Este sistema estructural está definido en el **artículo 1.2.(45-47) del CIGRE 2018**

7.1 PESO PROPIO DE EQUIPO, ESTRUCTURA Y FUNDACIÓN

Equipo

$$\text{Peso de equipo} \quad P_{se} := 2259 \text{ kgf}$$

$$\text{Peso de SF6} \quad P_{SF6} := 10 \text{ kgf}$$

$$\text{Peso total del equipo} \quad P_e := P_{se} + P_{SF6} = 2269 \text{ kgf}$$

Estructura

$$\text{Peso de estructura} \quad P_{1es} := 305 \text{ kgf}$$

$$\text{Peso de comando} \quad P_c := 50 \text{ kgf}$$

$$\text{Peso total de estructura} \quad P_{est} := 2 \cdot P_{1es} + P_c = 660 \text{ kgf}$$

$$\text{CG ponderado estructura - comando} \quad h_{TDcg} := \frac{D_{cg} \cdot 2 \cdot P_{1es} + T_{cg} \cdot P_c}{2 \cdot P_{1es} + P_c} = 1,23 \text{ m}$$

"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:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. 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 - Suelo + Fundación** se obtienen 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**.

Coeficiente Sísmico

Estructura

Tipo de unión de la estructura

APERNADA

Factor de modificación de respuesta
Tabla 1.3 DOC. TEC. CIGRE

$R := 3$

Razón de amortiguamiento
Art. 1.3.5.2 DOC. TEC. CIGRE

$\xi = 0,05$

En cuanto a la intensidad sísmica del diseño o **Aceleración efectiva máxima del suelo**, el Documento Técnico del **CIGRE 2018** indica lo siguiente: **"Independiente del lugar de emplazamiento de la Instalación, el diseño sísmico de los equipos y sus estructuras de soporte deberá considerar la solicitud sísmica caracterizada por los valores máximos de aceleración, de velocidad y de desplazamiento horizontales en la superficie del terreno señalados en la Tabla 1.1."**

Aceleración Basal "A ₀ " a/g	Velocidad v (cm/s)	Desplazamiento Horizontal d (cm)
0.5	50	25

Figura 3. Tabla 1.1, Documento Técnico del CIGRE 2018

La razón por la que **se considera que tanto el equipo como la estructura** se deben **diseñar con el valor máximo de Aceleración Basal**, es debido a que, estos tienen **carácter de movilidad**, es decir, **pueden ser reutilizados y reubicados** en diferentes subestaciones con zonas sísmicas de diferente intensidad.

Aceleración efectiva máxima del suelo
Art. 3.2.2 DOC. TEC. CIGRE


$A_{0E} := 0,5 g$

Aceleración máxima
Tabla 1.2 DOC. TEC. CIGRE

$A_E := (3,21 - 0,68 \cdot \ln(\xi \cdot 100)) \cdot A_{0E} = 1,06$

Ordenada del espectro de diseño
Art. 1.3.4 DOC. TEC. CIGRE

$S_{a\xi fE} := A_E \cdot g = 1,06$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

El valor de "S_a" será el que corresponde al máximo valor del Espectro de Diseño según cláusula 3.2.3 sin verificación de la frecuencia fundamental, salvo que se conozca experimentalmente el valor de la frecuencia fundamental del equipo.

Figura 4. Art. 3.2.6a DOC. TEC. CIGRE. Valor de S_{aξf}

Factor de importancia del equipo
Tabla 1.3 DOC. TEC. CIGRE

$$I_E := 1$$

Coefficiente sísmico horizontal
Art. 3.2.6 DOC. TEC. CIGRE

$$C_{hE} := \frac{I_E \cdot S_{a\xi fE}}{R \cdot g} = 0,35$$

Coefficiente sísmico vertical
Art. 3.2.6b DOC. TEC. CIGRE

$$C_{vE} := 0,6 \cdot I_E \cdot \frac{A_{0E}}{g} = 0,3$$

Fundación

"Considerando que las **fundaciones** de los equipos **no tienen el carácter de movilidad o traslado** que sí tienen los equipos y sus estructuras de soporte, para el diseño sísmico de sus fundaciones **se podrán considerar parámetros de intensidad sísmica correspondientes a la Zona Sísmica donde su ubica la instalación de acuerdo con lo señalado en la cláusula 3.2.2.**" Documento Técnico del **CIGRE 2018**

Zona Sísmica	Aceleración Basal "A ₀ "
3	0,5 g
2	0,4 g
1	0,3 g

Figura 4. Tabla 3.2, Documento Técnico del CIGRE 2018

"Donde las Zonas Sísmicas 1, 2, 3 corresponden a las definidas en la norma NCh2369."

