

MEMORIA DE CÁLCULO DE SELECCIÓN DE PARARRAYOS

MEMORIA DE CÁLCULO DE SELECCIÓN DE PARARRAYOS

1 GENERALIDADES

De acuerdo con las definiciones de términos del CNE Suministro – 2011, se tiene:

Terminal de captación o dispositivo de interceptación de rayos. Elemento metálico cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación a proteger. Comúnmente se ha venido denominándolo como pararrayos (ejemplo: pararrayos tipo Franklin).

Figura 1. Definición de términos (Ref. CNE Suministro – 2011)

En adelante, indistintamente, se utilizará ‘terminal de captación de rayos’, ‘dispositivo de interceptación de rayos’, ‘descargador(es) de sobretensión’ o ‘pararrayos’.

Se prevé la instalación de pararrayos próximos al transformador de potencia, en los tres niveles de tensión, así como en las transiciones de cables de energía – aire, en los niveles de 60 kV y 22,9 kV Asimismo, se tendrá en cuenta los parámetros implementados para los equipos asociados al T-3 existente, con la finalidad de que las características de los equipos del proyecto tengan iguales o mayores funcionalidades.

2. CRITERIOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES

2.1 CRITERIOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN

En el diseño de una ampliación deberán mantenerse los criterios de diseño de la instalación existente o mejorarlas.

Figura 2 Criterios generales de diseño y selección. (Ref. Resolución OSINERGMIN No. 083-2021-OS/CD)

2 ANTECEDENTES:

Los pararrayos instalados asociados al transformador de potencia T-3 existente tienen las siguientes características:

| Descripción | Lado 138 kV | Lado 60 kV | Lado 22,9 kV |
|-----------------------------------|------------------|------------------|--------------|
| Tipo (ZnO = óxido de zinc) | ZnO | ZnO | ZnO |
| Marca | ABB | ABB | ABB |
| Modelo | EXLIM Q120-CH145 | EXLIM Q060-CV072 | MWK15 |
| Contador de descarga | EXCOUNT-A | EXCOUNT-A | SAM2 |
| BIL | 750 kVp | 450 kVp | 170 kVp |
| Corriente de descarga nominal | 10 Ka | 10 kA | 10 kA |
| Corriente límite de presión | 65 kA | 65 kA | s/datos |
| Tensión de trabajo continuo (Uc) | 92 kV | 48 kV | 15 kV |
| Tensión nominal del pararrayo(Ur) | 120 kV | 60 kV | 18,7 kV |

Cuadro No. 1 Características de pararrayos existentes (TP T-3)

3 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

La S.E. Cachimayo está expuesta a sobretensiones de origen atmosférico, por lo que existe la necesidad de contar con protección contra descargas atmosféricas directas y sobretensiones inducidas.

La protección contra descargas atmosféricas directas estará dada por los cables de guarda existentes que atraviesan el lote de terreno del proyecto y, en general, por el apantallamiento de las líneas de transmisión en 138 kV que ingresan y salen de la S.E. Cachimayo.

Por otra parte, en el PR-20 del COES se señala que las subestaciones del sistema de transmisión local (STL), como es el caso de la S.E. Cachimayo, “deberán contar con blindaje contra descargas atmosféricas solo en zonas de alta concentración de descargas (zona Sierra y Selva)”.

En tal sentido, la suficiencia de la protección de estos cables de guarda deberá ser verificada considerando la disposición final de equipos a implementarse, de manera tal que la exposición de la instalación a descargas atmosféricas directas se elimine o reduzca a niveles insignificantes.

En el CNE 2011 – Suministro se estipula que “La protección contra las sobretensiones inducidas (sobretensiones que ingresan a la estación a través de líneas aéreas o los conductores metálicos conectados a la estación), será proporcionada mediante descargadores de sobretensiones y otros medios de protección contra sobretensiones, colocados tan cerca como resulte práctico al equipo que se va a proteger.”, exceptuándose los dispositivos de interceptación de rayos con elementos o sustancias radioactivos.

4 SELECCIÓN DE PARARRAYOS 138 KV

4.1 TIPO DE PARARRAYOS

De acuerdo con procedimiento técnico No. 20 del COES, “...los descargadores de sobretensión serán del tipo Oxido de Zinc y deberán instalarse los más cerca posible del equipo a proteger.”

4.2 PARÁMETROS DEL SISTEMA

A continuación, se identifican parámetros relevantes concernientes a la operación de los pararrayos:

| Parámetro | Símbolo / Nomenclatura | Unidad | Valor |
|---|------------------------|--------|------------|
| Tensión máxima de operación del sistema (138 kV) | Us | kV | 145 |
| Tensión máxima de operación del sistema (60 kV) | Us | kV | 72,5 |
| Tensión máxima de operación del sistema (22,9 kV) | Us | kV | 24 |
| Aterramiento del sistema (138 kV) | | | Efectivo |
| Aterramiento del sistema (60 kV) | | | Efectivo |
| Aterramiento del sistema (22,9 kV) | | | Inefectivo |
| Tiempo de despeje de falla a tierra (138 kV) | | s | 0,5 |
| Tiempo de despeje de falla a tierra (60 kV) | | s | 0,5 |
| Tiempo de despeje de falla a tierra (22,9 kV) | | s | 0,5 |

Cuadro No. 2 Parámetros de operación de los pararrayos

4.3 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN

Habida cuenta que es una subestación en la cual se implementará un proyecto de ampliación los pararrayos se seleccionarán contrastando las características eléctricas de estos equipos con los parámetros de las instalaciones existentes, por lo que se utilizará información del fabricante ABB:

| Max. system voltage U_s kV _{rms} | Rated voltage U_r kV _{rms} | Max. continuous operating voltage ¹⁾ | | TOV capability ²⁾ | | Max. residual voltage with current wave | | | | | | |
|---|---|---|-------------------|------------------------------|-------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | as per IEC | as per ANSI/IEEE | | | 30/60 μ s | | | 8/20 μ s | | | |
| | | U_c | MCOV | 1 s | 10 s | 0.5 kA | 1 kA | 2 kA | 5 kA | 10 kA | 20 kA | 40 kA |
| | | kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} |
| 72 | 54 | 43 | 43.0 | 59.1 | 55.6 | 104 | 107 | 112 | 121 | 127 | 140 | 157 |
| | 60 | 48 | 48.0 | 65.7 | 61.8 | 116 | 119 | 124 | 134 | 141 | 156 | 174 |
| | 66 | 53 | 53.4 | 72.2 | 68.0 | 127 | 131 | 136 | 148 | 156 | 171 | 191 |
| | 72 | 58 | 58.0 | 78.8 | 74.2 | 139 | 143 | 149 | 161 | 170 | 187 | 209 |
| | 75 | 60 | 60.7 | 82.1 | 77.3 | 144 | 149 | 155 | 168 | 177 | 194 | 217 |
| | 78 | 62 | 63.1 | 85.4 | 80.4 | 150 | 155 | 161 | 175 | 184 | 202 | 226 |
| | 81 | 65 | 65.6 | 88.6 | 83.5 | 156 | 161 | 167 | 181 | 191 | 210 | 235 |
| | 84 | 67 | 68.0 | 91.9 | 86.6 | 162 | 167 | 173 | 188 | 198 | 218 | 243 |
| 145 | 108 | 86 | 86.0 | 118 | 111 | 208 | 214 | 223 | 242 | 254 | 280 | 313 |
| | 120 | 92 | 98.0 | 131 | 123 | 231 | 238 | 248 | 268 | 282 | 311 | 347 |
| | 132 | 92 | 106 | 144 | 136 | 254 | 262 | 272 | 295 | 311 | 342 | 382 |
| | 138 | 92 | 111 | 151 | 142 | 265 | 274 | 285 | 309 | 325 | 357 | 399 |
| | 144 | 92 | 115 | 157 | 148 | 277 | 286 | 297 | 322 | 339 | 373 | 417 |

1) The continuous operating voltages U_c (as per IEC) and MCOV (as per IEEE) differ only due to deviations in type test procedures.
 U_c has to be considered only when the actual system voltage is higher than the tabulated.
Any arrester with U_c higher than or equal to the actual system voltage divided by $\sqrt{3}$ can be selected.

2) With prior duty equal to the thermal energy rating of 8 kJ/kV (U_s).

Figura 3 Características de pararrayos (Ref. catálogo de pararrayos de alta tensión, marca ABB)

4.4 TENSIÓN NOMINAL DEL PARARRAYOS (U_r)

Considerando los siguientes lineamientos, se determina el valor preliminar de U_r :

| Tipo de aterramiento | Tensión máxima de operación (U_s) en kV | Duración de la falla en segundos (s) | Valor mínimo de la tensión nominal del pararrayos (U_r) |
|----------------------|---|--------------------------------------|---|
| Efectivo | ≥ 123 | ≤ 1 | $\geq 0,72 U_s$ |
| Efectivo | ≤ 100 | ≤ 1 | $\geq 0,80 U_s$ |
| No efectivo | ≤ 170 | ≤ 10 | $\geq 0,91 U_s$ |

Se selecciona U_r observando el criterio de igualar o mejorar las características del equipamiento existente en la subestación:

$$U_r = 120 \text{ kV}$$

Con relación a la tensión de operación continua (U_c):

$$U_c \geq (U_s/\sqrt{3}) \geq (145/1.7321) \geq 83.71 \text{ kV}$$

Con estos parámetros, el catálogo del fabricante de los equipos instalados y el criterio previsto en el PR-20 de mantener los criterios de diseño de la subestación existente o mejorarlos el voltaje, máximo de operación continua, seleccionado es:

$$U_c = 92 \text{ kV}$$

$U_c = 92 \text{ kV}$ (Igual al U_c del pararrayos 138 kV del T-3 existente).

Pararrayos con una U_c de 96 kV son de mayor disponibilidad comercial y técnicamente también son aceptables, por lo que se la U_c será 96 kV.

La corriente de descarga nominal de los pararrayos existentes es 10 kA. Teniendo en cuenta estos valores, se verificará el margen de protección; el cual, se recomienda sea $\geq 20\%$:

Margen de impulsos de descarga eléctrica = $(U_{wl}/U_{pl} - 1) * 100$

Donde U_{wl} = Nivel de resistencia de impulso de descarga o BIL

U_{pl} = Nivel de protección de impulso de descarga

Del catálogo del fabricante, para el pararrayos seleccionado ($U_r = 120 \text{ kV}$ y $U_c = 92$), el nivel de protección de impulso de descarga $U_{pl} = 282 \text{ kV}_p$

Por otra parte, el BIL o U_{wl} , de acuerdo con la norma IEC 60071-1, para una $U_s = 145 \text{ kV}$ se recomienda un BIL mínimo de 550 kV; entonces:

$$\text{Margen de impulsos de descarga eléctrica} = U_{wl}/U_{pl} - 1 = 550 / 282 - 1 = 0.9503 = 95.03\%$$

Este mismo margen de protección se conseguiría con los pararrayos existentes, por tener características iguales.

Resumiendo, las características de los pararrayos de 138 kV serán:

CARACTERÍSTICAS DEL PARARRAYOS SELECCIONADO

| Item | Descripción | Unidad | Valor |
|------|---|--------------------------|---------------|
| 1 | Tensión nominal del sistema eléctrico | kV | 138 |
| 2 | Tensión máxima de operación del sistema eléctrico (U_m) | kV | 145 |
| 3 | Tensión nominal del pararrayos (U_r) | kV | 120 |
| 4 | Tensión máxima de operación continua del pararrayos(U_c) | kV | 96 |
| 5 | Tipo | | Óxido de zinc |
| 6 | Sobretensiones temporales (TOV) 1 s | kV_{rms} | 139 |
| 7 | Corriente de descarga nominal (IEC) | kA_p | 10 |
| 8 | Capacidad de cortocircuito / alivio de presión | kA_{sim} | 65 |
| 9 | Clase de descarga de línea (IEC) | Clase | 3 |
| 10 | Capacidad de disipación de energía | kJ/kV (U_r) | 7.8 |
| 11 | Tensión residual máxima a impulso tipo rayo 10 kA 8/20 μs (U_{pl}) | kV_p | 282 |
| 12 | Línea de fuga (31 mm/kV @ 170 kV) | mm | 5270 |
| 13 | Aislamiento exterior del revestimiento al impulso tipo rayo (LIWL o BIL) | kV_p | 750 |
| 14 | Aislamiento exterior del revestimiento a frecuencia ind. (PFWL) | kV_{rms} | 325 |

5 SELECCIÓN DE PARARRAYOS 60 KV

5.1 TIPO DE PARARRAYOS

De acuerdo con procedimiento técnico No. 20 del COES, “...los descargadores de sobretensión serán del tipo Oxido de Zinc y deberán instalarse los más cerca posible del equipo a proteger.”

5.2 PARÁMETROS DEL SISTEMA

Los parámetros relevantes concernientes a la operación de los pararrayos son los mostrados en el cuadro No. 1

5.3 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN

Habida cuenta que es una subestación en la cual se implementará un proyecto de ampliación los pararrayos se seleccionarán contrastando las características eléctricas de estos equipos con los parámetros de las instalaciones existentes, por lo que se utilizará información del fabricante ABB, mostrado en la figura No. 3

5.4 TENSIÓN NOMINAL DEL PARARRAYOS (U_r)

Considerando los siguientes lineamientos, se determina el valor preliminar de U_r:

| Tipo de aterramiento | Tensión máxima de operación (U _s) en kV | Duración de la falla en segundos (s) | Valor mínimo de la tensión nominal del pararrayos (U _r) |
|----------------------|---|--------------------------------------|---|
| Efectivo | ≥123 | ≤1 | ≥ 0,72 U _s |
| Efectivo | ≤ 100 | ≤1 | ≥ 0,80 U _s |
| No efectivo | ≤ 170 | ≤10 | ≥ 0,91 U _s |

Se selecciona U_r observando el criterio de igualar o mejorar las características del equipamiento existente en la subestación:

$$U_r \geq 0,91 U_s = 0,91 * 72,5 = 65,98 \sim 66 \text{ kV}$$

Con relación a la tensión de operación continua (U_c):

$$U_c \geq (U_s/\sqrt{3}) \geq (72,5/1,7321) \geq 41,8 \text{ kV}$$

Con estos parámetros, el catálogo del fabricante de los equipos instalados y el criterio previsto en el PR-20 de mantener los criterios de diseño de la subestación existente o mejorarlos el voltaje, máximo de operación continua, seleccionado es:

$$U_c = 53 \text{ kV}$$

U_c = 53 kV (Mayo al U_c [48 kV] del pararrayos 60 kV del T-3 existente).

La corriente de descarga nominal de los pararrayos existentes es 10 kA. Teniendo en cuenta estos valores, se verificará el margen de protección; el cual, se recomienda sea ≥ 20%:

Margen de impulsos de descarga eléctrica = (U_{wl}/U_{pl} – 1) * 100

Donde U_{wl} = Nivel de resistencia de impulso de descarga o BIL

U_{pl} = Nivel de protección de impulso de descarga

Del catálogo del fabricante, para el pararrayos seleccionado (U_r = 66 kV y U_c = 53), el nivel de protección de impulso de descarga U_{pl} = 156 kV_p

Por otra parte, el BIL o U_{wl}, de acuerdo con la norma IEC 60071-1, para una U_s = 72,5 kV se recomienda un BIL mínimo de 325 kV; entonces:

$$\text{Margen de impulsos de descarga eléctrica} = U_{wl}/U_{pl} - 1 = 325 / 156 - 1 = 1,083 = 108,33\%$$

Sin embargo, el margen de impulso de descarga eléctrica, con los datos de los pararrayos existentes y catálogo del fabricante, ($U_r = 60 \text{ kV}$ $U_c = 48 \text{ kV}$, $U_{pl} = 141 \text{ kV}_p$) resulta 130.49%; por lo que con el criterio de igualar o superar las características de equipos existentes se opta por la selección de un pararrayos con $U_r = 60 \text{ kV}$ y $U_c = 48 \text{ kV}$

Resumiendo, las características de los pararrayos de 60 kV serán:

CARACTERÍSTICAS DEL PARARRAYOS SELECCIONADO

| Item | Descripción | Unidad | Valor |
|------|---|--------------------------|---------------|
| 1 | Tensión nominal del sistema eléctrico | kV | 60 |
| 2 | Tensión máxima de operación del sistema eléctrico (U_m) | kV | 72.5 |
| 3 | Tensión nominal del pararrayos (U_r) | kV | 60 |
| 4 | Tensión máxima de operación continua del pararrayos(U_c) | kV | 48 |
| 5 | Tipo | | Óxido de zinc |
| 6 | Sobretensiones temporales (TOV) 1 s | kV_{rms} | 69.6 |
| 7 | Corriente de descarga nominal (IEC) | kA_p | 10 |
| 8 | Capacidad de cortocircuito / alivio de presión | kA_{sim} | 65 |
| 9 | Clase de descarga de línea (IEC) | Clase | 3 |
| 10 | Capacidad de disipación de energía | kJ/kV (U_r) | 7.8 |
| 11 | Tensión residual máxima a impulso tipo rayo 10 kA 8/20 μs (U_{pl}) | kV_p | 141 |
| 12 | Línea de fuga (31 mm/kV @ 100 kV) | mm | 3100 |
| 13 | Aislamiento exterior del revestimiento al impulso tipo rayo (LIWL o BIL) | kV_p | 450 |
| 14 | Aislamiento exterior del revestimiento a frecuencia ind. (PFWL) | kV_{rms} | 185 |

6 SELECCIÓN DE PARARRAYOS 22,9 KV

6.1 TIPO DE PARARRAYOS

De acuerdo con procedimiento técnico No. 20 del COES, “...los descargadores de sobretensión serán del tipo Oxido de Zinc y deberán instalarse los más cerca posible del equipo a proteger.”

6.2 PARÁMETROS DEL SISTEMA

Los parámetros relevantes concernientes a la operación de los pararrayos son los mostrados en el cuadro No. 1

6.3 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN

Habida cuenta que es una subestación en la cual se implementará un proyecto de ampliación los pararrayos se seleccionarán contrastando las características eléctricas de estos equipos con los parámetros de las instalaciones existentes, por lo que se utilizará información del fabricante ABB. mostrada en la figura No. 4:

| U_c Continuous operating voltage | U_r Rated voltage | Residual voltage U_{res} in kV peak at specified impulse current | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|--|---------------|--------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| kV rms | kV rms | wave 1/...μs | | wave 8/20 μs | | | | | wave 30/60 μs | | |
| | | 5 kA peak | 10 kA peak | 1 kA peak | 2.5 kA peak | 5 kA peak | 10 kA peak | 20 kA peak | 125 A peak | 250 A peak | 500 A peak |
| 4 | 5.0 | 12.7 | 13.5 | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 12.3 | 14.1 | 9.2 | 9.5 | 9.9 |
| 5 | 6.3 | 15.9 | 16.8 | 13.1 | 13.9 | 14.6 | 15.4 | 17.6 | 11.4 | 11.9 | 12.4 |
| 6 | 7.5 | 19.1 | 20.2 | 15.8 | 16.7 | 17.5 | 18.5 | 21.1 | 13.7 | 14.3 | 14.8 |
| 7 | 8.8 | 22.2 | 23.5 | 18.3 | 19.4 | 20.3 | 21.5 | 24.6 | 16.0 | 16.6 | 17.2 |
| 8 | 10.0 | 25.4 | 26.9 | 21.0 | 22.2 | 23.3 | 24.6 | 28.1 | 18.3 | 19.0 | 19.7 |
| 9 | 11.3 | 28.6 | 30.2 | 23.6 | 25.0 | 26.2 | 27.7 | 31.6 | 20.5 | 21.4 | 22.2 |
| 10 | 12.5 | 31.7 | 33.5 | 26.1 | 27.7 | 29.0 | 30.7 | 35.0 | 22.8 | 23.7 | 24.6 |
| 11 | 13.8 | 34.9 | 36.9 | 28.8 | 30.5 | 32.0 | 33.8 | 38.6 | 25.1 | 26.1 | 27.1 |
| 12 | 15.0 | 38.1 | 40.3 | 31.4 | 33.3 | 34.9 | 36.9 | 42.1 | 27.4 | 28.5 | 29.6 |
| 13 | 16.3 | 41.2 | 43.6 | 34.0 | 36.0 | 37.8 | 40.0 | 45.6 | 29.6 | 30.8 | 32.0 |
| 14 | 17.5 | 44.3 | 46.9 | 36.6 | 38.7 | 40.6 | 43.0 | 49.1 | 31.9 | 33.2 | 34.4 |
| 15 | 18.8 | 47.5 | 50.3 | 39.2 | 41.5 | 43.6 | 46.1 | 52.6 | 34.2 | 35.5 | 36.9 |
| 16 | 20.0 | 50.7 | 53.7 | 41.9 | 44.3 | 46.5 | 49.2 | 56.1 | 36.5 | 37.9 | 39.4 |
| 17 | 21.3 | 53.8 | 56.9 | 44.4 | 47.0 | 49.3 | 52.2 | 59.6 | 38.7 | 40.2 | 41.8 |
| 18 | 22.5 | 57.0 | 60.3 | 47.1 | 49.8 | 52.3 | 55.3 | 63.1 | 41.0 | 42.6 | 44.3 |
| 19 | 23.8 | 60.2 | 63.7 | 49.7 | 52.6 | 55.2 | 58.4 | 66.6 | 43.3 | 45.0 | 46.8 |
| 20 | 25.0 | 63.3 | 67.0 | 52.2 | 55.3 | 58.0 | 61.4 | 70.0 | 45.5 | 47.3 | 49.2 |

Figura 4 Datos de pararrayos MWK (Ref. Catálogo ABB).

6.4 TENSIÓN NOMINAL DEL PARARRAYOS (U_r)

Considerando los siguientes lineamientos, se determina el valor preliminar de U_r :

| Tipo de aterramiento | Tensión máxima de operación (U_s) en kV | Duración de la falla en segundos (s) | Valor mínimo de la tensión nominal del pararrayos (U_r) |
|----------------------|---|--------------------------------------|---|
| Efectivo | ≥ 123 | ≤ 1 | $\geq 0,72 U_s$ |
| Efectivo | ≤ 100 | ≤ 1 | $\geq 0,80 U_s$ |
| No efectivo | ≤ 170 | ≤ 10 | $\geq 0,91 U_s$ |

Se selecciona U_r observando el criterio de igualar o mejorar las características del equipamiento existente en la subestación:

$$U_r \geq 0,80 U_s = 0.80 * 24 = 19.2 \sim 20 \text{ kV}$$

Con relación a la tensión de operación continua (U_c):

$$U_c \geq (U_s/\sqrt{3}) \geq (24/1.7321) \geq 13.86 \text{ kV}$$

Con estos parámetros, el catálogo del fabricante de los equipos instalados y el criterio previsto en el PR-20 de mantener los criterios de diseño de la subestación existente o mejorarlos el voltaje, máximo de operación continua, seleccionado es:

$$U_c = 16 \text{ kV}$$

$U_c = 16 \text{ kV}$ (Mayor al U_c [15 kV] del pararrayos 22,9 kV del T-3 existente).

La corriente de descarga nominal de los pararrayos existentes es 10 kA. Teniendo en cuenta estos valores, se verificará el margen de protección; el cual, se recomienda sea $\geq 20\%$:

Margen de impulsos de descarga eléctrica = $(U_{wl}/U_{pl} - 1) * 100$

Donde U_{wl} = Nivel de resistencia de impulso de descarga o BIL

U_{pl} = Nivel de protección de impulso de descarga

Del catálogo del fabricante, para el pararrayos existente ($U_r = 18.8 \text{ kV}$ y $U_c = 15$), el nivel de protección de impulso de descarga $U_{pl} = 46.1 \text{ kV}_p$

Por otra parte, el BIL o U_{wl} , de acuerdo con la norma IEC 60071-1, para una $U_s = 24 \text{ kV}$ se recomienda un BIL mínimo de 95 kV; entonces:

Margen de impulsos de descarga eléctrica = $U_{wl}/U_{pl} - 1 = 95 / 46.1 - 1 = 1.0607 = 106.07\%$

Sin embargo, si bien este margen se considera adecuado, también se observa que los pararrayos existentes tienen una clase de descarga 2, de acuerdo con el catálogo del fabricante. Con un criterio conservador, se optará por pararrayos de clase 3 (“station level”).

Resumiendo, las características de los pararrayos de 22,9 kV serán:

CARACTERÍSTICAS DEL PARARRAYOS SELECCIONADO

| Item | Descripción | Unidad | Valor |
|------|---|--------------------------|---------------|
| 1 | Tensión nominal del sistema eléctrico | kV | 22,9 |
| 2 | Tensión máxima de operación del sistema eléctrico (U_m) | kV | 24 |
| 3 | Tensión nominal del pararrayos (U_r) | kV | 20 |
| 4 | Tensión de operación continua del pararrayos (U_c) | kV | 16 |
| 5 | Tipo | | Óxido de zinc |
| 6 | Sobretensiones temporales (TOV) 1 s | kV_{rms} | 49.5 |
| 7 | Corriente de descarga nominal (IEC) | kA_p | 10 |
| 8 | Clase / categoría IEC | | Estación |
| 9 | Clase de descarga de línea (IEC) | Clase | 3 |
| 10 | Capacidad de disipación de energía | kJ/kV (U_r) | 8 |
| 11 | Tensión residual máxima a impulso tipo rayo 10 kA 8/20 μs (U_{pl}) | kV_p | 45 |
| 12 | Línea de fuga (31 mm/kV @ 36 kV) | mm | 1116 |
| 13 | Aislamiento exterior del revestimiento al impulso tipo rayo (LIWL o BIL) | kV_p | 170 |
| 14 | Aislamiento exterior del revestimiento a f. ind. (PFWL) | kV_{rms} | 70 |

MEMORIA DE CÁLCULO DE AISLAMIENTO

INDICE

MEMORIA DE CÁLCULO DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

| | |
|---|---|
| 1. OBJETIVO | 2 |
| 2. SELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO | 2 |
| FIGURA 1: FLUJOGRAMA PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO ESTÁNDAR O NOMINAL | 3 |
| 3. CONCLUSIONES..... | 4 |
| CUADRO No. 1 AISLAMIENTO INTERNO Y EXTERNO | 4 |
| 4. BIBLIOGRAFÍA..... | 4 |
| 5. ANEXOS | 4 |

AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS.

MEMORIA DE CÁLCULO DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

1. OBJETIVO

El objetivo es seleccionar los niveles de aislamiento interno y externo de los equipos de tensión nominal 138 kV, 60 kV y 22,9 kV considerando la instalación de pararrayos y teniendo en cuenta las recomendaciones de las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC por sus siglas en inglés), así como la altitud de instalación (3423 msnm) de la subestación CACHIMAYO.

2. SELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO

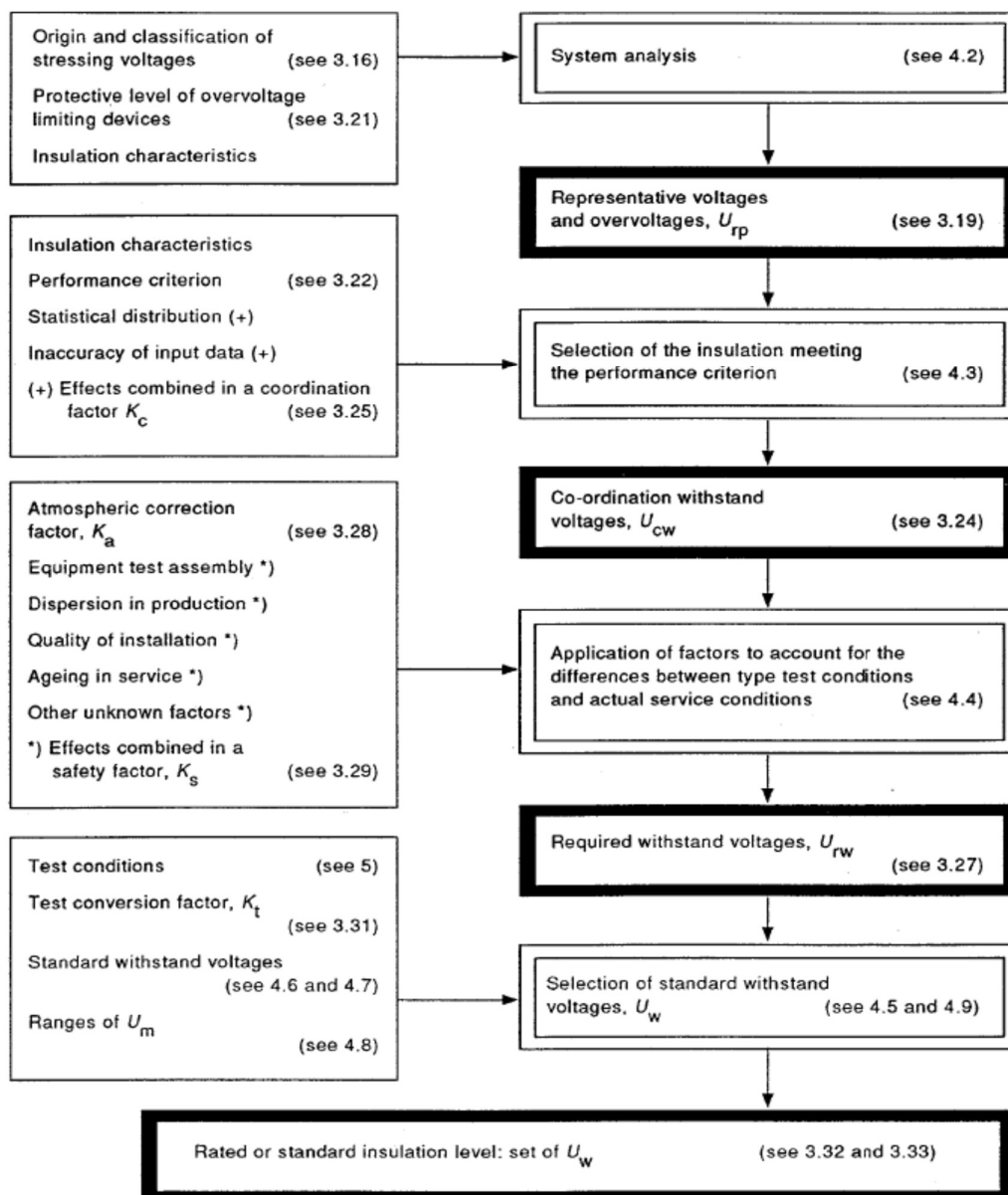
Las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC por sus siglas en inglés) establecen el procedimiento de coordinación de aislamiento basado en la elección de un conjunto de tensiones soportadas normalizadas que caracteriza el aislamiento del material aislante del equipamiento.

La figura 1 de la norma IEC 60071-1 ‘Insulation Co-ordination - Part 1 Definitions, principles and rules’ muestra el flujograma para la determinación del nivel de aislamiento. (ver figura 1 en la siguiente página)

Mientras que en la norma IEC60071-2 ‘Insulation Co-ordination – Part 2 Application guide’, se discute sobre la selección de niveles de aislamiento de equipamiento o de instalaciones para sistemas eléctricos trifásicos.

En los anexos 1, 2 y 3, se muestran un resumen de los cálculos correspondientes para la selección del nivel de aislamiento del equipamiento en los niveles de tensión de 138 kV, 60 kV y 22,9 kV.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) : "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"



NOTE – In brackets the subclauses reporting the definition of the term or the description of the action.

- sided boxes refer to required input.
- ===== sided boxes refer to performed actions.
- sided boxes refer to obtained results.

Figure 1 – Flow chart for the determination of rated or standard insulation level

Figura 1: Flujograma para la determinación del nivel de aislamiento estándar o nominal

Fuente: Publicación IEC 60071-1

3. CONCLUSIONES

- ✓ La coordinación de aislamiento ha sido desarrollada en base a recomendaciones de las normas IEC [600]71-1 Insulation Co-ordination, part1: Definitions, principles and rules e IEC [600]71-2 Insulation-coordination, part2: Application guide.
- ✓ Los valores recomendados, considerando la altitud de instalación (~ 3423 msnm), disponibilidad comercial de equipos y las tensiones normalizadas (Ref. Tabla 2 IEC [600]71-1), para el aislamiento interno y externo son:

| TENSIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN (U _m) (kV _{rms}) | AISLAMIENTO INTERNO | | AISLAMIENTO EXTERNO | |
|---|--|------------------------|--|------------------------|
| | A frecuencia industrial (kV _{rms}) | BIL (kV _p) | A frecuencia industrial (kV _{rms}) | BIL (kV _p) |
| 145 | 275 | 650 | 325 | 750 |
| 72,5 | 140 | 325 | 185 | 450 |
| 24 | 50 | 145 | 70 | 170 |

Cuadro No. 1 Aislamiento interno y externo

4. BIBLIOGRAFÍA

1. IEEE Guide for the Application of Insulation Coordination
2. IEC International Standard 60071-1, Insulation Co-ordination - Part 1: Definitions, principles and rules
3. IEC International Standard 60071-2, Insulation Co-ordination - Part 2: Application Guide,
4. Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.
5. Coordinación de Aislamiento en Redes Eléctricas de Alta Tensión, McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U.; Coordinador Juan A. Martínez Velasco, Universitat Politècnica de Catalunya.

5. ANEXOS

- Anexo 1: Cálculos de coordinación de aislamiento 138 kV
- Anexo 2: Cálculos de coordinación de aislamiento 60 kV
- Anexo 3: Cálculos de coordinación de aislamiento 22,9 kV

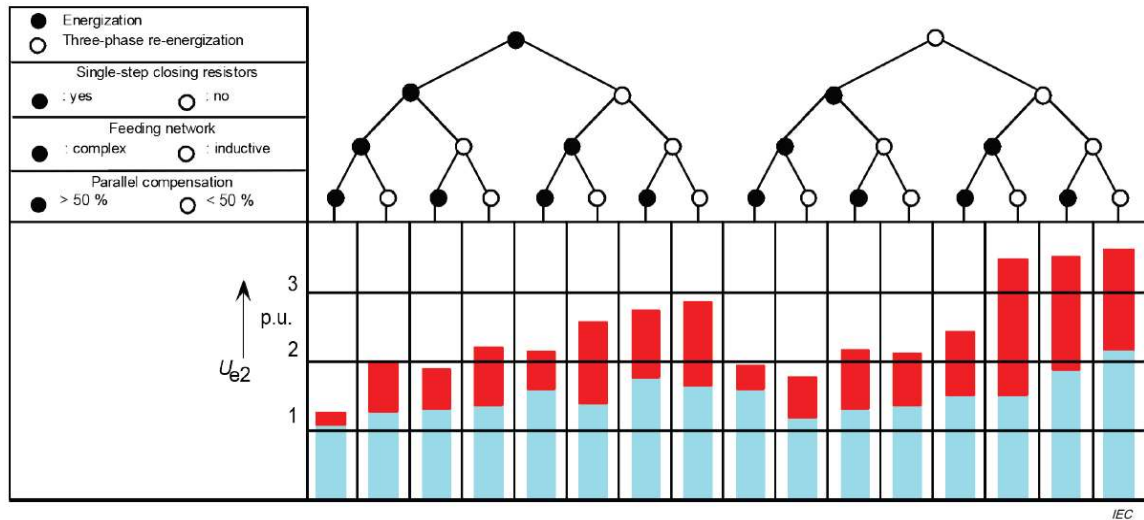
**ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE
POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"**

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

DATOS BÁSICOS:

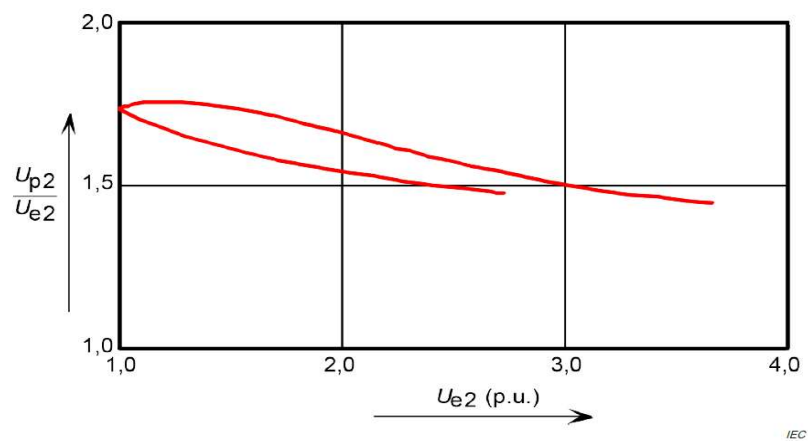
Tensión nominal 138 kV
 Tensión máxima de operación (U_m) 145 kV
 $1 \text{ p.u.} = 118.392 \text{ kV}$
 Altitud de instalación (H) 3500 msnm
 Factores de seguridad recomendados:
 Aislamiento interno (K_s) 1.15
 Aislamiento externo (K_s) 1.05

REFERENCIAS: Normas Técnicas IEC (IEC 60071-1, IEC 60071-2)



**Figura 1 - intervalo del 2% sobretensiones lento-frontales en el extremo receptor
debido a la energización de la línea y re-energización**

Fuente: Norma Internacional IEC 60071-2



**Figura 2 - Relación entre los valores 2% de sobretensiones lento-delanteras
de fase a fase y de fase a tierra**

Fuente: Norma Internacional IEC 60071-2

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS)"
COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

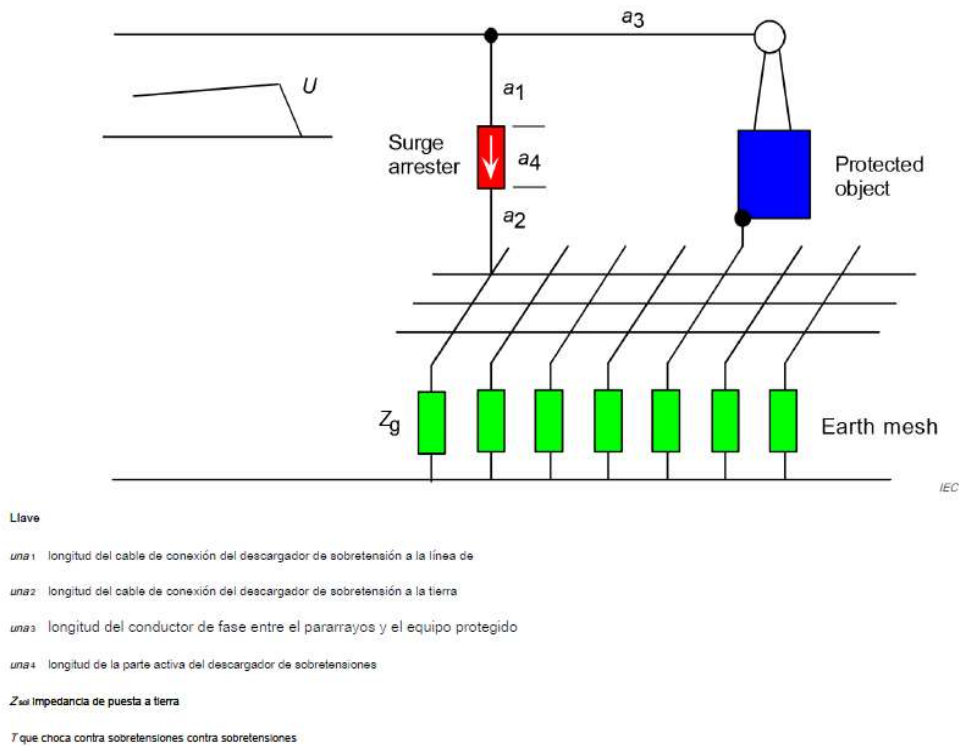


Figura 3 - Diagrama para la conexión del descargador de sobretensión al objeto protegido

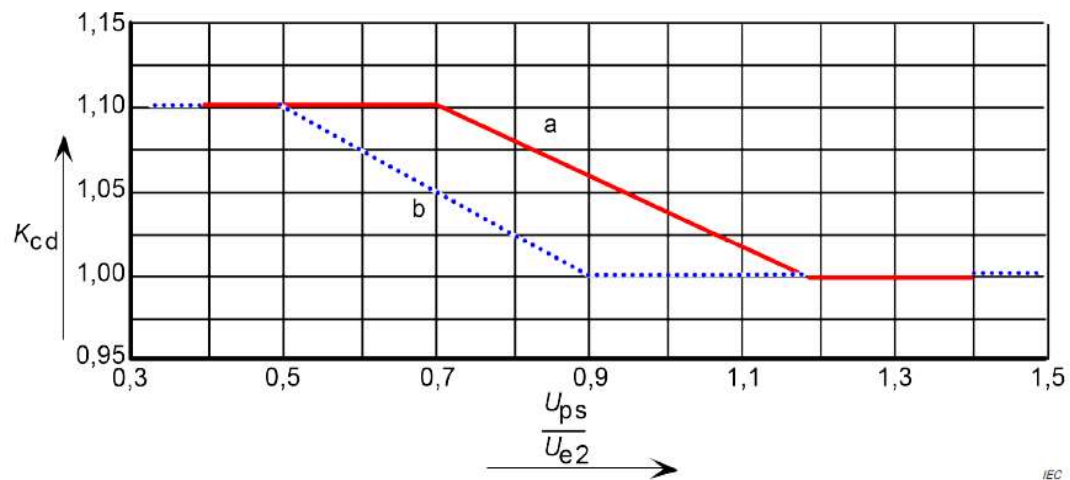
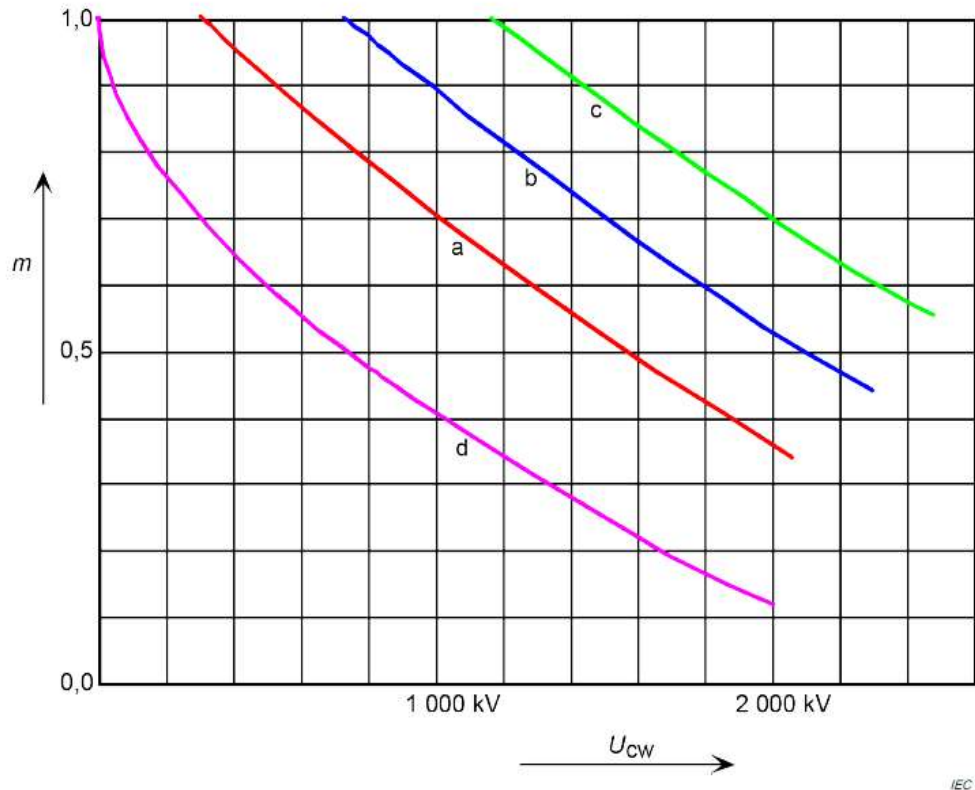


Figura 6 - Evaluación del factor de coordinación determinista K discos compactos



Llave

un aislamiento de fase a tierra b brecha de

aislamiento d varilla plano longitudinal de

aislamiento c de fase a fase (brecha de

referencia)

Para tensiones que constan de dos componentes, el valor de la tensión es la suma de los componentes.

Figura 9 - Dependencia del exponente *metro* en la coordinación impulso de maniobra tensión no disruptiva

Fuente: Norma Internacional IEC 60071-2

Table F.2 – Factor A for various overhead lines
(applicable in equations (F.17) and (F.19))

| Type of line | A (kV) |
|--|-----------|
| Distribution lines (phase-phase flashovers): | |
| – with earthed crossarms (flashover to earth at low voltage) | 900 |
| – wood-pole lines (flashover to earth at high voltage) | 2700 |
| Transmission lines (single-phase flashover to earth) | |
| – single conductor | 4500 |
| – double conductor bundle | 7000 |
| – four conductor bundle | 11000 |
| – six and eight conductor bundle | 17000 |

Thus, introducing S_{rp} in equation (1) and putting $A = 2 / (K_{co} c)$ for transmission lines, the dependence of the representative lightning overvoltage on the return rate is obtained by:

$$U_{rp} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_t} \quad (F.17)$$

where

U_{rp} is the representative lightning overvoltage amplitude (kV);

A is a factor given in table F.2 describing the lightning performance of the overhead line connected to the station;

U_{pl} is the lightning impulse protection level of the surge arrester (kV);

n is the minimum of lines connected to the substation ($n=1$ or $n=2$);

L is the separation distance: $L = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ as shown on figure 3 (m);

L_{sp} is the span length (m);

L_t is the overhead line length with outage rate equal to adopted return rate (m);

R_t is the adopted overvoltage return rate (1/year);

R_{km} is the overhead line outage rate per year for a design corresponding to the first kilometre in front of the station (see equation (F.16)) [usual unit: 1/(100 km.year); recommended unit: 1/(m.year)].

The co-ordination withstand voltage is obtained by replacing L_t by the line length L_a which yields an outage rate equal to the acceptable failure rate R_a :

$$L_a = R_a / R_{km} \quad (F.18)$$

and the co-ordination lightning impulse withstand voltage is equal to:

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_a} \quad (F.19)$$

where

U_{cw} is the co-ordination lightning impulse withstand voltage;

L_a is the overhead line section with outage rate equal to acceptable failure rate;

R_a is the acceptable failure rate for equipment.

For transmission lines, the factors A are obtained from table F.2 and the corona damping constants K_{co} from table F.1. For distribution systems, lightning overvoltages are usually multiphase and current sharing of the phase conductors has to be considered. For steel towers the flashovers of more than one tower during a lightning stroke lead to a further reduction of the lightning overvoltages. For these lines the factor A has been matched with the service practice.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS)"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

Table 2 – Test conversion factors for range I, to convert required switching impulses withstand voltages to short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages

| Insulation | Short-duration power-frequency withstand voltage ¹⁾ | Lightning impulse withstand voltage |
|---|--|-------------------------------------|
| External insulation | | |
| – air clearances and clean insulators, dry: | | |
| – phase-to-earth | $0,6 + U_{rw} / 8500$ | $1,05 + U_{rw} / 6000$ |
| – phase-to-phase | $0,6 + U_{rw} / 12700$ | $1,05 + U_{rw} / 9000$ |
| – clean insulators, wet | 0,6 | 1,3 |
| Internal insulation | | |
| – GIS | 0,7 | 1,25 |
| – liquid-immersed insulation | 0,5 | 1,10 |
| – solid insulation | 0,5 | 1,00 |
| NOTE – U_{rw} is the required switching impulse withstand voltage in kV. | | |
| ¹⁾ The test conversion factors include a factor of $1/\sqrt{2}$ to convert from peak to r.m.s value. | | |

Fuente: Norma IEC 60071-2

Tabla 2
Niveles de aislamiento normalizados para la gama I
(1 kV < $U_m \leq 245$ kV)

| Tensión más elevada para el material U_m kV (valor eficaz) | Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz) | Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (valor de cresta) |
|---|---|---|
| 3,6 | 10 | 20 40 |
| 7,2 | 20 | 40 60 |
| 12 | 28 | 60 75 95 |
| 17,5 | 38 | 75 95 |
| 24 | 50 | 95 125 145 |
| 36 | 70 | 145 170 |
| 52 | 95 | 250 |
| 72,5 | 140 | 325 |
| 123 | (185) 230 | 450 550 |
| 145 | (185) 230 275 | (450) 550 650 |
| 170 | (230) 275 325 | (550) 650 750 |
| 245 | (275) (325) 360 395 460 | (650) (750) 850 950 1 050 |

NOTA – Si los valores entre paréntesis son insuficientes para probar que las tensiones soportadas especificadas entre fases se cumplen, se requieren ensayos complementarios de tensiones soportadas entre fases.

Fuente: IEC 60071-1 IEC

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

DETERMINACIÓN DE SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS (U_{rp})

VOLTAJE A FRECUENCIA INDUSTRIAL

$$U_s = 145 \text{ kV (fase - fase)}$$

$$1.0 \text{ p.u.} = 118.392 \text{ kV (cresta)}$$

SOBRETENSIONES TEMPORALES

* Falla fase - tierra (U_{rp}): $1.5 * U_m / \sqrt{3} = 125.57 \text{ KV}$

"[...] System studies have been made taking into account the system neutral grounding characteristics, and the earth fault factor has been to be $k = 1,5$ ([...]in fact, a value of 1,5 is rather unusual at a level of 230 kV where a value not greater than 1,3 is normally expected). [...]" (IEC 60071-2; (H.1.1.1.2 *Temporary overvoltages.*))

* Rechazo de carga (U_{rp})

Sobretensión fase - fase: $1.4 * U_m = 203.00 \text{ KV}$

Sobre tensión fase-tierra: $1.4 * U_m / \sqrt{3} = 117.20 \text{ KV}$

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Sobretensiones de frente lento por energización y re-energización

De la figura 1 de la norma IEC 60071-2:

| | | |
|--|--------------|----------------------|
| Maniobra: | Energización | |
| Resistencia de cierre de un solo paso: | NO | |
| Red de alimentación: | INDUCTIVA | |
| Compensación paralela: | < 50% | |
| | U_{e2} | $= 2.9 \text{ p.u.}$ |

| | | |
|--|-----------------|----------------------|
| Maniobra: | Re-energización | |
| Resistencia de cierre de un solo paso: | NO | |
| Red de alimentación: | INDUCTIVA | |
| Compensación paralela: | < 50% | |
| | U_{e2} | $= 3.5 \text{ p.u.}$ |

De la figura 2 de la norma IEC 60071-2:

| | | |
|-----------|-----------------|-----------------------|
| Maniobra: | Energización | |
| | U_{p2}/U_{e2} | $= 1.6 \text{ p.u.}$ |
| | U_{p2} | $= 4.64 \text{ p.u.}$ |

| | | |
|-----------|-----------------|------------------------|
| Maniobra: | Re-energización | |
| | U_{p2}/U_{e2} | $= 1.45 \text{ p.u.}$ |
| | U_{p2} | $= 5.075 \text{ p.u.}$ |

Sobretensión fase-tierra (U_{et})

La distribución de probabilidad representativa, puede estimarse por el método fase-pico:

Valor de truncamiento:

| | | |
|--|--------------|-----------------------|
| Maniobra: | Energización | |
| $U_{et} = 1.25 * U_{e2} - 0.25 \text{ p.u.}$ | | $= 399.57 \text{ kV}$ |

| | | |
|--|-----------------|-----------------------|
| Maniobra: | Re-energización | |
| $U_{et} = 1.25 * U_{e2} - 0.25 \text{ p.u.}$ | | $= 488.37 \text{ kV}$ |

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

Sobretensión fase-fase (U_{pt})

La distribución de probabilidad representativa, puede estimarse por el método fase-pico:
Valor de truncamiento:

| | |
|--|-----------------|
| Maniobra: | Energización |
| $U_{pt} = 1.25 \cdot U_{p2} - 0.43 \text{ p.u.}$ | = 635.77 kV |
| Maniobra: | Re-energización |
| $U_{pt} = 1.25 \cdot U_{p2} - 0.43 \text{ p.u.}$ | = 700.14 kV |

RESUMEN DE SOBRETENSIONES DE MANIOBRA:

| | Todos los equipos | | Equipo a la entrada de línea | |
|----------|-------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| U_{et} | 399.57 | KV (fase-tierra) | 488.37 | KV (fase-tierra) |
| U_{pt} | 635.77 | KV (fase-fase) | 700.14 | KV (fase-fase) |

Pararrayos a la entrada de línea y cerca de los transformadores:

Nivel de protección al impulso de maniobra (NPM):

$U_{ps} = 238 \text{ kV}$

Nivel de protección al impulso atmosférico (NPR):

$U_{pl} = 282 \text{ kV}$

Nota: Los valores de U_{ps} y U_{pl} fueron tomados del la guía del comprador de ABB:

High Voltage Surge Arresters, Buyer's Guide - Section EXLIM Q-E

| Max. system voltage | Rated voltage | Max. continuous operating voltage ¹⁾ | | TOV capability ²⁾ | | Max. residual voltage with current wave | | | | | | | |
|---------------------|-------------------|---|-------------------|------------------------------|-------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
| | | as per IEC | as per ANSI/IEEE | | | 30/60 μ s | | | | 8/20 μ s | | | |
| | | U_c | MCOV | 1 s | 10 s | 0.5 kA | 1 kA | 2 kA | 5 kA | 10 kA | 20 kA | 40 kA | |
| U_m | U_r | U_c | MCOV | 1 s | 10 s | 0.5 kA | 1 kA | 2 kA | 5 kA | 10 kA | 20 kA | 40 kA | |
| kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{rms} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | kV _{peak} | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 145 | 108 | 86 | 86.0 | 125 | 118 | 208 | 214 | 223 | 242 | 254 | 280 | 313 |
| | 120 | 92 | 98.0 | 139 | 132 | 231 | 238 | 248 | 268 | 282 | 311 | 347 |
| | 132 | 92 | 106 | 153 | 145 | 254 | 262 | 272 | 295 | 311 | 342 | 382 |
| | 138 | 92 | 111 | 160 | 151 | 265 | 274 | 285 | 309 | 325 | 357 | 399 |
| | 144 | 92 | 115 | 167 | 158 | 277 | 286 | 297 | 322 | 339 | 373 | 417 |

¹⁾ The continuous operating voltages U_c (as per IEC) and MCOV (as per ANSI) differ only due to deviations in type test procedures.

U_c has to be considered only when the actual system voltage is higher than the tabulated.
Any arrester with U_c higher than or equal to the actual system voltage divided by $\sqrt{3}$ can be selected.

²⁾ With prior duty equal to the maximum single-impulse energy stress (4.5 kJ/kV (U_i)).

³⁾ Arresters for system voltages 36 kV or below can be supplied, on request, when the order also includes arresters for higher system voltages.

Arresters with lower or higher rated voltages may be available on request for special applications.

$U_{ps} < U_{et}$ Sí

$U_{rp} \text{ (fase-tierra)} = U_{ps} = 238 \text{ kV}$

$U_{rp} \text{ (fase-fase)} = 2U_{ps}$

Equipo a la entrada de línea 476 kV

Todos los equipos, excepto eq. de entrada de línea 635.77 kV

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

**DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES SOPORTADAS DE
COORDINACIÓN (U_{cw})**

*** SOBRETENSIONES TEMPORALES**

$$U_{cw} = K_c * U_{rp}$$

$$K_c = 1 \text{ (Valor sugerido en 3.3.1 de la IEC 60071-2)}$$

$$\text{Fase - tierra: } U_{cw} = 117.20 \text{ kV}$$

$$\text{Fase-fase: } U_{cw} = 203.00 \text{ kV}$$

***SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO**

$$U_{cw} = K_{cd} * U_{rp}$$

K_{cd} : Factor de coordinación determinístico

K_{cd} se determina utilizando la figura 6 de la norma IEC 60071-2

De la figura 6:

Curva a (fase - tierra)

Eq. Entrada de línea

$$U_{ps} / U_{e2} = 238 / 414.37 = 0.57$$

$$K_{cd} = 1.10 \text{ (Curva a, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 261.80 \text{ KV}$$

Todos los equipos, excepto eq. de entrada de línea

$$U_{ps} / U_{e2} = 238 / 343.34 = 0.69$$

$$K_{cd} = 1.10 \text{ (Curva a, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 261.80 \text{ KV}$$

Curva b (fase - fase)

Eq. Entrada de línea

$$2U_{ps}/U_{p2} = 476.00 / 600.84 = 0.79$$

$$K_{cd} = 1.030 \text{ (Curva b, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 490.28 \text{ KV}$$

Todos los equipos, excepto eq. de entrada de línea

$$2U_{ps}/U_{p2} = 635.77 / 549.34 = 1.16$$

$$K_{cd} = 1.018 \text{ (Curva b, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 647.21 \text{ KV}$$

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

***SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_a}$$

| | | | | |
|--|---|--------|----------------|--|
| U _{pl} | = | 282 | KV | (NPR) |
| Factor A | = | 4500 | KV | (Ref. Tabla F.2 IEC 60071-2) |
| n | = | 2 | | Mínimo de líneas conectadas a la SET (n=1 o n=2) |
| L _{sp} | = | 300 | m | Longitud de vano típico de línea |
| R _a | = | 0.0025 | 1/(400 años) | Tasa de falla aceptable (IEC 60071-2) |
| R _{km} | = | 0.01 | 1/(100 Km año) | Valor típico de tasa de falla de líneas |
| L _a = R _a /R _{km} | = | 250 | m | Longitud de línea que produce una tasa de interrupción igual a la tasa de falla aceptable |
| L | = | 15 | m | Máxima distancia de separación para aislamiento interno: 30 m (Ref. IEC 60071-2) |
| L | = | 35 | m | Máxima distancia de separación para aislamiento externo: 60 m (Ref. IEC 60071-2) |

Para aislamiento interno:

$$U_{cw} = 343.3636 \text{ kV}$$

Para aislamiento externo

$$U_{cw} = 425.1818 \text{ kV}$$

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES SOPORTADAS ESPECÍFICAS

(U_{rw})

* FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTITUD DE INSTALACIÓN (K_a)

$$K_a = e^{m \left(\frac{H}{8150} \right)}$$

H Altitud de instalación sobre el nivel del mar en metros
m Exponente que depende de varios parámetros, incluyendo el camino de descarga mínimo,
el cual es, por lo general, desconocido en la etapa de especificación.
m = 1 para coordinación de tensiones soportadas a impulso tipo rayo
m = 1 para coordinación de tensiones soportadas a impulso tipo maniobra
m En la figura 9 (IEC 60071-2) se muestra la dependencia del exponente "m"
Relación de "m" y "U_{cw}" según figura 9 (IEC 60071-2):
0,5 ≤ m ≤ 0,8 para tensiones soportadas, a frecuencia industrial, de corta duración de aisladores contaminados.

Para 'Equipo de entrada de línea

| | | | |
|--|-----------|-----|---|
| Curva a: U _{cw} (fase-tierra) | 261.80 KV | m = | 1 |
| Curva c: U _{cw} (fase-fase) | 490.28 KV | m = | 1 |

Para todos los equipos

| | | | |
|--|-----------|-----|---|
| Curva a: U _{cw} (fase-tierra) | 261.80 KV | m = | 1 |
| Curva c: U _{cw} (fase-fase) = | 647.21 KV | m = | 1 |

Para tensión soportada al impulso tipo rayo m = 1

La altitud de diseño "H" e 3500 msnm y m = 1

$$K_a = 1.53560059$$

K_a a frecuencia industrial y con aisladores normales contaminados:

$$m = 0.5 \Rightarrow K_a = 1.23919$$

$$U_{rw} = U_{cw} * K_s * K_a$$

K_s = 1.15 Factor de seguridad para aislamiento interno

K_s = 1.05 Factor de seguridad para aislamiento externo

**ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE
POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"**

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

| U_{rw} en kV | AISLAMIENTO INTERNO | | AISLAMIENTO EXTERNO | |
|---|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | fase-tierra | fase-fase | fase-tierra | fase-fase |
| EQUIPOS DE ENTRADA DE LÍNEA | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 134.78 | 233.45 | 152.50 | 264.13 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 301.07 | 563.82 | 422.12 | 790.52 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 394.87 | 394.87 | 685.55 | 685.55 |
| OTROS EQUIPOS | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 134.78 | 233.45 | 152.50 | 264.13 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 301.07 | 744.29 | 422.12 | 1,043.55 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 394.87 | 394.87 | 685.55 | 685.55 |

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 1

ELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO (U_w)

CONVERSIÓN DE BSL A FRECUENCIA INDUSTRIAL Y BIL

Ref. Norma IEC 60071-2

(Ver tabla 2 "Test conversion factors for range I, to convert required switching impulses withstand voltages to short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages")

| U_{rw} | AISLAMIENTO INTERNO | | AISLAMIENTO EXTERNO | |
|---|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | fase-tierra | fase-fase | fase-tierra | fase-fase |
| EQUIPOS DE ENTRADA DE LÍNEA | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 134.78 | 233.45 | 152.50 | 264.13 |
| BSL TO POWER-FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGES | 150.54 | 281.91 | 274.24 | 523.52 |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 301.07 | 563.82 | 422.12 | 790.52 |
| BSL TO LIGHTNING WITHSTAND VOLTAGES | 331.18 | 620.20 | 472.93 | 899.48 |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 394.87 | 394.87 | 685.55 | 685.55 |
| OTROS EQUIPOS | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 134.78 | 233.45 | 152.50 | 264.13 |
| BSL TO POWER-FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGES | 150.54 | 372.15 | 274.24 | 711.88 |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 301.07 | 744.29 | 422.12 | 1,043.55 |
| BSL TO LIGHTNING WITHSTAND VOLTAGES | 331.18 | 818.72 | 472.93 | 1,216.72 |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 394.87 | 394.87 | 685.55 | 685.55 |

BSL: Basic switching impulse insulation level

BIL : Basic lightning impulse insulation level

| Valores finales: | Valores calculados | | Valores sugeridos (Ref. IEC 60071-1, Tabla 2) |
|-------------------------|--------------------|-----|---|
| AISLAMIENTO INTERNO | | | |
| A frecuencia industrial | 233.45 | KV | 275 KV |
| BIL | 394.87 | KVp | 550 KVp |
| AISLAMIENTO EXTERNO | | | |
| A frecuencia industrial | 264.13 | KV | 325 KV |
| BIL | 685.55 | KVp | 750 KVp |

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

DATOS BÁSICOS:

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Tensión nominal | 22.9 kV |
| Tensión máxima de operación (U_m) | 24 kV |
| 1 p. u. = 19.59592 kV | |
| Altitud de instalación (H) | 3500 msnm |
| Factores de seguridad recomendados: | |
| Aislamiento interno (K_s) | 1.15 |
| Aislamiento externo (K_s) | 1.05 |

REFERENCIAS: Normas Técnicas IEC (IEC 60071-1, IEC 60071-2)

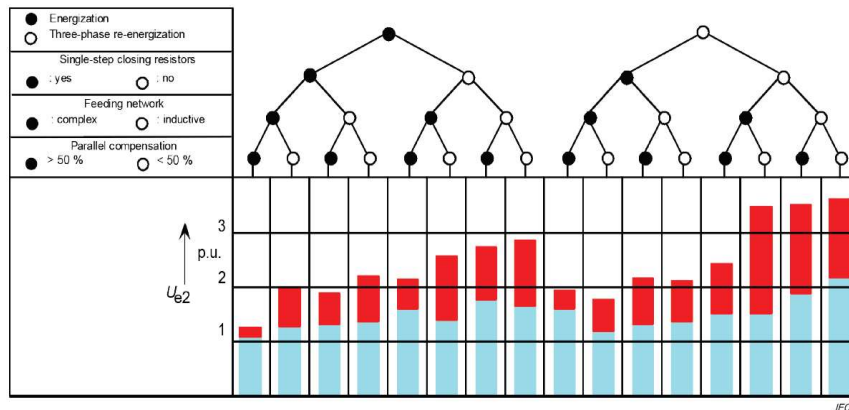


Figura 1 - intervalo del 2% sobretensiones lento-frontales en el extremo receptor debido a la energización de la línea y re-energización

Fuente: Norma Internacional IEC 60071-2

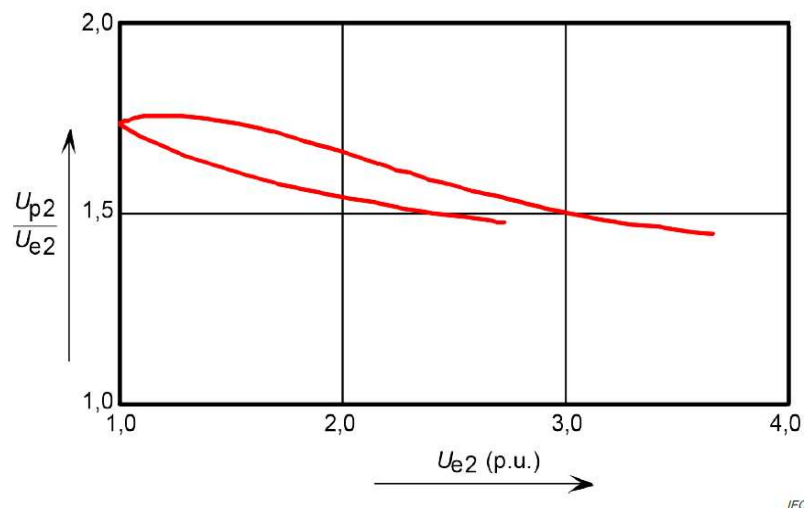


Figura 2 - Relación entre los valores 2% de sobretensiones lento-delanteras de fase a fase y de fase a tierra

Fuente: Norma Internacional IEC 60071-2

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22, 9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

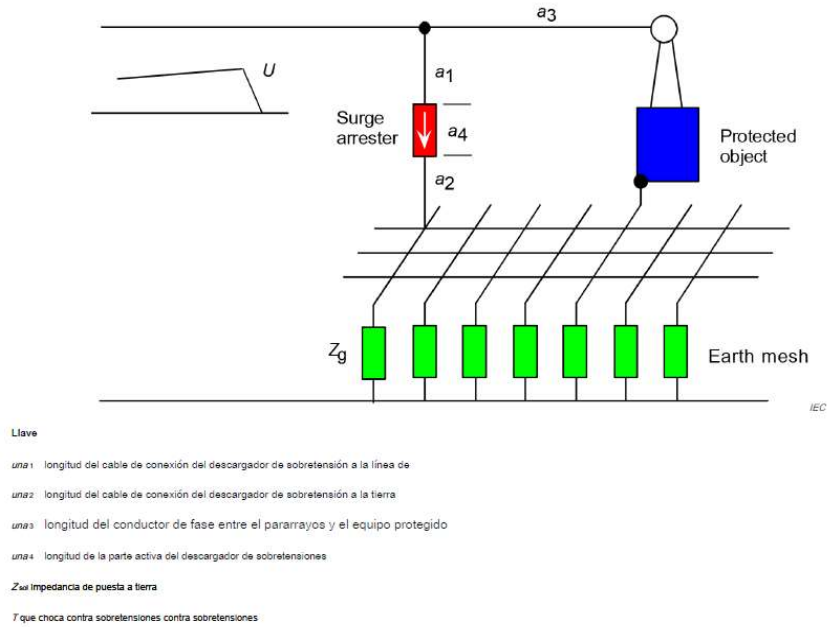


Figura 3 - Diagrama para la conexión del descargador de sobretensión al objeto protegido

Fuente: Norma Internacional IEC 60071-2

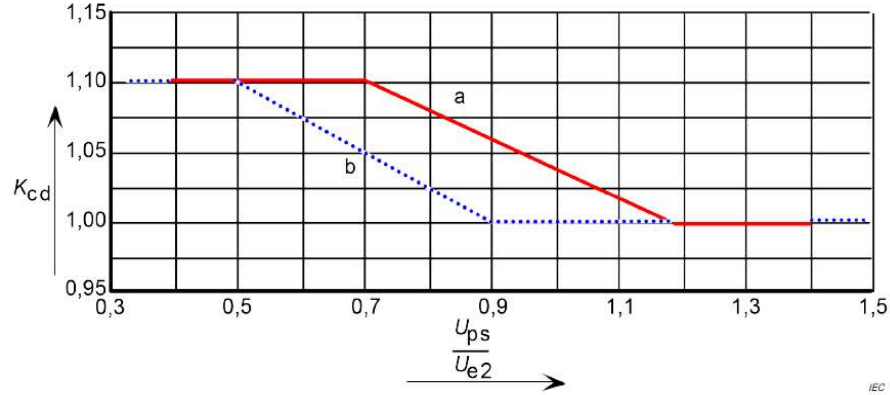
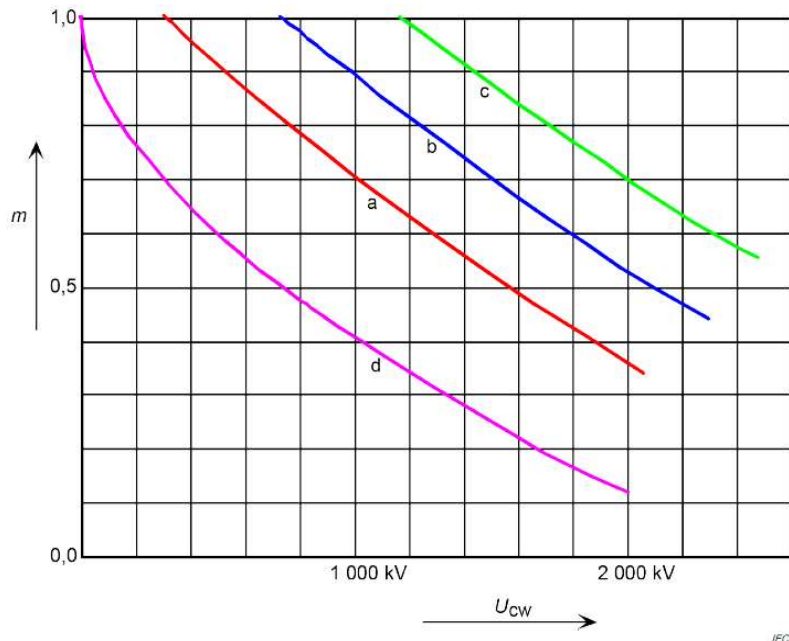


Figura 6 - Evaluación del factor de coordinación determinista K discos compactos

Fuente: Norma Internacional IEC 60071-2

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3



Llave

un aislamiento de fase a tierra b brecha de

aislamiento d varilla plano longitudinal de

aislamiento c de fase a fase (brecha de

referencia)

Para tensiones que constan de dos componentes, el valor de la tensión es la suma de los componentes.

Figura 9 - Dependencia del exponente *metro* en la coordinación impulso de maniobra tensión no disruptiva

Fuente: Norma Internacional IEC 71-2 Tercera Edición (Dic. 1996)

Table F.2 – Factor A for various overhead lines
(applicable in equations (F.17) and (F.19))

| Type of line | A (kV) |
|--|-----------|
| Distribution lines (phase-phase flashovers): | |
| – with earthed crossarms (flashover to earth at low voltage) | 900 |
| – wood-pole lines (flashover to earth at high voltage) | 2700 |
| Transmission lines (single-phase flashover to earth) | |
| – single conductor | 4500 |
| – double conductor bundle | 7000 |
| – four conductor bundle | 11000 |
| – six and eight conductor bundle | 17000 |

Fuente: Norma IS/IEC 60071-2

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22, 9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

Thus, introducing S_{rp} in equation (1) and putting $A = 2 / (K_{co} \cdot c)$ for transmission lines, the dependence of the representative lightning overvoltage on the return rate is obtained by:

$$U_{rp} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_t} \quad (F.17)$$

where

- U_{rp} is the representative lightning overvoltage amplitude (kV);
- A is a factor given in table F.2 describing the lighting performance of the overhead line connected to the station;
- U_{pl} is the lightning impulse protection level of the surge arrester (kV);
- n is the minimum of lines connected to the substation ($n=1$ or $n=2$);
- L is the separation distance: $L = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ as shown on figure 3 (m);
- L_{sp} is the span length (m);
- L_t is the overhead line length with outage rate equal to adopted return rate (m);
- R_t is the adopted overvoltage return rate (1/year);
- R_{km} is the overhead line outage rate per year for a design corresponding to the first kilometre in front of the station (see equation (F.16)) [usual unit: 1/(100 km.year); recommended unit: 1/(m.year)].

The co-ordination withstand voltage is obtained by replacing L_t by the line length L_a which yields an outage rate equal to the acceptable failure rate R_a :

$$L_a = R_a / R_{km} \quad (F.18)$$

and the co-ordination lightning impulse withstand voltage is equal to:

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_a} \quad (F.19)$$

where

- U_{cw} is the co-ordination lightning impulse withstand voltage;
- L_a is the overhead line section with outage rate equal to acceptable failure rate;
- R_a is the acceptable failure rate for equipment.

For transmission lines, the factors A are obtained from table F.2 and the corona damping constants K_{co} from table F.1. For distribution systems, lightning overvoltages are usually multiphase and current sharing of the phase conductors has to be considered. For steel towers the flashovers of more than one tower during a lightning stroke lead to a further reduction of the lightning overvoltages. For these lines the factor A has been matched with the service practice.

Fuente: Norma IEC 60071-2

Table 2 – Test conversion factors for range I, to convert required switching impulses withstand voltages to short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages

| Insulation | Short-duration power-frequency withstand voltage ¹⁾ | Lightning impulse withstand voltage |
|---|--|-------------------------------------|
| External insulation | | |
| – air clearances and clean insulators, dry: | | |
| – phase-to-earth | $0,6 + U_{rw} / 8500$ | $1,05 + U_{rw} / 6000$ |
| – phase-to-phase | $0,6 + U_{rw} / 12700$ | $1,05 + U_{rw} / 9000$ |
| – clean insulators, wet | 0,6 | 1,3 |
| Internal insulation | | |
| – GIS | 0,7 | 1,25 |
| – liquid-immersed insulation | 0,5 | 1,10 |
| – solid insulation | 0,5 | 1,00 |
| NOTE – U_{rw} is the required switching impulse withstand voltage in kV. | | |
| ¹⁾ The test conversion factors include a factor of $1/\sqrt{2}$ to convert from peak to r.m.s value. | | |

Fuente: Norma IEC 60071-2

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22, 9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

Tabla 2
Niveles de aislamiento normalizados para la gama I
(1 kV < $U_m \leq 245$ kV)

| Tensión más elevada para el material U_m kV (valor eficaz) | Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz) | Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (valor de cresta) |
|---|---|---|
| 3,6 | 10 | 20 40 |
| 7,2 | 20 | 40 60 |
| 12 | 28 | 60 75 95 |
| 17,5 | 38 | 75 95 |
| 24 | 50 | 95 125 145 |
| 36 | 70 | 145 170 |
| 52 | 95 | 250 |
| 72,5 | 140 | 325 |
| 123 | (185) | 450 |
| | 230 | 550 |
| 145 | (185) | (450) |
| | 230 | 550 |
| | 275 | 650 |
| 170 | (230) | (550) |
| | 275 | 650 |
| | 325 | 750 |
| 245 | (275) | (650) |
| | (325) | (750) |
| | 360 | 850 |
| | 395 | 950 |
| | 460 | 1 050 |

NOTA – Si los valores entre paréntesis son insuficientes para probar que las tensiones soportadas especificadas entre fases se cumplen, se requieren ensayos complementarios de tensiones soportadas entre fases.

Fuente: IEC 60071-1 IEC

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

DETERMINACIÓN DE SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS (U_{rp})

VOLTAJE A FRECUENCIA INDUSTRIAL

$$U_s = 24 \text{ kV (fase - fase)}$$

$$1.0 \text{ p.u.} = 19.59592 \text{ kV (cresta)}$$

SOBRETENSIONES TEMPORALES

* Falla fase - tierra ($U_{rp} = 1.5 * U_m / \sqrt{3} = 20.78 \text{ KV}$)

"[...] System studies have been made taking into account the system neutral grounding characteristics, and the earth fault factor has been to be $k = 1.5$ ([...]in fact, a value of 1.5 is rather unusual at a level of 230 kV where a value not greater than 1.3 is normally expected). [...]" (IEC 60071-2; (H.1.1.1.2 Temporary overvoltages.))

* Rechazo de carga (U_{rp})

Sobretensión fase - fase: $1.4 * U_m = 33.60 \text{ KV}$

Sobre tensión fase-tierra: $1.4 * U_m / \sqrt{3} = 19.40 \text{ KV}$

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Sobretensiones de frente lento por energización y re-energización

De la figura 1 de la norma IEC 60071-2:

| | |
|--|------------------------------|
| Maniobra: | Energización |
| Resistencia de cierre de un solo paso: | NO |
| Red de alimentación: | COMPLEJA |
| Compensación paralela: | < 50% |
| | $U_{e2} = 2.10 \text{ p.u.}$ |

| | |
|--|-----------------------------|
| Maniobra: | Re-energización |
| Resistencia de cierre de un solo paso: | NO |
| Red de alimentación: | COMPLEJA |
| Compensación paralela: | < 50% |
| | $U_{e2} = 2.5 \text{ p.u.}$ |

De la figura 2 de la norma IEC 60071-2:

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| Para todos los equipos | $U_{p2}/U_{e2} = 1.55 \text{ p.u.}$ |
| | $U_{p2} = 3.255 \text{ p.u.}$ |

| | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| En la entrada de la línea | $U_{p2}/U_{e2} = 1.52 \text{ p.u.}$ |
| | $U_{p2} = 3.8 \text{ p.u.}$ |

Sobretensión fase-tierra (U_{et})

La distribución de probabilidad representativa, puede estimarse por el método fase-pico:

Valor de truncamiento:

| | |
|--|----------------------|
| Maniobra: | Energización |
| $U_{et} = 1.25 * U_{e2} - 0.25 \text{ p.u.}$ | $= 46.54 \text{ kV}$ |
| Maniobra: | Re-energización |
| $U_{et} = 1.25 * U_{e2} - 0.25 \text{ p.u.}$ | $= 56.34 \text{ kV}$ |

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22, 9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS)"

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

Sobretensión fase-fase (U_{pt})

La distribución de probabilidad representativa, puede estimarse por el método fase-pico:

Valor de truncamiento:

Maniobra:

$$U_{pt} = 1.25 \cdot U_{p2} - 0.43 \text{ p. u.}$$

Maniobra:

$$U_{pt} = 1.25 \cdot U_{p2} - 0.43 \text{ p. u.}$$

Energización

$$= 71.30 \text{ kV}$$

Re-energización

$$= 84.65 \text{ kV}$$

RESUMEN DE SOBRETENSIONES DE MANIOBRA:

| | Todos los equipos | | Equipo a la entrada de línea | |
|----------|-------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| U_{et} | 46.54 | KV (fase-tierra) | 56.34 | KV (fase-tierra) |
| U_{pt} | 71.30 | KV (fase-fase) | 84.65 | KV (fase-fase) |

Pararrayos a la entrada de línea y cerca de los transformadores:

Nivel de protección al impulso de maniobra (NPM):

$$U_{ps} = 43.6 \text{ kV}$$

Nivel de protección al impulso atmosférico (NPR):

$$U_{pl} = 63 \text{ kV}$$

Nota: Los valores de U_{ps} y U_{pl} fueron tomados del la guía del comprador de ABB:

Surge Arresters Datasheet POI TM-K

| U_c Continuous operating voltage kV | U_r Rated voltage kV | Residual voltage U_{res} in kV (pv) at specified impulse current | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|--|-------|--------------|--------|------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | | wave 1/...µs | | wave 8/20 µs | | | | wave 30/60 µs | | | |
| | | 5 kA | 10 kA | 1 kA | 2.5 kA | 5 kA | 10 kA | 20 kA | 125 A | 250 A | 500 A |
| rms | rms | pv | pv | pv | pv | pv | pv | pv | pv | pv | pv |
| 4 | 5.0 | 13.0 | 14.7 | 10.9 | 11.7 | 12.4 | 13.4 | 14.9 | 9.7 | 10.0 | 10.3 |
| 5 | 6.3 | 16.2 | 18.3 | 13.6 | 14.5 | 15.4 | 16.7 | 18.6 | 12.1 | 12.5 | 12.9 |
| 6 | 7.5 | 19.4 | 21.9 | 16.3 | 17.4 | 18.5 | 20.0 | 22.2 | 14.5 | 14.9 | 15.4 |
| 7 | 8.8 | 22.7 | 25.7 | 19.1 | 20.3 | 21.6 | 23.4 | 26.0 | 17.0 | 17.5 | 18.0 |
| 8 | 10.0 | 25.9 | 29.3 | 21.7 | 23.2 | 24.7 | 26.7 | 29.7 | 19.4 | 19.9 | 20.6 |
| 9 | 11.3 | 29.1 | 32.9 | 24.4 | 26.0 | 27.7 | 30.0 | 33.3 | 21.7 | 22.4 | 23.1 |
| 10 | 12.5 | 32.3 | 36.5 | 27.1 | 28.9 | 30.8 | 33.3 | 37.0 | 24.1 | 24.9 | 25.6 |
| 11 | 13.8 | 35.6 | 40.2 | 29.9 | 31.8 | 33.9 | 36.7 | 40.8 | 26.6 | 27.4 | 28.2 |
| 12 | 15.0 | 38.8 | 43.8 | 32.5 | 34.7 | 36.9 | 40.0 | 44.4 | 29.0 | 29.8 | 30.8 |
| 13 | 16.3 | 42.0 | 47.4 | 35.2 | 37.6 | 40.0 | 43.3 | 48.1 | 31.4 | 32.3 | 33.3 |
| 14 | 17.5 | 45.3 | 51.1 | 38.0 | 40.5 | 43.1 | 46.7 | 51.9 | 33.8 | 34.8 | 35.9 |
| 15 | 18.8 | 48.5 | 54.8 | 40.7 | 43.4 | 46.1 | 50.0 | 55.5 | 36.2 | 37.3 | 38.5 |
| 16 | 20.0 | 51.6 | 58.4 | 43.3 | 46.2 | 49.2 | 53.3 | 59.2 | 38.6 | 39.8 | 41.0 |
| 17 | 21.3 | 54.9 | 62.1 | 46.1 | 49.2 | 52.3 | 56.7 | 63.0 | 41.0 | 42.3 | 43.6 |
| 18 | 22.5 | 58.1 | 65.7 | 48.8 | 52.0 | 55.4 | 60.0 | 66.6 | 43.4 | 44.7 | 46.1 |
| 19 | 23.8 | 61.3 | 69.3 | 51.5 | 54.9 | 58.4 | 63.3 | 70.3 | 45.8 | 47.2 | 48.7 |
| 20 | 25.0 | 64.5 | 72.9 | 54.1 | 57.7 | 61.5 | 66.6 | 74.0 | 48.2 | 49.7 | 51.2 |
| 21 | 26.3 | 67.8 | 76.6 | 56.9 | 60.7 | 64.6 | 70.0 | 77.7 | 50.7 | 52.2 | 53.8 |
| 22 | 27.5 | 71.0 | 80.2 | 59.6 | 63.5 | 67.6 | 73.3 | 81.4 | 53.0 | 54.7 | 56.3 |

¿ $U_{ps} < U_{et}$? Sí

$$U_{rp} \text{ (fase-tierra)} = U_{ps} = 43.6 \text{ kV}$$

$$U_{rp} \text{ (fase-fase)} = 2U_{ps}$$

$$\text{Equipo a la entrada de línea} \quad 87.2 \text{ kV}$$

$$\text{Todos los equipos, excepto eq. de entrada de} \quad 71.30 \text{ kV}$$

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

**DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES SOPORTADAS DE
COORDINACIÓN (U_{cw})**

*** SOBRETENSIONES TEMPORALES**

$$U_{cw} = K_c * U_{rp}$$

$$K_c = 1 \text{ (Valor sugerido en 3.3.1 de la IEC 60071-2)}$$

$$\text{Fase - tierra: } U_{cw} = 19.40 \text{ kV}$$

$$\text{Fase-fase: } U_{cw} = 33.60 \text{ kV}$$

***SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO**

$$U_{cw} = K_{cd} * U_{rp}$$

K_{cd} : Factor de coordinación determinístico

K_{cd} se determina utilizando la figura 6 de la norma IEC 60071-2

De la figura 6:

Curva a (fase - tierra)

Eq. Entrada de línea

$$U_{ps} / U_{e2} = 43.6 / 48.99 = 0.89$$

$$K_{cd} = 1.10 \text{ (Curva a, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 47.96 \text{ KV}$$

Todos los equipos, excepto eq. de entrada de línea

$$U_{ps} / U_{e2} = 43.6 / 41.15 = 1.06$$

$$K_{cd} = 1.10 \text{ (Curva a, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 47.96 \text{ KV}$$

Curva b (fase - fase)

Eq. Entrada de línea

$$2U_{ps}/U_{p2} = 87.20 / 74.46 = 1.17$$

$$K_{cd} = 1.030 \text{ (Curva b, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 89.82 \text{ KV}$$

Todos los equipos, excepto eq. de entrada de línea

$$2U_{ps}/U_{p2} = 71.30 / 63.78 = 1.12$$

$$K_{cd} = 1.018 \text{ (Curva b, figura 6 IEC 60071-2)}$$

$$U_{cw} = 72.59 \text{ KV}$$

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

***SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_{sp} + L_a}$$

| | | | | |
|------------------------|---|--------|----------------|--|
| U _{pl} | = | 63 | KV | (NPR) |
| Factor A | = | 2700 | KV | (Ref. Tabla F.2 IEC 60071-2) |
| n | = | 1 | | Mínimo de líneas conectadas a la SET (n=1 o n=2) |
| L _{sp} | = | 100 | m | Longitud de vano típico de línea |
| Ra | = | 0.0025 | 1/(400 años) | Tasa de falla aceptable (IEC 60071-2) |
| R _{km} | = | 0.01 | 1/(100 Km año) | Valor típico de tasa de falla de líneas |
| La =Ra/R _{km} | = | 250 | m | Longitud de línea que produce una tasa de interrupción igual a la tasa de falla aceptable |
| L | = | 3 | m | Máxima distancia de separación para aislamiento interno: 30 m (Ref. IEC 60071-2) |
| L | = | 3 | m | Máxima distancia de separación para aislamiento externo: 60 m (Ref. IEC 60071-2) |

Para aislamiento interno:

$$U_{cw} = 86.14286 \text{ kV}$$

Para aislamiento externo

$$U_{cw} = 86.14286 \text{ kV}$$

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES SOPORTADAS ESPECÍFICAS

(U_{rw})

* FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTITUD DE INSTALACIÓN (K_a)

$$K_a = e^{m \left(\frac{H}{8150} \right)}$$

H Altitud de instalación sobre el nivel del mar en metros
 m Exponente que depende de varios parámetros, incluyendo el camino de descarga mínimo, el cual es, por lo general, desconocido en la etapa de especificación.
 m = 1 para coordinación de tensiones soportadas a impulso tipo rayo
 m = 1 para coordinación de tensiones soportadas a impulso tipo maniobra
 m En la figura 9 (IEC 60071-2) se muestra la dependencia del exponente "m"
 Relación de "m" y "U_{cw}" según figura 9 (IEC 60071-2):
 0,5 ≤ m ≤ 0,8 para tensiones soportadas, a frecuencia industrial, de corta duración de aisladores contaminados.