Zona sísmica (NCh 2369-2003.)


Aceleración efectiva máxima del suelo $A_0 = 0,4 \text{ g}$
Art. 3.2.2 DOC. TEC. CIGRE

Aceleración máxima $A := (3,21 - 0,68 \cdot \ln(\xi \cdot 100)) \cdot A_0 = 0,85$
Tabla 1.2 DOC. TEC. CIGRE

Ordenada del espectro de diseño $S_{a\xi f} := A \cdot g = 0,85$
Art. 1.3.4 DOC. TEC. CIGRE

Factor de importancia del equipo
Tabla 1.3 DOC. TEC. CIGRE

$$I_E := 1$$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Coefficiente sísmico horizontal
Art. 3.2.6 DOC. TEC. CIGRE

$$C_h := \frac{I_E \cdot S_{a\xi f}}{R \cdot g} = 0,28$$

Coefficiente sísmico vertical
Art. 3.2.6b DOC. TEC. CIGRE

$$C_v := 0,6 \cdot I_E \cdot \frac{A_0}{g} = 0,24$$

Cálculo de la fuerzas sobre el equipo, estructura y fundación

Fuerzas para el diseño de la fundación

Se obtiene de manera ponderada el centro de gravedad de la fundación + suelo.
Esto según lo indicado en el artículo 3.3.1.1.a DOC. TEC. CIGRE.

CG Suelo $CG_s := H_z + \frac{H_r}{2} = 140 \text{ cm}$

CG Fundación $CG_f := \frac{\frac{H_z^2}{2} \cdot B_x \cdot B_y + 2 \cdot H_p \cdot b_x \cdot b_y \cdot \left(H_z + \frac{H_p}{2} \right)}{H_z \cdot B_x \cdot B_y + 2 \cdot H_p \cdot b_x \cdot b_y}$


$$CG_f = 77,0765 \text{ cm}$$

CG Suelo + Fundación Ponderado $CG_{sf} := \frac{CG_s \cdot P_s + CG_f \cdot P_f}{P_s + P_f} = 113,8971 \text{ cm}$

Matriz de pesos del sistema $W_i := \begin{bmatrix} P_e \\ P_{est} \\ P_s + P_f \end{bmatrix}$

Matriz de centros de gravedad desde sello de fundación $h_i := \begin{bmatrix} H + D_h + E_{hcg} \\ H + h_{TDcg} \\ CG_{sf} \end{bmatrix}$

Distribución de corte basal en proporción a los pesos $f'_i := W_i \cdot C_h \rightarrow$
Art. 3.3.1.1a DOC. TEC. CIGRE

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Distribución de corte basal en proporción a los CG
Art. 3.3.1.1a DOC. TEC. CIGRE

$$f''_i := \left[\begin{array}{c} \overrightarrow{W_i \cdot h_i} \\ \sum_{i=1}^3 (W_{i1} \cdot h_{i1}) \\ \sum_{i=1}^3 (W_{i2} \cdot h_{i2}) \\ \sum_{i=1}^3 (W_{i3} \cdot h_{i3}) \end{array} \right] \cdot \sum_{i=1}^3 W_{i1} \cdot C_h$$

Distribución de corte basal en la altura del sistema
Art. 3.3.1.1a DOC. TEC. CIGRE

$$f_i := \frac{1}{3} \cdot f'_i + \frac{2}{3} \cdot f''_i$$

Componente vertical del sismo
Art. 3.3.1.1c DOC. TEC. CIGRE

$$f_v := C_v \cdot W_i$$

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

$$J := \left[\begin{array}{c} h_{i1} \\ 0,8 + 0,2 \cdot \frac{h_{i1}}{h_{i1}} \\ h_{i2} \\ 0,8 + 0,2 \cdot \frac{h_{i2}}{h_{i1}} \\ h_{i3} \\ 0,8 + 0,2 \cdot \frac{h_{i3}}{h_{i1}} \end{array} \right]$$

"NIVEL"	"Wi (kgf)"	"hi (m)"	"f'i (kgf)"	"f''i (kgf)"	"fi (kgf)"	"fv (kgf)"	"J"
"Equipo"	2269,00	6,15	640,03	2750,95	2047,31	544,56	1,00
"Estructura"	660,00	3,88	186,17	504,89	398,65	158,40	0,93
"Fundación+Suelo"	42197,40	1,14	11902,94	9473,30	10283,18	10127,38	0,84