Para 'Equipo de entrada de línea

| | | | | |
|--|----------|------|-----|---|
| Curva a: U _{cw} (fase-tierra) | 47.96 KV | ==== | m = | 1 |
| Curva c: U _{cw} (fase-fase) | 89.82 KV | ==== | m = | 1 |

Para todos los equipos

| | | | | |
|--|----------|------|-----|---|
| Curva a: U _{cw} (fase-tierra) | 47.96 KV | ==== | m = | 1 |
| Curva c: U _{cw} (fase-fase) = | 72.59 KV | ==== | m = | 1 |

Para tensión soportada al impulso tipo rayo m = 1

La altitud de diseño "H" e **3500** msnm y m = **1**

$$K_a = 1.53560059$$

K_a a frecuencia industrial y con aisladores normales contaminados:

$$m = 0.5 \implies K_a = 1.23919$$

$$U_{rw} = U_{cw} * K_s * K_a$$

K_s = 1.15 Factor de seguridad para aislamiento interno

K_s = 1.05 Factor de seguridad para aislamiento externo

**ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE
POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22, 9 kV (50/50/50 MVA Y CELDAS ASOCIADAS"**

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

| U_{rw} en kV | AISLAMIENTO INTERNO | | AISLAMIENTO EXTERNO | |
|---|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | fase-tierra | fase-fase | fase-tierra | fase-fase |
| EQUIPOS DE ENTRADA DE LÍNEA | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 22.31 | 38.64 | 25.24 | 43.72 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 55.15 | 103.29 | 77.33 | 144.82 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 99.06 | 99.06 | 138.90 | 138.90 |
| | | | | |
| OTROS EQUIPOS | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 22.31 | 38.64 | 25.24 | 43.72 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 55.15 | 83.48 | 77.33 | 117.04 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 99.06 | 99.06 | 138.90 | 138.90 |

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO. ANEXO 3

ELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO (U_w)

CONVERSIÓN DE BSL A FRECUENCIA INDUSTRIAL Y BIL

Ref. Norma IEC 60071-2

(Ver tabla 2 "Test conversion factors for range I, to convert required switching impulses withstand voltages to short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages")

| U_{rw} | AISLAMIENTO INTERNO | | AISLAMIENTO EXTERNO | |
|---|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | fase-tierra | fase-fase | fase-tierra | fase-fase |
| EQUIPOS DE ENTRADA DE LÍNEA | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 22.31 | 38.64 | 25.24 | 43.72 |
| BSL TO POWER-FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGES | 27.58 | 51.64 | 47.10 | 88.54 |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 55.15 | 103.29 | 77.33 | 144.82 |
| BSL TO LIGHTNING WITHSTAND VOLTAGES | 60.67 | 113.62 | 82.19 | 154.39 |
| | | | | |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 99.06 | 99.06 | 138.90 | 138.90 |
| OTROS EQUIPOS | | | | |
| Para sobrevoltajes temporales a frecuencia industrial (TOV) | 22.31 | 38.64 | 25.24 | 43.72 |
| BSL TO POWER-FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGES | 27.58 | 41.74 | 47.10 | 71.30 |
| Para sobrevoltajes de frente lento (BSL) | 55.15 | 83.48 | 77.33 | 117.04 |
| BSL TO LIGHTNING WITHSTAND VOLTAGES | 60.67 | 91.82 | 82.19 | 124.41 |
| Para sobrevoltajes de frente rápido (BIL) | 99.06 | 99.06 | 138.90 | 138.90 |

BSL: Basic switching impulse insulation level

BIL : Basic lightning impulse insulation level

| Valores finales: | Valores calculados | | Valores sugeridos (Ref. IEC 60071-1, Tabla 2) |
|-------------------------|--------------------|-----|---|
| AISLAMIENTO INTERNO | | | |
| A frecuencia industrial | 38.64 | KV | 50 KV |
| BIL | 99.06 | KVp | 145 KVp |
| AISLAMIENTO EXTERNO | | | |
| A frecuencia industrial | 43.72 | KV | 70 KV |
| BIL | 138.90 | KVp | 170 KVp |

MEMORIA DE CÁLCULO DE DISTANCIAS MÍNIMAS Y DE SEGURIDAD

INDICE**MEMORIA DE CÁLCULO DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD**

| | |
|---|-----------|
| 1. OBJETIVO | 3 |
| 2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO PROYECTADO | 3 |
| Cuadro No. 1 Características del sistema eléctrico proyectado..... | 3 |
| 3. CLIMA, ALTITUD Y CONDICIONES SÍSMICAS..... | 4 |
| Figura 1: Histograma de precipitación pluvial y temperaturas máxima y mínima de la estación meteorológica Kcayra del SENAMHI..... | 4 |
| Figura 2: Histograma de precipitación pluvial y temperaturas máxima y mínima de la estación meteorológica Pisac del SENAMHI..... | 4 |
| Cuadro No. 2: Clima, altitud y condiciones sísmicas..... | 5 |
| 4. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y EN EL AIRE..... | 6 |
| 4.1 Distancias mínimas en el aire..... | 6 |
| Figura 3: Nivel básico de aislamiento y distancias mínimas..... | 6 |
| Cuadro No. 3 Distancias mínimas | 6 |
| 4.2 Distancias mínimas de seguridad. | 7 |
| Figura 4: “Distancia de seguridad para los cercos de estaciones de suministro eléctrico” | 7 |
| Cuadro No. 4 Valor de “R” (distancia de seguridad para los cercos)..... | 7 |
| Figura 5: Distancia mínima de seguridad a las partes con tensión | 8 |
| Cuadro No. 5 Distancias mínimas de seguridad a las partes con tensión, en base al BIL externo. | 8 |
| 4.3 Distancia básica de aislamiento o valor básico | 9 |
| Cuadro No. 6 Distancia básica de aislamiento o valor básico..... | 9 |
| 4.4 Distancias mínimas bajo condiciones especiales..... | 9 |
| Figura 6: Distancias mínimas bajo condiciones especiales (Fuente: IEC 61936-1)..... | 9 |
| Figura : 7 Tabla 2 de la norma IEC 61936-1, de distancias mínimas en el aire para equipos de la gama 1 (< 245 kV)..... | 10 |
| 4.5 Zona de Seguridad | 11 |
| Figura No. 8 Talla y extensión de brazos de un operador | 11 |
| Figura No. 9 Circulación de personal | 12 |
| Figura No. 10 Mantenimiento de rutina | 12 |
| Figura No. 11 Protección para equipos en bajo nivel..... | 13 |
| Figura No. 12 Circulación de vehículos | 13 |

***ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3
DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”***

| | |
|--|----|
| 5. CONCLUSIONES..... | 14 |
| Cuadro No. 7 Resumen de las distancias mínimas de seguridad..... | 14 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 15 |

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

MEMORIA DE CÁLCULO DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD

1. OBJETIVO

Se tiene por objetivo determinar las distancias mínimas de seguridad (DMS) a ser tenidas en cuenta para la elaboración del diseño de disposición física de equipos para la ampliación de la capacidad del transformador T-3 de la S.E. Cachimayo 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) y celdas asociadas.

2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO PROYECTADO

| Parámetro | | | | |
|---|------------|-----------|-------------|--|
| Tensión nominal de operación (kV) | 138 | 60 | 22,9 | |
| Tensión máxima de operación (kV) | 145 | 72.5 | 24 | |
| Frecuencia (Hz) | 60 | 60 | 60 | |
| Número de fases | 3 | 3 | 3 | |
| Potencia del transformador de potencia (MVA) | 50-55 | 50-55 | 50-55 | |
| Grupo de conexión del transformador de potencia ¹ o YN0ynyn + d [d:devanado de compensación] | YN0 | Yn0 | d | |
| Transformador zigzag | | | ZN | |
| Puesta a tierra | Rígido | Rígido | Rígido | |
| Nivel de aislamiento básico al impulso tipo rayo (BIL) (KV _p) [Aislamiento externo] | 750 | 450 | 170 | |
| Línea de fuga (mm/kV) | 31 | 31 | 31 | |
| Corriente de cortocircuito de equipos (kA) | 31.5 | 31.5 | 31.5 | |
| Máxima duración admisible de cortocircuito (s) | 3 | 3 | 3 | |
| Tiempo normal de despeje de falla (ms) | 80 | 300 | 300 | |
| Tiempo de respaldo de despeje de falla (ms) | 250 | 500 | 500 | |
| Identificación de fases | R, S, T | R,S,T | R, S, T | |

Cuadro No. 1 Características del sistema eléctrico proyectado

¹ Para el grupo de conexión YN0yn0d, se deberá suministrar y poner en servicio un transformador zigzag.

3. CLIMA, ALTITUD Y CONDICIONES SÍSMICAS

Las estaciones meteorológicas del SENAMHI más próximas a la S.E. Cachimayo y con data disponible para descarga [<https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>] son las de la Granja Kcayra (~3219 msnm, San Jerónimo, Cusco, Cusco) y la de Pisac (~2990 msnm, Pisac, Calca, Cusco) y cuyos histogramas de temperatura máxima, mínima y precipitación pluvial se muestran a continuación:

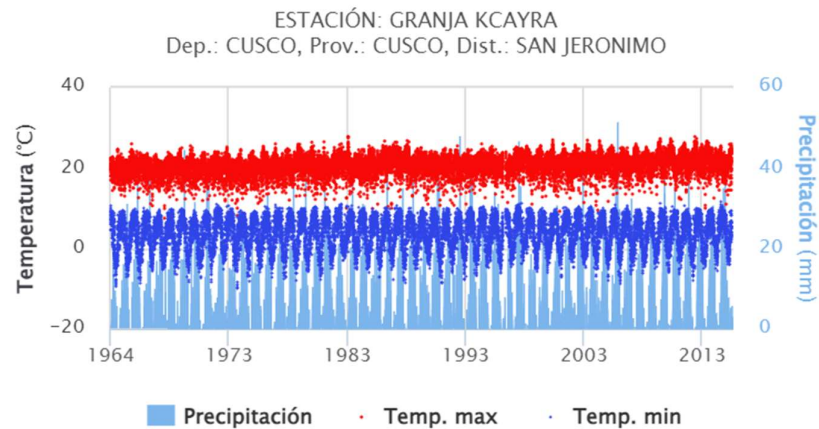


Figura 1: Histograma de precipitación pluvial y temperaturas máxima y mínima de la estación meteorológica Kcayra del SENAMHI

Fuente: www.senamhi.gob.pe

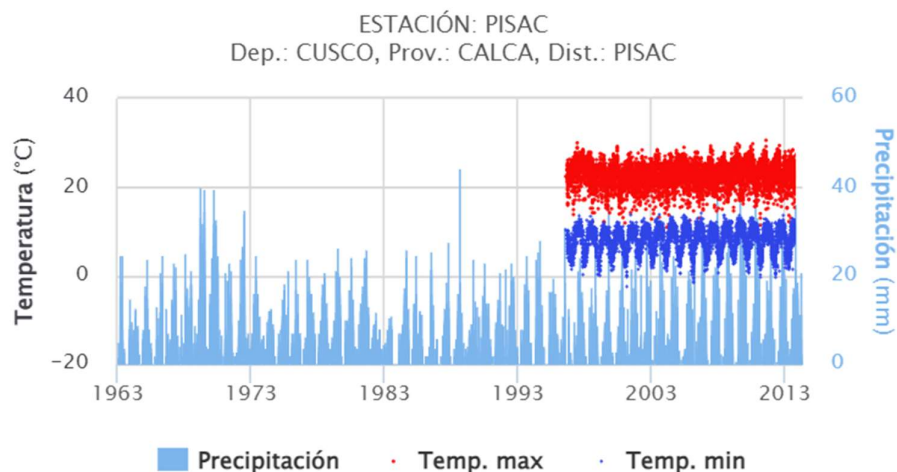


Figura 2: Histograma de precipitación pluvial y temperaturas máxima y mínima de la estación meteorológica Pisac del SENAMHI

Fuente: www.senamhi.gob.pe

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

Por estar ubicada la estación de la granja Kcayra a una altitud mayor que la estación de Pisac, se tomará data de la estación Kcayra.

| | | |
|--|-------|--|
| Temperatura máxima (°C) | 27.8 | Fuente: www.gob.pe/senamhi (SENAMHI / DRD, estación Granja KCXAYRA (San Jerónimo, Cusco, Cusco), altitud 3219 msnm. Fecha de registro: 1983-10-26) |
| Temperatura mínima (°C) | -10 | Fuente: www.gob.pe/senamhi (SENAMHI / DRD, estación Granja KCAYRA (San Jerónimo, Cusco, Cusco), altitud 3219 msnm. Fecha de registro: 1974-07-29) |
| Precipitación pluvial (mm/día) | 51.6 | Fuente: www.gob.pe/senamhi (SENAMHI / DRD, estación Granja KCAYRA (San Jerónimo, Cusco, Cusco), altitud 3219 msnm. Fecha de registro: 2006-02-06) |
| Humedad relativa (%) | 93.9 | Fuente: www.gob.pe/senamhi (SENAMHI / DRD, estación Granja KAYRA (San Jerónimo, Cusco, Cusco), altitud 3214 msnm. Fecha de registro: 2018-07-21) |
| Índice Radiación solar UV máximo (cielo despejado y mediodía solar) | >11 | Extremadamente alta. Fuente: SENAMHI, (Índice para el jueves 3 de noviembre de 2022: 16). |
| Velocidad del viento (m/s) | 29 | Ref. Tabla 250-1-B del CNE Suministro 2011 |
| Velocidad del viento (km/h) | 104 | Ref. Tabla 250-1-B del CNE Suministro 2011 |
| Altitud de la instalación (msnm) | 3423 | Ref. www.es.wikipedia.org |
| Altitud de diseño (msm) | 3500 | |
| Zona sísmica | 2 | Ref. RM 043-2019-VIVIENDA. |
| Aceleración horizontal mínima para diseño de cimentaciones, estructuras soporte y pórticos | 0,5 g | Ref. Procedimiento Técnico No. 20 del COES |
| Aceleración vertical mínima para diseño de cimentaciones, estructuras soporte y pórticos | 0,3 g | Ref. Procedimiento Técnico No. 20 del COES |
| Frecuencia de oscilación mínima para diseño de cimentaciones, estructuras soporte y pórticos | 10 Hz | Ref. Procedimiento Técnico No. 20 del COES |

Cuadro No. 2: Clima, altitud y condiciones sísmicas

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

4. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y EN EL AIRE.

4.1 Distancias mínimas en el aire

Teniendo en cuenta la tabla A.1 ‘Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances’ de la norma IEC 60071-2, se deben observar las siguientes distancias mínimas:

Table A.1 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances

| Standard lightning impulse withstand voltage kV | Minimum clearance mm | |
|---|-------------------------|---------------------|
| | Rod-structure | Conductor-structure |
| 20 | 60 | |
| 40 | 60 | |
| 60 | 90 | |
| 75 | 120 | |
| 95 | 160 | |
| 125 | 220 | |
| 145 | 270 | |
| 170 | 320 | |
| 250 | 480 | |
| 325 | 630 | |
| 450 | 900 | |
| 550 | 1100 | |
| 650 | 1300 | |
| 750 | 1500 | |
| 850 | 1700 | 1600 |

NOTE – The standard lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.
For phase-to-earth, the minimum clearance for conductor-structure and rod-structure is applicable.
For phase-to-phase, the minimum clearance for rod-structure is applicable

Figura 3: Nivel básico de aislamiento y distancias mínimas

Fuente: Norma IEC 60071-2

| Tensión máxima de Operación (kV _{rms}) | Nivel de aislamiento básico al impulso tipo rayo (BIL) (KV _p) [Aislamiento externo] | Distancia mínima fase-tierra (mm) | Distancia mínima fase-fase (mm) |
|--|---|-----------------------------------|---------------------------------|
| 145 | 750 | 1500 | 1500 |
| 72,5 | 450 | 900 | 900 |
| 24 | 170 | 320 | 320 |

Cuadro No. 3 Distancias mínimas

4.2 Distancias mínimas de seguridad.

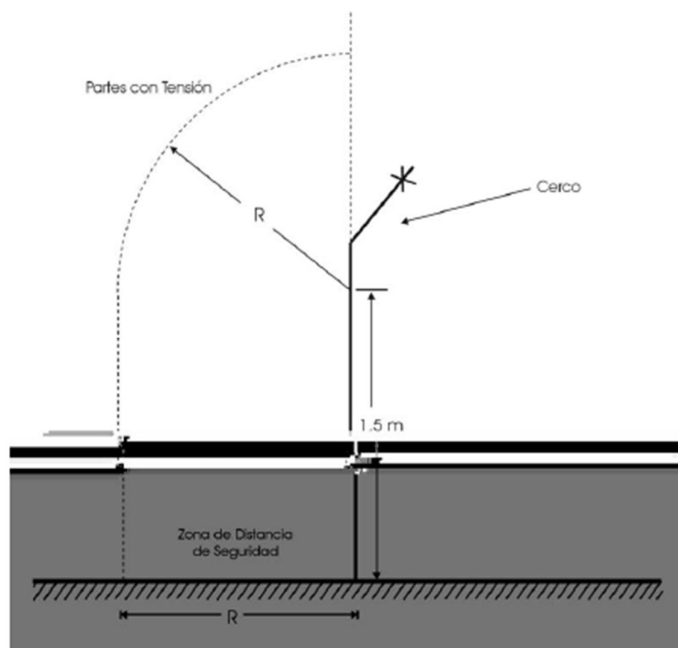


Figura 4: “Distancia de seguridad para los cercos de estaciones de suministro eléctrico”

Fuente: CNE Suministro – 2011.

| Tensión máxima de Operación (kV _{rms}) | Nivel de aislamiento básico al impulso tipo rayo (BIL) (KV _p) [Aislamiento externo] | BIL típico (kV) (Ref. Tabla 110-1 del CNE Suministro 2011) | Dimensión “R” (m) (Ref. Tabla 110-1 CNE (Suministro 2011)) |
|--|---|--|--|
| 138 | 750 | 750 | 4,4 |
| 72,5 | 450 | 550 | 4,0 |
| 24 | 170 | 200 | 3,2 |

Cuadro No. 4 Valor de “R” (distancia de seguridad para los cercos).

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

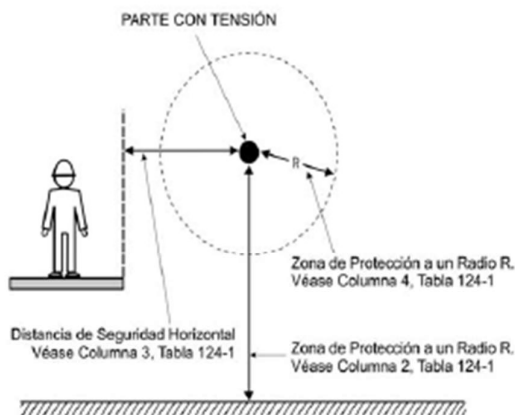


Figura 124-1
DISTANCIA DE SEGURIDAD A LAS PARTES CON TENSIÓN

Figura 5: Distancia mínima de seguridad a las partes con tensión

Fuente: CNE Suministro – 2011

| BIL (kV _p) | BIL (kV) (Ref. Tabla 124-1 CNE Suministro 2011) | Distancia vertical entre las partes con tensión a las partes no protegidas (mm) | Distancia horizontal entre las partes con tensión a las partes no protegidas (mm) | Distancia entre las partes con tensión a las guardas (mm) |
|---------------------------|--|--|--|--|
| 750 | 750 | 3910 | 2240 | 1320 |
| 450 | 550 | 3530 | 1850 | 939 |
| 170 | 200 | 2900 | 1220 | 304 |

Cuadro No. 5 Distancias mínimas de seguridad a las partes con tensión, en base al BIL externo.

Ref. CNE Suministro – 2011 (“Tabla 124-1 Distancias de seguridad respecto a las partes con tensión [...] (en base a los factores BIL)”

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

4.3 Distancia básica de aislamiento o valor básico

“El valor básico debe garantizar el espaciamiento adecuado para prevenir cualquier riesgo de flameo aún bajo las condiciones más desfavorables” (Ref. Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.)

El “valor básico” es calculado en base a la distancia mínima en el aire fase-tierra, el nivel básico de aislamiento determinado (BIL), considerando un factor de seguridad, del orden de 1.05 a 1.10 con la finalidad de tener en cuenta tolerancias de fabricación y de montaje electromecánico.

| Tensión máxima de Operación (kV _{rms}) | BIL (KV _p) [Aislamiento externo] | Distancia mínima fase-tierra (mm) | Factor de seguridad | Distancia básica de aislamiento fase-tierra (mm) |
|--|--|-----------------------------------|---------------------|--|
| 145 | 750 | 1500 | 1.05 a 1.10 | 1575 a 1650 |
| 72,5 | 450 | 900 | 1.05 a 1.10 | 945 a 990 |
| 24 | 170 | 320 | 1.05 a 1.10 | 336 a 352 |

Cuadro No. 6 Distancia básica de aislamiento o valor básico

4.4 Distancias mínimas bajo condiciones especiales

De acuerdo con la norma IEC 61936-1, bajo condiciones dinámicas de viento o cortocircuito, las distancias mínimas temporales expresadas como un porcentaje de las distancias mínimas bajo condiciones estacionarias dadas en la tabla 2, serán consideradas en forma independiente, debiendo ser mayores al 75%, para el caso de oscilación del conductor por influencia del viento y mayores al 50% por influencia de un cortocircuito:

5.5 Minimum clearances between parts under special conditions

Under steady state conditions minimum clearances are increased such that, expressed as a percentage of minimum clearance values given in Table 2, Table 3 and Annex A, the following clearances are present:

- a) between parts of an electrical power installation if phase opposition might occur: 120 %;
- b) between parts of an electrical power installation in case of different insulation levels: 125 % of the higher insulation level.

Under dynamic conditions, the minimum temporary clearances expressed as a percentage of the minimum clearances under steady state conditions given in Table 2, Table 3 and Annex A [if necessary corrected in accordance with a) or b)] are to be considered independently and shall be greater than:

- 1) in the case of conductor swing due to the influence of wind: 75 %, or
- 2) in the case of rupture of one sub-chain in a multiple insulator chain: 75 %, or
- 3) in the case of conductor swing due to the influence of short-circuit: 50 %.

Figura 6: Distancias mínimas bajo condiciones especiales (Fuente: IEC 61936-1)

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

En la tabla 2 de la norma IEC 61936, se muestran distancias mínimas fase-fase y fase-tierra en condiciones estacionarias:

**Table 2 – Minimum clearances in air – Voltage range I
(1 kV < $U_m \leq 245$ kV)**

| Voltage range | Highest voltage for installation | Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage | Standard rated lightning impulse withstand voltage ^a | Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance N | |
|---------------|----------------------------------|---|---|--|-----------------------|
| | U_m RMS | U_d RMS | U_p 1,2 μ s/50 μ s (peak value) | Indoor installations | Outdoor installations |
| | kV | kV | kV | mm | mm |
| I | 3,6 | 10 | 20 40 | 60 60 | 120 120 |
| | 7,2 | 20 | 40 60 | 60 90 | 120 120 |
| | 12 | 28 | 60 75 95 | 90 120 160 | 150 150 160 |
| | 17,5 | 38 | 75 95 | 120 160 | 160 160 |
| | 24 | 50 | 95 125 145 | 160 220 270 | |
| | 36 | 70 | 145 170 | 270 320 | |
| | 52 | 95 | 250 | 460 | |
| | 72,5 | 140 | 325 | 630 | |
| | 123 | 185 ^b 230 | 450 ^b 550 | 900 1 100 | |
| | 145 | 185 ^b 230 275 | 450 ^b 550 650 | 900 1 100 1 300 | |
| | 170 | 230 ^b 275 325 | 550 ^b 650 750 | 1 100 1 300 1 500 | |
| | 245 | 275 ^b 325 ^b 360 395 460 | 650 ^b 750 ^b 850 950 1 050 | 1 300 1 500 1 700 1 900 2 100 | |

^a The standard rated lightning impulse withstand voltage is applicable to phase-to-phase and phase-to-earth.

^b If values are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand tests are needed.

Figura : 7 Tabla 2 de la norma IEC 61936-1, de distancias mínimas en el aire para equipos de la gama 1 (< 245 kV).

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

De esta manera, las distancias mínimas a mantener ante eventos fortuitos de cortocircuito o vientos fuertes serán:

| Tensión máxima de operación (kV) | BIL (kVp) Aislamiento externo | Distancia mínima fase-fase (mm) | Distancia temporal mínima fase-fase (mm) ante fuerzas de cortocircuito | Distancia temporal mínima fase-fase (mm) ante fuerzas de viento |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 145 | 750 | 1500 | 990 | 1210 |
| 72,5 | 450 | 900 | 690 | 760 |
| 24 | 170 | 320 | 400 | 320 |

Cuadro No. 7 Distancias mínimas ante eventos de cortocircuito y viento.

4.5 Zona de Seguridad

Las distancias de seguridad para los operadores se obtienen a partir del valor básico incrementado en función de su estatura y la naturaleza de los trabajos a ejecutar. Los siguientes gráficos ilustran distancias de seguridad para operadores con una estatura de 1,75 m.

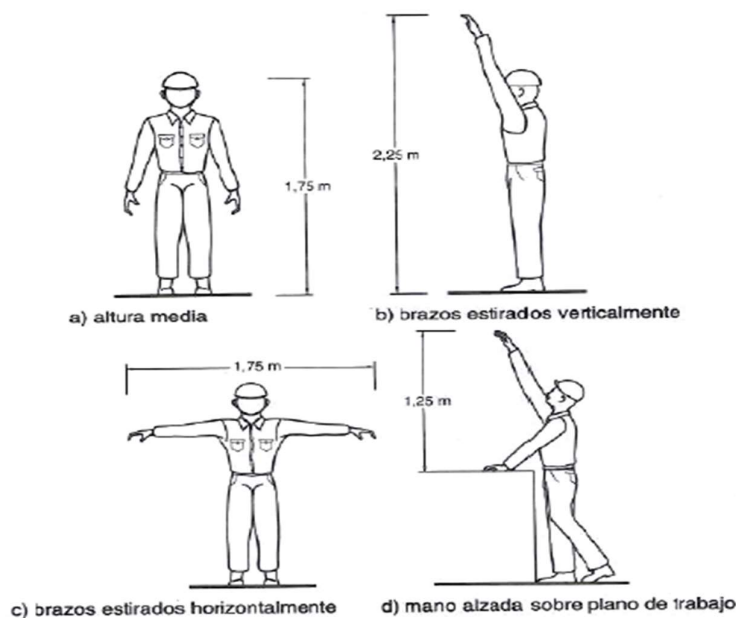


Figura No. 8 Talla y extensión de brazos de un operador

Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"

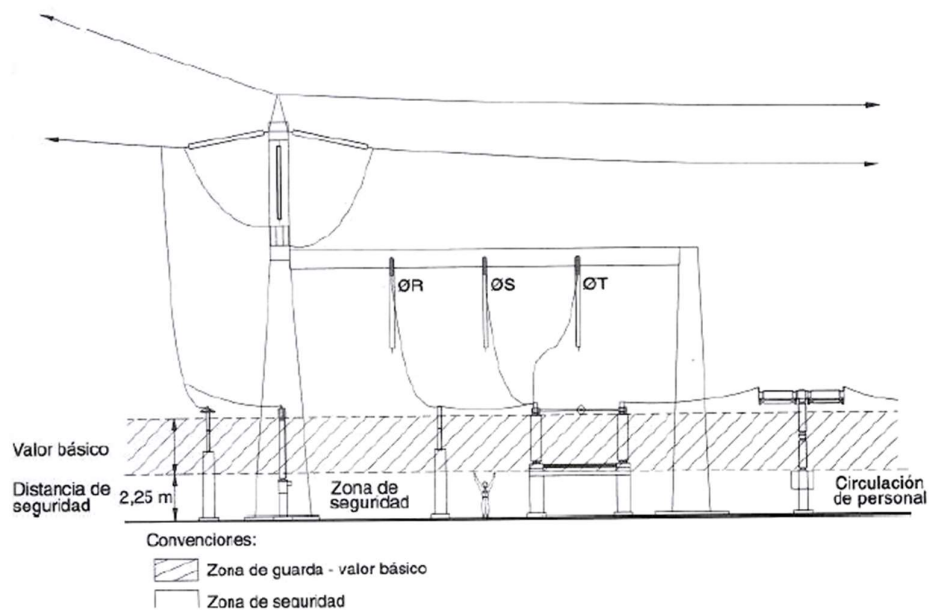


Figura No. 9 Circulación de personal

Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.

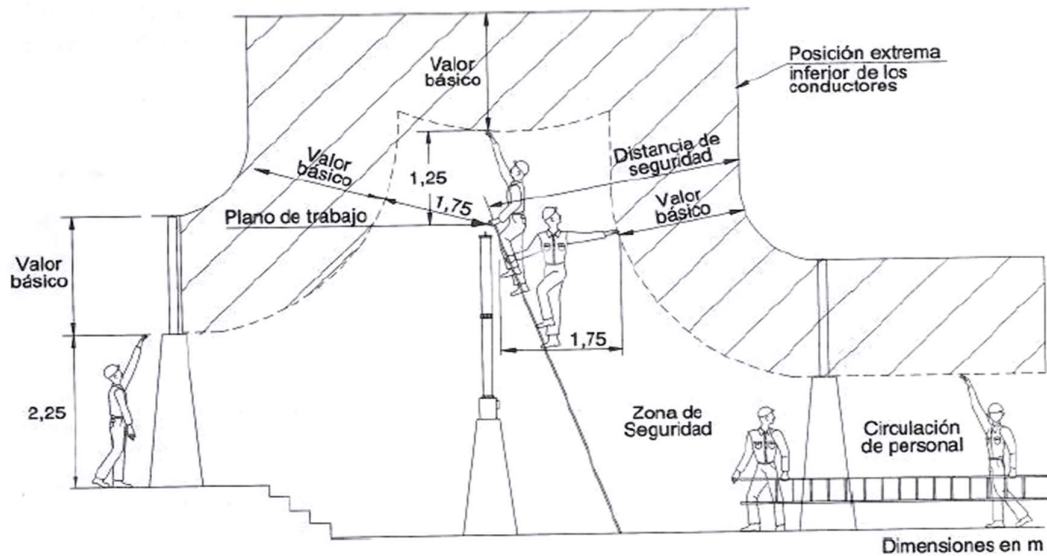


Figura No. 10 Mantenimiento de rutina

Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"

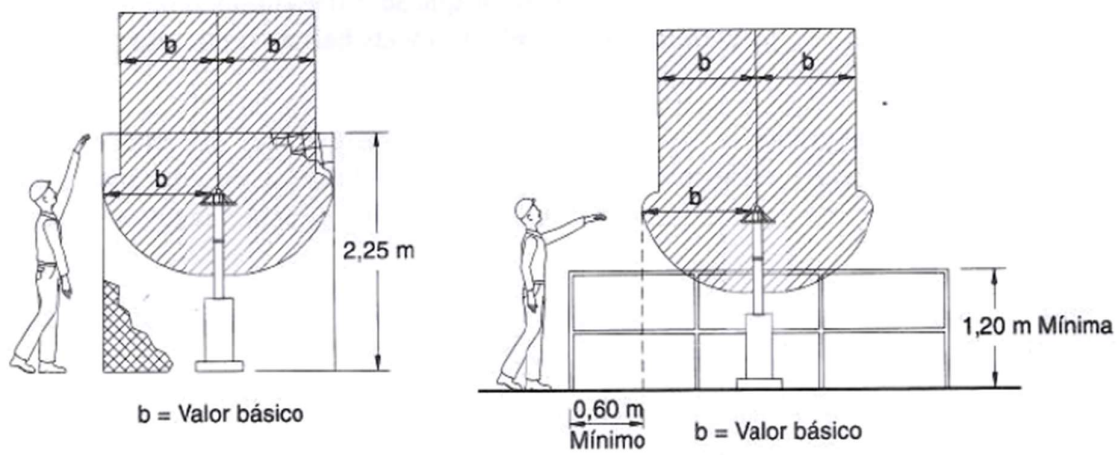


Figura No. 11 Protección para equipos en bajo nivel
Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.

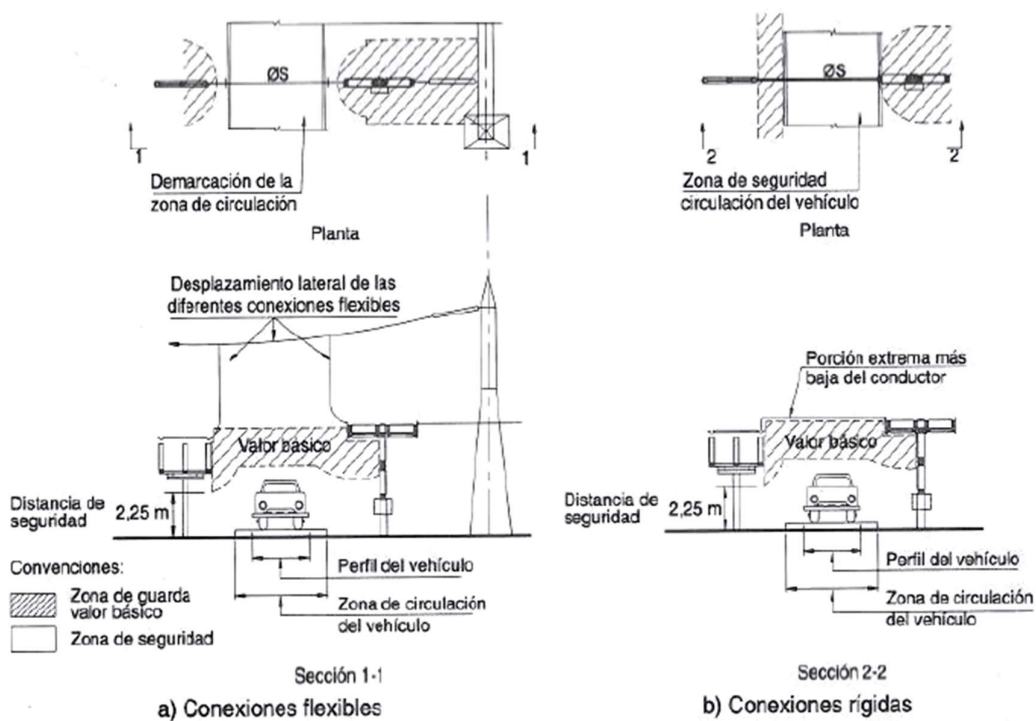


Figura No. 12 Circulación de vehículos
Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"

5. CONCLUSIONES

A continuación, se resume las distancias mínimas en el aire y las distancias mínimas que deben ser mantenidas en el aire entre partes energizadas de equipos y tierra, o entre equipos sobre los cuales es necesario llevar a cabo un trabajo.

| Distancias mínimas de seguridad en el aire | | | | | |
|--|---|----|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Ítem | Descripción | | | | |
| 1 | Tensión máxima de operación | kV | 145 | 72,5 | 24 |
| 2 | Distancia básica de aislamiento o valor básico | mm | 1650 | 990 | 352 |
| 3 | Distancia mínima entre fase y tierra | mm | 1500 | 900 | 320 |
| 4 | Distancia mínima entre fases | mm | 1500 | 900 | 320 |
| 5 | Zona de seguridad del personal (Estatura del operador ≤ 1750 mm) | mm | 2250 | 2250 | 2250 |
| 6 | Circulación de personal bajo conexiones [zona de seguridad del personal + distancia básica de aislamiento] (Nota: Estatura del operador ≤ 1750 mm) | mm | 3900 | 3240 | 2602 |
| 7 | Distancia horizontal en zona de trabajo [$1750 +$ distancia básica de aislamiento] (Nota: Estatura del operador ≤ 1750 mm) | mm | 3650 | 2990 | 1352 |
| 8 | Distancia "R" a cercos | mm | 4400 | 4000 | 3200 |
| 9 | Distancia mínima temporal fase-fase ante fuerzas de cortocircuito | mm | 900 | 540 | 192 |
| 10 | Distancia mínima temporal fase-fase ante fuerzas de viento | mm | 1482 | 810 | 288 |
| 11 | Distancia fase-fase de diseño (d) | mm | $1650 \leq d \leq 3500$ | $990 \leq d \leq 2500$ | $400 \leq d \leq 1000$ |

Cuadro No. 7 Resumen de las distancias mínimas de seguridad.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. IEC International Standard 60071-2, Insulation Coordination, Part 2: Application Guide,
2. IEC International Standard 61936-1, Power installations exceeding 1 kV A.C. and 1,5 kV DC – Part 1: AC
3. 1750+1650 Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Mejía Villegas S.A.
4. Código Nacional de Electricidad (Suministro, 2011). Ministerio de Energía y Minas.

MEMORIA DE CÁLCULO DE SERVICIOS AUXILIARES

INDICE**MEMORIA DE CÁLCULO SERVICIOS AUXILIARES EN C.C. Y C.A.**

| | |
|---|---|
| 1. OBJETIVOS | 2 |
| 2. ANTECEDENTES | 2 |
| Cuadro No. 1 Características de SS.AA. existentes | 2 |
| 3. CRITERIOS DE DISEÑO..... | 3 |
| 4. NORMAS TÉCNICAS..... | 3 |
| 5. DEMANDA EN CORRIENTE CONTINUA 110 Vcc..... | 3 |
| Cuadro No. 2 Verificación de la capacidad en AH del banco de baterías existente para asumir las cargas del proyecto..... | 4 |
| 6. DEMANDA EN CORRIENTE CONTINUA 48 Vcc..... | 4 |
| Cuadro No. 3 Determinación de la capacidad en AH del banco de baterías en 48 Vcc.. | 5 |
| 7. DEMANDA EN CORRIENTE ALTERNA 380-220 V. | 6 |
| Cuadro No. 4 Verificación de la capacidad del transformador de servicios auxiliares existente para asumir las cargas del proyecto..... | 6 |
| 8. GRUPO ELECTRÓGENO..... | 6 |
| 9. CONCLUSIONES..... | 7 |

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

MEMORIA DE CÁLCULO SERVICIOS AUXILIARES EN C.C. Y C.A.

1. OBJETIVOS

El primer objetivo es verificar si los servicios auxiliares de propiedad de ELSE e instalados el 2022, tanto en C.C. como en C.A. pueden ser ampliados o en caso contrario determinar el dimensionamiento de los servicios auxiliares en corriente continua (110 Vcc) y en corriente alterna (380-220 Vca) para las cargas requeridas por la ampliación de la capacidad del transformador T-3 de la S.E. Cachimayo 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) y celdas asociadas.

2. ANTECEDENTES

El año 2022 se puso en servicio las celdas en 60 kV de las líneas Cachimayo – Pisac y Cachimayo – Urubamba, incluyendo una nueva infraestructura de servicios auxiliares en corriente alterna y continua, según el siguiente detalle:

| Descripción | Unidad | Cant. | Comentarios |
|--|--------|-------|--------------------------------|
| SS.AA. EN C.A. | | | |
| Transformador trifásico de servicios auxiliares 22,9 kV / 380-220 V, tipo seco, instalación exterior | KVA | 100 | |
| Potencia instalada de SS.AA. en C.A. | KW | 34 | Ref. ELSE-SE-OE-MC-4001 |
| Tablero de SS.AA. en C.A. | U | 1 | |
| SS.AA. EN C.C. | | | |
| Banco de baterías 110 Vcc, con 55 baterías, estructura soporte y accesorios | Cjto | 1 | |
| Rectificador – cargador 380 Vca / 110 Vcc | Eq | 2 | Equipos principal y redundante |
| Tablero de SS.AA. 110 Vcc | U | 1 | |
| Autonomía del banco de baterías de 110 Vcc | h | 8 | |
| Factor de corrección (envejecimiento, temperatura y margen de diseño) | | 1.56 | Ref. ELSE-SE-OE-MC-4001 |
| Cargas instantáneas y continuas | AH | 45.9 | |
| Capacidad requerida por la infraestructura existente [teniendo en cuenta el factor de corrección] | AH | 72 | Ref. ELSE-SE-OE-MC-4001 |
| Capacidad del banco de baterías implementado | AH | 150 | |
| Corriente nominal de cada rectificador – cargador | A | 100 | |

Cuadro No. 1 Características de SS.AA. existentes

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

3. CRITERIOS DE DISEÑO

Se emplearán los siguientes:

- ✓ La tensión de servicios auxiliares en corriente continua, para la operación de equipos de patio e IEDs o relés, será igual a la ya implementada: 110 Vcc
- ✓ La tensión de servicios auxiliares para telecomunicaciones será 110 Vcc; sin embargo, de requerirse utilizar alimentación en 48 Vcc, se utilizará un convertidor de 110 Vcc a 48 Vcc, el cual sería instalado en el tablero de telecomunicaciones.
- ✓ La tensión de servicios auxiliares será 380 Vca (trifásica) y 220 Vca (monofásica)
- ✓ Por criterios de operación, los interruptores y seccionadores no operarán en forma simultánea.
- ✓ Se considerarán circuitos de reserva.
- ✓ Para los SS.AA. en C.C., el factor de corrección resultante, por envejecimiento, temperatura y margen de diseño, cuyo valor es 1,56 y fue utilizado para la implementación de los SS.AA. existentes, no será reducido,
- ✓ La autonomía mínima del banco de baterías de 110 Vcc, de acuerdo con el requerimiento mínimo del COES es de cinco (5) horas, la cual se adoptará para la ampliación.