Tabla 1. Componente horizontal y vertical del sismo para el diseño de la Fundación


Fuerzas para el diseño de la estructura

CG Suelo + Fundación
Ponderado

$$CG_{sf} = 113,8971 \text{ cm}$$

Matriz de pesos del sistema

$$W_{iE} := \left[\begin{array}{c} P_e \\ P_{est} \\ P_s + P_f \end{array} \right]$$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Matriz de centros de gravedad desde sello de fundación

$$h_{iE} := \begin{bmatrix} H + D_h + E_{hcg} \\ H + h_{TDcg} \\ CG_{sf} \end{bmatrix}$$

Distribución de corte basal en proporción a los pesos
Art. 3.3.1.1a DOC. TEC. CIGRE

$$f'_{iE} := W_{iE} \cdot C_{hE}$$

Distribución de corte basal en proporción a los CG
Art. 3.3.1.1a DOC. TEC. CIGRE

$$f''_{iE} := \left[\begin{array}{c} W_{iE} \cdot h_{iE} \\ \sum_{i=1}^3 (W_{iE} \cdot h_{iE} \cdot i) \\ \sum_{i=1}^3 (W_{iE} \cdot h_{iE} \cdot i) \\ \sum_{i=1}^3 (W_{iE} \cdot h_{iE} \cdot i) \end{array} \right] \cdot \sum_{i=1}^3 W_{iE} \cdot C_{hE}$$

Distribución de corte basal en la altura del sistema
Art. 3.3.1.1a DOC. TEC. CIGRE

$$f_{iE} := \frac{1}{3} \cdot f'_{iE} + \frac{2}{3} \cdot f''_{iE}$$

Componente vertical del sismo
Art. 3.3.1.1c DOC. TEC. CIGRE

$$f_{vE} := C_{vE} \cdot W_{iE}$$

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

$$J = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,93 \\ 0,84 \end{bmatrix}$$

"NIVEL"	"WiE (kgf)"	"hiE (m)"	"f'iE (kgf)"	"f''iE (kgf)"	"fiE (kgf)"	"fvE (kgf)"	"J"
"Equipo"	2269,00	6,15	800,04	3438,69	2559,14	680,70	1,00
"Estructura"	660,00	3,88	232,71	631,11	498,31	198,00	0,93
"Fundación+Suelo"	42197,40	1,14	14878,68	11841,63	12853,98	12659,22	0,84


Tabla 2. Componente horizontal y vertical del sismo para el diseño de la Estructura

Fuerza sísmica horizontal de diseño

Estructura

Fuerza sísmica horizontal sobre el equipo

$$f_{iE} = 2559,1426 \text{ kgf}$$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Fuerza sísmica horizontal sobre la estructura $f_{iE_2} = 498,3137 \text{ kgf}$

Fundación

Fuerza sísmica horizontal sobre el equipo $f_{i_1} = 2047,3141 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica horizontal sobre la estructura $f_{i_2} = 398,651 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica horizontal sobre la fundación $f_{i_3} = 10283,1829 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica vertical de diseño

Estructura

Fuerza sísmica vertical sobre el equipo $f_{vE_1} = 680,7 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica vertical sobre la estructura $f_{vE_2} = 198 \text{ kgf}$

Fundación

Fuerza sísmica vertical sobre el equipo $f_{v_1} = 544,56 \text{ kgf}$


Fuerza sísmica vertical sobre la estructura $f_{v_2} = 158,4 \text{ kgf}$

Fuerza sísmica vertical sobre la fundación $f_{v_3} = 10127,376 \text{ kgf}$

Coefficiente de reducción de momentos

Coefficiente de reducción de momentos
Art. 3.3.1.1b DOC. TEC. CIGRE $J_1 = 1$

$J_2 = 0,9262$ $J_3 = 0,837$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

7.3 FUERZA DE VIENTO

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



Velocidad básica de viento (m/s)
Figura 3 - Tabla 6 NCh 432. Of 2010

u

Tabla 7 - Factor de direccionalidad del viento

Tipo de estructura	K_d ¹⁾
Edificios:	
SPRFV	0,85
Elementos secundarios	0,85
Techos abovedados en arco	0,85
Chimeneas, estanques y estructuras similares:	
Cuadrados	0,90
Hexagonales	0,95
Circulares	0,95
Señalética sólidas	0,85
Señalética sólidas y marcos de estructuras enrejadas	0,85
Torres enrejadas sujetas con cables:	
Triangulares, cuadradas y rectangulares	0,85
Todas las demás secciones transversales	0,95

1) El factor de direccionalidad K_d ha sido calibrado con la combinación de cargas especificadas en NCh3171. Este factor debe ser aplicado únicamente cuando se use en conjunto con la combinación de cargas en NCh3171.