4. NORMAS TÉCNICAS

Se tendrán en cuenta lineamientos de las siguientes normas y/o publicaciones:

IEEE 485-2020 IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications

IEEE Std 946-2020 IEEE Recommended Practice for the Design of DC Power Systems for Stationary Applications

COES: Requisitos mínimos para los sistemas de protección del SEIN

OSINERGMIN: Resolución de Consejo Directivo Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería OSINERGMIN N° 083-2021-OS/CD

5. DEMANDA EN CORRIENTE CONTINUA 110 Vcc

De acuerdo con el documento ELSE-SE-OE-MC-4001, para la infraestructura instalada el año 2022 en la SE Cachimayo, la capacidad mínima requerida del banco de baterías para cargas continuas o permanentes e instantáneas, incluyendo los factores de corrección por envejecimiento (1.1), temperatura (0.96) y margen de diseño (1.2) es de 72 AH; empero, la capacidad del banco de baterías implementado es de 150 AH, de manera que para cubrir su capacidad nominal, podría acoger cargas hasta de 78 AH. A continuación se detalla los AH requeridos por el proyecto de implementación del nuevo T-3 y celdas asociadas:

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

SERVICIOS AUXILIARES EN CORRIENTE CONTINUA (110 Vcc)

| [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] |
|------|---|--------|----------|--------------|-----------------------------|------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | Unidad | Cantidad | Potencia (W) | POT. INSTALADA (W)= [4]x[5] | f.s. | DEMANDA (W)= [6]x[7] | TENSIÓN SS.AA. EN C.C. | AMPERIOS = [8] x [9] | AUTONOMIA EN HORAS | AH= [10] x [11] |
| | CARGAS CONTINUAS | | | | 660 | | | | 7.1126 | | |
| 1 | IED DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL - PRINCIPAL | Eq | 1 | 50 | 50 | 1 | 50.0 | 110 | 0.4545 | 5 | 2.2725 |
| 2 | IED DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL - RESPALDO | Eq | 1 | 50 | 50 | 1 | 50.0 | 110 | 0.4545 | 5 | 2.2725 |
| 3 | RELÉ REGULADOR DE VOLTAJE | Eq | 1 | 18 | 18 | 1 | 18.0 | 110 | 0.1636 | 5 | 0.8180 |
| 4 | SISTEMA DE MONITOREO EN LÍNEA | Eq | 1 | 12 | 12 | 1 | 12.0 | 110 | 0.1091 | 5 | 0.5455 |
| 5 | IED DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE BARRA | Eq | 1 | 60 | 60 | 1 | 60.0 | 110 | 0.5455 | 5 | 2.7275 |
| 6 | REGISTRADOR DE FALLAS | Eq | 1 | 60 | 60 | 1 | 60.0 | 110 | 0.5455 | 5 | 2.7275 |
| 7 | SWTICHS DE DATOS | | 3 | 101.6 | 304.8 | 1 | 304.8 | 110 | 2.7709 | 5 | 13.8545 |
| 8 | RTU (A 110 Vcc) | | 1 | 85 | 85 | 1 | 85.0 | 110 | 0.7727 | 5 | 3.8635 |
| | CAMARAS DE VIDEOVIGILANCIA | | | | 0 | | 0.0 | 0 | - | 5 | - |
| 9 | CAMARA PTZ | | 1 | 10 | 10 | 1 | 10.0 | 110 | 0.0909 | 5 | 0.4545 |
| 10 | CÁMARA FIJA | | 1 | 10 | 10 | 1 | 10.0 | 110 | 0.0909 | 5 | 0.4545 |
| | CARGAS DE CORTA DURACION Y/O INSTANTÁNEAS | | | | 5,750.0 | | | | | | |
| 11 | PANEL DE ALARMA CONTRA INCENDIO | Eq | 1 | 50 | 50 | 0.1 | 5.0 | 110 | 0.0455 | 5 | 0.0228 |
| 12 | MOTOR INTERRUPTOR 138 KV | Eq | 1 | 900 | 900 | 0.02 | 18.0 | 110 | 0.1636 | 5 | 0.0164 |
| 13 | MOTOR INTERRUPTOR 60 KV | Eq | 1 | 900 | 900 | 0.02 | 18.0 | 110 | 0.1636 | 5 | 0.0164 |
| 14 | MOTOR INTERRUPTOR 22,9 KV KV | Eq | 1 | 900 | 900 | 0.02 | 18.0 | 110 | 0.1636 | 5 | 0.0164 |
| 15 | MOTOR SECCIONADOR 138 KV | Eq | 1 | 900 | 900 | 0.02 | 18.0 | 110 | 0.1636 | 5 | 0.0164 |
| 16 | MOTOR SECCIONADOR 60 KV | Eq | 1 | 900 | 900 | 0.02 | 18.0 | 110 | 0.1636 | 5 | 0.0164 |
| 17 | MOTOR SECCIONADOR 22,9 KV | Eq | 1 | 900 | 900 | 0.02 | 18.0 | 110 | 0.1636 | 5 | 0.0164 |
| 18 | BOBINA DE CIERRE DE INTERRUPTOR | U | 3 | 20 | 60 | 0.02 | 1.2 | 110 | 0.0109 | 5 | 0.0011 |
| 19 | BOBINA DE APERTURA DE INTERRUPTOR | U | 6 | 20 | 120 | 0.02 | 2.4 | 110 | 0.0218 | 5 | 0.0022 |
| 20 | ILUMINACIÓN CAJAS AGRUPAMIENTO TTs | U | 3 | 12 | 36 | 0.05 | 1.8 | 110 | 0.0164 | 5 | 0.0041 |
| 21 | ILUMINACION GABINETE LOCAL TRAF0 | U | 1 | 12 | 12 | 0.05 | 0.6 | 110 | 0.0055 | 5 | 0.0014 |
| 22 | ILUMINACION GABINETE LOCAL INTERRUPTOR | U | 3 | 12 | 36 | 0.05 | 1.8 | 110 | 0.0164 | 5 | 0.0041 |
| 23 | ILUMINACIÓN GABINETE LOCAL SECCIONADOR | U | 3 | 12 | 36 | 0.05 | 1.8 | 110 | 0.0164 | 5 | 0.0041 |
| | | | | | | | 0.0 | 0 | - | | - |
| 24 | SUB TOTAL | | | | | | | | | | 30.1287 |
| 25 | Pérdidas | % | 2 | | | | | | | | 0.602574 |
| 26 | AH TOTALES SIN APLICAR FACTOR DE CORRECCIÓN | | | | | | | | | | 30.73 |
| 27 | FACTOR DE CORRECCIÓN | | | | | | | | | | 1.56 |
| 28 | TOTAL AH REQUERIDOS, INCL. FACTOR DE CORRECCIÓN | | | | | | | | | | 48.02 |
| 29 | AH (CAPACIDAD EXISTENTE, INCL. FACTOR CORRECCIÓN 1.56) | | | | | | | | | | 72.00 |
| 30 | TOTAL AH (EXISTENTE + PROYECTO) | | | | | | | | | | 120.02 |

Cuadro No. 2 Verificación de la capacidad en AH del banco de baterías existente para asumir las cargas del proyecto

En base a los resultados obtenidos, se verifica que el banco de baterías existente tiene capacidad para operar con la carga adicional del proyecto (48,02 AH); por lo que no será necesario suministrar o ampliar la capacidad del banco de baterías existente ni de los rectificadores-cargadores de 100 A ya instalados.

6. DEMANDA EN CORRIENTE CONTINUA 48 Vcc

Para obtener el nivel de 48 Vcc, se implementará un convertidor de 110 Vcc a 48 Vcc. En base a los resultados mostrados en el cuadro No. 3, la capacidad del banco de baterías en 110 Vcc, con un factor de corrección resultante de 1,56 y para una autonomía de cinco (5) horas es de 25.56 AH.

El banco de baterías existente (150 AH) aún tiene capacidad para esta última carga adicional (25,56 AH), haciendo un total de 145,58 AH las cargas existentes y proyectadas.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

SERVICIOS AUXILIARES EN CORRIENTE CONTINUA 48 Vcc (utilizando convertidor 110 Vcc a 48 Vcc)

| [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] |
|------|---|--------|----------|--------------|-----------------------------|------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | Unidad | Cantidad | Potencia (W) | POT. INSTALADA (W)= [4]x[5] | f.s. | DEMANDA (W)= [6]x[7] | TENSIÓN SS.AA. EN C.C. | AMPERIOS = [8] x [9] | AUTONOMIA EN HORAS | AH= [10] x [11] |
| | CARGAS CONTINUAS | | | | 353 | | | | 7.3583 | | |
| 1 | MULTIPLEXOR (TABLERO TELECOM) | Eq | 1 | 100 | 100 | 1 | 100.0 | 48 | 2.0833 | 5 | 10.4165 |
| 2 | SWTICHS DE DATOS con PoE (TELECOM) | Eq | 2 | 101.6 | 203.2 | 1 | 203.2 | 48 | 4.2333 | 5 | 21.1665 |
| 3 | RTU (A 48 Vcc) | Eq | 0 | 85 | 0 | 1 | 0.0 | 48 | - | 5 | - |
| 4 | REQUERIMIENTOS MTC | Glb | 1 | 50 | 50 | 1 | 50.0 | 48 | 1.0417 | 5 | 5.2085 |
| | CARGAS DE CORTA DURACION Y/O INSTANTÁNEAS | | | | 20.0 | | | | | | |
| 4 | CENTRAL TELEFÓNICA Y TELEFONO IP | Cjto | 1 | 20 | 20 | 0.1 | 2.0 | 48 | 0.0417 | 5 | 0.0209 |
| 5 | SUB TOTAL | | | | | | | | | | 36.8124 |
| 6 | Pérdidas | % | 2 | | | | | | | | 0.736248 |
| 7 | AH TOTALES SIN APLICAR FACTOR DE CORRECCIÓN | | | | | | | | | | 37.55 |
| 8 | FACTOR DE CORRECCIÓN | | | | | | | | | | 1.56 |
| 9 | TOTAL AH REQUERIDOS, INCL. FACTOR DE CORRECCIÓN | | | | | | | | | | 58.58 |
| 10 | TOTAL AH UTILIZANDO CONVERTIDOR 110 Vcc a 48 Vcc (AH DESDE LADO 110 Vcc = [12] x 48 / 110) | | | | | | | | | | 25.56 |

Cuadro No. 3 Determinación de la capacidad en AH del banco de baterías en 48 Vcc

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

7. DEMANDA EN CORRIENTE ALTERNA 380-220 V.

La capacidad del transformador de servicios auxiliares 22,9kV/380-220 V es de 100 kVA, del tipo seco e instalado a la intemperie en el patio de 22,9 kV.

De acuerdo con los resultados obtenidos, mostrados en el cuadro No. 4, se verifica que su capacidad (100 kVA) es mayor a la sumatoria de la potencia instalada de la infraestructura existente y de la potencia instalada prevista para el nuevo proyecto (85 Kva); por lo que no será necesario suministrar un nuevo transformador de servicios auxiliares.

| SERVICIOS AUXILIARES EN CORRIENTE ALTERNA 380-220 V | | | | | | | |
|---|---|--------|----------|--------------|-----------------------------|------|----------------------|
| [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] |
| ITEM | DESCRIPCIÓN | Unidad | Cantidad | Potencia (W) | POT. INSTALADA (W)= [4]x[5] | f.s. | DEMANDA (W)= [6]x[7] |
| | CARGAS | | | | | | |
| 1 | CONMUTADOR DE TOMAS BAJO CARGA (OLTC) | Eq | 1 | 3,000 | 3,000 | 0.5 | 1,500 |
| 2 | Circuitos de mando (OLTC) y auxiliares en transformador de potencia | Cjto | 1 | 1,000 | 1,000 | 0.5 | 500 |
| 3 | CONSUMO MEDIDORES MULTIFUNCIÓN | Eq | 3 | 80 | 240 | 1 | 240 |
| 4 | MOTOVENTILADORES | Eq | 4 | 1,500 | 6,000 | 0.5 | 3,000 |
| 5 | RESISTENCIA DE CALEFACCIÓN TABLEROS Y GABINETES O CAJAS DE AGRUPAMIENTO | Cjto | 14 | 30 | 420 | 0.5 | 210 |
| 6 | ILUMINACIÓN INTERNA DE TABLEROS | Cjto | 14 | 20 | 280 | 0.5 | 140 |
| 7 | RECTIFICADOR - CARGADOR (380Vca/48Vcc) | Eq | 2 | 8,000 | 16,000 | 1 | 16,000 |
| 8 | REQUERIMIENTOS MTC | Cjto | 1 | 1,000 | 1,000 | 1 | 1,000 |
| 9 | RESERVA (Fuente de alimentación de RTU en C.A.) | Eq | 1 | 85 | 85 | 0.5 | 43 |
| 10 | RESERVA (Fuente de alimentación en C.A. de multiplexor) | Eq | 1 | 740 | 740 | 0.5 | 370 |
| 11 | RESERVA (Futura renovación de iluminación exterior y/o perimetral) | Glb | 1 | 2,000 | 2,000 | 0.5 | 1,000 |
| 12 | RESERVA (Tomacorrientes en patios de llaves) | U | 3 | 5,000 | 15,000 | 0.5 | 7,500 |
| 13 | RESERVAS (PARA PATIO 138 KV) | U | 2 | 500 | 1,000 | 0.5 | 500 |
| 14 | RESERVAS (PARA PATIO 60 KV) | U | 2 | 500 | 1,000 | 0.5 | 500 |
| 15 | RESERVAS (PARA PATIO 22,9 KV) | U | 6 | 500 | 3,000 | 0.5 | 1,500 |
| 14 | SUB TOTAL | | | | 46,765 | | 34,003 |
| 15 | Pérdidas | % | 3 | | 1,403 | | 1,020 |
| 16 | TOTAL | | | | 48,168 | | 35,023 |
| 17 | POTENCIA INSTALADA EN VATIOS (W) SS.AA. CELDAS DE SALIDA DE LINEA 60 KV | | | | 32,112.00 | | |
| 18 | POTENCIA INSTALADA CONJUNTA EN VATIOS (W) | | | | 33,514.95 | | |
| 19 | POTENCA INSTALADA CONJUNTA EN KVA (fdp= 0.95) | | | | 35 | | |
| 20 | POTENCIA DEL TRANSFORMADOR DE SSA.AA. EXISTENTE EN KVA | | | | 100 | | |
| | ¿ EL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES EXISTENTE PODRÁ ASUMIR LAS CARGAS DEL NUEVO PROYECTO ? | | | | SÍ | | |

Cuadro No. 4 Verificación de la capacidad del transformador de servicios auxiliares existente para asumir las cargas del proyecto.

8. GRUPO ELECTRÓGENO

En el Procedimiento Técnico No. 20 del COES, se indica:

“Para STTR y STL que cuenta con sistema de control Centralizado en el Edificio de Control los SS.AA. estarán comprendidos por:

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”

- ✓ Alimentación en Corriente alterna de los transformadores de SS.AA. y grupo electrógeno”

Habida cuenta que la S.E. Cachimayo pertenece a un sistema de transmisión local (STL) y existe un sistema de control centralizado en el edificio de control de ELSE, se suministrará un grupo electrógeno trifásico, apto para operar en forma continua entregando 30 kVA @3500 msnm y equipado con un tablero o panel de transferencia automática. Este grupo electrógeno, en el supuesto que falle el transformador de servicios auxiliares o se produzca ausencia de tensión en 22,9 kV atenderá cargas esenciales.

9. CONCLUSIONES

- ✓ El banco de baterías de 110 Vcc, 150 AH y sus rectificadores-cargadores de 100 A, todos ellos existentes, atenderán la demanda prevista en corriente continua del proyecto,
- ✓ El transformador de servicios auxiliares 22,9 kV/380-220 V, 100 kVA, existente, atenderá la demanda prevista en corriente alterna del proyecto
- ✓ En cumplimiento del PR-20 del COES, también se implementará un grupo electrógeno trifásico de 380-220 Vca, apto para operar en forma continua y entregar 30 kVA @3500 msnm, el cual atenderá cargas esenciales.

MEMORIA DE CÁLCULO DE CONDUCTORES AAAC

INDICE

MEMORIA DE CÁLCULO SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA CONEXIÓN DE EQUIPOS Y BARRAS

| | |
|--|---|
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2. CRITERIOS DE DISEÑO | 2 |
| 3. METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE CONDUCTORES..... | 2 |
| 4. DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES | 2 |
| 4.1 CÁLCULO POR CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO | 2 |
| 5. CONCLUSIONES | 2 |
| 6. ANEXOS..... | 4 |
| 6.1 ANEXO 1: Determinación de sección de conductores | 4 |
| 6.2 ANEXO 2: Catálogo de cables AAAC..... | 4 |

MEMORIA DE CÁLCULO SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA CONEXIÓN DE EQUIPOS Y BARRAS

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se muestra los cálculos de selección de conductores para conexión primaria de equipos y sistemas de barras de 138, 60 y 22,9 kV.

2. CRITERIOS DE DISEÑO

Recomendaciones de las siguientes normas y guías de diseño se tuvieron en cuenta:

- ✓ Norma IEC 60865-1 Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods.

3. METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE CONDUCTORES

Se ha optado por el criterio de determinación de las secciones por intensidad máxima admisible por calentamiento.

La corriente de cortocircuito, para fines de cálculo, será 31,5 kA.

La determinación de la sección de los conductores se realizará en base a los siguientes escenarios:

- ✓ Intensidad máxima admisible en cortocircuito durante un tiempo determinado
 - Utilización de conductores desnudos de aleación de aluminio.
 - Tiempo de despeje de falas por la protección de respaldo: 250 ms
 - Asunción de la ocurrencia de dos (2) cortocircuitos, con un corto intervalo de tiempo entre ellos y tiempo total de despeje de fallas de 0,5 s

4. DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES

4.1 CÁLCULO POR CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO

Para fines de los cálculos y la adopción de los factores de corrección pertinentes, se tendrá en cuenta:

- | | |
|--|---------|
| ➤ Corriente de cortocircuito: | 31,5 kA |
| ➤ Tiempo de despeje de falla (por equipos de respaldo): | 0,25 s |
| ➤ Tiempo de despeje (ocurrencia de dos cortocircuitos seguidos): | 0,50 s |
| ➤ Conductores desnudos: | AAAC |

En el anexo 1, se muestran los parámetros tenidos en cuenta para determinar la sección de los conductores desnudos de aleación de aluminio (AAAC).

5. CONCLUSIONES

- ✓ La sección mínima requerida de los conductores de aleación de aluminio (AAAC) para conexión de equipos y barras, para una corriente de cortocircuito de 31,5 kA, es de 233 mm².
- ✓ En el nivel de 138 kV:

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"

- El conductor (AAAC Cairo), seleccionado por cortocircuito, para conexión primaria de equipos y barras, tiene una sección nominal de 236 mm² y una ampacidad de 590 A.
 - La ampacidad requerida para los 55 MVA del lado primario del nuevo transformador T-3, a la tensión nominal de 138 kV es de 230 A, verificándose que el conductor seleccionado (AAAC), cuya ampacidad es de 590 A, es adecuado.
 - El conductor (AAAC Cairo), cuya ampacidad es de 590 A, a la tensión nominal de 138 kV, es apto para una potencia nominal del orden de 140 MVA,
 - La barra existente, asociada al T-3 existente y la cual será utilizada para el proyecto, consta de una terna de conductores de aleación de aluminio (AAAC) de 240 mm² y es apta para la potencia instalada actual y proyectada de los transformadores de potencia, según el siguiente detalle:
 - Transformador T-4 (EGEMSA) : 6 MVA
(Ref. Unifilar del COES, Oct.2024)
 - Transformador 1 (Ind. Cachimayo) : 20 MVA
(Ref. Unifilar del COES, Oct.2024)
 - Transformador 2 (Ind. Cachimayo) : 20 MVA
(Ref. Unifilar del COES, Oct.2024)
 - Nuevo transformador T-3 : 55 MVA
(Éste reemplazará al T-3 existente de 20 MVA).
- TOTAL: 101 MVA
- La aptitud del sistema de barras existente (AAAC 240 mm²) para escenarios adicionales de operación deberá ser evaluada mediante simulaciones de flujo de potencia y considerando la disposición física de la infraestructura instalada y proyectada.
- ✓ En el nivel de 60 kV:
 - El conductor (AAAC Cairo), seleccionado por cortocircuito, para conexión primaria de equipos y barras, tiene una sección nominal de 236 mm² y una ampacidad de 590 A.
 - La ampacidad requerida para los 55 MVA del lado secundario del nuevo transformador T-3, a la tensión nominal de 60 kV es de 530 A, verificándose que el conductor seleccionado (AAAC), cuya ampacidad es de 590 A, es adecuado.
 - La barra existente en 60 kV consta de una terna de conductores de aleación de aluminio (AAAC) de 240 mm² y es adecuada para la potencia proyectada de 55 MVA.
- ✓ En el nivel de 22,9 kV:
 - El conductor seleccionado (AAAC Elgin), tiene una sección nominal de 331 mm² y una ampacidad de 729 A.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"

- La ampacidad requerida para la potencia instalada (55 MVA) en el lado terciario del nuevo transformador de potencia, a la tensión nominal de 22,9 kV es de 1388 A, requiriéndose dos ternas de conductores AAAC Elgin, 2x331 mm² u otra combinación de conductores con sección equivalente para una ampacidad mínima de 1388 A.
- El conductor de barras existente (AAAC 120 mm²) ya no es adecuado para la potencia proyectada en el lado terciario del nuevo transformador T-3 (55 MVA).

6. ANEXOS

6.1 ANEXO 1: Determinación de sección de conductores

6.2 ANEXO 2: Catálogo de cables AAAC

DETERMINACIÓN DE SECCIÓN DE CONDUCTORES, PARA CONEXIÓN DE EQUIPOS 138 KV Y BARRAS, POR CORTOCIRCUITO (31,5 kA)

DENSIDAD DE CORRIENTE SOPORTADA:

El valor asignado de la densidad de corriente soportada, S_{thr} , viene dado por:

$$S_{thr} = \frac{1}{\sqrt{T_{kr}}} \sqrt{\frac{\kappa_{20} c \rho}{\alpha_{20}} \ln \frac{1 + \alpha_{20} (v_c - 20 \text{ }^{\circ}\text{C})}{1 + \alpha_{20} (v_b - 20 \text{ }^{\circ}\text{C})}}$$

con los siguientes datos del material:

| Símbolo | Unidad S.I. | Cobre | Aleación de aluminio Conductor de aluminio reforzado de acero (Al-Ac) | Acero |
|---------------|-------------------|------------------|---|--------------------|
| C | J/(kg K) | 390 | 910 | 480 |
| ρ | kg/m ³ | 8 900 | 2 700 | 7 850 |
| κ_{20} | 1/(Ω m) | 56×10^6 | $34,8 \times 10^6$ | $7,25 \times 10^6$ |
| α_{20} | 1/K | 0,003 9 | 0,004 | 0,004 5 |

T_{kr} (s) Tiempo de corta duración asignado
 S_{thr} (A/mm²) Valor asignado de corta duración de la densidad de corriente soportada por los conductores

Fuente: IEC 60865-1

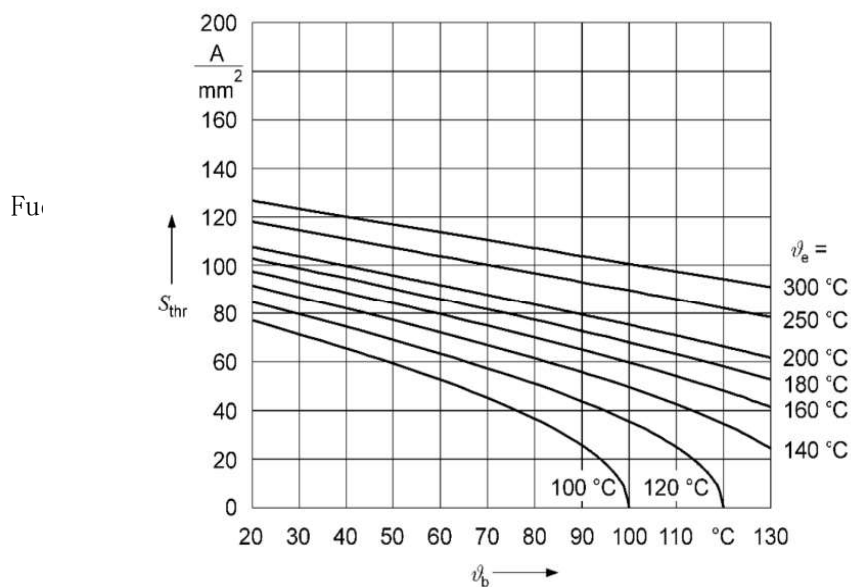


Figura 13b – Aluminio, aleación de aluminio, conductor de aluminio reforzado con acero (ACSR)

Figura 13 – Relación entre el valor asignado de la densidad de corriente soportada en cortocircuito ($T_{kr} = 1$ s) y la temperatura del conductor

Tabla 6 – Temperaturas máximas recomendadas de conductores

sometidos a esfuerzo mecánico durante un cortocircuito

| Tipo de conductor | Temperatura máxima recomendada de un conductor durante un cortocircuito (°C) |
|--|---|
| Conductor desnudo, macizo o trenzado: cobre, aluminio o aleación de aluminio | 200 |
| Conductor desnudo, macizo o trenzado: Acero | 300 |

Fuente: IEC 60865-1

Los conductores desnudos tienen una resistencia térmica de corta duración suficiente si la densidad de corriente térmica equivalente de cortocircuito, S_{th} , cumple la relación siguiente, para todos los valores de T_k :

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (65)$$

El valor asignado de la densidad de corriente soportada de corta duración S_{thr} se indica en la figura 13 para $T_{kr} = 1$ s.

El alma de acero de un conductor de aluminio reforzado con hilos de acero (ACSR) no debe tenerse en cuenta cuando se calcula la superficie de la sección para la determinación de la densidad de corriente.

Cuando ocurren varios cortocircuitos con un corto intervalo de tiempo entre ellos, la duración resultante de cortocircuito es:

$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (66)$$

Fuente: IEC 60865-1

$T_{kr} = 0.25$ s (Tiempo de despeje de falla por equipos de respaldo)
 $T_k = 0.5$ s (Se asume la ocurrencia de 2 cortocircuitos, con un corto intervalo de tiempo entre ellos)

$S_{thr} = 191.52 \text{ A / mm}^2$

$S_{th} = 135.43 \text{ A / mm}^2$

Para $I_{cc} = 31.5 \text{ kA}$

$S_{cond} \geq 232.60 \text{ mm}^2$

S_{cond} : Sección mínima del conductor de aleación de aluminio o aleación de aluminio (AAAC) en mm^2

SELECCIÓN DE SECCIÓN DEL CONDUCTOR:

| Código Code | Nombre clave Code Name | Calibre Size Kcmil | Área Nom. Nom. Area mm2 | Calibre de conductor ACSR equivalente ACSR equivalent conductor Size | Construcción Construction N° Hilos Strands Al 1350 H19 | Diámetro Hilo Strand Diameter [mm] | Diámetro Exterior External Diameter [mm] | Masa Total Total Weight [kg/km] | Carga de rotura Conductor Breaking Load [kgf] | Resistencia DC del conductor a 20°C Nominal DC Resistance at 20°C [Ω/km] | Resistencia AC del conductor a 75°C Nominal AC Resistance at 75°C [Ω/km] | Corriente de corto circuito** Short circuit current [kA] | Capacidad de corriente* Ampacity [A] |
|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|---|--|--|--|--|
| 32483077000 | Ames | 77.47 | 39.2 | 2 (6/1) | 7 | 2.67 | 8.02 | 108 | 1272 | 0.853 | 1.02 | 2.1 | 191 |
| 32483123000 | Azusa | 123.3 | 62.4 | 1/0 (6/1) | 7 | 3.37 | 10.1 | 171 | 1939 | 0.536 | 0.639 | 3.4 | 256 |
| 32483155000 | Anaheim | 155.4 | 78.6 | 2/0 (6/1) | 7 | 3.78 | 11.4 | 216 | 2445 | 0.425 | 0.508 | 4.2 | 296 |
| 32483195000 | Amherst | 195.7 | 99.3 | 3/0 (6/1) | 7 | 4.25 | 12.7 | 272 | 3079 | 0.338 | 0.402 | 5.4 | 342 |
| 32483246000 | Alliance | 246.9 | 125 | 4/0 (6/1) | 7 | 4.77 | 14.3 | 343 | 3884 | 0.268 | 0.319 | 6.8 | 395 |
| 32483312000 | Butte | 312.8 | 159 | 266.8 (26/7) | 19 | 3.26 | 16.3 | 435 | 4767 | 0.211 | 0.252 | 8.6 | 460 |
| 32483394000 | Canton | 394.5 | 200 | 336.4 (26/7) | 19 | 3.66 | 18.3 | 549 | 6013 | 0.168 | 0.200 | 11 | 532 |
| 32483465000 | Cairo | 465.4 | 236 | 397.5 (26/7) | 19 | 3.98 | 19.9 | 647 | 7092 | 0.142 | 0.169 | 13 | 590 |
| 32483559000 | Darien | 559.5 | 284 | 477 (26/7) | 19 | 4.36 | 21.8 | 778 | 8527 | 0.118 | 0.141 | 15 | 663 |
| 32483652000 | Elgin | 652.4 | 331 | 556.5 (26/7) | 19 | 4.71 | 23.5 | 907 | 9943 | 0.101 | 0.121 | 18 | 729 |
| 32483740000 | Flint | 740.8 | 375 | 636 (26/7) | 37 | 3.59 | 25.2 | 1030 | 11048 | 0.089 | 0.107 | 20 | 790 |
| 32483927000 | Greeley | 927.2 | 470 | 795 (26/7) | 37 | 4.02 | 28.1 | 1289 | 13827 | 0.071 | 0.0862 | 25 | 908 |
| 32483929000 | - | 1077.4 | 547 | 954 (26/7) | 61 | 3.38 | 30.4 | 1498 | 15891 | 0.061 | 0.0743 | 30 | 998 |
| 32483935000 | - | 1165.1 | 590 | 1033.5 (26/7) | 61 | 3.51 | 31.6 | 1620 | 17183 | 0.057 | 0.0691 | 32 | 1045 |
| 32483950500 | - | 1259.6 | 638 | 1113 (26/7) | 61 | 3.65 | 32.8 | 1751 | 18578 | 0.052 | 0.0642 | 34 | 1096 |
| 32483953000 | - | 1348.8 | 685 | 1192.5 (26/7) | 61 | 3.78 | 34.0 | 1875 | 19894 | 0.049 | 0.0601 | 37 | 1143 |
| 32483958000 | - | 1439.2 | 729 | 1272 (26/7) | 61 | 3.90 | 35.1 | 2001 | 21226 | 0.046 | 0.0567 | 39 | 1187 |

Fuente: Catálogo de cables PROCABLES

Condiciones de operación:

Sección mínima por cortocircuito:

Smax = 55 MVA

Vn = 132 kV

In = 240.56 A

Potencia aparente máxima.

Tensión nominal de operación del sistema el

Corriente nominal máxima de operación

Icc = 31.5 kA

Scond = 232.60 mm2

In-conductor = 590 A

Sn-conductor = 236 mm2

Corriente nominal admisible del conductor seleccionado

Sección nominal del conductor seleccionado

¿In-conductor > In ?

¿Sn-conductor > Scond?

SÍ, EL CONDUCTOR SELECCIONADO ES ADECUADO

CONDUCTOR AAAC CAIRO

DETERMINACIÓN DE SECCIÓN DE CONDUCTORES, PARA CONEXIÓN DE EQUIPOS 60 KV Y BARRAS, POR CORTOCIRCUITO (31,5 kA)

DENSIDAD DE CORRIENTE SOPORTADA:

El valor asignado de la densidad de corriente soportada, S_{thr} , viene dado por:

$$S_{thr} = \frac{1}{\sqrt{T_{kr}}} \sqrt{\frac{\kappa_{20} c \rho}{\alpha_{20}} \ln \frac{1 + \alpha_{20} (v_c - 20^\circ \text{C})}{1 + \alpha_{20} (v_b - 20^\circ \text{C})}}$$

con los siguientes datos del material:

| Símbolo | Unidad S.I. | Cobre | Aleación de aluminio Conductor de aluminio reforzado de acero (Al-Ac) | Acero |
|---------------|-------------------|------------------|---|--------------------|
| C | J/(kg K) | 390 | 910 | 480 |
| ρ | kg/m ³ | 8 900 | 2 700 | 7 850 |
| κ_{20} | 1/(Ωm) | 56×10^6 | $34,8 \times 10^6$ | $7,25 \times 10^6$ |
| α_{20} | 1/K | 0,003 9 | 0,004 | 0,004 5 |

T_{kr} (s) Tiempo de corta duración asignado
 Valor asignado de corta duración
 S_{thr} (A/mm²) de la densidad de corriente
 soportada por los conductores

Fuente: IEC 60865-1

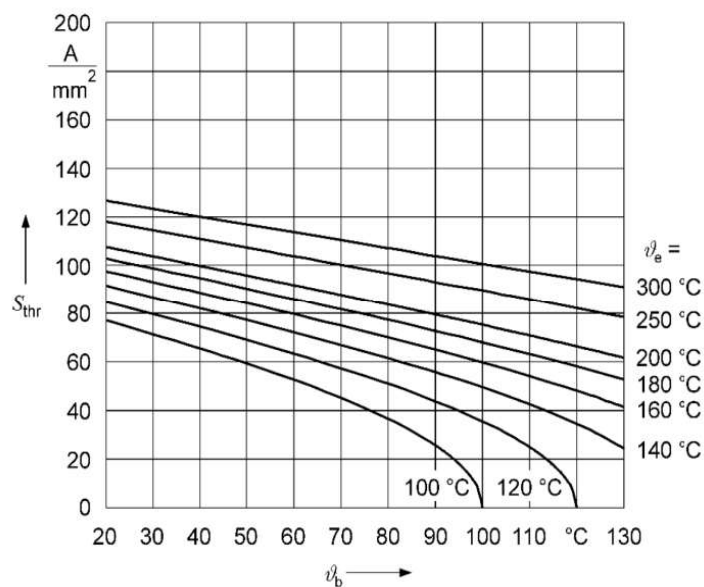


Figura 13b – Aluminio, aleación de aluminio, conductor de aluminio reforzado con acero (ACSR)

Figura 13 – Relación entre el valor asignado de la densidad de corriente soportada en cortocircuito ($T_{kr} = 1$ s) y la temperatura del conductor

Fuente: IEC 60865-1

Tabla 6 – Temperaturas máximas recomendadas de conductores sometidos a esfuerzo mecánico durante un cortocircuito

| Tipo de conductor | Temperatura máxima recomendada de un conductor durante un cortocircuito (°C) |
|--|--|
| Conductor desnudo, macizo o trenzado: cobre, aluminio o aleación de aluminio | 200 |
| Conductor desnudo, macizo o trenzado: Acero | 300 |

Fuente: IEC 60865-1

Los conductores desnudos tienen una resistencia térmica de corta duración suficiente si la densidad de corriente térmica equivalente de cortocircuito, S_{th} , cumple la relación siguiente, para todos los valores de T_k :

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (65)$$

El valor asignado de la densidad de corriente soportada de corta duración S_{thr} se indica en la figura 13 para $T_{kr} = 1$ s.

El alma de acero de un conductor de aluminio reforzado con hilos de acero (ACSR) no debe tenerse en cuenta cuando se calcula la superficie de la sección para la determinación de la densidad de corriente.

Cuando ocurren varios cortocircuitos con un corto intervalo de tiempo entre ellos, la duración resultante de cortocircuito es:

$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (66)$$

Fuente: IEC 60865-1

$T_{kr} = 0.25$ s (Tiempo de despeje de falla por equipos de respaldo)

$T_k = 0.5$ s (Se asume la ocurrencia de 2 cortocircuitos, con un corto intervalo de tiempo entre ellos)

$S_{thr} = 191.52 \text{ A} / \text{mm}^2$

$S_{th} = 135.43 \text{ A} / \text{mm}^2$

Para $I_{cc} = 31.5 \text{ kA}$

$S_{cond} \geq 232.60 \text{ mm}^2$

S_{cond} : Sección mínima del conductor de aleación de aluminio o aleación de aluminio (AAAC) en mm^2

SELECCIÓN DE SECCIÓN DEL CONDUCTOR:

| Código Code | Nombre clave Code Name | Calibre Size Kcmil | Área Nom. Nom. Area mm2 | Calibre de conductor ACSR equivalente ACSR equivalent conductor Size | Construcción Construction N° Hilos Strands Al 1350 H19 | Diámetro Hilo Strand Diameter [mm] | Diámetro Exterior External Diameter [mm] | Masa Total Total Weight [kg/km] | Carga de rotura Conductor Breaking Load [kgf] | Resistencia DC del conductor a 20°C Nominal DC Resistance at 20°C [Ω/km] | Resistencia AC del conductor a 75°C Nominal AC Resistance at 75°C [Ω/km] | Corriente de corto circuito** Short circuit current [kA] | Capacidad de corriente* Ampacity [A] |
|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|---|--|--|--|--|
| 32483077000 | Ames | 77.47 | 39.2 | 2 (6/1) | 7 | 2.67 | 8.02 | 108 | 1272 | 0.853 | 1.02 | 2.1 | 191 |
| 32483123000 | Azusa | 123.3 | 62.4 | 1/0 (6/1) | 7 | 3.37 | 10.1 | 171 | 1939 | 0.536 | 0.639 | 3.4 | 256 |
| 32483155000 | Anaheim | 155.4 | 78.6 | 2/0 (6/1) | 7 | 3.78 | 11.4 | 216 | 2445 | 0.425 | 0.508 | 4.2 | 296 |
| 32483195000 | Amherst | 195.7 | 99.3 | 3/0 (6/1) | 7 | 4.25 | 12.7 | 272 | 3079 | 0.338 | 0.402 | 5.4 | 342 |
| 32483246000 | Alliance | 246.9 | 125 | 4/0 (6/1) | 7 | 4.77 | 14.3 | 343 | 3884 | 0.268 | 0.319 | 6.8 | 395 |
| 32483312000 | Butte | 312.8 | 159 | 266.8 (26/7) | 19 | 3.26 | 16.3 | 435 | 4767 | 0.211 | 0.252 | 8.6 | 460 |
| 32483394000 | Canton | 394.5 | 200 | 336.4 (26/7) | 19 | 3.66 | 18.3 | 549 | 6013 | 0.168 | 0.200 | 11 | 532 |
| 32483465000 | Cairo | 465.4 | 236 | 397.5 (26/7) | 19 | 3.98 | 19.9 | 647 | 7092 | 0.142 | 0.169 | 13 | 590 |
| 32483559000 | Darien | 559.5 | 284 | 477 (26/7) | 19 | 4.36 | 21.8 | 778 | 8527 | 0.118 | 0.141 | 15 | 663 |
| 32483652000 | Elgin | 652.4 | 331 | 556.5 (26/7) | 19 | 4.71 | 23.5 | 907 | 9943 | 0.101 | 0.121 | 18 | 729 |
| 32483740000 | Flint | 740.8 | 375 | 636 (26/7) | 37 | 3.59 | 25.2 | 1030 | 11048 | 0.089 | 0.107 | 20 | 790 |
| 32483927000 | Greeley | 927.2 | 470 | 795 (26/7) | 37 | 4.02 | 28.1 | 1289 | 13827 | 0.071 | 0.0862 | 25 | 908 |
| 32483929000 | - | 1077.4 | 547 | 954 (26/7) | 61 | 3.38 | 30.4 | 1498 | 15891 | 0.061 | 0.0743 | 30 | 998 |
| 32483935000 | - | 1165.1 | 590 | 1033.5 (26/7) | 61 | 3.51 | 31.6 | 1620 | 17183 | 0.057 | 0.0691 | 32 | 1045 |
| 32483950500 | - | 1259.6 | 638 | 1113 (26/7) | 61 | 3.65 | 32.8 | 1751 | 18578 | 0.052 | 0.0642 | 34 | 1096 |
| 32483953000 | - | 1348.8 | 685 | 1192.5 (26/7) | 61 | 3.78 | 34.0 | 1875 | 19894 | 0.049 | 0.0601 | 37 | 1143 |
| 32483958000 | - | 1439.2 | 729 | 1272 (26/7) | 61 | 3.90 | 35.1 | 2001 | 21226 | 0.046 | 0.0567 | 39 | 1187 |

Fuente: Catálogo de cables PROCABLES

Condiciones de operación:

Sección mínima por cortocircuito:

Smax = 55 MVA

Vn = 60 kV

In = 529.24 A

Potencia aparente máxima.

Tensión nominal de operación del sistema

Corriente nominal máxima de operación

Icc = 31.5 kA

Scond = 232.60 mm2

In-conductor = 590 A

Sn-conductor = 236 mm2

Corriente nominal admisible del conductor seleccionado

Sección nominal del conductor seleccionado

¿In-conductor > In ?

¿Sn-conductor > Scond?

SÍ, EL CONDUCTOR SELECCIONADO ES ADECUADO

CONDUCTOR: AAAC CAIRO

DETERMINACIÓN DE SECCIÓN DE CONDUCTORES, PARA CONEXIÓN DE EQUIPOS 22, 9 KV y BARRAS, POR CORTOCIRCUITO 31, 5 KA

DENSIDAD DE CORRIENTE SOPORTADA:

El valor asignado de la densidad de corriente soportada, S_{thr} , viene dado por:

$$S_{thr} = \frac{1}{\sqrt{T_{kr}}} \sqrt{\frac{\kappa_{20} c \rho}{\alpha_{20}} \ln \frac{1 + \alpha_{20} (v_c - 20 \text{ }^{\circ}\text{C})}{1 + \alpha_{20} (v_b - 20 \text{ }^{\circ}\text{C})}}$$

con los siguientes datos del material:

| Símbolo | Unidad S.I. | Cobre | Aleación de aluminio Conductor de aluminio reforzado de acero (Al-Ac) | Acero |
|---------------|-------------------|------------------|---|--------------------|
| C | J/(kg K) | 390 | 910 | 480 |
| ρ | kg/m ³ | 8 900 | 2 700 | 7 850 |
| κ_{20} | 1/(Ω m) | 56×10^6 | $34,8 \times 10^6$ | $7,25 \times 10^6$ |
| α_{20} | 1/K | 0,003 9 | 0,004 | 0,004 5 |

T_{kr} (s) Tiempo de corta duración asignado
 Valor asignado de corta duración
 S_{thr} (A/mm²) de la densidad de corriente
 soportada por los conductores

Fuente: IEC 60865-1

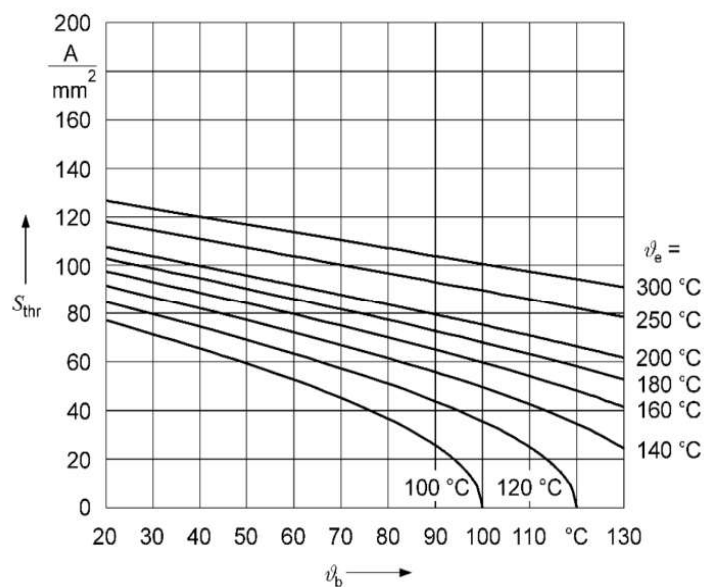


Figura 13b – Aluminio, aleación de aluminio, conductor de aluminio reforzado con acero (ACSR)

Figura 13 – Relación entre el valor asignado de la densidad de corriente soportada en cortocircuito ($T_{kr} = 1$ s) y la temperatura del conductor

Fuente: IEC 60865-1

Tabla 6 – Temperaturas máximas recomendadas de conductores sometidos a esfuerzo mecánico durante un cortocircuito

| Tipo de conductor | Temperatura máxima recomendada de un conductor durante un cortocircuito (°C) |
|--|--|
| Conductor desnudo, macizo o trenzado: cobre, aluminio o aleación de aluminio | 200 |
| Conductor desnudo, macizo o trenzado: Acero | 300 |

Fuente: IEC 60865-1

Los conductores desnudos tienen una resistencia térmica de corta duración suficiente si la densidad de corriente térmica equivalente de cortocircuito, S_{th} , cumple la relación siguiente, para todos los valores de T_k :

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (65)$$

El valor asignado de la densidad de corriente soportada de corta duración S_{thr} se indica en la figura 13 para $T_{kr} = 1$ s.

El alma de acero de un conductor de aluminio reforzado con hilos de acero (ACSR) no debe tenerse en cuenta cuando se calcula la superficie de la sección para la determinación de la densidad de corriente.

Cuando ocurren varios cortocircuitos con un corto intervalo de tiempo entre ellos, la duración resultante de cortocircuito es:

$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (66)$$

Fuente: IEC 60865-1

$T_{kr} = 0.25$ s (Tiempo de despeje de falla por equipos de respaldo)

$T_k = 0.5$ s (Se asume la ocurrencia de 2 cortocircuitos, con un corto intervalo de tiempo entre ellos)

$S_{thr} = 191.52 \text{ A} / \text{mm}^2$

$S_{th} = 135.43 \text{ A} / \text{mm}^2$

Para $I_{cc} = 31.5 \text{ kA}$

$S_{cond} \geq 232.60 \text{ mm}^2$

S_{cond} : Sección mínima del conductor de aleación de aluminio o aleación de aluminio (AAAC) en mm^2

SELECCIÓN DE SECCIÓN DEL CONDUCTOR:

| Código Code | Nombre clave Code Name | Calibre Size Kcmil | Área Nom. Nom. Area mm2 | Calibre de conductor ACSR equivalente ACSR equivalent conductor Size | Construcción Construction N° Hilos Strands Al 1350 H19 | Diámetro Hilo Strand Diameter [mm] | Diámetro Exterior External Diameter [mm] | Masa Total Total Weight [kg/km] | Carga de rotura Conductor Breaking Load [kgf] | Resistencia DC del conductor a 20°C Nominal DC Resistance at 20°C [Ω/km] | Resistencia AC del conductor a 75°C Nominal AC Resistance at 75°C [Ω/km] | Corriente de corto circuito** Short circuit current [kA] | Capacidad de corriente* Ampacity [A] |
|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|---|--|--|--|--|
| 32483077000 | Ames | 77.47 | 39.2 | 2 (6/1) | 7 | 2.67 | 8.02 | 108 | 1272 | 0.853 | 1.02 | 2.1 | 191 |
| 32483123000 | Azusa | 123.3 | 62.4 | 1/0 (6/1) | 7 | 3.37 | 10.1 | 171 | 1939 | 0.536 | 0.639 | 3.4 | 256 |
| 32483155000 | Anaheim | 155.4 | 78.6 | 2/0 (6/1) | 7 | 3.78 | 11.4 | 216 | 2445 | 0.425 | 0.508 | 4.2 | 296 |
| 32483195000 | Amherst | 195.7 | 99.3 | 3/0 (6/1) | 7 | 4.25 | 12.7 | 272 | 3079 | 0.338 | 0.402 | 5.4 | 342 |
| 32483246000 | Alliance | 246.9 | 125 | 4/0 (6/1) | 7 | 4.77 | 14.3 | 343 | 3884 | 0.268 | 0.319 | 6.8 | 395 |
| 32483312000 | Butte | 312.8 | 159 | 266.8 (26/7) | 19 | 3.26 | 16.3 | 435 | 4767 | 0.211 | 0.252 | 8.6 | 460 |
| 32483394000 | Canton | 394.5 | 200 | 336.4 (26/7) | 19 | 3.66 | 18.3 | 549 | 6013 | 0.168 | 0.200 | 11 | 532 |
| 32483465000 | Cairo | 465.4 | 236 | 397.5 (26/7) | 19 | 3.98 | 19.9 | 647 | 7092 | 0.142 | 0.169 | 13 | 590 |
| 32483559000 | Darien | 559.5 | 284 | 477 (26/7) | 19 | 4.36 | 21.8 | 778 | 8527 | 0.118 | 0.141 | 15 | 663 |
| 32483652000 | Elgin | 652.4 | 331 | 556.5 (26/7) | 19 | 4.71 | 23.5 | 907 | 9943 | 0.101 | 0.121 | 18 | 729 |
| 32483740000 | Flint | 740.8 | 375 | 636 (26/7) | 37 | 3.59 | 25.2 | 1030 | 11048 | 0.089 | 0.107 | 20 | 790 |
| 32483927000 | Greeley | 927.2 | 470 | 795 (26/7) | 37 | 4.02 | 28.1 | 1289 | 13827 | 0.071 | 0.0862 | 25 | 908 |
| 32483929000 | - | 1077.4 | 547 | 954 (26/7) | 61 | 3.38 | 30.4 | 1498 | 15891 | 0.061 | 0.0743 | 30 | 998 |
| 32483935000 | - | 1165.1 | 590 | 1033.5 (26/7) | 61 | 3.51 | 31.6 | 1620 | 17183 | 0.057 | 0.0691 | 32 | 1045 |
| 32483950500 | - | 1259.6 | 638 | 1113 (26/7) | 61 | 3.65 | 32.8 | 1751 | 18578 | 0.052 | 0.0642 | 34 | 1096 |
| 32483953000 | - | 1348.8 | 685 | 1192.5 (26/7) | 61 | 3.78 | 34.0 | 1875 | 19894 | 0.049 | 0.0601 | 37 | 1143 |
| 32483958000 | - | 1439.2 | 729 | 1272 (26/7) | 61 | 3.90 | 35.1 | 2001 | 21226 | 0.046 | 0.0567 | 39 | 1187 |

Fuente: Catálogo PROCABLES (A grand of Prysmian Group)

Condiciones de operación:

Sección mínima por cortocircuito:

Smax = 55 MVA
Vn = 22.9 kV
In = 1386.65 A

Potencia aparente máxima.
Tensión nominal de operación del sistema el
Corriente nominal máxima de operación

Icc = 31.5 kA
Scond = 232.60 mm2

In-conductor = 1458 A
Sn-conductor = 662 mm2

Corriente nominal admisible del conductor seleccionado
Sección nominal del conductor seleccionado

¿In-conductor > In ?
¿Sn-conductor > Scond?

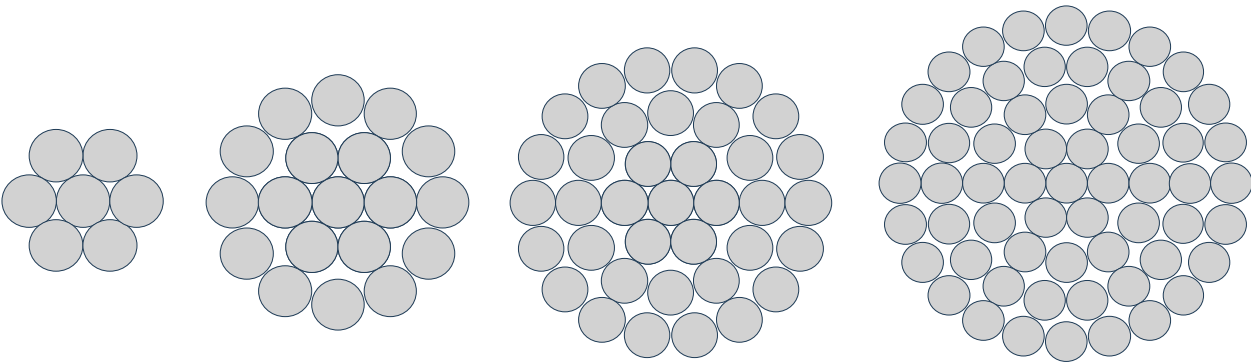
SÍ, EL CONDUCTOR SELECCIONADO ES ADECUADO

CONDUCTOR: AAAC ELGIN (2 ternas)

AAAC (All Aluminum Alloy Conductor)

Procables

A Brand of Prysmian Group



Diseño y características de materiales

Materials and Design Characteristics

- 1 ALUMINIO / ALUMINUM
Aleación 6201 T81 / Alloy 6201 T81



Características de construcción y dimensiones

Construction characteristics and dimensions

| Código Code | Nombre clave Code Name | Calibre Size Kcmil | Área Nom. Nom. Area mm2 | Calibre de conductor ACSR equivalente ACSR equivalent conductor Size | Construcción Construction N° Hilos Strands AI 1350 H19 | Diámetro Hilo Strand Diameter [mm] | Diámetro Exterior External Diameter [mm] | Masa Total Total Weight [kg/km] | Carga de rotura Conductor Breaking Load [kgf] | Resistencia DC del conductor a 20°C Nominal DC Resistance at 20°C [Ω/km] | Resistencia AC del conductor a 75°C Nominal AC Resistance at 75°C [Ω/km] | Corriente de corto circuito** Short circuit current [kA] | Capacidad de corriente* Ampacity [A] |
|-------------|------------------------|--------------------|-------------------------|--|--|------------------------------------|--|---------------------------------|---|--|--|--|--------------------------------------|
| 32483077000 | Ames | 77.47 | 39.2 | 2 (6/1) | 7 | 2.67 | 8.02 | 108 | 1272 | 0.853 | 1.02 | 2.1 | 191 |
| 32483123000 | Azusa | 123.3 | 62.4 | 1/0 (6/1) | 7 | 3.37 | 10.1 | 171 | 1939 | 0.536 | 0.639 | 3.4 | 256 |
| 32483155000 | Anaheim | 155.4 | 78.6 | 2/0 (6/1) | 7 | 3.78 | 11.4 | 216 | 2445 | 0.425 | 0.508 | 4.2 | 296 |
| 32483195000 | Amherst | 195.7 | 99.3 | 3/0 (6/1) | 7 | 4.25 | 12.7 | 272 | 3079 | 0.338 | 0.402 | 5.4 | 342 |
| 32483246000 | Alliance | 246.9 | 125 | 4/0 (6/1) | 7 | 4.77 | 14.3 | 343 | 3884 | 0.268 | 0.319 | 6.8 | 395 |
| 32483312000 | Butte | 312.8 | 159 | 266.8 (26/7) | 19 | 3.26 | 16.3 | 435 | 4767 | 0.211 | 0.252 | 8.6 | 460 |
| 32483394000 | Canton | 394.5 | 200 | 336.4 (26/7) | 19 | 3.66 | 18.3 | 549 | 6013 | 0.168 | 0.200 | 11 | 532 |
| 32483465000 | Cairo | 465.4 | 236 | 397.5 (26/7) | 19 | 3.98 | 19.9 | 647 | 7092 | 0.142 | 0.169 | 13 | 590 |
| 32483559000 | Darien | 559.5 | 284 | 477 (26/7) | 19 | 4.36 | 21.8 | 778 | 8527 | 0.118 | 0.141 | 15 | 663 |
| 32483652000 | Elgin | 652.4 | 331 | 556.5 (26/7) | 19 | 4.71 | 23.5 | 907 | 9943 | 0.101 | 0.121 | 18 | 729 |
| 32483740000 | Flint | 740.8 | 375 | 636 (26/7) | 37 | 3.59 | 25.2 | 1030 | 11048 | 0.089 | 0.107 | 20 | 790 |
| 32483927000 | Greeley | 927.2 | 470 | 795 (26/7) | 37 | 4.02 | 28.1 | 1289 | 13827 | 0.071 | 0.0862 | 25 | 908 |
| 32483929000 | - | 1077.4 | 547 | 954 (26/7) | 61 | 3.38 | 30.4 | 1498 | 15891 | 0.061 | 0.0743 | 30 | 998 |
| 32483935000 | - | 1165.1 | 590 | 1033.5 (26/7) | 61 | 3.51 | 31.6 | 1620 | 17183 | 0.057 | 0.0691 | 32 | 1045 |
| 32483950500 | - | 1259.6 | 638 | 1113 (26/7) | 61 | 3.65 | 32.8 | 1751 | 18578 | 0.052 | 0.0642 | 34 | 1096 |
| 32483953000 | - | 1348.8 | 685 | 1192.5 (26/7) | 61 | 3.78 | 34.0 | 1875 | 19894 | 0.049 | 0.0601 | 37 | 1143 |
| 32483958000 | - | 1439.2 | 729 | 1272 (26/7) | 61 | 3.90 | 35.1 | 2001 | 21226 | 0.046 | 0.0567 | 39 | 1187 |

Todos los valores indicados son nominales y están sujetos a las tolerancias normales de fabricación y de las normas.
All values herein indicated are nominal and are subject to normal manufacturing and standard tolerances.

AAAC (All Aluminum Alloy Conductor)

Procables

A Brand of Prysmian Group

*Capacidad de corriente en sol y viento a 0.61 m/s, Temperatura Ambiente 25° C, Temperatura Conductor 75° C, radiación solar de 1033.3 W/m², coeficiente de permisividad y de absorción 0.5 a 60 Hz; a nivel del mar. / Ampacity in sun and wind to 2 ft/sec, 25° C ambient temperature, 75° C conductor temperature, Solar radiation at 96 W/ft², permittivity and absorption coefficient of 0.5 at 60 Hz; at sea level.

**Corriente de corto circuito para temperatura inicial del conductor 75° C, temperatura final 645° C y duración del corto circuito de 1s. / Short Circuit current for 75° C initial conductor temperature, 645° C final temperature and 1 sec duration.

Coefficiente de expansión térmica lineal. / Linear thermal expansion coefficient 23x10⁻⁶/° C

Módulo de Elasticidad. / Modulus of Elasticity 7000 kgf/mm²

Otras características y/o empaques estarán disponibles bajo común acuerdo. / Other characteristics and/or packaging could be available under agreement.

Los datos aquí consignados podrán ser cambiados o actualizados sin previo aviso. / The information here stated may be changed or updated without prior notice

Características de instalación operación y desempeño

Performance, operation and installation parameters

Normas ASTM B399, NTC 2730
Standards ASTM B399, NTC 2730

Certificaciones de producto RETIE y NTC
Products Certifications RETIE and NTC

Cumplimientos

Compliance

Procesos y procedimientos del Sistema de Gestión Integrado ISO 9001, 14001, 45001. Directiva RoHS
Processes and Procedures of the Integrated Management System ISO 9001, 14001, 45001 and RoHS.



Instalación

Installation

Apto para instalación aérea en líneas de distribución y transmisión.
Suitable for overhead installation in distribution and transmission lines.

Opciones

Other options

Otros calibres u otras configuraciones no descritas en la tabla están disponibles.
Other sizes and constructions are available upon request.

Empaque

Packaging

Los cables son entregados en carretes. Las cantidades son las determinadas según acuerdo comercial.
Cables are delivered in reels. Quantities are according to commercial arrangements.

Consulte nuestro directorio de ejecutivos comerciales en <https://co.prysmiangroup.com/es/contact-us>

MEMORIA DE CÁLCULO DE CABLES 60 KV Y 22,9 KV

INDICE

MEMORIA DE CÁLCULO SELECCIÓN DE CABLES DE 60 kV y 22,9 kV

| | |
|--|---|
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2. CRITERIOS DE DISEÑO | 2 |
| 3. METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE CABLES DE ENERGÍA | 2 |
| 4. DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DE LOS CABLES DE ENERGÍA..... | 3 |
| 4.1 CÁLCULO POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN | 3 |
| 4.2 CÁLCULO POR CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO | 3 |
| 5. CONCLUSIONES | 3 |
| 6. ANEXOS..... | 3 |
| 6.1 ANEXO 1: Selección de cables para el nivel de tensión de 60 kV | 3 |
| 6.2 ANEXO 2: Selección de cables para el nivel de tensión de 22,9 kV | 3 |

MEMORIA DE CÁLCULO SELECCIÓN DE CABLES DE 60 kV y 22,9 kV

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se muestra los cálculos de selección de la sección nominal de los cables de energía en 60 kV y 22,9 kV a ser instalados desde el patio del nuevo T-3 (50 MVA), en los niveles de 60 kV y 22,9, hacia los sistemas de barras existentes en 60 kV y 22,9 kV en la S.E. Cachimayo.

2. CRITERIOS DE DISEÑO

Recomendaciones de las siguientes normas y guías de diseño se tuvieron en cuenta:

- ✓ Norma IEC 60183 "Guide to the selection of high-voltage cables".
- ✓ Norma IEC 60502 "Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)".
- ✓ Norma IEC 60949 "Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account nonadiabatic heating effects".
- ✓ Norma IEC 60287 "Electric cables - Calculation of the current rating".

3. METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE CABLES DE ENERGÍA

Se ha optado por el criterio de determinación de las secciones por intensidad máxima admisible por calentamiento,

La determinación de la sección de los cables de energía se realizará en base a los siguientes escenarios:

- ✓ Intensidad máxima admisible por el cable en servicio permanente
- ✓ Intensidad máxima admisible en cortocircuito durante un tiempo determinado

Los modos de instalación más utilizados son (i) la instalación al aire y (ii) la instalación enterrada, debiendo tenerse en cuenta los factores de corrección asociados a ellos.

Factores de corrección para instalación al aire:

- ✓ Cables instalados para temperatura ambiente distinta de 30°C.
- ✓ Cables instalados en canaletas o galerías.
- ✓ Ternas de cables unipolares instalados al aire y agrupados.

Factores de corrección para instalación enterrada:

- ✓ Cables enterrados con temperatura del terreno distinta de 20 °C
- ✓ Cables enterrados directamente o en ductos en terrenos de resistencia térmica diferente a 1.5 °K-m/W.
- ✓ Cables de ternas unipolares agrupados bajo tierra.
- ✓ Cables enterrados en zanjas a diferentes profundidades.
- ✓ Cables enterrados en una zanja en el interior de tubos o similares.
- ✓ Cables conectados en paralelo.

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA): "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"**4. DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DE LOS CABLES DE ENERGÍA****4.1 CÁLCULO POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN**

Para fines de los cálculos y la adopción de los factores de corrección pertinentes, se tendrá en cuenta:

- Potencia en el lado 60 kV del transformador: 55 MVA (ONAF)
- Potencia en el lado 22,9 kV del transformador: 55 MVA (ONAF)
- Instalación al aire (galería o canaletas)
- Cables para conexión entre transformador y patios en 60 kV y 22,9 kV

4.2 CÁLCULO POR CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO

Para fines de los cálculos y la adopción de los factores de corrección pertinentes, se tendrá en cuenta:

- Potencia en el lado 60 kV del transformador: 55 MVA (ONAF)
- Potencia en el lado 22,9 kV del transformador: 55 MVA (ONAF)
- Instalación al aire (galería o canaletas)
- Cables para conexión entre transformador y patios de 60 kV y 22,9 kV
- Corriente de cortocircuito del interruptor de potencia de 60 kV: 31,5 kA
- Corriente de cortocircuito del interruptor de potencia de 22,9 kV: 31,5 kA
- Tiempo de despeje de fallas $\leq 0,5$ s
- Cables apantallados,

En el anexo 1, se muestran los parámetros y factores de corrección tenidos en cuenta para determinar la sección de los cables de energía en el nivel de 60 kV, mientras que en el anexo 2 se hace lo propio para el nivel de 22,9 kV.

5. CONCLUSIONES

- ✓ Para el nivel de 60 kV, el cable seleccionado -para instalación al aire (galerías o canaletas)- tiene las siguientes características: 3-1x240 mm², Cu, N2XSY, XLPE; pantalla de 70 mm² de sección y cuya resistencia de pantalla debe ser ≤ 2 ohm/km, $U_0/U = 72/42$ kV.
- ✓ Para el nivel de 22,9 kV, el cable seleccionado -para instalación al aire (galerías o cables)- tiene las siguientes características: 3x3(1-240 mm²), Cu, N2XSY, $U_0/U = 18/30$ kV, XLPE; pantalla de 70 mm² de sección y cuya resistencia debe ser ≤ 2 ohm/km.

6. ANEXOS

6.1 ANEXO 1: Selección de cables para el nivel de tensión de 60 kV

6.2 ANEXO 2: Selección de cables para el nivel de tensión de 22,9 kV

**ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE
POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS**

NIVEL DE TENSIÓN: 60 KV

SELECCIÓN DE CABLES POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN CONDICIONES DE OPERACIÓN NORMALES

INSTALACIÓN AL AIRE

LADO 60 KV **50-55 MVA**
Potencia **55** MVA
Tensión fase-fase **60** kV

$$I_{n_{3\phi}} = S / (\sqrt{3} \times V)$$

$I_{n_{3\phi}}$ Corriente nominal (A)
 S Potencia nominal (kVA)
 V Tensión fase-fase (kV)

$$I_{n_{3\phi}} = 55000 / (\sqrt{3} \times 60)$$

$$I_{n_{3\phi}} = 530 \text{ A}$$

Factores de corrección:

**Table B.10 – Correction factors for ambient
air temperatures other than 30 °C**

| Maximum conductor temperature °C | Ambient air temperature °C | | | | | | | |
|--|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 90 | 1,08 | 1,04 | 0,96 | 0,91 | 0,87 | 0,82 | 0,76 | 0,71 |

Temperatura máx.: **30 °C**
Temperatura mín.: **-10 °C**

fc1: Factor de corrección por temperatura

Fc1 = **1**

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

Table B.11 – Correction factors for ambient ground temperatures other than 20 °C

| Maximum conductor temperature °C | Ambient ground temperature °C | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 15 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 90 | 1,07 | 1,04 | 0,96 | 0,93 | 0,89 | 0,85 | 0,80 | 0,76 |

fc2: Factor de corrección por temperatura del terreno

fc2 = **0.93**

Table B.13 – Correction factors for depths of laying other than 0,8 m for cables in ducts

| Depth of laying m | Single-core cables | | Three-core cable |
|----------------------|---|----------------------|---------------------|
| | Nominal conductor size mm ² | | |
| | ≤185 mm ² | >185 mm ² | |
| 0,5 | 1,04 | 1,05 | 1,03 |
| 0,6 | 1,02 | 1,03 | 1,02 |
| 1 | 0,98 | 0,97 | 0,99 |
| 1,25 | 0,96 | 0,95 | 0,97 |
| 1,5 | 0,95 | 0,93 | 0,96 |
| 1,75 | 0,94 | 0,92 | 0,95 |
| 2 | 0,93 | 0,91 | 0,94 |
| 2,5 | 0,91 | 0,89 | 0,93 |
| 3 | 0,90 | 0,88 | 0,92 |

Fuente: Norma IEC 60502-2

fc3: Factor de corrección por profundidad de instalación en ductos

Profundidad de instalación: 1 m

fc3 = **0.97**

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

Table B.15 – Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K·m/W single-core cables in buried ducts

| Nominal area of conductor mm ² | Values of soil thermal resistivity K·m/W | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|
| | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 2 | 2,5 | 3 |
| 16 | 1,20 | 1,17 | 1,14 | 1,11 | 0,92 | 0,85 | 0,79 |
| 25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 1,12 | 0,91 | 0,85 | 0,79 |
| 35 | 1,21 | 1,18 | 1,15 | 1,12 | 0,91 | 0,84 | 0,79 |
| 50 | 1,21 | 1,18 | 1,15 | 1,12 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 70 | 1,22 | 1,19 | 1,15 | 1,12 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 95 | 1,23 | 1,19 | 1,16 | 1,13 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 120 | 1,23 | 1,20 | 1,16 | 1,13 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 150 | 1,24 | 1,20 | 1,16 | 1,13 | 0,91 | 0,83 | 0,78 |
| 185 | 1,24 | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 0,91 | 0,83 | 0,78 |
| 240 | 1,25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 0,90 | 0,83 | 0,77 |
| 300 | 1,25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 0,90 | 0,83 | 0,77 |
| 400 | 1,25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 0,90 | 0,83 | 0,77 |

Fuente: Norma IEC 60502-2

fc4: Factor de corrección por resistividad térmica del terreno

fc4 = **1**

Table B.21 – Correction factors for groups of three-phase circuits of single-core cables in single-way ducts

| Number of cables in group | Spacing between duct group centres mm | | | | |
|---------------------------|--|------|------|------|------|
| | Touching | 200 | 400 | 600 | 800 |
| 2 | 0,78 | 0,85 | 0,89 | 0,91 | 0,93 |
| 3 | 0,66 | 0,75 | 0,81 | 0,85 | 0,88 |
| 4 | 0,59 | 0,70 | 0,77 | 0,82 | 0,86 |
| 5 | 0,55 | 0,66 | 0,74 | 0,80 | 0,84 |
| 6 | 0,51 | 0,64 | 0,72 | 0,78 | 0,83 |
| 7 | 0,48 | 0,61 | 0,71 | 0,77 | 0,82 |
| 8 | 0,46 | 0,60 | 0,70 | 0,76 | - |
| 9 | 0,44 | 0,58 | 0,69 | 0,76 | - |
| 10 | 0,43 | 0,57 | 0,68 | - | - |
| 11 | 0,42 | 0,56 | 0,67 | - | - |
| 12 | 0,40 | 0,55 | 0,67 | - | - |

Fuente: Norma IEC 60502-2

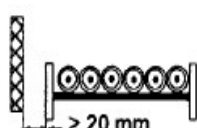
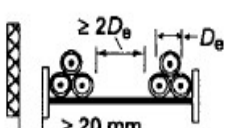
ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

fc5: Factor de corrección por agrupamiento en ductos

fc5 = **0.93** (Para dos cables por fase)

fc7 = **0.88** (Para tres cables por fase)

Table B.23 – Reduction factors for groups of more than one circuit of single-core cables (Note 2) – To be applied to the current-carrying capacity for one circuit of single-core cables in free air

| Method of installation | Number of trays | Number of three-phase circuits (Note 5) | | | Use as a multiplier to rating for | |
|---|--|---|------|------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| Ladder supports, cleats etc. (Note 3) |  | 1 | 1,00 | 0,97 | 0,96 | Three cables in horizontal formation |
| | | 2 | 0,98 | 0,93 | 0,89 | |
| | | 3 | 0,97 | 0,90 | 0,86 | |
| Ladder supports, cleats, etc. (Note 3) |  | 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| | | 2 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | |
| | | 3 | 0,96 | 0,94 | 0,90 | |
| <p>NOTE 1 Values given are averages for the cable types and range of conductor sizes considered. The spread of values is generally less than 5 %.</p> <p>NOTE 2 Factors are given for single layers of cables (or trefoil groups) as shown in the table and do not apply when cables are installed in more than one layer touching each other. Values for such installations may be significantly lower and should be determined by an appropriate method.</p> <p>NOTE 3 Values are given for vertical spacings between trays of 300 mm. For closer spacing, the factors should be reduced.</p> <p>NOTE 4 Values are given for horizontal spacing between trays of 225 mm with trays mounted back to back. For closer spacing, the factors should be reduced.</p> <p>NOTE 5 For circuits having more than one cable in parallel per phase, each three phase set of conductors should be considered as a circuit for the purpose of this table.</p> | | | | | | |

Fuente: Norma IEC 60502-2

fc6: Factor de corrección para grupos de cables unipolares:

fc6 = **0.98** (Dos cables por fase)

fc8 = **0.86** (Tres cables por fase)

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

Factor de derateo para cables unipolares, un conductor por fase (fd1):

$$fd1 = fc1 \times fc2 \times fc3 \times fc4$$

$$fd1 = 0.9021$$

Factor de derateo para cables unipolares agrupados, dos conductores por fase:

$$fd2 = fc1 \times fc2 \times fc3 \times fc4 \times fc5 \quad (\text{Si } fc5 \leq fc6)$$

$$fd2 = fc1 \times fc2 \times fc3 \times fc4 \times fc6 \quad (\text{Si } fc6 \leq fc5)$$

$$fd2 = 0.839$$

Factor de derateo para cables unipolares agrupados, tres conductores por fase:

$$fd3 = fc1 \times fc2 \times fc3 \times fc4 \times fc7 \quad (\text{Si } fc7 \leq fc8)$$

$$fd3 = fc1 \times fc2 \times fc3 \times fc4 \times fc8 \quad (\text{Si } fc8 \leq fc7)$$

$$fd3 = 0.7758$$

$$In_{3\phi} = 530 \text{ A}$$

$In_{3\phi \text{ corregida}}$ para selección de conductor:

$$\text{Un conductor por fase: } In_{3\phi \text{ corregida}} = 587.5 \text{ A}$$








$$\text{Dos conductores por fase: } 631.7 \text{ A}$$

$$\text{Tres conductores por fase: } 683.2 \text{ A}$$

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

Conductores recomendados:

**Table B.2 – Current ratings for single-core cables with XLPE insulation –
Rated voltage 3,6/6 kV to 18/30 kV * –
Copper conductor**

| Nominal area of conductor | Buried direct in the ground | | In single-way ducts | | In air | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| | Trefoil | Flat spaced | Trefoil ducts | Flat touching ducts | Trefoil | Flat touching | Flat spaced |
| |  |  |  |  |  $\sqrt{3} \cdot a$ |  $\sqrt{3} \cdot a$ |  $\sqrt{3} \cdot a$ |
| mm ² | A | A | A | A | A | A | A |
| 16 | 109 | 113 | 103 | 104 | 125 | 128 | 150 |
| 25 | 140 | 144 | 132 | 133 | 163 | 167 | 196 |
| 35 | 166 | 172 | 157 | 159 | 198 | 203 | 238 |
| 50 | 196 | 203 | 186 | 188 | 238 | 243 | 286 |
| 70 | 239 | 246 | 227 | 229 | 296 | 303 | 356 |
| 95 | 285 | 293 | 271 | 274 | 361 | 369 | 434 |
| 120 | 323 | 332 | 308 | 311 | 417 | 426 | 500 |
| 150 | 361 | 366 | 343 | 347 | 473 | 481 | 559 |
| 185 | 406 | 410 | 387 | 391 | 543 | 550 | 637 |
| 240 | 469 | 470 | 447 | 453 | 641 | 647 | 745 |
| 300 | 526 | 524 | 504 | 510 | 735 | 739 | 846 |
| 400 | 590 | 572 | 564 | 571 | 845 | 837 | 938 |
| Maximum conductor temperature | | | | 90 °C | | | |
| Ambient air temperature | | | | 30 °C | | | |
| Ground temperature | | | | 20 °C | | | |
| Depth of laying | | | | 0,8 m | | | |
| Thermal resistivity of soil | | | | 1,5 K m/W | | | |
| Thermal resistivity of earthenware ducts | | | | 1,2 K m/W | | | |
| Screens bonded at both ends. | | | | | | | |
| * Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV. | | | | | | | |

Potencia: 55 MVA

Tensión: 60 kV

Calibre recomendado, por fase, del cable unipolar : (Cu, XLPE, instalado en AIRE)

1 x 240 mm²

1x> 400 mm²

o

(AL AIRE (EN CANALETAS))

ENTERRADO EN DUCTOS

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE Tensión: 60 kV

SELECCIÓN DE CABLES POR CORTOCIRCUITO

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN CONDICIÓN DE CORTOCIRCUITO

| | | | |
|-----------------|----------|-------------------------|--|
| Matl | Cobre | | Material del conductor |
| S | 240 | mm ² | Sección del conductor |
| nt | 1 | | Número de ternas |
| β | 234.5 | | Coef. recíproco de temperatura a 0 ° C |
| σ _c | 3.45E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico a 20 ° C |
| ρ ₂₀ | 1.72E-08 | Ω-m | Resistividad eléctrica a 20 ° C |
| p | 3.5 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat. protector |
| σ | 2.40E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico del material protector |
| Θ _i | 90 | ° C | Temperatura en el instante t ₁ [inicio del cortocircuito] |
| Θ _f | 250 | ° C | Temperatura en el instante t ₂ [fin del cortocircuito] |
| C1 | 2462 | | |
| C2 | 1.22 | | |
| F | 1 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (cables en aceite) |
| F | 0.7 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (resto de casos) |
| K | | (√(As))/mm ² | Constante que depende del material |
| ε | | | Factor que tiene en cuenta las pérdidas de calor |

Ref. IEC 60949, Tablas 1 y 2

$$I_{cc \text{ admisible}} = \varepsilon \times \left(K \times \frac{S}{\sqrt{t}} \times \sqrt{\ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)} \right)$$

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

$$K = 225.67 \quad (\sqrt{(As)})/\text{mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 + FA \sqrt{\frac{t}{s}} + F^2 B \left(\frac{t}{s} \right)}$$

t: tiempo de despeje de falla en segundos

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 60 kV

$$t = t_2 - t_1 = 0.5 \text{ s}$$

$$A = \frac{C_1}{\sigma_e} \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_1}} \qquad B = \frac{C_2}{\sigma_e} \left(\frac{\sigma_i}{\rho_1} \right)$$

$$A = 0.59 \qquad B = 0.24$$

$$\varepsilon = 1.009935515$$

$$I_{cc \text{ admisible}} = 49 \text{ kA}$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

$$I_{cc \text{ admisible}} = 35 \text{ kA}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$I_{cc \text{ del interruptor}} = 31.5 \text{ kA}$$

$$t \geq 1 \text{ s}$$

LOS CABLES UNIPOLARES SELECCIONADOS POR CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO, SON ADECUADOS PARA UN TIEMPO DE DESPEJE DE 0.5 s

POR CORTOCIRCUITO, SE RECOMIENDA UNA TERNA DE CABLES UNIPOLARES DE SECCIÓN NOMINAL

240 mm²

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 60 KV

CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO DE LA PANTALLA

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN CONDICIÓN DE CORTOCIRCUITO

| | | | |
|-----------------|----------|-------------------------|--|
| Mat2 | Cobre | | Material de la pantalla |
| S | 70 | mm ² | Sección de pantalla recomendada |
| β | 234.5 | | Coef. recíproco de temperatura a 0 ° C |
| σ ₁ | 3.45E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico a 20 ° C |
| p ₂₀ | 1.72E-08 | Ω-m | Resistividad eléctrica a 20 ° C |
| p | 3.5 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat.protector |
| Θ _i | 90 | ° C | Temperatura en el instante t ₁ [inicio del cortocircuito] |
| Θ _f | 250 | ° C | Temperatura en el instante t ₂ [fin del cortocircuito] |
| F | 1 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (cables en aceite) |
| F | 0.7 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (resto de casos) |
| K | | (√(As))/mm ² | Constante que depende del material |
| ε | | | Factor que tiene en cuenta las pérdidas de calor |
| p2 | 3.50 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat.interior |
| p3 | 5.00 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat.exterior |
| δ | 1.70 | mm | Espesor de la pantalla |
| σ ₂ | 2.40E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico del material interior |
| σ ₃ | 1.46E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico del material exterior |

Ref. IEC 60949, Tablas 1 y 2

$$I_{cc \text{ admisible}} = \varepsilon \times \left(K \times \frac{S}{\sqrt{t}} \times \sqrt{\ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)} \right)$$

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}} \quad K = 225.67 \quad (\sqrt{As})/\text{mm}^2$$

$$\varepsilon = 1 + 0.61 M\sqrt{t} - 0.069 (M\sqrt{t})^2 + 0.0043 (M\sqrt{t})^3$$

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 60 KV

t: tiempo de despeje de falla en segundos

$$t = t_2 - t_1 = 0.5 \text{ s}$$

$$M = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_2}{\rho_2}} + \sqrt{\frac{\sigma_3}{\rho_3}} \right)}{2 \sigma_1 \delta \times 10^{-3}} F$$

$$M = 0.0817 \quad 0.081663618$$

$$\varepsilon = 1.0324 \quad 1.02559426$$

$$I_{cc \text{ admisible}} = 14.6 \text{ kA}$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

$$I_{cc \text{ del interruptor}} = 31.5 \text{ kA}$$

$$t \geq 1 \text{ s}$$

PARA UN TIEMPO DE DESPEJE DE FALLA DE 0.5 s

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 kV

SELECCIÓN DE CABLES POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN CONDICIONES DE OPERACIÓN NORMAL

INSTALACIÓN AL AIRE

LADO 22,9 KV 50-55 MVA

Potencia **55** MVA

Tensión fase-fase **22.9** kV

$$I_{n3\phi} = S / (\sqrt{3} \times V)$$

$I_{n3\phi}$ Corriente nominal (A)

S Potencia nominal (kVA)

V Tensión fase-fase (kV)

$$I_{n3\phi} = 55000 / (\sqrt{3} \times 22.9)$$

$$I_{n3\phi} = 1386.6491 \text{ A}$$

Factores de corrección:

Table B.10 – Correction factors for ambient air temperatures other than 30 °C

| Maximum conductor temperature °C | Ambient air temperature °C | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 90 | 1,08 | 1,04 | 0,96 | 0,91 | 0,87 | 0,82 | 0,76 | 0,71 |

Temperatura máx. : **27.8** ° C

Temperatura mín. : **-10** ° C

fc1: Factor de corrección por temperatura

fc1 = **1**

Table B.11 – Correction factors for ambient ground temperatures other than 20 °C

| Maximum conductor temperature °C | Ambient ground temperature °C | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 15 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 90 | 1,07 | 1,04 | 0,96 | 0,93 | 0,89 | 0,85 | 0,80 | 0,76 |

Fuente: Norma IEC 60502-2

fc2: Factor de corrección por temperatura del terreno

fc2 = **0.93**

**ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE
POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS**

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 kV

**Table B.13 – Correction factors for depths of laying
other than 0,8 m for cables in ducts**

| Depth of laying m | Single-core cables | | Three-core cable |
|----------------------|---|----------------------|---------------------|
| | Nominal conductor size mm ² | | |
| | ≤185 mm ² | >185 mm ² | |
| 0,5 | 1,04 | 1,05 | 1,03 |
| 0,6 | 1,02 | 1,03 | 1,02 |
| 1 | 0,98 | 0,97 | 0,99 |
| 1,25 | 0,96 | 0,95 | 0,97 |
| 1,5 | 0,95 | 0,93 | 0,96 |
| 1,75 | 0,94 | 0,92 | 0,95 |
| 2 | 0,93 | 0,91 | 0,94 |
| 2,5 | 0,91 | 0,89 | 0,93 |
| 3 | 0,90 | 0,88 | 0,92 |

Fuente: Norma IEC 60502-2

fc3: Factor de corrección por profundidad de instalación en ductos

Profundidad de instalación: 1 m

fc3 = **0.98**

**Table B.15 – Correction factors for soil thermal resistivities
other than 1,5 K·m/W single-core cables in buried ducts**

| Nominal area of conductor mm ² | Values of soil thermal resistivity K·m/W | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|
| | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 2 | 2,5 | 3 |
| 16 | 1,20 | 1,17 | 1,14 | 1,11 | 0,92 | 0,85 | 0,79 |
| 25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 1,12 | 0,91 | 0,85 | 0,79 |
| 35 | 1,21 | 1,18 | 1,15 | 1,12 | 0,91 | 0,84 | 0,79 |
| 50 | 1,21 | 1,18 | 1,15 | 1,12 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 70 | 1,22 | 1,19 | 1,15 | 1,12 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 95 | 1,23 | 1,19 | 1,16 | 1,13 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 120 | 1,23 | 1,20 | 1,16 | 1,13 | 0,91 | 0,84 | 0,78 |
| 150 | 1,24 | 1,20 | 1,16 | 1,13 | 0,91 | 0,83 | 0,78 |
| 185 | 1,24 | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 0,91 | 0,83 | 0,78 |
| 240 | 1,25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 0,90 | 0,83 | 0,77 |
| 300 | 1,25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 0,90 | 0,83 | 0,77 |
| 400 | 1,25 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 0,90 | 0,83 | 0,77 |

Fuente: Norma IEC 60502-2

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 kV

fc4: Factor de corrección por resistividad térmica del terreno

fc4 = 1

Table B.21 – Correction factors for groups of three-phase circuits of single-core cables in single-way ducts

| Number of cables in group | Spacing between duct group centres mm | | | | |
|---------------------------|--|------|------|------|------|
| | Touching | 200 | 400 | 600 | 800 |
| 2 | 0,78 | 0,85 | 0,89 | 0,91 | 0,93 |
| 3 | 0,66 | 0,75 | 0,81 | 0,85 | 0,88 |
| 4 | 0,59 | 0,70 | 0,77 | 0,82 | 0,86 |
| 5 | 0,55 | 0,66 | 0,74 | 0,80 | 0,84 |
| 6 | 0,51 | 0,64 | 0,72 | 0,78 | 0,83 |
| 7 | 0,48 | 0,61 | 0,71 | 0,77 | 0,82 |
| 8 | 0,46 | 0,60 | 0,70 | 0,76 | - |
| 9 | 0,44 | 0,58 | 0,69 | 0,76 | - |
| 10 | 0,43 | 0,57 | 0,68 | - | - |
| 11 | 0,42 | 0,56 | 0,67 | - | - |
| 12 | 0,40 | 0,55 | 0,67 | - | - |

Fuente: Norma IEC 60502-2

fc5: Factor de corrección por agrupamiento en ductos

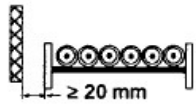
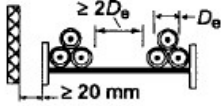
fc5 = 1 (Para dos cables por fase) ¹ PORQUE SE INSTALARA SÓLO EN CANALETAS / GALERÍA

fc7 = 1 (Para tres cables por fase) ¹ PORQUE SE INSTALARA SÓLO EN CANALETAS / GALERÍA

**ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE
POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS**

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 kV

**Table B.23 – Reduction factors for groups of more than one circuit
of single-core cables (Note 2) –
To be applied to the current-carrying capacity for one circuit
of single-core cables in free air**

| Method of installation | | Number of trays | Number of three-phase circuits (Note 5) | | | Use as a multiplier to rating for |
|--|---|-----------------|---|------|------|--------------------------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | |
| Ladder supports, cleats etc. (Note 3) |  | 1 | 1,00 | 0,97 | 0,96 | Three cables in horizontal formation |
| | | 2 | 0,98 | 0,93 | 0,89 | |
| | | 3 | 0,97 | 0,90 | 0,86 | |
| Ladder supports, cleats, etc. (Note 3) |  | 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| | | 2 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | |
| | | 3 | 0,96 | 0,94 | 0,90 | |

NOTE 1 Values given are averages for the cable types and range of conductor sizes considered. The spread of values is generally less than 5 %.