Figura 5. Factor de direccionalidad del viento

Factor de direccionalidad del viento
Tabla 7 NCh 432. Of 2010

K_d

Tabla 8 - Factor de importancia de la estructura

Categoría	Factor de importancia
I	0,87
II	1,00
III	1,15
IV	1,15

Figura 6. Factor de importancia de al estructura

Factor de importancia
Tabla 8 NCh 432. Of 2010

I

Categoría de exposición
Art. 7.6.4 NCh 432. Of 2010

C_{ex}




DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Tabla 12 - Constantes del terreno de exposición

Exposición	α	z_g m	a	b	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ m	$\bar{\epsilon}$	$z_{min.}$ m
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

$z_{min.}$ = mínima altura usada para asegurar que la altura equivalente \bar{z} es mayor que $0,6 h z_{min.}$
 Para edificios con $h \leq z_{min.}$ \bar{z} se debe tomar $z_{min.}$

Figura 7. Constantes del terreno de exposición

Altura nominal de al capa
límite atmosférica

$$z_g = 274,32 \text{ m}$$

Tabla 12 NCh 432. Of 2010

Exponente de la ley de potencia
de la velocidad de ráfaga 3s

$$\alpha = 9,5$$

Tabla 12 NCh 432. Of 2010

Constante de exposición del terreno

$$c_{vi} = 0,2$$

Tabla 12 NCh 432 Of2010

Constante de exposición del terreno

$$\epsilon = 0,2$$

Tabla 12 NCh 432 Of2010

Constante de exposición del terreno

$$L = 152,4 \text{ m}$$

Tabla 12 NCh 432 Of2010

Altura de la estructura sobre el
nivel del suelo

$$z := D_h = 2 \text{ m}$$

Altura minima equivalente

$$z_{min} = 4,57 \text{ m}$$

Altura equivalente de la estructura

$$Z := \max \left(\left[0,6 \cdot z \cdot z_{min} \right] \right) = 4,57 \text{ m}$$

¿Se considera efecto topografico?
Art.7.7.1NCh423 OF.2010



Factor rasgo topografico
Tabla 10 NCh 432 Of.2010


$$K_1 = 0$$

Factor de reducción de
incremento de velocidad
Tabla 10 NCh 432 Of.2010


$$K_2 = 0$$

Factor de reducción de
incremento de velocidad
Tabla 11 NCh 432 Of.2010

$$K_3 = 0$$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Coeficiente de exposición de la distribución de velocidades Tabla 9 NCh 432 Of2010	$K_z = 0,85$
Factor topografico evaluado a la altura del techo Art. 7.7.2 NCh 432 Of2010	$K_{zt} := (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2 = 1$
Intensidad de turbulencia a una altura Z Tabla 9 NCh 432 Of2010	$I_z := c_{vi} \cdot \left(\frac{10 \text{ m}}{Z}\right)^{\frac{1}{6}} = 0,23$
Escala de longitud integral de turbulencia Tabla 9 NCh 432 Of2010	$L_z := L \cdot \left(\frac{Z}{10 \text{ m}}\right)^\varepsilon = 130,31 \text{ m}$
Factor de respuesta de fondo	$Q := \frac{1}{\sqrt{1 + 0,63 \cdot \left(\frac{D_a + D_h}{L_z}\right)^{0,63}}} = 0,96$
Factor de efecto ráfaga Art. 7.8.1. NCh 432 Of2010	$G := 0,925 \cdot \left(\frac{(1 + 1,7 \cdot 3 \cdot I_z \cdot Q)}{(1 + 1,7 \cdot 4 \cdot I_z)}\right) = 0,77$
Distribucion de velocidades en la altura Art. 7.10. NCh 432 Of2010	$q_z := \max \left(\left[0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot u^2 \cdot I_{480} \right] \right) \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 55,32 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
Carga de viento para estructuras bajas Art. 7.12.2.1. NCh 432 Of2010	$q_w := q_z \cdot G = 42,55 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$
<u>Fuerza de viento sobre la estructura</u>	
Área proyectada de componentes estructurales planos en una cara de la sección	$A_f := 1,5 \text{ m}^2$
Área bruta de una cara de la sección como si la cara fuera sólida	$A_g := 2 \cdot D_c \cdot D_h = 2,4 \text{ m}^2$
Relación de solidez	$\varepsilon := \frac{A_f}{A_g} = 0,62$
Factor de forma	$C_f := 4 \cdot \varepsilon^2 - 5,9 \cdot \varepsilon + 4 = 1,88$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Factor de efecto de turbulencia para la estructura $G_t := 1,25$
 Art. 5.12.2 RPDT N°11