NOTE 2 Factors are given for single layers of cables (or trefoil groups) as shown in the table and do not apply when cables are installed in more than one layer touching each other. Values for such installations may be significantly lower and should be determined by an appropriate method.

NOTE 3 Values are given for vertical spacings between trays of 300 mm. For closer spacing, the factors should be reduced.

NOTE 4 Values are given for horizontal spacing between trays of 225 mm with trays mounted back to back. For closer spacing, the factors should be reduced.

NOTE 5 For circuits having more than one cable in parallel per phase, each three phase set of conductors should be considered as a circuit for the purpose of this table.

Fuente: Norma IEC 60502-2

fc6: Factor de corrección para grupos de cables unipolares:

fc6 = **0.98** (Dos cables por fase)

fc8 = **0.86** (Tres cables por fase)

Factor de derateo para cables unipolares, un conductor por fase (fd1):

fd1 = fc1 x fc2 x fc3 x fc4

fd1 = **0.9114**

Factor de derateo para cables unipolares agrupados, dos conductores por fase:

fd2 = fc1 x fc2 x fc3 x fc4 x fc5 (Si fc5 ≤ fc6)

fd2 = fc1 x fc2 x fc3 x fc4 x fc6 (Si fc6 ≤ fc5)

fd2 = **0.8932**

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 kV

$$\text{fd3} = \text{fc1} \times \text{fc2} \times \text{fc3} \times \text{fc4} \times \text{fc7} \quad (\text{Si } \text{fc7} \leq \text{fc8})$$

$$\text{fd3} = \text{fc1} \times \text{fc2} \times \text{fc3} \times \text{fc4} \times \text{fc8} \quad (\text{Si } \text{fc8} \leq \text{fc7})$$

fd3 = 0.7838

$$I_{n_3 \phi} = 1386.65 \text{ A}$$

In₃φ corregida para selección de conductor:








In₃ ϕ corregida

Un conductor por fase: 1521 A

Dos conductores por fase: 1552 A

Tres conductores por fase: 1769 A

Conductores recomendados:

| Nominal area of conductor | Buried direct in the ground | | In single-way ducts | | In air | | |
|-------------------------------|---|---|---|---|--|---|---|
| | Trefoil | Flat spaced | Trefoil ducts | Flat touching ducts | Trefoil | Flat touching | Flat spaced |
| |  |  |  |  |  |  |  |
| mm ² | A | A | A | A | A | A | A |
| 16 | 109 | 113 | 103 | 104 | 125 | 128 | 150 |
| 25 | 140 | 144 | 132 | 133 | 163 | 167 | 196 |
| 35 | 166 | 172 | 157 | 159 | 198 | 203 | 238 |
| 50 | 196 | 203 | 186 | 188 | 238 | 243 | 286 |
| 70 | 239 | 246 | 227 | 229 | 296 | 303 | 356 |
| 95 | 285 | 293 | 271 | 274 | 361 | 369 | 434 |
| 120 | 323 | 332 | 308 | 311 | 417 | 426 | 500 |
| 150 | 361 | 366 | 343 | 347 | 473 | 481 | 559 |
| 185 | 406 | 410 | 387 | 391 | 543 | 550 | 637 |
| 240 | 469 | 470 | 447 | 453 | 641 | 647 | 745 |
| 300 | 526 | 524 | 504 | 510 | 735 | 739 | 846 |
| 400 | 590 | 572 | 564 | 571 | 845 | 837 | 938 |
| Maximum conductor temperature | 90 °C | | | | | | |
| Ambient air temperature | 30 °C | | | | | | |
| Ground temperature | 20 °C | | | | | | |
| Depth of laying | 0,8 m | | | | | | |

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 kV

| | |
|---|-----------|
| Thermal resistivity of soil | 1,5 K·m/W |
| Thermal resistivity of earthenware ducts | 1,2 K·m/W |
| Screens bonded at both ends. | |
| * Current rating calculated for cables having a rated voltage of 6/10 kV. | |

Potencia 55 MVA Tensión: 22.9 kV

Calibres recomendados, del cable unipolar : (Cu, XLPE, instalado en AIRE):

3 x 3(1-240 mm²) EN AIRE

3 X 3 (1-500 mm²) EN DUCTOS ENTERRADOS

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE Tensión: 22,9 KV

SELECCIÓN DE CABLES POR CORTOCIRCUITO

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN CONDICIÓN DE CORTOCIRCUITO

| | | | |
|-----------------|----------|-------------------------|--|
| Matl | Cobre | | Material del conductor |
| S | 240 | mm ² | Sección del conductor |
| nt | 3 | | Número de ternas |
| β | 234.5 | | Coef. recíproco de temperatura a 0 ° C |
| σ _c | 3.45E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico a 20 ° C |
| p ₂₀ | 1.72E-08 | Ω-m | Resistividad eléctrica a 20 ° C |
| p | 3.5 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat. protector |
| σ | 2.40E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico del material protector |
| Θ _i | 90 | ° C | Temperatura en el instante t ₁ [inicio del cortocircuito] |
| Θ _f | 250 | ° C | Temperatura en el instante t ₂ [fin del cortocircuito] |
| C1 | 2462 | | |
| C2 | 1.22 | | |
| F | 1 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (cables en aceite) |
| F | 0.7 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (resto de casos) |
| K | | (√(As))/mm ² | Constante que depende del material |
| ε | | | Factor que tiene en cuenta las pérdidas de calor |

Ref. IEC 60949, Tablas 1 y 2

$$I_{cc \text{ admisible}} = \varepsilon \times \left(K \times \frac{S}{\sqrt{t}} \times \sqrt{\ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)} \right)$$

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

$$K = 225.67 \quad (\sqrt{(As)})/\text{mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 + FA \sqrt{\frac{t}{s}} + F^2 B \left(\frac{t}{s} \right)}$$

t: tiempo de despeje de falla en segundos

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE Tensión: 22,9 KV

$$t = t_2 - t_1 = 0.5 \text{ s}$$

$$A = \frac{C_1}{\sigma_e} \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_1}}$$

$$B = \frac{C_2}{\sigma_e} \left(\frac{\sigma_i}{\rho_1} \right)$$

$$A = 0.59$$

$$B = 0.24$$

$$\varepsilon = 1.009935515$$

$$I_{cc \text{ admisible}} = 49 \text{ kA}$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

$$I_{cc \text{ admisible}} = 35 \text{ kA}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$I_{cc \text{ del interruptor}} = 31.5 \text{ kA}$$

$$t \geq 1 \text{ s}$$

EL CALIBRE SELECCIONADO ES ADECUADO

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 KV

CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO DE LA PANTALLA

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN CONDICIÓN DE CORTOCIRCUITO

| | | | |
|-----------------|----------|-------------------------|--|
| Mat2 | Cobre | | Material de la pantalla |
| S | 70 | mm ² | Sección de pantalla recomendada |
| β | 234.5 | | Coef. recíproco de temperatura a 0 ° C |
| σ ₁ | 3.45E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico a 20 ° C |
| ρ ₂₀ | 1.72E-08 | Ω-m | Resistividad eléctrica a 20 ° C |
| p | 3.5 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat. protector |
| Θ _i | 90 | ° C | Temperatura en el instante t ₁ [inicio del cortocircuito] |
| Θ _f | 250 | ° C | Temperatura en el instante t ₂ [fin del cortocircuito] |
| F | 1 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (cables en aceite) |
| F | 0.7 | | Factor por contacto térmico con materiales circundantes (resto de casos) |
| K | | (√(As))/mm ² | Constante que depende del material |
| ε | | | Factor que tiene en cuenta las pérdidas de calor |
| p2 | 3.50 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat. interior |
| p3 | 5.00 | (K-m)/W | Resistividad térmica del mat. exterior |
| δ | 1.70 | mm | Espesor de la pantalla |
| σ ₂ | 2.40E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico del material interior |
| σ ₃ | 1.46E+06 | J/(K-m ³) | Calor específico volumétrico del material exterior |

Ref. IEC 60949, Tablas 1 y 2

$$I_{cc \text{ admisible}} = \varepsilon \times \left(K \times \frac{S}{\sqrt{t}} \times \sqrt{\ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)} \right)$$

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}} \quad K = 225.67 \quad (\sqrt{As})/\text{mm}^2$$

$$\varepsilon = 1 + 0.61 M \sqrt{t} - 0.069 (M \sqrt{t})^2 + 0.0043 (M \sqrt{t})^3$$

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA) "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 kV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS

NIVEL DE TENSIÓN: 22,9 KV

t: tiempo de despeje de falla en segundos

$$t = t_2 - t_1 = 0.5 \text{ s}$$

$$M = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_2}{\rho_2}} + \sqrt{\frac{\sigma_3}{\rho_3}} \right)}{2 \sigma_1 \delta \times 10^{-3}} F$$

$$M = 0.0817 \quad 0.081663618$$

$$\epsilon = 1.0324 \quad 1.02559426$$

$$I_{cc \text{ admisible}} = 14.6 \text{ kA}$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

$$I_{cc \text{ del interruptor}} = 31.5 \text{ kA}$$

$$t \geq 1 \text{ s}$$

PARA UN TIEMPO DE DESPEJE DE FALLA DE 0,5 s

MEMORIA DE CÁLCULO DE MALLA DE TIERRA PROFUNDA

MEMORIA DE CÁLCULO DE MALLA DE TIERRA PROFUNDA

INDICE

| | | |
|-----|---|---|
| 1 | OBJETIVO | 2 |
| 2 | ANTECEDENTES | 2 |
| 2.1 | NORMAS TÉCNICAS..... | 2 |
| 3 | DATOS PARA DISEÑO:..... | 2 |
| 4 | SECCIONES MÍNIMAS DE CONDUCTOR DE SISTEMAS DE TIERRA PROFUNDA Y SUPERFICIAL | 3 |
| 5 | TENSIONES MÁXIMAS admisibles DE TOQUE Y PASO | 5 |
| 6 | RESISTENCIA DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA PROFUNDA..... | 6 |
| 7 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 8 |

MEMORIA DE CÁLCULO DE MALLA DE TIERRA PROFUNDA

1 OBJETIVO

Diseñar una malla de puesta a tierra profunda a ser instalada en el lote de terreno destinado a la instalación del nuevo transformador de potencia T-3 138/60/22,9 kV, 50/50/50 MVA y celdas asociadas.

2 ANTECEDENTES

Por el lote de terreno destinado al proyecto cruzarían cables que conectarían las mallas de los patios asociados al T-3 existente y patio de la bahía de la línea 138 kV Cachimayo – Abancay.

En el lote adyacente, del transformador T-3 existente y celdas asociadas en 138 kV, 60 kV y 22,9 kV se implementó una red de tierra profunda con conductor de cobre desnudo de 70 mm² de sección, diseñada para una corriente de falla a tierra de 1,8 kA, la cual estaría conectada al patio de la bahía de línea 138 kV Cachimayo – Abancay y al patio de EGEMSA, ubicado en la parte superior. No se cuenta con data de estas dos últimas mallas de tierra profunda.

2.1 NORMAS TÉCNICAS

Se tendrá en cuenta los lineamientos y/o recomendaciones de:

- ✓ Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011
- ✓ IEEE Std. 80 “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”.
- ✓ IEC TS 60479-1 “Effects of current on human beings and livestock”

3 DATOS PARA DISEÑO:

- ✓ La corriente de cortocircuito de diseño de los equipos es 31,5 kA
- ✓ El tiempo máximo de despeje de una falla será 500 ms
- ✓ Las tensiones de toque y paso tolerables se basarán en lo prescrito en el Código Nacional de Electricidad – Utilización, para una falla de 0,5 s y con una capa de grava, ripio o piedra partida de espesor mínimo de 150mm con una resistividad igual o mayor a 3000 Ω-m;
- ✓ Se descarta la medición de resistividad en el lote de terreno porque por él cruzan cables que conectan dos mallas de tierra. La resistividad del terreno considerada es la determinada para la ejecución de la malla de tierra del T-3 existente y celdas asociadas:
 $\rho = 160 \Omega\text{-m}$

RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Se efectuaron mediciones de resistividad del terreno utilizando el método Wenner y un instrumento Telurómetro marca Megabras, tipo MTD 20 KW.

Con estas mediciones efectuadas en campo y utilizando la ecuación de Wenner, se calculó la resistividad del terreno en Ohmios por metro, dando como resultado 160.00 160 ohm-m, los que consideramos para efectos de cálculo real, para la primera capa de 0.30 m de profundidad de 0.60 m.

Figura 1: Resistividad del terreno (Ref. Memoria de cálculo de malla a tierra, Subestación: Cachimayo; (Obra: “Línea de transmisión 60 kV Cachimayo – Pisac – Paucartambo; Subestación Cachimayo 138/60/22,9 kV))

- ✓ La corriente de falla a tierra a utilizarse para los cálculos será la estimada para el año 2032 en la barra de Cachimayo 138 kV, $I_{cc1} = 3.4$ kA

| | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2028 | 2032 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Barra | Max CC/1Ø [kA] | Max CC/1Ø [kA] | Max CC/1Ø [kA] | Max CC/1Ø [kA] | Max CC/1Ø [kA] | Max CC/1Ø [kA] |
| Zona: Sicuani, Chumbivilcas, Combapata, Sicuani Rural y SER Combapata - Sicuani Rural | | | | | | |
| Tintaya Nueva 220 | 4.1 | 4.1 | 4.4 | 4.5 | 5.3 | 5.4 |
| Tintaya Nueva 138 | 5.5 | 5.6 | 5.9 | 6.0 | 6.2 | 6.4 |
| Tintaya 220 | 2.1 | 2.1 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.3 |
| Tintaya 138 | 5.6 | 5.7 | 6.0 | 6.1 | 6.3 | 6.4 |
| Combapata 138 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.3 |
| Combapata 60 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 2.8 |
| Uusco 60 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Sicuani 60 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| Zona: Cusco; Valle Sagrado 1, 2 y 3 y SER Cachimayo Valle Sagrado 1, 2 y 3 | | | | | | |
| Quencoro 138 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 4.4 | 4.6 |
| Quencoro 33 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.7 | 6.8 |
| Parque Industrial 138 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.8 | 3.9 |
| Dolorespata 138 | 3.9 | 3.8 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 4.1 |
| Cachimayo 138 | 3.7 | 3.6 | 3.7 | 3.7 | 3.3 | 3.4 |

Figura 2: Corriente de cortocircuito monofásico en la S.E. Cachimayo (Ref. Tabla 6.87 del Informe COES/DP-01-2021, Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, periodo 2023-2032, de fecha 26/02/2021).

4 SECCIONES MÍNIMAS DE CONDUCTOR DE SISTEMAS DE TIERRA PROFUNDA Y SUPERFICIAL

Para fallas con duración de 30 ciclos (500 ms) o más un factor de decremento, $D_f = 1$ puede ser utilizado:

For relatively long fault durations, the effect of the dc offset current can be assumed to be more than compensated by the decay of the subtransient component of ac current. A decrement factor of 1.0 can be used for fault durations of 30 cycles or more.

Figura 3: Factor de decremento (D_f) (Ref. IEEE Std. 80-2013)

De la tabla 10 de la norma IEEE Std. 80, encontramos que el valor de $X/R = 10$ es el más cercano para un valor típico de $D_f = 1.026$; muy cercano al valor recomendado ($D_f = 1$).

Table 10—Typical values of D_f

| Fault duration, t_f | | Decrement factor, D_f | | | |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| Seconds | Cycles at 60 Hz | $X/R = 10$ | $X/R = 20$ | $X/R = 30$ | $X/R = 40$ |
| 0.008 33 | 0.5 | 1.576 | 1.648 | 1.675 | 1.688 |
| 0.05 | 3 | 1.232 | 1.378 | 1.462 | 1.515 |
| 0.10 | 6 | 1.125 | 1.232 | 1.316 | 1.378 |
| 0.20 | 12 | 1.064 | 1.125 | 1.181 | 1.232 |
| 0.30 | 18 | 1.043 | 1.085 | 1.125 | 1.163 |
| 0.40 | 24 | 1.033 | 1.064 | 1.095 | 1.125 |
| 0.50 | 30 | 1.026 | 1.052 | 1.077 | 1.101 |
| 0.75 | 45 | 1.018 | 1.035 | 1.052 | 1.068 |
| 1.00 | 60 | 1.013 | 1.026 | 1.039 | 1.052 |

Figura 4: Valores típicos del factor de decremeento D_f (Ref. Tabla 10, IEEE Std. 80-2013)

Table 5—Ultimate current carrying capabilities of copper grounding cables; currents are in RMS values, for frequency of 60 Hz, $X/R = 10$; current in kiloamperes

| Cable size, AWG | Nominal cross section, mm ² | 6 cycles (100 ms) | 15 cycles (250 ms) | 30 cycles (500 ms) | 45 cycles (750 ms) | 60 cycles (1 s) | 180 cycles (3 s) |
|-----------------|--|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| No. 2 | 33.63 | 27 | 19 | 13 | 11 | 9 | 5 |
| No. 1 | 42.41 | 35 | 23 | 17 | 14 | 12 | 7 |
| 1/0 | 53.48 | 44 | 30 | 21 | 17 | 15 | 9 |
| 2/0 | 67.42 | 56 | 38 | 27 | 22 | 19 | 11 |
| 3/0 | 85.03 | 70 | 48 | 34 | 28 | 24 | 14 |
| 4/0 | 107.20 | 89 | 60 | 43 | 36 | 31 | 18 |
| 250 kcmil | 126.65 | 105 | 71 | 51 | 42 | 36 | 21 |
| 350 kcmil | 177.36 | 147 | 99 | 72 | 59 | 51 | 30 |

Figura 5: Capacidad de cables de tierra de cobre, en KA (Ref. Tabla 5, IEEE Std.80-2013)

Y, de la tabla 5, para la relación $X/R = 10$, y tiempo de despeje de falla de 500 ms, un conductor de cobre desnudo de calibre 3/0 AWG, soportará corrientes de falla del orden de 34 kA; valor superior a la corriente de cortocircuito de diseño ($I_{cc} = 31,5$ kA) para el suministro de equipos.

Por tanto, el conductor de malla de tierra profunda será de cobre desnudo, temple blando con una sección nominal igual o mayor a 95 mm²; sin embargo, considerando que la vida útil de la malla de tierra debe ser 25 años y en previsión de un crecimiento la corriente de cortocircuito u otras variaciones, se utilizará una sección mayor a la calculada, en este caso el conductor será de 107,20 mm².

Para la tierra superficial, la sección mínima de los conductores de cobre desnudo, temple blando, será de 70 mm²

5 TENSIONES MÁXIMAS ADMISIBLES DE TOQUE Y PASO

Las tensiones de toque y paso serán calculadas para un operario con un masa corporal de 50 kg, haciendo notar que operarios con mayor peso soportarán valores de tensión de toque y paso algo mayores. Haciendo uso de las ecuaciones 32, 27 y 29 de la norma IEEE Std. 80-2013, se calculará los valores de tensión de paso y toque admisibles para una persona de 50 kg:

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5C_s \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (32)$$

Donde:

$E_{touch50}$: Tensión de toque para una persona de 50 kg

ρ_s : Resistividad de la grava o piedra partida (3000 Ω -m)

t_s : Tiempo de despeje de falla en s (0,5 s)

C_s : Factor de corrección dado por la siguiente fórmula empírica:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09} \quad (27)$$

Donde:

ρ : Resistividad del terreno (160 Ω -m)

h_s : Espesor de la capa de grava o ripio en metros (0,15 m)

Y la tensión de paso para una persona de 50 kg (E_{step50}) es:

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (29)$$

Reemplazando los valores, se obtiene:

$E_{touch50} = 740.99$ V (Valor menor al indicado en el CNE-2011, tabla 52: 885 V)

$E_{step50} = 2471.84$ V (Valor menor al indicado en el CNE-2011, tabla 52: 3143 V)

| Tabla 52 (Ver Reglas 190-304, 190-306, 190-308, 190-310 y 190-312) Tensiones de toque y paso tolerables | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| Tipo de suelo | Resistividad Ω -m | Duración de falla 0.5 segundos | | Duración de falla 1.0 segundos | |
| | | Tensión de paso V | Tensión de toque V | Tensión de paso V | Tensión de toque V |
| Orgánico Mojado | 10 | 174 | 166 | 123 | 118 |
| Húmedo | 100 | 263 | 188 | 186 | 133 |
| Seco | 1 000 | 1 154 | 405 | 816 | 286 |
| Piedra Partida 105 mm | 3 000 | 3 143 | 885 | 2 216 | 626 |
| Cama de Roca | 10 000 | 10 065 | 2 569 | 7 116 | 1 816 |

Nota 1: Tabla calculada de acuerdo al IEEE Standard N° 80.

Nota 2: La instalación de una subestación típica se diseña para una duración de falla de 0,5 segundos y el total de la superficie dentro del cerco es cubierto con una capa de piedra partida de 150 mm de espesor con una resistividad de 3 000 Ω -m.

Nota 3: Se debe tener en cuenta el cumplimiento de la Norma IEC 60479.

Figura 6 Valores de tensión de paso y toque tolerables (Ref. CNE – Utilización)

6 RESISTENCIA DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA PROFUNDA

De acuerdo con la norma IEEE Std-80-2013, la resistencia de la malla de puesta a tierra está determinada por la resistividad y área del terreno, así como por la profundidad de instalación y longitud total de los cables:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (57)$$

Donde:

- ρ : Resistividad del terreno en $\Omega\text{-m}$ (160 $\Omega\text{-m}$)
- L_T : Longitud total de cables (incluyendo varillas) en m
- A : Área de la malla en m^2
- h : Profundidad de instalación de los cables en m (1 m)

En el lote de terreno del proyecto, se propone la instalación de una malla de tierra en un área de 22.6 m x 23.3 m, a una profundidad de 1 m y con predominancia de cuadrículas de 4 x 4 m; así como la instalación de cuatro (4) varillas de puesta a tierra (Cu, diámetro $\geq 5/8$ ”), una (1) en cada esquina de la malla. A ello deberán sumarse las nueve (9) varillas de los pozos de puesta a tierra de los pararrayos a ser instalados sobre el transformador de potencia y seis (6) de los pozos de puesta a tierra de los pararrayos en las transiciones cable de energía – conductor aéreo, en 60 kV y 22,9 kV.

Con los datos descritos se tiene:

$$A = 22.6 \times 23.3 = 526.58 \text{ m}^2$$

Se tendrán siete conductores en paralelo en el eje “x” y otros siete en el eje “y”, más la longitud de las varillas se tiene:

$$L_T = 7(22.6 + 23.3) + 19(2.4) = 366.9 \text{ m}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (57), la resistencia de la nueva malla de puesta a tierra es:

$$R_g = 3.29 \Omega$$

Por otra parte, esta nueva malla -como es práctica extendida- será conectada a la malla de tierra contigua, cuyas cuadrículas predominantes son de 7 x 5 m, con un área del orden de y tiene un área de 1491 m². (70 m x 21.3 m).

La nueva malla se construirá al lado derecho del “patio de 138” mostrado en la figura 8.

La resistencia teórica de esta malla -de acuerdo con la memoria de cálculo del proyecto ejecutado- construida con conductores desnudos de cobre de 70 mm², enterrados a una profundidad de 0,6 m, es:

$$R_{\text{malla}} = 2.10 \text{ Ohm}$$

La resistencia resulta:

$$R = 2.10 \text{ Ohm}$$

Figura 7: Resistencia teórica de la malla del T-3 y celdas asociadas (~ 2002)

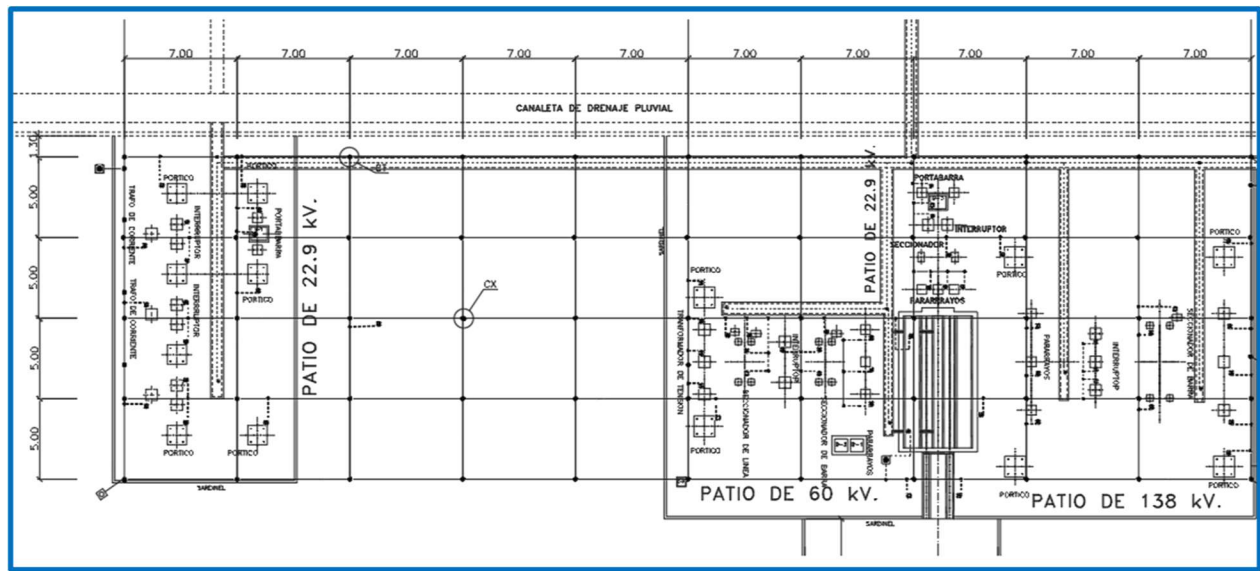


Figura 8 Malla de tierra profunda asociada al T-3 existente Ref. Plano CACH-0E-112 (Feb-02) Obra: “Línea de transmisión 60 kV Cachimayo – Pisac – Paucartambo; Subestación Cachimayo 138/60/22,9 kV, Sistema de Tierra Profunda”.

Al conectarse la nueva malla con la malla existente, éstas actuarán como una sola malla de una resistencia menor (R_{mallas}):

$$\frac{1}{R_{mallas}} = \frac{1}{R_{malla}} + \frac{1}{R_g}$$

Reemplazando valores y despejando:

$$R_{mallas} = 1.28 \text{ Ohm}$$

(Es de esperar que este valor, en la realidad, sea ligeramente menor, puesto que al haberse implementado en años recientes las bahías de línea 60 kV (Cachimayo – Pisac y Cachimayo – Urubamba) se instalaron seis (6) pozos de puesta a tierra en el área de esta malla existente).

Seguidamente, calculamos la denominada elevación del potencial de la malla de tierra (GPR: Ground potential rise), que es -de acuerdo con la definición del CNE-Utilización- el “Producto de la resistencia de puesta a tierra de la malla por la máxima corriente de falla a tierra”

$$GPR = R_{mallas} * I_{cc1} = 1.28 * 3400 = 4352 \text{ V}$$

El valor de elevación del potencial de tierra cumple lo estipulado en el CNE-Utilización, pues, en éste se estipula que el GPR no debe ser mayor a 5000 V. (Ver también figura 9).

190-304 Resistencia de Puesta a Tierra de la Subestación (ver Anexo B)

- (1) La resistencia máxima admisible del sistema de puesta tierra de la subestación, debe ser determinada por la máxima corriente de falla a tierra que el electrodo pueda inyectar a tierra, o por la máxima corriente de falla de la subestación, debiendo la resistencia de tierra ser tal que, bajo cualquier condición del suelo (mojado, seco, congelado), con la máxima corriente el potencial de tierra de todas las partes de la malla de tierra no supere los 5 000 V, en tanto que en circunstancias especiales, cuando no se pueda razonablemente obtener este límite, se permite una tensión mayor, hasta el máximo nivel de aislamiento del equipo de comunicaciones, si se concede una excepción en aplicación de la Regla 020-030.

Figura 9: Resistencia del sistema de puesta a tierra y elevación de potencial de tierra (Ref. CNE-Utilización)

Por otra parte, con un criterio conservador se asume que la contribución de corrientes remotas será 100%; ello se traduce en el hecho de que el factor de división de corriente (S_f) para fines de diseño sea unitario.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Con la disposición planteada de la nueva malla de puesta a tierra y conectada a la malla existente [del T-3 (20 MVA) y celdas asociadas] las tensiones de toque y paso tolerables, así como el potencial de tierra están dentro del rango de valores permitidos por el Código Nacional de Electricidad, para una corriente de falla a tierra monofásica de hasta 3,4 kA.
- ✓ La conexión de la malla de tierra existente [del T-3 y celdas asociadas] con las mallas de puesta a tierra de (i) el patio 33 kV -actualmente, fuera de servicio (ii) la bahía de línea 138 kV Cachimayo – Abancay, en la etapa de ingeniería de detalle, debe ser explorada en campo, con la finalidad de que los diseños para ejecución contemplen estas conexiones, de manera tal que se logre una resistencia de puesta a tierra lo más baja posible (< 1 ohmio), lo cual permitirá reducir la elevación del potencial de tierra (GPR).
- ✓ La sección nominal mínima del conductor para el sistema de tierra profunda será 107,20 mm² (4/0 AWG) y el material será de cobre.
- ✓ La sección nominal mínima del conductor para el sistema de tierra superficial, por un criterio de uniformización, también será de 107,20 mm² (4/0 AWG) y el material será de cobre
- ✓ El diámetro y longitud nominales mínimos para las varillas de puesta a tierra serán de $\frac{3}{4}$ ” y 2,40 m. y el material será de cobre.

MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES DE EQUIPOS Y DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

**ANTEPROYECTO: “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL
TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV
(50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”**

**MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES DE EQUIPOS Y DEL
TRANSFORMADOR**

| Revisión | Fecha | Elaboración | Revisión |
|-----------------|--------------|--------------------|-----------------|
| 0 | 19-11-24 | JLECB | IECHL |
| 1 | 07-01-25 | JLECB | IECHL |
| | | | |

Contenido

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | GENERALIDADES | 3 |
| 1.1. | Alcance | 3 |
| 1.2. | Normas aplicadas..... | 3 |
| 1.3. | Documentos relacionados | 3 |
| 2. | PEDESTALES DE INTERRUPTORES | 4 |
| 3. | PEDESTALES INDIVIDUALES (TT/TC/AS/PR) | 16 |
| 4. | BASE DE PÓRTICO | 27 |
| 5. | PLATAFORMA DEL TRANSFORMADOR | 37 |
| 6. | CÁNCAMO DE TIRO | 49 |

MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES DE EQUIPOS Y DEL TRANSFORMADOR

1 GENERALIDADES

1.1. Alcance

Se desarrollan los cálculos para las fundaciones de los equipos nuevos y del transformador. Se calculan los pedestales individuales del interruptor 138 kV que se construirán como zapata combinada, aplica también para los interruptores de menores dimensiones; los pedestales individuales para los demás equipos en todas las bahías, que irán unidos mediante vigas de conexión (ver planos CACH-63), y aplican también para los pedestales de cada pata de seccionador que tendrán secciones reducidas pero acero semejante (ver planos CACH-63); la plataforma del transformador 138/60/22,9 Kv (leer la anotación Muy Importante); y la base del pórtico que se construirá en la bahía existente 22,9 kV al fondo.

Para leer los cálculos, las celdas en azul son datos, las celdas en amarillo son cálculos, celdas sin color son datos o cálculos simplemente copiados de otras partes del cálculo, o la alternativa no usada entre dos posibilidades.

1.2. Normas aplicadas

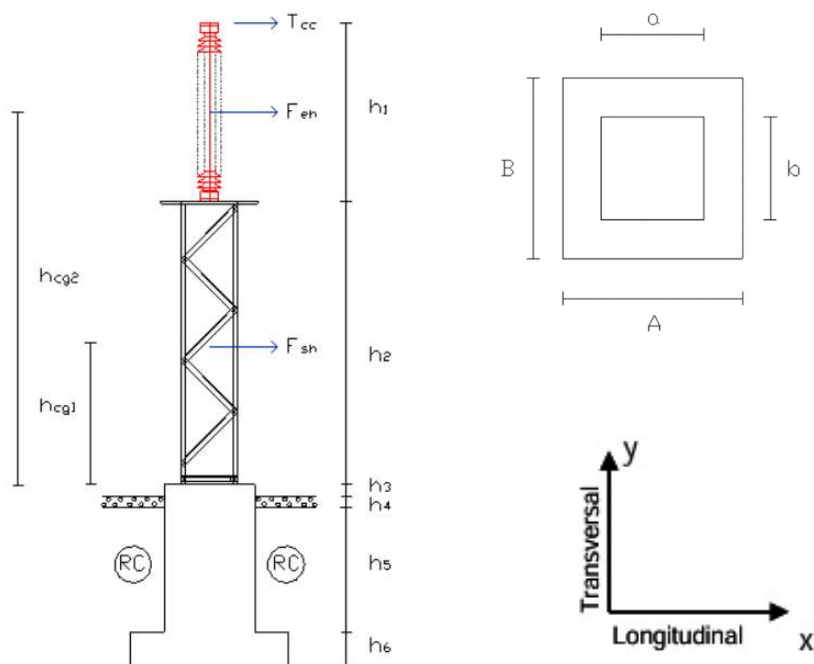
- Reglamento nacional de edificaciones RNE:
 - o E-020 Cargas
 - o E-030 Diseño sismorresistente
 - o E-050 suelos y cimentaciones
 - o E-060 Concreto armado
- Código Nacional de Electricidad CNE

1.3. Documentos relacionados

- Informe del estudio de mecánica de suelos
- Fichas técnicas de equipos modelo seleccionados
- Información alcanzada por Electro Sur Este respecto a los proyectos “Adquisición de celdas de línea y transformador de 60kV en la SET Cachimayo”, y “Línea de transmisión 60kV Cachimayo-Pisac-Paucartambo subestación Cachimayo 138/60/22,9 kV”

2. PEDESTALES DE INTERRUPTORES

Calculado para el equipo más alto y pesado a la vez, con mayor tensión en condición de EDS y mayor tensión de cortocircuito. Se calcula como un pedestal individual pero el equipo se apoyará en 2 zapatas individuales combinadas extendiendo el acero de la zapata.



Alturas:

| | | |
|------|--------|---|
| h1 | 3.3 m | Altura del equipo |
| h2 | 2.5 m | Altura del soporte |
| h3 | 0.1 m | Altura sobre la grava |
| h4 | 0.15 m | Altura de la grava |
| h5 | 2.1 m | Altura del relleno compactado |
| h6 | 0.4 m | Altura de la zapata |
| hcg1 | 1.25 m | Altura del centro de gravedad del soporte desde el pedestal |
| hcg2 | 4.15 m | Altura del centro de gravedad del equipo desde el pedestal |
| hs | 0.05 m | Altura del solado |

Dimensiones de la zapata:

| | | |
|----|-----------------------|----------------------------|
| A | 1.65 m | Lado 1 de la base |
| B | 1.65 m | Lado 2 de la base |
| a | 0.8 m | Lado 1 del pedestal |
| b | 0.8 m | Lado 2 del pedestal |
| Az | 2.7225 m ² | Área de la zapata $Az=A*B$ |

MATERIALES:

Concreto:

| | | | |
|----------|------|--------------------|--------------------------|
| f_c | 210 | kg/cm ² | Resistencia a compresión |
| P_{Uc} | 2400 | kg/m ³ | P.U. concreto armado |

Acero estructural:

| | | | |
|----------|------|--------------------|-----------------------------|
| f_y | 4200 | kg/cm ² | Esfuerzo mínimo de fluencia |
| P_{Ua} | 7850 | kg/m ³ | Peso unitario |

Grava:

| | | | |
|----------|------|-------------------|---------------|
| P_{Ug} | 1900 | kg/m ³ | Peso unitario |
|----------|------|-------------------|---------------|

Relleno compactado:

| | | | |
|----------|------|-------------------|---------------|
| P_{Ur} | 1640 | kg/m ³ | Peso unitario |
|----------|------|-------------------|---------------|

PARÁMETROS DEL ESTUDIO DE SUELOS:

| | | | |
|------------|------|--------------------|--|
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² | Capacidad portante admisible del terreno |
| D_f | 2.5 | m | Profundidad de cimentación |
| ϕ | 6.14 | ° | Ángulo de fricción interno |

RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS DE LAS VARILLAS

DE ACERO:

| | | |
|---|----|----------------------|
| 4 | cm | Elementos en general |
| 7 | cm | Base de cimentación |

ACELERACIÓN

SÍSMICA:

| | | | |
|-------|-----|---|--------------------------------|
| A_h | 0.5 | g | Aceleración sísmica horizontal |
| A_v | 0.3 | g | Aceleración sísmica vertical |

CARGAS:

Cargas actuantes verticales:

| | | | |
|-------|------|-----|---|
| P_e | 1000 | kgf | Peso total del equipo incluido conectores en una pata |
| P_s | 150 | kgf | Peso del soporte metálico |
| P_m | 150 | kgf | Peso del personal de montaje |

Cargas actuantes horizontales:

| | | | |
|-----------|--------|-----|-------------------------------------|
| T_{ecl} | 422 | kgf | Tiro de cortocircuito longitudinal |
| T_{ect} | 11.35 | kgf | Tiro de cortocircuito transversal |
| T_m | 100 | kgf | Tiro en codición de máximo esfuerzo |
| P_{vs} | 39.079 | kgf | Fuerza del viento en el soporte |
| P_{ve} | 51.584 | kgf | Fuerza del viento en el equipo |

Cálculo de la fuerza del viento:

$$P_v = K * V_{vi}^2 * S_f * A \text{ [Newtons]} \quad P_v = K * V_{vi}^2 * S_f * A * 0.102 \text{ [kgf]}$$

| | | |
|-----|--------|---|
| K | 0.613 | constante de presión |
| Vvi | 25 m/s | velocidad del viento |
| Sf | 3.2 | Factor de forma en celosía (soporte) |
| Sf | 1 | Factor de forma en superficies cilíndricas (equipo) |
| A | m2 | área proyectada |

Área proyectada en el soporte metálico:

| | |
|----------|---------------------------|
| 0.5 m | Lado |
| 2.5 m | Altura |
| 0.25 | Fracción ocupada del área |
| 0.313 m2 | Área proyectada |

Área proyectada en el equipo:

| | |
|----------|-----------------|
| | Diámetro |
| 0.4 m | promedio |
| 3.3 m | Altura |
| 1.320 m2 | Área proyectada |

CONTENIDO DEL ANÁLISIS:

Se analizará:

Las presiones en el terreno
Estabilidad al volteo
Diseño del concreto armado

Casos de carga:

CASO

- 1: Peso propio sin sismo y con tiro cortocircuito
Cargas verticales: Peso propio
Cargas horizontales: Tiro por cortocircuito

CASO

- 2: Peso propio más sismo positivo, tiro EDS y viento
Cargas verticales: Sismo positivo (hacia abajo) + peso propio
Cargas horizontales: Sismo o viento (el mayor) + tiro EDS

CASO

- 3: Peso propio más sismo negativo, tiro EDS y viento
Cargas verticales: Sismo negativo (hacia arriba) + peso propio
Cargas horizontales: Sismo o viento (el mayor) + tiro EDS

CASO 1: Peso propio sin sismo y con tiro cortocircuito

Cargas actuantes:

| | | |
|-------|-----------|---|
| Pe | 1000 kgf | Peso del equipo (vertical) |
| Ps | 150 kgf | Peso del soporte (vertical) |
| Pm | 150 kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |
| Tectl | 422 kgf | Tiro de cortocircuito (longitudinal) |
| Tect | 11.35 kgf | Tiro de cortocircuito (transversal) |

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Pb | 6146.4 | kgf | Peso de la base |
| Pg | 395.675 | kgf | Peso de la grava (en el área de la zapata) |
| Prc | 7172.13 | kgf | Peso del relleno compactado (en el área de la zapata) |

Carga vertical total:

| | | | |
|---|-----------|-----|--|
| V | 14788.843 | kgf | $V = P_e + P_s + P_m + P_b + P_g + P_{rc}$ |
|---|-----------|-----|--|

Momento de volteo sin sismo:

| | | | |
|---------|--------|-------|---|
| H | 8.55 | m | Altura total. $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$ |
| Mv (xx) | 97.04 | kgf-m | |
| Mv (yy) | 3608.1 | kgf-m | |

Momento resistente al volteo:

| | | |
|----------|-----------|--------------------------|
| Mrv (xx) | 12613.295 | $M_{rv}(xx) = V * (B/2)$ |
| Mrv (yy) | 12613.295 | $M_{rv}(yy) = V * (A/2)$ |

Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°)

| | | |
|----------|---------|-------------------------------------|
| Fsv (xx) | 129.977 | $F_{sv}(xx) = M_{rv}(xx) / M_v(xx)$ |
| Fsv (yy) | 3.496 | $F_{sv}(yy) = M_{rv}(yy) / M_v(yy)$ |

OK $F_s > 1.5$

OK $F_s > 1.5$

Excentricidad:

| | | |
|---------|---------|--|
| Mv (yy) | 1804.05 | Mv (yy) ' es un momento de volteo reducido al 50% para interruptor y seccionador. Para verificar volteo uso el 100% y cumple, pero para no sobredimensionar la zapata, la viga o losa de cimentación que estos equipos tienen debe tomar el otro 50% |
| e | 0.120 | m $M_v(yy) / V$ |
| A/6 | 0.275 | m Zapata cuadrada $A=B$ |

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

$$\sigma = \frac{V}{Az} + \frac{6 * V * e}{B * A^2}$$

Para $e > A/6$

$$\sigma = \frac{2 * V}{3 * \left(\frac{A}{2} - e\right) * B}$$

En este caso $e < A/6$

| | | | |
|------------|-------|--------------------|---------------------------------------|
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² | |
| σ | 0.803 | kg/cm ² | esfuerzo en el terreno para $e < A/6$ |
| σ | 0.874 | kg/cm ² | esfuerzo en el terreno para $e > A/6$ |

OK $\sigma < \sigma_t$

CASO

2: Peso propio más sismo positivo, tiro EDS y viento

Cargas actuantes:

| | | | |
|-------|------|-----|---|
| P_e | 1000 | kgf | Peso del equipo (vertical) |
| P_s | 150 | kgf | Peso del soporte (vertical) |
| P_m | 150 | kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Tm | 100 | kgf | Tiro EDS |
| Feh | 500 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (horizontal) |
| Fsh | 75 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (horizontal) |
| Fev | 300 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (vertical) |
| Fsv | 45 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (vertical) |
| Pb | 6146.4 | kgf | Peso de la base |
| Pg | 593.513 | kgf | Peso de la grava (en el área de la zapata) |
| Prc | 7172.13 | kgf | Peso del relleno compactado (en el área de la zapata) |

Carga vertical total:

V = 15633.843 kgf $V = P_e + P_s + P_m + P_b + P_g + P_{rc} + F_{ev} + F_{sv}$

Momento de volteo:

| | | | |
|------|------|-------|---|
| H | 8.5 | m | Altura total. $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$ |
| Hcge | 6.85 | m | Altura del centro de gravedad del equipo |
| Hcgs | 3.95 | m | Altura del centro de gravedad del soporte |
| Mv | 4605 | kgf-m | $M_v = T_m * H + F_{eh} * H_{cge} + F_{sh} * H_{cgs}$ |

Momento resistente al volteo:

$$K_p = T_g^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Kp = 2.663

Coeficiente de presiones.

| | Empuje | Altura de aplicación | Momento |
|----------|----------|------------------------|----------|
| Pedestal | 9629.723 | 1.1 | 10592.7 |
| Zapata | 4367.221 | 0.2 | 873.4443 |
| | | Me (momento de empuje) | 11466.14 |

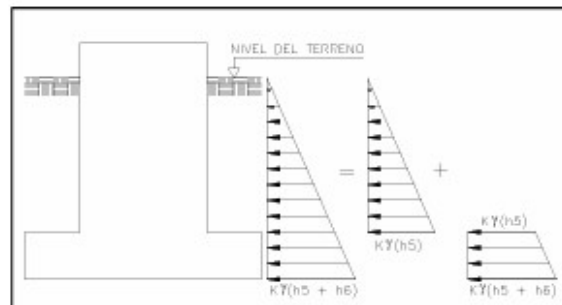
Mrv = 24364.06 kgf-m

$M_{rv} = M_e + V * (A/2)$

Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°)

Fsv = 5.291 $F_{sv} = M_{rv} / M_v$

OK $F_s > 1.5$



Excentricidad:

Mv (yy) ' = 2302.5

e = 0.147 m

Mv (yy) ' es un momento de volteo reducido al 50% para interruptor y seccionador. Para verificar volteo uso el 100% y cumple, pero para no sobredimensionar la zapata, la viga o losa de cimentación que estos equipos tienen debe tomar el otro 50%
 M_v / V

A/6 0.275 m Zapata cuadrada A=B

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

$$\sigma = \frac{V}{A_z} + \frac{6 * V * e}{B * A^2}$$

Para
 $e > A/6$

$$\sigma = \frac{2 * V}{3 * \left(\frac{A}{2} - e\right) * B}$$

En este caso

$e < A/6$

σ_t 0.87 kg/cm²

Capacidad portante admisible del terreno

σ_{ts} 1.131 kg/cm²

Capacidad portante admisible del terreno en caso de sismo. $\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$

σ 0.882 kg/cm²

esfuerzo en el terreno

σ 0.932 kg/cm²

esfuerzo en el terreno

OK

$\sigma < \sigma_{ts}$

CASO 3: Peso propio más sismo negativo, tiro y viento

Cargas actuantes:

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Pe | 1000 | kgf | Peso del equipo (vertical) |
| Ps | 150 | kgf | Peso del soporte (vertical) |
| Pm | 150 | kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |
| Tm | 100 | kgf | Tiro de cortocircuito (longitudinal) |
| Feh | 500 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (horizontal) |
| Fsh | 75 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (horizontal) |
| Fev | -300 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (vertical) |
| Fsv | -45 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (vertical) |
| Pb | 6146.4 | kgf | Peso de la base |
| Pg | 593.513 | kgf | Peso de la grava (en el área de la zapata) |
| Prc | 7172.13 | kgf | Peso del relleno compactado (en el área de la zapata) |

Carga vertical total:

V 14943.843 kgf $V = Pe + Ps + Pm + Pb + Pg + Prc + Fev + Fsv$

Momento de volteo:

| | | | |
|------|------|-------|---|
| H | 8.5 | m | Altura total. $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$ |
| Hcge | 6.85 | m | Altura del centro de gravedad del equipo |
| Hcgs | 3.95 | m | Altura del centro de gravedad del soporte |
| Mv | 4605 | kgf-m | $Mv = Tm * H + Feh * Hcge + Fsh * Hcgs$ |

Momento resistente al volteo:

Kp 2.663 Coeficiente de presiones empuje pasivo $K_p = T_g^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$

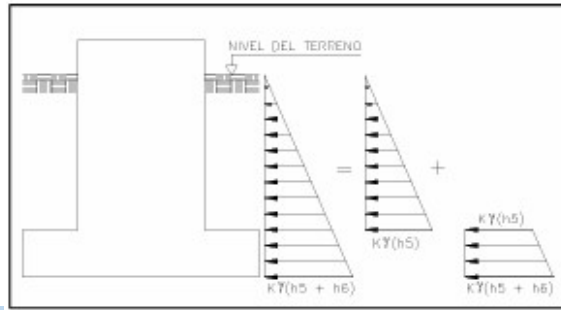
| | Empuje | Altura de aplicación | Momento |
|----------|----------|-----------------------|----------|
| Pedestal | 9629.723 | 1.1 | 10592.7 |
| Zapata | 4367.221 | 0.2 | 873.4443 |
| | | Me(momento de empuje) | 11466.14 |

Mrv 23794.810 kgf-m $Mrv = Me + V * (A/2)$

Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°)

Fsv 5.167 $Fsv = Mrv / Mv$

OK $F_s > 1.5$



Excentricidad:

Mv

(yy)'

2302.5

e

0.154 m

A/6

0.275 m

Mv (yy)' es un momento de volteo reducido al 50% para interruptor y seccionador. Para verificar volteo uso el 100% y cumple, pero para no sobredimensionar la zapata, la viga o losa de cimentación que estos equipos tienen debe tomar el otro 50%

Mv/V

Zapata cuadrada A=B

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

Para $e > A/6$

$$\sigma = \frac{V}{Az} + \frac{6 * V * e}{B * A^2}$$

En este caso

$e < A/6$

σ_t

0.87 kg/cm²

σ_{ts}

1.131 kg/cm²

σ

0.856 kg/cm²

σ

0.900 kg/cm²

Capacidad portante admisible del terreno en caso de sismo. $\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$

esfuerzo en el terreno

esfuerzo en el terreno

OK

$\sigma < \sigma_{ts}$

DISEÑO DE CONCRETO ARMADO POR CARGAS ÚLTIMAS

ZAPATA:

CM

15138.843

kgf

Carga muerta. CM=Pe+Ps+Pb+Pg+Prc

CV

150

kgf

Carga viva. CV=Pm

CS

345

kgf

Carga de sismo. CS=Fev+Fsv

U1

19456.053

kgf

Carga vertical última factorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2.

U1=1.25(CM+CV)+CS

Mvu

4818.750

kgf-m

Momento de volteo último factorado.

Mvu=1.25*Tm*H+Feh*Hcge+Fsh*Hcgs

Excentricidad:

Mvu'

2409.375

Mvu es un momento de volteo reducido al 50% para interruptor y seccionador. Para verificar volteo uso el 100% y cumple, pero para no sobredimensionar la zapata, la viga o losa de cimentación que estos

| | | | |
|-----|-------|---|---------------------------------------|
| e | 0.125 | m | equipos tienen debe tomar el otro 50% |
| A/6 | 0.275 | m | Mvu/U1 |
| | | | Zapata cuadrada A=B |

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

$$\sigma = \frac{V}{Az} + \frac{6 * V * e}{B * A^2}$$

Para $e > A/6$

$$\sigma = \frac{2 * V}{3 * \left(\frac{A}{2} - e\right) * B}$$

En este caso $e < A/6$

σ_t 0.87 kg/cm²

σ_{ts} 1.131 kg/cm² Capacidad portante admisible del terreno en caso de sismo.

$\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$

σ_{max} 1.036 kg/cm² esfuerzo en el terreno

σ_{max} 1.121 kg/cm² esfuerzo en el terreno

OK $\sigma < \sigma_{ts}$

Diseño por flexión en la dirección de mayor volado:

| | | | |
|----|-------|---|--|
| | 0.3 | m | Volado en X |
| | 0.3 | m | Volado en Y |
| Lv | 0.3 | m | Mayor volado |
| An | 1 | m | Análisis para 1m de ancho |
| | | | Tn- Momento último. |
| Mu | 0.466 | m | Mu = $\sigma_{max} * Lv * An * (Lv/2)$ |

Peralte

efectivo:

$$d = h_6 - (4 + 1.5 * \phi_v) \text{ cm}$$

1/2" 1.27 cm Diámetro de varillas a emplear

d 34.095 cm Peralte efectivo

Refuerzo por flexión:

$$A_s = M_u / [\phi * f_y * (d_{prom} - 0.5 * a)] \quad a' = A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$$

| | | |
|--------|--------|-----------------|
| a | 0.0509 | cm |
| ϕ | 0.9 | |
| A_s | 0.357 | cm ² |

a' 0.0509 cm

Refuerzo mínimo por contracción y temperatura:

| | | | |
|-------|-------|-----------------|---|
| Asmin | 11.88 | cm ² | Refuerzo por contracción y temperatura. |
| | | | Asmin = $0.0018 * B * h_6$ |

Refuerzo a emplear: El mayor entre As y Asmin

| | | | |
|------------|-------|-----------------|-------------------------------------|
| Asf | 11.88 | cm ² | Acero final por flexión |
| 1/2" | 0.5 | pulgada | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.27 | cm | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.27 | cm ² | Área de sección de la varilla |
| | 7 | cm ² | Recubrimiento mínimo para zapata |
| Asf arriba | 5.94 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| Asf abajo | 5.94 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| | 4.68 | und | Número de varillas |

En la zapata usar mallas arriba y debajo de 1/2"@30cm

Mu en cm. Entonces x kgf-m pasar a x*100 kgf-cm

b es la sección a analizar

dprom es el peralte efectivo promedio

φ factor de reducción de carga 0.9 RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1

Asumiendo un valor a inicial (0.2*d es un buen inicio) se calcula As y con este se calcula a'

Luego se modifica por iteración el valor de a hasta que a=a' y ese valor de As es el válido

Verificación por (Vu<Vc
cortante:

d 34.095 cm Peralte efectivo $d = h_c - (4 + 1.5 * \phi_v)$ cm

Vc 43207.601 kgf Resistencia del concreto al corte $V_c = 0.53 * b_w * d * (f_c)^{1/2}$
Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral

φ 0.85 9.3.2.1 para flexión sin carga axial

Vc 36726.461 kgf Resistencia del concreto al corte factorada

V Fuerza cortante última. Se da a una distancia 'd' de la cara del
u 1554.827 kgf pedestal $V_u = \sigma_{max} * b_w * [0.5 * (A - a) - d]$

Vc>Vu

OK

PEDESTAL:

CV 422 Carga muerta. CM=Tccl

CS 575 Carga sismo. CS=Feh+Fsh

CM 0 Carga muerta. Se toma 0 pues los pesos propios ya se consideraron en la zapata

U1 1102.5 kgf Carga vertical última vectorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2.

Mvu 4818.750 kgf-m U1=1.25(CM+CV)+CS
Momento de volteo último factorado. Se toma igual al Mvu de la zapata (no el Mu del volado). Calculando exacto es un poco menos

Peralte efectivo:

$$d = a - (4 + 1.5 * \phi_v) \text{ cm}$$

| | | | |
|------|--------|----|--|
| 5/8" | 1.59 | cm | Diámetro de varillas a emplear asumido |
| d | 73.615 | cm | Peralte efectivo |

Refuerzo por flexión:

$$A_s = M_u / [\phi * f_y * (d_{prom} - 0.5 * a)] \quad a' = A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$$

| | | |
|--------|--------|-----------------|
| a | 0.5074 | cm |
| ϕ | 0.9 | |
| A_s | 1.725 | cm ² |

| | | |
|----|--------|----|
| a' | 0.5074 | cm |
|----|--------|----|

| | | | |
|---------------------|-------|-----------------|------------------|
| A_s | 1.725 | cm ² | Para un lado |
| $A_{s\text{total}}$ | 6.90 | cm ² | Para los 4 lados |

Refuerzo mínimo en la sección del pedestal:

| | | | |
|-------------------|----|-----------------|--|
| $A_{s\text{min}}$ | 32 | cm ² | Refuerzo mínimo. $A_{s\text{min}} = 0.005 * a * b$ |
|-------------------|----|-----------------|--|

Refuerzo a emplear: El mayor entre A_s y $A_{s\text{min}}$

| | | | |
|----------|--------|-----------------|------------------------------------|
| A_{sf} | 32 | cm ² | Acero final por flexión |
| 5/8" | 0.625 | pulgada | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.59 | cm | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.9793 | cm ² | Área de sección de la varilla |
| | 4 | cm ² | Recubrimiento mínimo para pedestal |
| | 16.17 | und | Número de varillas |

En el pedestal usar 17 varillas en el contorno 5/8" @18cm en 3 caras y @14.5cm en la cara con una varilla adicional

M_u en cm. Entonces x kgf-m pasar a x*100 kgf-cm

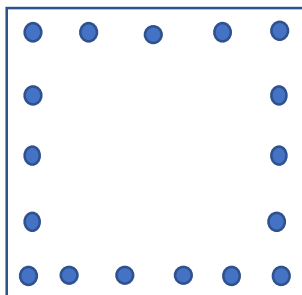
b es la sección a analizar

d_{prom} es el peralte efectivo promedio

ϕ factor de reducción de carga 0.9 RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1

Asumiendo un valor a inicial ($0.2 * d$ es un buen inicio) se calcula A_s y con este se calcula a'

Luego se modifica por iteración el valor de a hasta que $a = a'$ y ese valor de A_s es el válido



Verificación por

cortante: $(V_u < V_c)$

d 74.06035 cm

Peralte efectivo $d = a - (4 + 0.95 + 0.5 * \phi_v)$ cm

V_c 45505.225 kgf

Resistencia del concreto al corte $V_c = 0.53 * b_w * d * (f_c)^{1/2}$
Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral

ϕ 0.85

9.3.2.1 para flexión sin carga axial

V_c 38679.441 kgf

Resistencia del concreto al corte factorada

V_u 492.493 kgf

Fuerza cortante última. Se da a una distancia 'd' de la cara del pedestal $V_u = \sigma_{max} * b_w * (a - d)$

$V_c > V_u$

OK

Punzonamiento: Por lo ínfimo de las cargas se omite este cálculo. Sí se realiza para las bases de pórticos

Estribos:

So

12.72 cm

40 cm

10 cm

Separación entre los estribos en la longitud L_o

Se toma el menor valor entre:

8*diámetro de barra longitudinal confinada de menor diámetro

0.5*lado menor de la sección del pedestal

10cm

L_o

0.383 cm

80 cm

50 cm

Distancia desde la cara del nudo que requiere estribos con espaciamiento So

Se toma el mayor valor entre:

1/6 de la luz libre del elemento ($h_3 + h_4 + h_5$)

Lado mayor de la sección del pedestal

50cm

S1

19.08

80

30

Separación entre estribos más allá de la longitud L_o

Se toma el menor valor entre:

12*diámetro de barra longitudinal confinada de menor diámetro

Lado menor de la sección del pedestal

30cm

ϕ estribo 8mm

3/8"

1/2"

Estribo mínimo hasta 5/8" de barras longitudinales

Estribo mínimo sobre 5/8" y hasta 1" de barras longitudinales

Estribo mínimo encima de 1" de barras longitudinales

En el pedestal usar estribos de 3/8". Desde el nudo superior 8@10cm (1ra varilla en 10cm), luego @20cm. En el interior de la zapata usar 1@10cm

DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE

N_p 4 und

Número de pernos de anclaje

d_p 50 cm

Distancia entre pernos

ϕ_p 1.91 cm

Diámetro de perno

| | | | |
|---|------------------|--------------------|---|
| hef | 25.5 | cm | Longitud de anclaje |
| Fu | 4080 | kg/cm ² | Esfuerzo último de los pernos (ASTM A-36) |
| Cmin | 15 | cm | Distancia mínima del eje del perno al borde del pedestal |
| Ap | 2.865 | cm ² | Área de la sección del perno de anclaje |
| Mu | 5228.25 | kgf-m | Momento último de volteo. Mu=1.25*Tcc*(h1+h2)+Feh*hcg2+Fsh*hcg1 |
| Pu | 1970 | kgf | Carga vertical última factorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2. U1=1.25(CM+CV)+CS |
| T2p | 9812.375 | kgf | Para 2 pernos. Basado en el ejemplo donde Mu=2455.72, Pu=310.2 y T=4015.32 (para un perno) y 8030,64 (para dos pernos) |
| T1p | 4906.1875 | kgf | Aproximo T=1.5*Mu+Pu Para 1 perno |
| Verificación de un anclaje en tracción: | | | |
| Rn | 8767.546 | kgf | Resistencia nominal del perno a tracción |
| φ | 0.75 | | $R_n = 0.75 * F_u * A_p$ |
| Ru | 6575.66 | | |
| | Ru>T1p | | OK |

Verificación por arrancamiento de un anclaje en tracción:

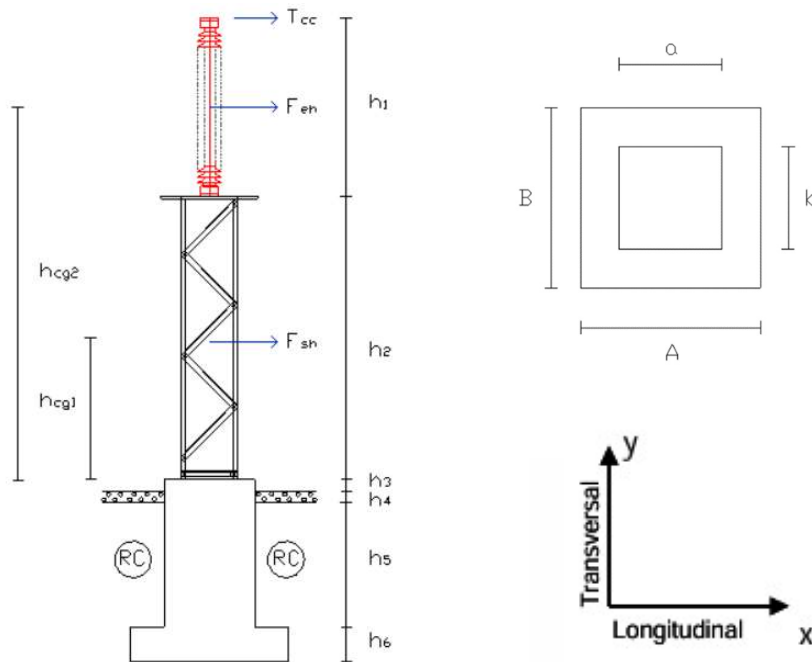
$$Ncbg = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} * \omega_{ec.N} * \omega_{ed.N} * \omega_{c.N} * \omega_{cp.N} * Nb$$

| | | | |
|-------|------------------|-----------------|--|
| Nb | 18660.356 | kgf | Nb=kc*fc^0.5*hef^1.5, kc=10 para anclajes preinstalados |
| Anco | 5852.25 | cm ² | Area proyectada de la superficie de falla para un solo anclaje ideal. Anco=9*(hef^2) |
| Anc | 6400 | cm ² | Área de la sección del pedestal. Anc=a*b |
| ωec.N | 1 | | Factor de modificación para cargas excéntricas |
| ωed.N | 0.82 | | Factor de modificación para efectos de borde |
| ωc.N | 1.25 | | Factor de modificación para anclajes preinstalados |
| ωcp.N | 1 | | Anclajes post-instalados para concreto no fisurado |
| Ncbg | 20917.072 | | |
| φ | 0.7 | | |
| Un | 14641.950 | | Resistencia última del grupo de anclajes. Un=Ncbg*φ |
| | Un>T2p | | OK |

3. PEDESTALES INDIVIDUALES (TT/TC/AS/PR)

Calculado para el equipo más alto y más pesado a la vez, con mayor tensión en condición de eds y mayor tensión de cortocircuito. Lo resaltado en azul son datos, lo resaltado en amarillo es calculado, y sin resaltar es dato o cálculo jalado de una parte anterior.

GEOMETRÍA



Alturas:

| | | | |
|------|------|---|---|
| h1 | 2 | m | Altura del equipo |
| h2 | 2.5 | m | Altura del soporte |
| h3 | 0.1 | m | Altura sobre la grava |
| h4 | 0.15 | m | Altura de la grava |
| h5 | 2.1 | m | Altura del relleno compactado |
| h6 | 0.4 | m | Altura de la zapata |
| hcg1 | 1.25 | m | Altura del centro de gravedad del soporte desde el pedestal |
| hcg2 | 3.5 | m | Altura del centro de gravedad del equipo desde el pedestal |
| hs | 0.05 | m | Altura del solado |

Dimensiones de la zapata:

| | | | |
|----|------|----------------|----------------------------|
| A | 1.65 | m | Lado 1 de la base |
| B | 1.65 | m | Lado 2 de la base |
| a | 0.8 | m | Lado 1 del pedestal |
| b | 0.8 | m | Lado 2 del pedestal |
| Az | 2.25 | m ² | Área de la zapata $Az=A*B$ |

MATERIALES:

Concreto:

| | | | |
|----------|------|--------------------|--------------------------|
| f_c | 210 | kg/cm ² | Resistencia a compresión |
| P_{Uc} | 2400 | kg/m ³ | P.U. concreto armado |

Acero estructural:

| | | | |
|----------|------|--------------------|-----------------------------|
| f_y | 4200 | kg/cm ² | Esfuerzo mínimo de fluencia |
| P_{Ua} | 7850 | kg/m ³ | Peso unitario |

Grava:

| | | | |
|----------|------|-------------------|---------------|
| P_{Ug} | 1900 | kg/m ³ | Peso unitario |
|----------|------|-------------------|---------------|

Relleno compactado:

| | | | |
|----------|------|-------------------|---------------|
| P_{Ur} | 1640 | kg/m ³ | Peso unitario |
|----------|------|-------------------|---------------|

PARÁMETROS DEL ESTUDIO DE SUELOS:

| | | | |
|------------|------|--------------------|--|
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² | Capacidad portante admisible del terreno |
| D_f | 2.5 | m | Profundidad de cimentación |
| ϕ | 6.14 | ° | Ángulo de fricción interno |

RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS DE LAS VARILLAS DE ACERO:

| | | |
|---|----|----------------------|
| 4 | cm | Elementos en general |
| 7 | cm | Base de cimentación |

ACELERACIÓN SÍSMICA:

| | | | |
|-------|-----|---|--------------------------------|
| A_h | 0.5 | g | Aceleración sísmica horizontal |
| A_v | 0.3 | g | Aceleración sísmica vertical |

CARGAS:

Cargas actuantes verticales:

| | | | |
|-------|-----|-----|---|
| P_e | 500 | kgf | Peso total del equipo incluido conectores |
| P_s | 150 | kgf | Peso del soporte metálico |
| P_m | 150 | kgf | Peso del personal de montaje |

Cargas actuantes horizontales:

| | | | |
|-----------|--------|-----|-------------------------------------|
| T_{ecl} | 200 | kgf | Tiro de cortocircuito longitudinal |
| T_{ect} | 11.35 | kgf | Tiro de cortocircuito transversal |
| T_m | 100 | kgf | Tiro en codición de máximo esfuerzo |
| P_{vs} | 39.079 | kgf | Fuerza del viento en el soporte |
| P_{ve} | 31.263 | kgf | Fuerza del viento en el equipo |

Cálculo de la fuerza del viento:

$$P_v = K * V_{vi}^2 * S_f * A \text{ [Newtons]} \quad P_v = K * V_{vi}^2 * S_f * A * 0.102 \text{ [kgf]}$$

| | | |
|-----------------|----------------|---|
| K | 0.613 | constante de presión |
| V _{vi} | 25 m/s | velocidad del viento |
| S _f | 3.2 | Factor de forma en celosía (soporte) |
| S _f | 1 | Factor de forma en superficies cilíndricas (equipo) |
| A | m ² | área proyectada |

Área proyectada en el soporte metálico:

| | |
|----------------------|---------------------------|
| 0.5 m | Lado |
| 2.5 m | Altura |
| 0.25 | Fracción ocupada del área |
| 0.313 m ² | Área proyectada |

Área proyectada en el equipo:

| | |
|----------------------|-----------------|
| | Diámetro |
| 0.4 m | promedio |
| 2 m | Altura |
| 0.800 m ² | Área proyectada |

CONTENIDO DEL ANÁLISIS:

Se analizará:

Las presiones en el terreno

Estabilidad al volteo

Diseño del concreto armado

Casos de carga:

CASO

1: Peso propio sin sismo y con tiro cortocircuito

Cargas verticales: Peso propio

Cargas horizontales: Tiro por cortocircuito

CASO

2: Peso propio más sismo positivo, tiro EDS y viento

Cargas verticales: Sismo positivo (hacia abajo) + peso propio

Cargas horizontales: Sismo o viento (el mayor) + tiro EDS

CASO

3: Peso propio más sismo negativo, tiro EDS y viento

Cargas verticales: Sismo negativo (hacia arriba) + peso propio

Cargas horizontales: Sismo o viento (el mayor) + tiro EDS

CASO 1: Peso propio sin sismo y con tiro cortocircuito

Cargas actuantes:

| | | | |
|------|---------|-----|---|
| Pe | 500 | kgf | Peso del equipo (vertical) |
| Ps | 150 | kgf | Peso del soporte (vertical) |
| Pm | 150 | kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |
| Tccl | 200 | kgf | Tiro de cortocircuito (longitudinal) |
| Tcct | 11.35 | kgf | Tiro de cortocircuito (transversal) |
| Pb | 6156.4 | kgf | Peso de la base |
| Pg | 593.513 | kgf | Peso de la grava (en el área de la zapata) |
| Prc | 7172.13 | kgf | Peso del relleno compactado (en el área de la zapata) |

Carga vertical total:

V 14788.843 kgf $V=Pe+Ps+Pm+Pb+Pg+Prc$

Momento de volteo sin sismo:

H 7.2 m Altura total. $H=h1+h2+h3+h4+h5+h6$

Mv (xx) 82.288 m kgf-

Mv (yy) 1450 m kgf-

Momento resistente al volteo:

Mrv (xx) 12200.80 $Mrv(xx)=V*(B/2)$

Mrv (yy) 12200.80 $Mrv(yy)=V*(A/2)$

Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°)

Fsv (xx) 148.270 $Fsv(xx)=Mrv(xx)/Mv(xx)$

Fsv (yy) 8.414 $Fsv(yy)=Mrv(yy)/Mv(yy)$

OK $F_s > 1.5$

OK $F_s > 1.5$

Excentricidad:

e 0.098 m $Mv(yy)/V$

A/6 0.275 m Zapata cuadrada $A=B$

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

Para $e > A/6$

$$\sigma = \frac{V}{Az} + \frac{6 * V * e}{B * A^2} \quad \sigma = \frac{2 * V}{3 * \left(\frac{A}{2} - e\right) * B}$$

En este caso $e < A/6$ 0.548602

σ_t 0.87 kg/cm2 0.548602

σ 0.737 kg/cm2 esfuerzo en el terreno para

σ 0.822 kg/cm2 $e < A/6$

σ 0.822 kg/cm2 esfuerzo en el terreno para

σ 0.822 kg/cm2 $e > A/6$

OK $\sigma < \sigma_t$

CASO

2: Peso propio más sismo positivo, tiro EDS y viento

Cargas actuantes:

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Pe | 500 | kgf | Peso del equipo (vertical) |
| Ps | 150 | kgf | Peso del soporte (vertical) |
| Pm | 150 | kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |
| Tm | 100 | kgf | Tiro EDS |
| Feh | 250 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (horizontal) |
| Fsh | 75 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (horizontal) |
| Fev | 150 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (vertical) |
| Fsv | 45 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (vertical) |
| Pb | 6146.4 | kgf | Peso de la base |
| Pg | 593.513 | kgf | Peso de la grava (en el área de la zapata) |
| Prc | 7172.13 | kgf | Peso del relleno compactado (en el área de la zapata) |

Carga vertical total:

| | | | |
|---|-----------|-----|--|
| V | 14983.843 | kgf | $V = Pe + Ps + Pm + Pb + Pg + Prc + Fev + Fsv$ |
|---|-----------|-----|--|

Momento de volteo:

| | | | |
|------|--------|-------|---|
| H | 7.2 | m | Altura total. $H = h1 + h2 + h3 + h4 + h5 + h6$ |
| Hcge | 6.25 | m | Altura del centro de gravedad del equipo |
| Hcgs | 4 | m | Altura del centro de gravedad del soporte |
| Mv | 2587.5 | kgf-m | $Mv = Tm * H + Feh * Hcge + Fsh * Hcgs$ |

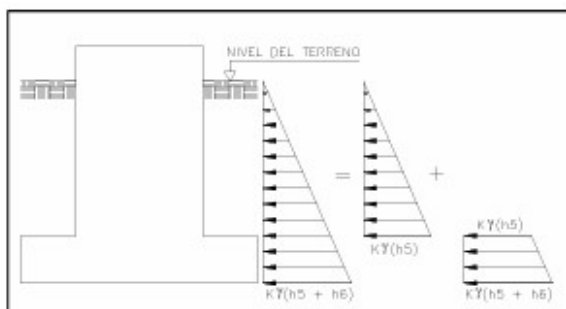
Momento resistente al volteo:

| | | | | |
|----------|-----------|---|------------------------|--|
| Kp | 2.663 | Coeficiente de presiones. $K_p = T_g^2 (45 + \frac{\phi}{2})$ | | |
| | Empuje | Altura de aplicación | Momento | |
| Pedestal | 9629.723 | 1.1 | 10592.7 | |
| Zapata | 4367.221 | 0.2 | 873.4443 | |
| | | Me | 11466.14 | |
| Mrv | 23601.234 | kgf-m | $Mrv = Me + V * (A/2)$ | |

Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°)

| | | |
|-----|-------|------------------|
| Fsv | 9.209 | $Fsv = Mrv / Mv$ |
|-----|-------|------------------|

OK **Fs > 1.5**



Excentricidad:

| | | | |
|-----|-------|---|---------------------|
| e | 0.174 | m | Mv/V |
| A/6 | 0.275 | m | Zapata cuadrada A=B |

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

$$\sigma = \frac{V}{A_z} + \frac{6 * V * e}{B * A^2} \quad \sigma = \frac{2 * V}{3 * \left(\frac{A}{2} - e\right) * B}$$

En este caso

$e < A/6$

| | | | |
|---------------|-------|--------------------|---|
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² | Capacidad portante admisible del terreno |
| σ_{ts} | 1.131 | kg/cm ² | Capacidad portante admisible del terreno en caso de sismo. $\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$ |
| σ | 0.883 | kg/cm ² | esfuerzo en el terreno |
| σ | 0.928 | kg/cm ² | esfuerzo en el terreno |

OK $\sigma < \sigma_{ts}$

CASO

3: Peso propio más sismo negativo, tiro y viento

Cargas actuantes:

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Pe | 500 | kgf | Peso del equipo (vertical) |
| Ps | 150 | kgf | Peso del soporte (vertical) |
| Pm | 150 | kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |
| Tm | 100 | kgf | Tiro de cortocircuito (longitudinal) |
| Feh | 250 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (horizontal) |
| Fsh | 75 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (horizontal) |
| Fev | -150 | kgf | Fuerza sísmica del equipo (vertical) |
| Fsv | -45 | kgf | Fuerza sísmica del soporte (vertical) |
| Pb | 6146.4 | kgf | Peso de la base |
| Pg | 593.513 | kgf | Peso de la grava (en el área de la zapata) |
| Prc | 7172.13 | kgf | Peso del relleno compactado (en el área de la zapata) |

Carga vertical total:

| | | | |
|---|-----------|-----|--|
| V | 14593.843 | kgf | $V = Pe + Ps + Pm + Pb + Pg + Prc + Fev + Fsv$ |
|---|-----------|-----|--|

Momento de volteo:

| | | | |
|------|------|-------|---|
| H | 8.5 | m | Altura total. $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$ |
| Hcge | 6.85 | m | Altura del centro de gravedad del equipo |
| Hcgs | 3.95 | m | Altura del centro de gravedad del soporte |
| Mv | 2880 | kgf-m | $Mv = Tm * H + Feh * Hcge + Fsh * Hcgs$ |

Momento resistente al volteo:

| | | | |
|----|-------|--|--|
| Kp | 2.663 | $K_p = T_g^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$ | |
|----|-------|--|--|

| | Empuje | Altura de aplicación | Momento |
|----------|----------|----------------------|----------|
| Pedestal | 9629.723 | 1.1 | 10592.7 |
| Zapata | 4367.221 | 0.2 | 873.4443 |

| | | | |
|-----|-----------|-------|----------------|
| | | Me | 11466.14 |
| Mrv | 23279.484 | kgf-m | Mrv=Me+V*(A/2) |

Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°)

| | | |
|-----|-------|------------|
| Fsv | 8.162 | Fsv=Mrv/Mv |
|-----|-------|------------|

OK $F_s > 1.5$

Excentricidad:

| | | | |
|-----|-------|---|---------------------|
| e | 0.200 | m | Mv/V |
| A/6 | 0.275 | m | Zapata cuadrada A=B |

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

$$\sigma = \frac{V}{Az} + \frac{6 * V * e}{B * A^2}$$

Para $e > A/6$

$$\sigma = \frac{2 * V}{3 * \left(\frac{A}{2} - e\right) * B}$$

En este caso

$$e < A/6$$

| | | |
|------------|------|--------------------|
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² |
|------------|------|--------------------|

| | | |
|---------------|-------|--------------------|
| σ_{ts} | 1.131 | kg/cm ² |
|---------------|-------|--------------------|

| | | |
|----------|-------|--------------------|
| σ | 0.921 | kg/cm ² |
|----------|-------|--------------------|

| | | |
|----------|-------|--------------------|
| σ | 0.939 | kg/cm ² |
|----------|-------|--------------------|

OK $\sigma < \sigma_{ts}$

Capacidad portante admisible del terreno en caso de

sismo. $\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$

esfuerzo en el terreno

esfuerzo en el terreno

DISEÑO DE CONCRETO ARMADO POR CARGAS ÚLTIMAS

ZAPATA:

| | | | |
|----|-----------|-----|----------------------------------|
| CM | 15138.843 | kgf | Carga muerta. CM=Pe+Ps+Pb+Pg+Prc |
|----|-----------|-----|----------------------------------|

| | | | |
|----|-----|-----|-------------------|
| CV | 150 | kgf | Carga viva. CV=Pm |
|----|-----|-----|-------------------|

| | | | |
|----|-----|-----|----------------------------|
| CS | 345 | kgf | Carga de sismo. CS=Fev+Fsv |
|----|-----|-----|----------------------------|

| | | | |
|----|-----------|-----|--|
| U1 | 19456.053 | kgf | Carga vertical última factorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2. U1=1.25(CM+CV)+CS |
|----|-----------|-----|--|

| | | | |
|-----|----------|-------|--|
| Mvu | 3093.750 | kgf-m | Momento de volteo último factorado. Mvu=1.25*Tm*H+Feh*Hcge+Fsh*Hcgs |
|-----|----------|-------|--|

Excentricidad:

| | | | |
|-----|-------|---|---------------------|
| e | 0.159 | m | Mvu/U1 |
| A/6 | 0.275 | m | Zapata cuadrada A=B |

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

Para $e < A/6$

$$\sigma = \frac{V}{Az} + \frac{6 * V * e}{B * A^2}$$

Para $e > A/6$

$$\sigma = \frac{2 * V}{3 * \left(\frac{A}{2} - e\right) * B}$$

| | | |
|----------------|------------------------|--------------------|
| En este caso | $e < A/6$ | |
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² |
| σ_{ts} | 1.131 | kg/cm ² |
| σ_{max} | 1.128 | kg/cm ² |
| σ_{max} | 1.162 | kg/cm ² |
| OK | $\sigma > \sigma_{ts}$ | |

Capacidad portante admisible del terreno en caso de sismo.
 $\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$
 esfuerzo en el terreno
 esfuerzo en el terreno

Diseño por flexión en la dirección de mayor volado:

| | | | |
|-------|-------|------|--|
| | 0.3 | m | Volado en X |
| | 0.3 | m | Volado en Y |
| L_v | 0.3 | m | Mayor volado |
| A_n | 1 | m | Análisis para 1m de ancho |
| M_u | 0.508 | Tn-m | Momento último. $M_u = \sigma_{max} * L_v * A_n * (L_v/2)$ |

Peralte efectivo:

| | | |
|------|-----------------------------------|----|
| | $d = h_c - (4 + 1.5 * \phi_v)$ cm | |
| 1/2" | 1.27 | cm |
| d | 34.095 | cm |

Diámetro de varillas a emplear asumido
 Peralte efectivo

Refuerzo por flexión:

$$A_s = M_u / [\phi * f_y * (d_{prom} - 0.5 * a)] \quad a' = A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$$

| | | |
|--------|--------|-----------------|
| a | 0.0554 | cm |
| ϕ | 0.9 | |
| A_s | 0.389 | cm ² |
| a' | 0.0554 | cm |

Refuerzo mínimo por contracción y temperatura:

| | | | |
|------------|-------|-----------------|---|
| A_{smin} | 11.88 | cm ² | Refuerzo por contracción y temperatura. $A_{smin} = 0.0018 * B * h_6$ |
|------------|-------|-----------------|---|

Refuerzo a emplear: El mayor entre A_s y A_{smin}

| | | | |
|-----------------|-------|-----------------|-------------------------------------|
| A_{sf} | 11.88 | cm ² | Acero final por flexión |
| 1/2" | 0.5 | pulgada | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.27 | cm | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.27 | cm ² | Área de sección de la varilla |
| | 7 | cm ² | Recubrimiento mínimo para zapata |
| A_{sf} arriba | 5.94 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| A_{sf} abajo | 5.94 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| | 4.68 | und | Número de varillas |

En la zapata usar mallas arriba y debajo de 1/2"@30cm

M_u en cm. Entonces x kgf-m pasar a x*100 kgf-cm

b es la sección a analizar

dprom es el peralte efectivo promedio

ϕ factor de reducción de carga 0.9 RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1

Asumiendo un valor a inicial ($0.2 \cdot d$ es un buen inicio) se calcula A_s y con este se calcula a'

Luego se modifica por iteración el valor de a hasta que $a=a'$ y ese valor de A_s es el válido

Verificación por cortante: ($V_u < V_c$)

d 34.095 cm Peralte efectivo $d = h_c - (4 + 1.5 \cdot \phi_v)$ cm

V_c 43207.601 kgf Resistencia del concreto al corte $V_c = 0.53 \cdot b_w \cdot d \cdot (f'_c)^{1/2}$
Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial

ϕ 0.85
 V_c 36726.461 kgf Resistencia del concreto al corte factorada

V 1636.948 kgf Fuerza cortante última. Se da a una distancia 'd' de la cara del pedestal $V_u = \sigma_{max} \cdot b_w \cdot [0.5 \cdot (A - a) - d]$

$V_c > V_u$

OK

PEDESTAL:

CV 200 Carga muerta. $CM = T_{ccl}$

CS 325 Carga sismo. $CS = F_{eh} + F_{sh}$

CM 0 Carga muerta. Se toma 0 pues los pesos propios ya se consideraron en la zapata

U1 575 kgf Carga vertical última vectorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2.
 $U1 = 1.25(CM + CV) + CS$

Mvu 3093.250 kgf-m Momento de volteo último factorado. Se toma igual al Mvu de la zapata (no el Mu del volado). Calculando exacto es un poco menos

Peralte efectivo:

$$d = a - (4 + 1.5 \cdot \phi_v) \text{ cm}$$

5/8" 1.59 cm Diámetro de varillas a emplear asumido

d 73.615 cm Peralte efectivo

Refuerzo por flexión:

$$A_s = M_u / [\phi \cdot f_y \cdot (d_{prom} - 0.5 \cdot a)] \quad a' = A_s \cdot f_y / (0.85 \cdot f'_c \cdot b)$$

a 0.3253 cm

ϕ 0.9

A_s 1.106 cm²

a' 0.3253 cm

As 1.106 cm² Para un lado
Astotal 4.42 cm² Para los 4 lados

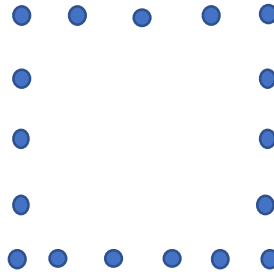
Refuerzo mínimo en la sección del pedestal:

Asmin 32 cm² Refuerzo mínimo. Asmin=0.005*a*b

Refuerzo a emplear: El mayor entre As y Asmin

Asf 32 cm² Acero final por flexión
5/8" 0.625 pulgada Diámetro de la varilla de refuerzo
1.59 cm Diámetro de la varilla de refuerzo
1.9793 cm² Área de sección de la varilla
4 cm² Recubrimiento mínimo para pedestal
16.17 und Número de varillas