Fuerza de viento actuando sobre la estructura $F_z := G_t \cdot C_f \cdot q_w \cdot A_f = 149,59 \text{ kgf}$

Fuerza de viento sobre el quipo

Se considera que la fuerza de viento actuante sobre el equipo es igual en ambas direcciones debido a que, el comportamiento del viento sobre la superficie del equipo es similar al de una estructura abierta.

Área proyectada del equipo $A_{eq} := 4,6 \text{ m}^2$

Fuerza de viento actuando sobre el equipo $F_{zeq} := q_w \cdot A_{eq} = 195,72 \text{ kgf}$

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

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

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. Documento Técnico del **CIGRE 2018**

Fuerza de corto circuito

"En equipos de un solo terminal no existe un tramo por donde circule la corriente de corto circuito I_{cc} en el equipo, por tanto $L_{bb} = 0$ y

$$F_{cc} = 0"$$

Corriente de corto circuito rms $I_{cc} := 5,214 \text{ kA}$
 Max Ik

Longitud por donde circula I_{cc} en el equipo (Separación entre terminales del equipo) $L_{bb} := E_{ht} - E_{ht2}$
 $L_{bb} = 1632,5 \text{ mm}$

Largo de conductor considerado en los terminales (mín. 1 m) $L_{cn1} := 1000 \text{ mm}$

Art. 2.9.1 DOC. TEC. CIGRE $L_{cn2} := 1000 \text{ mm}$

Aplicación de carga de cortocircuito (Longitud media de L_{bb})

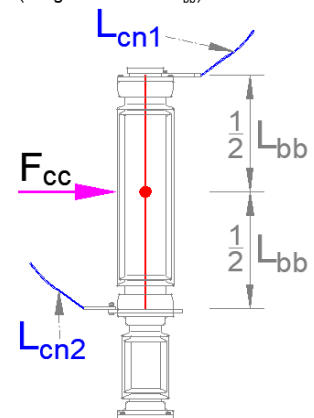




Figura 8. Fcc

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

Longitud por donde circula la corriente de cortocircuito F_{cc}	$L_{cc} = 0 \text{ m}$	"NO APLICA"
	$L_{cc} = L_{bb} + L_{cn1} + L_{cn2}$	"APLICA"
	$L_{cc} = 3,63 \text{ m}$	
Distancia entre fases	$E_w = 1700 \text{ mm}$	
Fuerza de corto circuito Art. 2.9.1 DOC. TEC. CIGRE	$F_{1cc01} := \frac{0,0204 \cdot (2,5 \cdot I_{cc})^2 \cdot L_{cc}}{E_w \text{ kA}^2} \cdot 1,02 \text{ kgf}$	
	$F_{1cc01} = 7,5546 \text{ kgf}$	
Número total de bushings	$N_{eq} := 3$	
Fuerza de Corto Circuito total sobre los bushings Art. 2.9.1 DOC. TEC. CIGRE	$F_{cc} := F_{1cc01} \cdot N_{eq} = 22,66 \text{ kgf}$	
Altura desde la base del equipo hasta el punto de aplicación de 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 tirón esta actuando en el terminal ubicado a mayor altura del equipo.		
Voltaje del equipo kV	$V_{eq} := 110$	
Tirón por efecto dinámico de conexiones flexibles Art. 1.4.4 DOC. TEC. CIGRE	$T_{dc1} = 102 \text{ kgf}$	
Fuerza de Tirón total sobre los bushings por efecto dinámico de conexiones flexibles Art. 1.4.4 DOC. TEC. CIGRE	$T_{dc} := T_{dc1} \cdot N_{eq} = 306 \text{ kgf}$	

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)	$C_{oz2} := 22 \text{ kN}$

DESCRIPCIÓN:	Solicitaciones sobre Equipos de Subestaciones Eléctricas. CIGRE 2018. Act. 2020	
DISCIPLINA:	Ingeniería Estructural	
TIPO DE DOCUMENTO:	Educativo	
ÁREA DE INTERÉS:	Subestaciones Eléctricas (Interruptor de Poder)	

08 HIPOTESIS DE CÁLCULO

8.1 FUNDACIÓN

A1: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} + C_{oz1} + F_{ccx} + T_{dcx}$
A2: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} + C_{oz1} + F_{ccy} + T_{dcy}$
A3: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} - C_{oz2} + F_{ccx} + T_{dcx}$
A4: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} - C_{oz2} + F_{ccy} + T_{dcy}$

Factor de sobrecarga
caso Normal (A_i, B_i)

$$F_{sn} := 1,7$$

B1: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} + C_{oz1} + F_{ccx} + T_{dcx} + V_x$
B2: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} + C_{oz1} + F_{ccy} + T_{dcy} + V_y$
B3: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} - C_{oz2} + F_{ccx} + T_{dcx} + V_x$
B4: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} - C_{oz2} + F_{ccy} + T_{dcy} + V_y$

Factor de sobrecarga
caso Eventual (C_i)

C1: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} + C_{oz1} + F_{ccx} + T_{dcx} + f_i(1...3)x + f_v(1...3)$
C2: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} + C_{oz1} + F_{ccy} + T_{dcy} + f_i(1...3)x + f_v(1...3)$
C3: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} - C_{oz2} + F_{ccx} + T_{dcx} + f_i(1...3)x + f_v(1...3)$
C4: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} - C_{oz2} + F_{ccy} + T_{dcy} + f_i(1...3)x + f_v(1...3)$

$F_{se} := 1,3$

8.1 ESTRUCTURA

A1: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} + C_{oz1} + F_{ccx} + T_{dcx}$
A2: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} + C_{oz1} + F_{ccy} + T_{dcy}$
A3: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} - C_{oz2} + F_{ccx} + T_{dcx}$
A4: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} - C_{oz2} + F_{ccy} + T_{dcy}$

B1: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} + C_{oz1} + F_{ccx} + T_{dcx} + V_x$
B2: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} + C_{oz1} + F_{ccy} + T_{dcy} + V_y$
B3: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} - C_{oz2} + F_{ccx} + T_{dcx} + V_x$
B4: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} - C_{oz2} + F_{ccy} + T_{dcy} + V_y$

C1: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} + C_{oz1} + F_{ccx} + T_{dcx} + f_iE(1...3)x + f_vE(1...3)$
C2: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} + C_{oz1} + F_{ccy} + T_{dcy} + f_iE(1...3)x + f_vE(1...3)$
C3: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{ox} - C_{oz2} + F_{ccx} + T_{dcx} + f_iE(1...3)x + f_vE(1...3)$
C4: $P_f + P_s + PPE + PPEq + C_{oy} - C_{oz2} + F_{ccy} + T_{dcy} + f_iE(1...3)x + f_vE(1...3)$

Donde:

P_f : Peso de la fundación

W : Peso del suelo según corresponda:

Flotabilidad: (P_h), Deslizamiento Con Napa: (P_h),

Deslizamiento Sin Napa: (P_s),

Tensión de contacto y volcamiento

Sin Napa: $0,75W_p$; $0,75W_c$ ó $0,5W_c$

Tensión de contacto y volcamiento

Con Napa: $0,75W_pN$; $0,75W_cN$ ó $0,5W_cN$

P_{fev} : Empuje ascendente del agua sobre la fundación

P_{est} : Peso de la estructura

P_e : Peso del equipo

F_{cc} : Fuerza de corto circuito

T_{dc} : Fuerza de tirón

F_z : Fuerza de viento sobre la estructura

F_{zeq} : Fuerza de viento sobre el equipo

$f_i(1...3)$: Fuerza sísmica horizontal

f_1 : Fuerza sísmica horizontal en equipo

f_2 : Fuerza sísmica horizontal en estructura

f_3 : Fuerza sísmica horizontal en porción de fundación + suelo

$f_v(1...3)$: Fuerza sísmica vertical

f_{v1} : Fuerza sísmica vertical en equipo

f_{v2} : Fuerza sísmica vertical en estructura

f_{v3} : Fuerza sísmica horizontal en porción de

fundación + suelo