En el pedestal usar 17 varillas en el contorno 5/8"@18cm en 3 caras y @14.5cm en la cara con una varilla adicional



Verificación por cortante: ($V_u < V_c$)

d 74.060 cm Peralte efectivo $d = h_6 - (4 + 1.5 * \phi_v)$ cm

V_c 45505.225 kgf Resistencia del concreto al corte $V_c = 0.53 * b_w * d * (f_c)^{1/2}$
Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial

ϕ 0.85
 V_c 38679.441 kgf Resistencia del concreto al corte factorada

V Fuerza cortante última. Se da a una distancia 'd' de la cara del pedestal
u 535.929 kgf $V_u = \sigma_{max} * b_w * [0.5 * (A - a) - d]$

$V_c > V_u$

OK

Punzonamiento: Por lo ínfimo de las cargas se omite este cálculo. Sí se realiza para las bases de pórticos

Estribos

:

So Separación entre los estribos en la longitud L_o
Se toma el menor valor entre:

| | | | |
|----------------|-------|---|---|
| | 12.72 | c | 8*diámetro de barra longitudinal confinada de menor diámetro |
| | 40 | c | 0.5*lado menor de la sección del pedestal |
| | 10 | c | 10cm |
| Lo | | m | Distancia desde la cara del nudo que requiere estribos con espaciamento So Se toma el mayor valor entre: |
| | 0.383 | c | 1/6 de la luz libre del elemento ($h_3+h_4+h_5$) |
| | 80 | c | Lado mayor de la sección del pedestal |
| | 50 | c | 50cm |
| S1 | | m | Separación entre estribos más allá de la longitud Lo Se toma el menor valor entre: |
| | 19.08 | c | 12*diámetro de barra longitudinal confinada de menor diámetro |
| | 80 | c | Lado menor de la sección del pedestal |
| | 30 | c | 30cm |
| ϕ estribo | 8mm | | Estribo mínimo hasta 5/8" de barras longitudinales |
| | 3/8" | | Estribo mínimo sobre 5/8" y hasta 1" de barras longitudinales |
| | 1/2" | | Estribo mínimo encima de 1" de barras longitudinales |

En el pedestal usar estribos de 3/8". Desde el nudo superior 8@10cm (1ra varilla en 10cm), luego @20cm. En el interior de la zapata usar 1@10cm

DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE

| | | | |
|---|-----------|--------------------|--|
| Np | 4 | und | Número de pernos de anclaje |
| dp | 50 | cm | Distancia entre pernos |
| ϕ p | 1.91 | cm | Diámetro de perno |
| hef | 25.5 | cm | Longitud de anclaje |
| Fu | 4080 | kg/cm ² | Esfuerzo último de los pernos (ASTM A-36) |
| Cmin | 15 | cm | Distancia mínima del eje del perno al borde del pedestal |
| Ap | 2.865 | cm ² | Área de la sección del perno de anclaje |
| Mu | 2581.25 | kgf-m | Momento último de volteo. $Mu = 1.25 * Tcc * (h_1 + h_2) + Feh * hcg_2 + Fsh * hcg_1$ |
| Pu | 1970 | kgf | Carga vertical última factorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2. $U_1 = 1.25(CM + CV) + CS$ |
| T2p | 5841.875 | kgf | Para 2 pernos. Basado en el ejemplo donde $Mu = 2455.72$, $Pu = 310.2$ y $T = 4015.32$ (para un perno) y 8030,64 (para dos pernos) |
| T1p | 2920.9375 | kgf | Aproximo $T = 1.5 * Mu + Pu$ Para 1 perno |
| Verificación de un anclaje en tracción: | | | |
| Rn | 8767.546 | kgf | Resistencia nominal del perno a tracción |

| | | | |
|--------|----------------------------------|--------------------------|-----------|
| ϕ | 0.75 | $R_n = 0.75 * F_u * A_p$ | |
| R_u | 6575.66 | | |
| | $R_u > T1p$ | | OK |

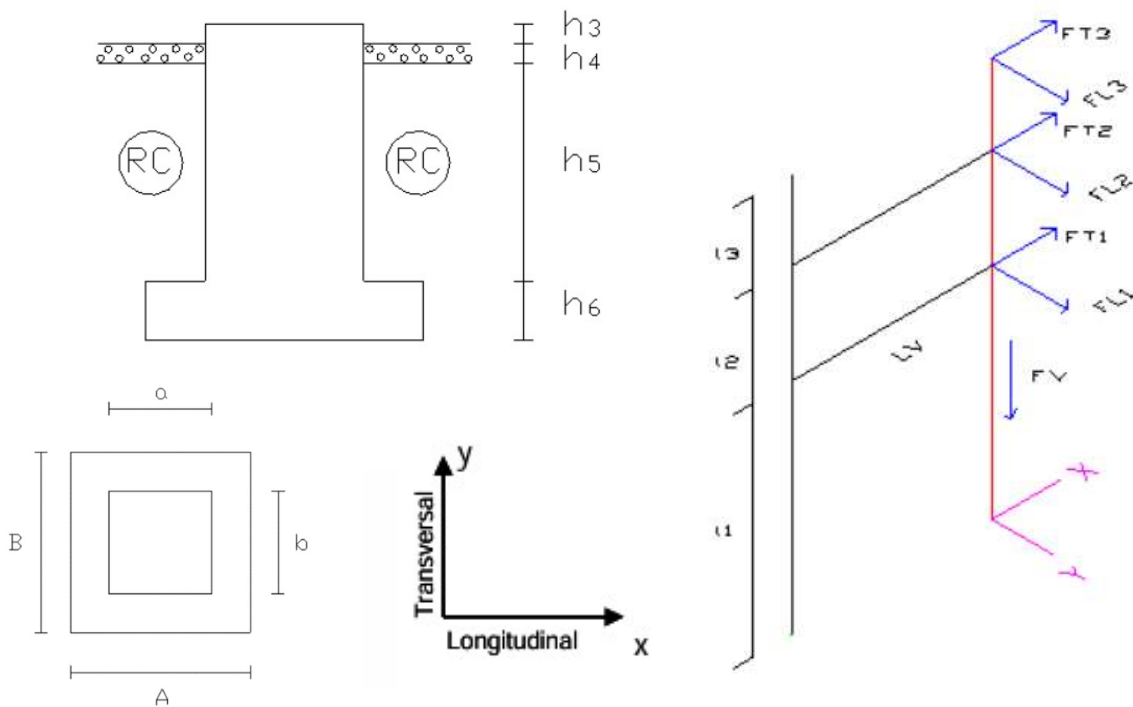
Verificación por arrancamiento de un anclaje en tracción:

$$Ncbg = \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} * \omega_{ec.N} * \omega_{ed.N} * \omega_{c.N} * \omega_{cp.N} * Nb$$

| | | | |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|---|
| Nb | 18660.356 | kgf | $Nb = k_c * f'_c * h_{ef}^{1.5}$ |
| Anco | 5852.25 | cm ² | Area proyectada de la superficie de falla para un solo anclaje ideal. $Anco = 9 * (h_{ef}^2)$ |
| Anc | 6400 | cm ² | Área de la sección del pedestal. $Anc = a * b$ |
| $\omega_{ec.N}$ | 1 | | Factor de modificación para cargas excéntricas |
| $\omega_{ed.N}$ | 0.82 | | Factor de modificación para efectos de borde |
| $\omega_{c.N}$ | 1.25 | | Factor de modificación para anclajes preinstalados |
| $\omega_{cp.N}$ | 1 | | Anclajes post-instalados para concreto no fisurado |
| Ncbg | 20917.072 | | |
| ϕ | 0.7 | | |
| Un | 14641.950 | | Resistencia última del grupo de anclajes. $Un = Ncbg * \phi$ |
| | $Un > T2p$ | | OK |

4. BASE DE PÓRTICO

Geometría



Alturas:

| | | | |
|----------|------|---|---|
| L1+L2+L3 | 10 | m | Altura de la base a la punta |
| L1+L2 | 8 | m | Altura de la base al eje de la viga transversal |
| h3 | 0.1 | m | Altura sobre la grava |
| h4 | 0.15 | m | Altura de la grava |
| h5 | 1.5 | m | Altura del relleno compactado |
| h6 | 0.4 | m | Altura de la zapata |
| hs | 0.1 | m | Altura del solado |
| LV | 5 | m | Longitud de la viga transversal |

Dimensiones de la zapata:

| | | | | |
|----|------|----------------|---------------------|------------------|
| A | 2.3 | m | Lado 1 de la base | |
| B | 2.3 | m | Lado 2 de la base | |
| a | 1.4 | m | Lado 1 del pedestal | |
| b | 1.4 | m | Lado 2 del pedestal | |
| Az | 5.29 | m ² | Área de la zapata | $Az = A \cdot B$ |

MATERIALES:

Concreto:

| | | | |
|-----------------|------|--------------------|--------------------------|
| f _c | 210 | kg/cm ² | Resistencia a compresión |
| P _{Uc} | 2400 | kg/m ³ | P.U. concreto armado |

Acero estructural:

| | | | |
|-----------------|------|--------------------|-----------------------------|
| f _y | 4200 | kg/cm ² | Esfuerzo mínimo de fluencia |
| P _{Ua} | 7850 | kg/m ³ | Peso unitario |

Grava:

| | | | |
|-----------------|------|-------------------|---------------|
| P _{Ug} | 1900 | kg/m ³ | Peso unitario |
|-----------------|------|-------------------|---------------|

Relleno compactado:

| | | | |
|-----------------|------|-------------------|---------------|
| P _{Ur} | 1640 | kg/m ³ | Peso unitario |
|-----------------|------|-------------------|---------------|

PARÁMETROS DEL ESTUDIO DE SUELOS:

| | | | |
|----------------|------|--------------------|--|
| σ _t | 1.5 | kg/cm ² | Capacidad portante admisible del terreno |
| D _f | 1.85 | m | Profundidad de cimentación |
| φ | 27 | ° | Ángulo de fricción interno |

RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS DE LAS VARILLAS DE ACERO:

| | | |
|---|----|----------------------|
| 4 | cm | Elementos en general |
| 7 | cm | Base de cimentación |

ACELERACIÓN SÍSMICA:

| | | | |
|----------------|-----|---|--------------------------------|
| A _h | 0.5 | g | Aceleración sísmica horizontal |
|----------------|-----|---|--------------------------------|

Av 0.3 g Aceleración sísmica vertical

CARGAS

:

Cargas actuantes longitudinales

(Fl):

| | | | | | |
|-----|-----|-----|----------|-----|---|
| Fl1 | 500 | kgf | L1 | 5.5 | m |
| Fl2 | 500 | kgf | L1+L2 | 8 | m |
| Fl3 | 0 | kgf | L1+L2+L3 | 10 | m |

Cargas actuantes transversales (Ft):

| | | | | | |
|-----|-----|-----|----------|-----|---|
| Ft1 | 400 | kgf | L1 | 5.5 | m |
| Ft2 | 400 | kgf | L1+L2 | 8 | m |
| Ft3 | 0 | kgf | L1+L2+L3 | 10 | m |

Cargas actuantes verticales (Fv):

Fv 2500 kgf

Pest 100 kgf/m

Ratio de peso total por metro de parte vertical u horizontal de pórtico

Momentos resultantes:

MDC(xx) 6750 kgf-m

MDC(yy) 5400 kgf-m

Fl1 y Fl2 son por tiro de cables. Fl1 solo del seccionador a la barra. Fl2 no hay pero por si se llega a poner. Igualmente Ft1 es solo el esfuerzo normal de la viga transversal. Ft2 menor pero igualo por si se coloca algún equipo en esta segunda viga. No hay Fl3 ni Ft3 pues no hay cable de guarda. Fv es peso propio más equipos encima. Este pórtico es solo para apoyar el seccionador arriba del aislador soporte + pararrayos y conectar a la barra 22,9 kV. Tiene pocos esfuerzos pero aún si estos crecen significativamente las dimensiones se mantienen y el acero de refuerzo en zapata y pedestal están claramente dominados por la cuantía mínima.

CONTENIDO DEL ANÁLISIS:

Se analizarán:

Las presiones en el terreno

Estabilidad al volteo

Casos de carga:

CASO 1:

Cargas estáticas

Cargas verticales: Peso propio + Fv

Cargas horizontales: Ninguna

CASO 2:

Cargas verticales: Sismo negativo (hacia arriba) + peso propio + Fv

Cargas horizontales: Sismo o viento (el mayor) + (Fl o Ft)

CASO 3:

Cargas verticales: Sismo positivo (hacia abajo) + peso propio + Fv

Cargas horizontales: Sismo o viento (el mayor) + (Fl o Ft)

Luego se realizará el diseño del concreto armado

CASO

1: Cargas estáticas

Cargas actuantes:

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Pc | 1000 | kgf | Peso de la columna metálica. $Pc=Hl3*Pest$ |
| Pv | 500 | kgf | Peso de la viga transversal (vertical). $Pv=Pest*L$. Como si este apoyo soportara toda la viga |
| Pm | 150 | kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |
| Fv | 2500 | kgf | Cargas verticales totales |
| Pb | 18403.2 | kgf | Peso de la base. $Pb=PUc*[a*b*(h3+h4+h5)+A*B*h6]$ |
| Pg | 2154.6 | kgf | Peso de la grava. $Pg=PUg*h4*(A*B-a*b)$ |
| Prc | 24796.8 | kgf | Peso del relleno compactado. $Prc=PUr*h5*(A*B-a*b)$ |

Carga vertical total:

| | | | |
|---|---------|-----|------------------------|
| V | 49677.4 | kgf | $V=Pc+Pv+Fv+Pb+Pg+Prc$ |
|---|---------|-----|------------------------|

Momento de volteo sin sismo:

| | | | |
|------|---|-------|---|
| Mv | | | Por las dimensiones de la zapata se desprecian los momentos |
| (xx) | 0 | kgf-m | estáticos de cables y viga transversal |
| Mv | | | Por las dimensiones de la zapata se desprecian los momentos |
| (yy) | 0 | kgf-m | estáticos de cables y viga transversal |

Excentricidad:

| | | | |
|---|---|---|---------------|
| e | 0 | m | $Mv(xx/yy)/V$ |
|---|---|---|---------------|

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma < \sigma_t$)

| | | | |
|------|-------------------------|--|--|
| Para | | | |
| e=0 | $\sigma = \frac{V}{Az}$ | | |

| | | | |
|------------|-------|--------------------|------------------------|
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² | |
| σ | 0.552 | kg/cm ² | esfuerzo en el terreno |

OK $\sigma < \sigma_t$

CASO

2: Cargas verticales y horizontales con sismo negativo

Cargas

actuantes:

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Pc | 1000 | kgf | Peso de la columna metálica. $Pc=Hl3*Pest$ |
| Pv | 500 | kgf | Peso de la viga transversal. $Pv=Pest*L$ |
| Pm | 150 | kgf | Peso del personal de montaje (vertical) |
| Fv | 2500 | kgf | Cargas verticales totales |
| Pb | 18403.2 | kgf | Peso de la base. $Pb=PUc*[a*b*(h3+h4+h5)+A*B*h6]$ |
| Pg | 1436.4 | kgf | Peso de la grava. $Pg=PUg*h4*(A*B-a*b)$ |
| Prc | 24796.8 | kgf | Peso del relleno compactado. $Prc=PUr*h5*(A*B-a*b)$ |
| Fch | 500 | kgf | Fuerza de sismo horizontal de la columna |
| Fcv | -300 | kgf | Fuerza de sismo vertical de la columna |
| Fvh | 250 | kgf | Fuerza de sismo horizontal de la viga transversal |
| Fvv | -150 | kgf | Fuerza de sismo horizontal de la viga vertical |

Carga vertical

total:

| | | | |
|---|---------|-----|-----------------------------------|
| V | 49227.4 | kgf | $V=Pc+Pv+Pm+Fv+Pb+Pg+Prc+Fcv+Fvv$ |
|---|---------|-----|-----------------------------------|

Momento de

volteo:

| | | | |
|---|---------|-------|--|
| hgcg | 7.7 | m | Altura del centro de gravedad de la columna |
| hgcv | 10.75 | m | Altura del centro de gravedad de la viga transversal |
| Mv(xx) | 13312.5 | kgf-m | $Mv = Fvh * hgcv + Fch * hgcg + MDC(xx)$ |
| Mv(yy) | 11962.5 | kgf-m | $Mv = Fvh * hgcv + Fch * hgcg + MDC(yy)$ |
| Momento resistente al vuelteo: Sin añadir el momento resistente del suelo | | | |
| Mrv | 73841.1 | kgf-m | $Mrv = V * (A/2)$ |
| Factor de seguridad al vuelteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°) | | | |
| Fsv | 6.17 | | $Fsv = Mrv / Mv(yy)$ |

Excentricidad: Calculo ambas ya que hay grandes momentos en ambos sentidos

| | | | |
|------|-------|---|------------|
| e(x) | 0.270 | m | $Mv(xx)/V$ |
| e(y) | 0.243 | m | $Mv(yy)/V$ |

Coefficiente C3: Del libro Handbook of Concrete Engineering, Mark Fintelaci, 1974. Fig. 5.16

| | | |
|------|-------|---|
| ex/A | 0.090 | |
| ey/B | 0.081 | |
| C3 | 2.07 | De la tabla interpolo 2.16 u 2.06 para ex/A y luego entre estos valores interpolo para ey/B obteniendo C3 |

| | | | |
|--|-------|--------------------|---|
| σ | 0.537 | kg/cm ² | Esfuerzo en el terreno. $\sigma = V_{\text{caso}} / A_z$ |
| σ_t | 0.87 | kg/cm ² | |
| σ_{ts} | 1.131 | kg/cm ² | capacidad portante del terreno para sismo. $\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$ |
| σ_1 | 1.112 | kg/cm ² | esfuerzo máximo con biexcentricidad. $\sigma_1 = \sigma * C3$ |
| OK $\sigma_1 < \sigma_{ts}$ | | | |

CASO

3: Cargas verticales y horizontales con sismo positivo

Cargas

actuanes:

| | | | |
|-----|---------|-----|---|
| Pc | 1000 | kgf | Peso de la columna metálica. $Pc = Hl3 * Pest$ |
| Pv | 500 | kgf | Peso de la viga transversal. $Pv = Pest * L$ |
| Pm | 225 | kgf | Peso del montaje (3 personas) |
| Fv | 2500 | kgf | Cargas verticales totales |
| Pb | 18403.2 | kgf | Peso de la base. $Pb = PUc * [a * b * (h3 + h4 + h5) + A * B * h6]$ |
| Pg | 1436.4 | kgf | Peso de la grava. $Pg = PUG * h4 * (A * B - a * b)$ |
| Prc | 24796.8 | kgf | Peso del relleno compactado. $Prc = PUr * h5 * (A * B - a * b)$ |
| Fch | 500 | kgf | Fuerza de sismo horizontal de la columna |
| Fcv | 300 | kgf | Fuerza de sismo vertical de la columna |
| Fvh | 250 | kgf | Fuerza de sismo horizontal de la viga transversal |
| Fvv | 150 | kgf | Fuerza de sismo horizontal de la viga vertical |

Carga vertical

total:

| | | | |
|---|---------|-----|---|
| V | 50202.4 | kgf | $V = Pc + Pv + Pm + Fv + Pb + Pg + Prc + Fcv + Fvv$ |
|---|---------|-----|---|

Momento de

volteo:

| | | |
|--|---------------|--|
| hgcg | 7.7 m | Altura del centro de gravedad de la columna |
| hgcv | 10.7 m | Altura del centro de gravedad de la viga transversal |
| Mv(xx) | 13312.5 kgf-m | $Mv = Fvh * hgcv + Fch * hgcg + MDC(xx)$ |
| Mv(yy) | 11962.5 kgf-m | $Mv = Fvh * hgcv + Fch * hgcg + MDC(yy)$ |
| Momento resistente al volteo: Sin añadir el momento resistente del suelo | | |
| Mrv | 75303.6 kgf-m | $Mrv = V * (A/2)$ |
| Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°) | | |
| Fsv | 5.66 | $Fsv = Mrv / Mv(xx)$ |

Excentricidad: Calculo ambas ya que hay grandes momentos en ambos sentidos

| | | |
|------|---------|------------|
| e(x) | 0.265 m | $Mv(xx)/V$ |
| e(y) | 0.238 m | $Mv(yy)/V$ |

Coefficiente C3: Del libro Handbook of Concrete Engineering, Mark Fintelaci, 1974. Fig. 5.16

| | | |
|------|-------|---|
| ex/A | 0.088 | De la tabla interpolo 2.14 y 2.04 para ex/A y luego entre estos valores interpolo para ey/B obteniendo C3 |
| ey/B | 0.079 | |
| C3 | 2.05 | |

| | | |
|---------------|--------------------------|---|
| σ | 0.548 kg/cm ² | esfuerzo en el terreno |
| σ_t | 0.87 kg/cm ² | |
| σ_{ts} | 1.132 kg/cm ² | capacidad portante del terreno para sismo. $\sigma_{ts} = \sigma_t * 1.3$ |
| σ_1 | 1.132 kg/cm ² | esfuerzo máximo con biexcentricidad. $\sigma_1 = \sigma * C3$ |

OK $\sigma_1 \leq \sigma_{ts}$

DISEÑO DE CONCRETO ARMADO POR CARGAS ÚLTIMAS

ZAPATA:

| | | |
|----------------|----------------|---|
| CM | 47252.4 kgf | Carga muerta. $CM = P_e + P_s + P_m + P_b + P_g + P_{rc}$ |
| CV | 2500 kgf | Carga viva. $CV = F_v$ |
| CS | 450 kgf | Carga de sismo. $CS = F_{cv} + F_{vv}$ |
| U1 | 62640.5 kgf | Carga vertical última factorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2. $U1 = 1.25(CM + CV) + CS$ |
| Mvu(xx) | 9450.000 kgf-m | Momento de volteo último factorado. $Mvu = MDC * 1.4$ |
| Mvu(yy) | 7560.000 kgf-m | Momento de volteo último factorado. $Mvu = MDC * 1.4$ |
| Excentricidad: | | |
| e(x) | 0.151 m | $Mvu(xx)/U1$ |
| e(y) | 0.121 m | $Mvu(yy)/U1$ |

Coefficiente C3: Del libro Handbook of Concrete Engineering, Mark Fintelaci, 1974. Fig. 5.16

| | | |
|--------|-------|--|
| e(x)/A | 0.051 | De la tabla interpolo 1.65 y 1.55 para ex/A. Luego interpolo para ey/B obteniendo C3 |
| e(y)/B | 0.041 | |
| C3 | 1.56 | |

| | | | |
|-------------|-------|--------------------|---|
| σ | 0.684 | kg/cm ² | Esfuerzo en el terreno. $\sigma=U1/Az$ |
| σt | 0.87 | kg/cm ² | |
| σts | 1.131 | kg/cm ² | capacidad portante del terreno para sismo. $\sigma ts=\sigma t*1.3$ |
| σl | 1.086 | kg/cm ² | esfuerzo máximo con biexcentricidad. $\sigma l=\sigma*C3$ |

OK $\sigma l < \sigma ts$

Diseño por flexión en la dirección de mayor volado:

| | | | |
|----|-------|------|--|
| | 0.9 | m | Volado en X |
| | 0.9 | m | Volado en Y |
| Lv | 0.9 | m | Mayor volado |
| An | 1 | m | Análisis para 1m de ancho |
| Mu | 4.319 | Tn-m | Momento último. $Mu=\sigma_{max}*Lv*An*(Lv/2)$ |

Peralte efectivo:

| | | |
|-----------------------------------|--------|--|
| $d = h_6 - (4 + 1.5 * \phi_v)$ cm | | |
| 5/8" | 1.59 | cm Diámetro de varillas a emplear asumido |
| d | 43.615 | cm Peralte efectivo |

Refuerzo por flexión:

$$A_s = M_u / [\phi * f_y * (d_{prom} - 0.5 * a)] \quad a' = A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$$

| | | |
|--------|--------|-----------------|
| a | 0.2060 | cm |
| ϕ | 0.9 | |
| As | 2.626 | cm ² |
| a' | 0.2060 | cm |

Refuerzo mínimo por contracción y temperatura:

| | | | |
|-------|----|-----------------|--|
| Asmin | 27 | cm ² | Refuerzo por contracción y temperatura. $Asmin=0.0018*B*h6$ |
|-------|----|-----------------|--|

Refuerzo a emplear: El mayor entre As y Asmin

| | | | |
|------------|--------|-----------------|-------------------------------------|
| Asf | 27 | cm ² | Acero final por flexión |
| 5/8" | 0.625 | pulgada | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.59 | cm | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.9793 | cm ² | Área de sección de la varilla |
| | 0 | cm ² | Recubrimiento mínimo para zapata |
| Asf arriba | 13.5 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| Asf abajo | 13.5 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| | 6.82 | und | Número de varillas |

En la zapata usar mallas arriba y debajo de 5/8"@28cm

Verificación por cortante: ($V_u < V_c$)

| | | | |
|---|--------|----|--|
| d | 43.615 | cm | Peralte efectivo $d = h_6 - (4 + 1.5 * \phi_v)$ cm |
|---|--------|----|--|

| | | | |
|----|------------|-----|-----------------------------------|
| Vc | 100494.582 | kgf | Resistencia del concreto al corte |
|----|------------|-----|-----------------------------------|

$$V_c = 0.53 * b_w * d * (f_c)^{1/2}$$

| | | |
|--------|---------------|--|
| | | Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial |
| ϕ | 0.85 | |
| V_c | 85420.395 kgf | Resistencia del concreto al corte factorada |
| | | Fuerza cortante última. Se da a una distancia 'd' de la cara del pedestal |
| V_u | 15109.014 kgf | |
| | | $V_u = \sigma_{max} * b_w * [0.5 * (A - a) - d]$ |
| | | OK |

PEDESTAL:

Habiendo ya considerado U1 en la zapata, directamente calculamos el acero en base a flexión y cuantía de acero mínima

| | | |
|-----------|-----------------|---|
| $M_u(xx)$ | 9450.000 kgf-m | Momento de volteo en xx factorado *1.4 |
| $M_u(yy)$ | 7560.000 kgf-m | Momento de volteo en yy factorado *1.4 |
| M_vu | 12101.905 kgf-m | Resultante de los vectores de momento xx e yy |

Peralte efectivo:

$$d = a - (4 + 1.5 * \phi_v) \text{ cm}$$

| | | |
|------|-----------|--|
| 5/8" | 1.59 cm | Diámetro de varillas a emplear asumido |
| d | 43.615 cm | Peralte efectivo |

Refuerzo por flexión:

$$A_s = M_u / [\phi * f_y * (d_{prom} - 0.5 * a)] \quad a' = A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$$

| | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|
| a | 1.4639 cm | |
| ϕ | 0.9 | |
| A_s | 7.466 cm ² | |
| a' | 1.4639 cm | |
| A_s | 7.426 cm ² | Para un lado |
| $A_{s\text{total}}$ | 29.86 cm ² | Para los 4 lados |

Refuerzo mínimo en la sección del pedestal:

| | | |
|-------------------|--------------------|--|
| $A_{s\text{min}}$ | 72 cm ² | Refuerzo mínimo. $A_{s\text{min}} = 0.005 * a * b$ |
|-------------------|--------------------|--|

Refuerzo a emplear: El mayor entre A_s y $A_{s\text{min}}$

| | | |
|----------|------------------------|------------------------------------|
| A_{sf} | 72 cm ² | Acero final por flexión |
| 5/8" | 0.625 pulgada | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.59 cm | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.9793 cm ² | Área de sección de la varilla |
| | 0 cm ² | Recubrimiento mínimo para pedestal |

36.38 und Número de varillas

En el pedestal usar 37 varillas 5/8" en el contorno. 13 varillas en 2 lados opuestos @14cm y 9 varillas en los otros dos lados @14cm (en un lado acomodar una varilla más)

Mu en cm. Entonces x kgf-m pasar a x*100 kgf-cm

b es la sección a analizar

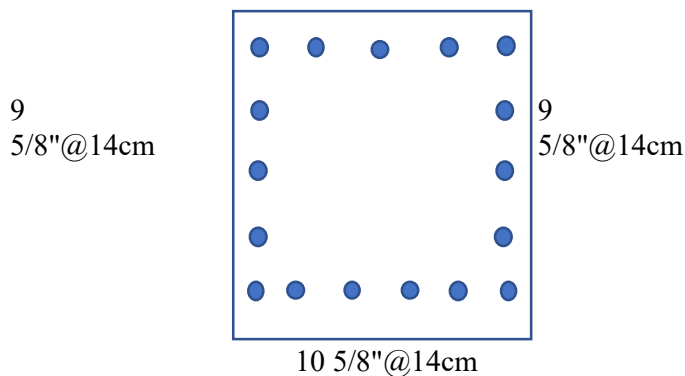
d_{prom} es el peralte efectivo promedio

φ factor de reducción de carga 0.9 RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1

Asumiendo un valor a inicial (0.2*d es un buen inicio) se calcula A_s y con este se calcula a'

Luego se modifica por iteración el valor de a hasta que a=a' y ese valor de A_s es el válido

9 5/8"@14cm



Verificación por cortante: ($V_u < V_c$)

d 194.255 cm Peralte efectivo

V_c 447588.560 kgf Resistencia del concreto al corte
Factor de reducción de resistencia. RNE
E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1

φ 0.85 para flexión sin carga axial
 V_c 380450.276 kgf Resistencia del concreto al corte factorada

V_u 39087.672 kgf Fuerza cortante última. Dentro del pedestal esta vez no reduciré la sección tomando d=0

$V_c > V_u$

OK

Punzonamiento:

A_e 48400 cm² Área efectiva. $A_e = (a + 2*d) * (b + 2*d)$.

d=h/6=peralte de zapata

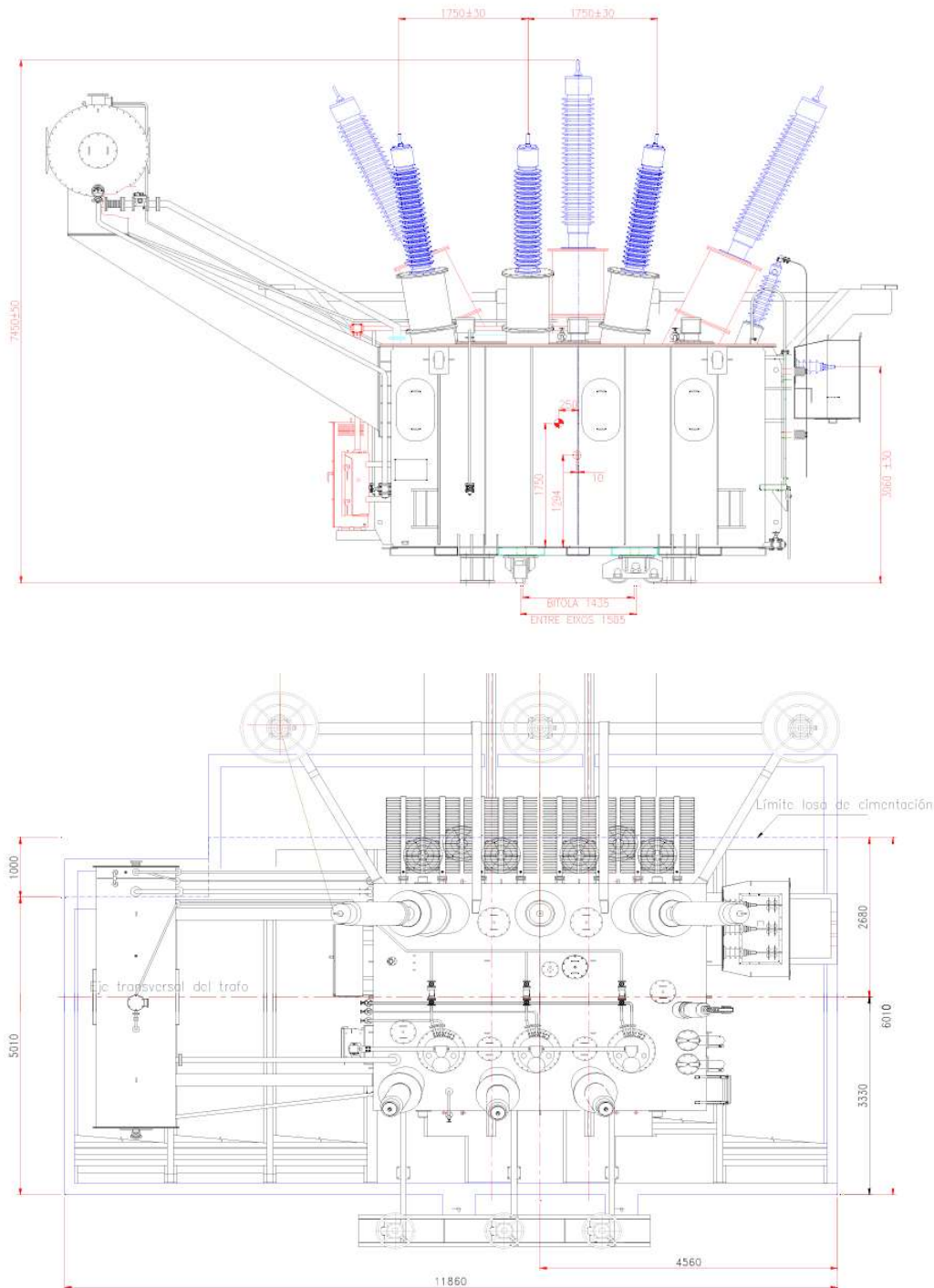
| | | | |
|------------------|------------|---------------------|--|
| Vp | 52551.203 | kgf | Cortante por punzonamiento. Esfuerzo máximo en el terreno*Área efectiva. $V_u = \sigma_1 * A_e$ |
| bo | 680 | cm ² | Perímetro de la sección crítica. $B_o = 2 * (b + 2 * (d/2)) + 2 * (a + 2 * (d/2))$ |
| vc | 4.782 | kgf/cm ² | esfuerzo cortante resistente. Se toma el menor valor de: |
| | 7.391 | kgf/cm ² | 0.33*raiz(f'c) |
| | | | 0.17*(1+2/beta)*raiz(f'c); beta=a/b para a>=b |
| | | | 0.083*(2+(alfa*d)/bo)*raiz(f'c); |
| | | | alfa=20/30/40 según el pedestal esté |
| | | | respecto a la zapata en |
| | 5.943 | kgf/cm ² | esquina/borde/concéntrica |
| φ | 0.75 | | Factor de reducción de resistencia al punzonamiento |
| φ*Vn | 179330.787 | kgf | Cortante por punzonamiento resistente. |
| | φ*Vn<Vp | | OK |
| Estribos: | | | |
| So | | | Separación entre los estribos en la longitud Lo |
| | | | Se toma el menor valor entre: |
| | 12.72 | cm | 8*diámetro de barra longitudinal |
| | 60 | cm | confinada de menor diámetro |
| | 10 | cm | 0.5*lado menor de la sección del pedestal |
| | | | 10cm |
| | | | Distancia desde la cara del nudo que requiere estribos |
| | | | con |
| Lo | | | espaciamiento So |
| | 0.367 | cm | Se toma el mayor valor entre: |
| | 120 | cm | 1/6 de la luz libre del elemento (h3+h4+h5) |
| | 50 | cm | Lado mayor de la sección del pedestal |
| | | | 50cm |
| S1 | | | Separación entre estribos más allá de la longitud Lo |
| | | | Se toma el menor valor entre: |
| | 23.752 | | 12*diámetro de barra longitudinal |
| | 120 | | confinada de menor diámetro |
| | 30 | | Lado menor de la sección del pedestal |
| | | | 30cm |
| φestribo | 8mm | | Estribo mínimo hasta 5/8" de barras longitudinales |
| | 3/8" | | Estribo mínimo sobre 5/8" y hasta 1" de barras |
| | 1/2" | | longitudinales |
| | | | Estribo mínimo encima de 1" de barras longitudinales |

En el pedestal usar estribos de 3/8". Desde el nudo superior 12@10cm (1ra varilla en 10cm), luego @20cm.

En el interior de la zapata usar 1@10cm, 1@20cm

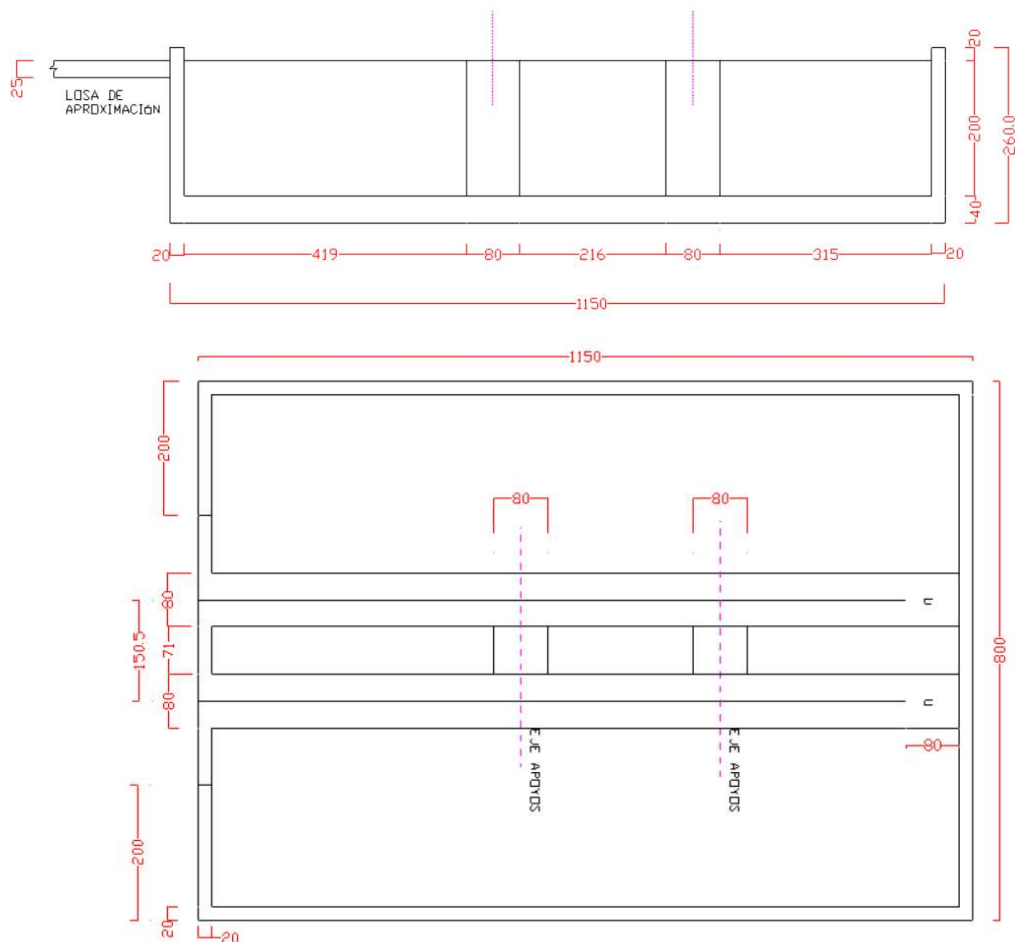
5. PLATAFORMA DEL TRANSFORMADOR

Geometría



Modelo referencial

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA): “AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS”



Dimensiones del transformador:

| | | |
|------|---------|---|
| hcg1 | 7.1 m | Altura total hasta el bushing |
| | 4.4 m | Altura de la caja metálica desde encima de los apoyos hasta inicio de las púas chicas |
| | 5.75 m | Altura total hasta el inicio de las púas grandes |
| | 0.5 m | Altura de los apoyos |
| | 4.25 m | Ancho del lado de 10kv al centro de simetría H de la caja |
| | 5.75 m | Ancho del lado del bushing al centro de simetría H de la caja |
| | 4.55 m | Ancho del lado de 10kv al centro de gravedad del transformador |
| | 5.45 m | Ancho del lado del bushing del bushing al centro de gravedad del transformador |
| | 3.2 m | Altura del centro de gravedad del transformador (desde ras de rieles=h2) |
| | 5.5 m | Ancho del transformador |
| | 10 m | Largo del transformador |
| | 1.505 m | Separación entre apoyos en lado corto |
| | 3 m | Separación entre apoyos en lado largo |

| | | |
|------|---|---|
| 1.23 | m | Del centro de simetría de la caja al apoyo del lado del bushing |
| 1.77 | m | Del centro de simetría de la caja al apoyo del lado sin bushing |

Dimensiones de la plataforma:

| | | | |
|----|-------|----------------|---------------------------------------|
| A | 11.5 | m | Lado mayor de la base |
| B | 8 | m | Lado menor de la base |
| c | 0.2 | m | Ancho de muros de la poza de aceite |
| d | 0.2 | m | Ancho del muro de reborde |
| h1 | 0.2 | m | Altura del sardinel superior |
| h2 | 2.1 | m | Altura de la poza de aceite |
| h3 | 0.4 | m | Altura de la losa de cimentación |
| Az | 92 | m ² | Área de la plataforma |
| r | 0.8 | m | Ancho de las rieles y sus uniones |
| s | 0.705 | m | Ancho de las uniones entre las rieles |

DATOS

| | |
|------------------|-------------------------------|
| TT54 | Tipo |
| 50 | Potencia nominal |
| 138/60/22,9/10,5 | Tensiones |
| YNyn0d5 | Grupo de conexión |
| 133000 | Peso total |
| 36000 | Tanque y accesorios |
| 58000 | Peso de transporte sin aceite |
| 39000 | Peso del aceite |

Volumen de la poza de aceite:

| | | | |
|----|-------|----------------|--|
| Vp | 76.76 | m ³ | Volumen de la poza de aceite |
| Va | 40.21 | m ³ | Volumen del aceite para densidad relativa 0.97 |
| | | | Para 1.9m de profundidad, restando 20cm de seguridad en h2 |

Vp>Va OK

ACELERACIÓN SÍSMICA:

| | | | |
|----|-----|---|--------------------------------|
| Ah | 0.5 | g | Aceleración sísmica horizontal |
| Av | 0.3 | g | Aceleración sísmica vertical |

PARÁMETROS DEL ESTUDIO DE SUELOS:

| | | | |
|------------|------|--------------------|--|
| σ_t | 0.95 | kg/cm ² | Capacidad portante admisible del terreno |
|------------|------|--------------------|--|

| | | | |
|--------|------|---|----------------------------|
| Df | 2.5 | m | Profundidad de cimentación |
| ϕ | 6.14 | ° | Ángulo de fricción interno |

RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS DE LAS VARILLAS DE ACERO:

| | | |
|---|----|----------------------|
| 4 | cm | Elementos en general |
| 7 | cm | Base de cimentación |

MUY IMPORTANTE: Para $D_f = 2.5$ m y $\sigma_t = 0.87$ kg/cm² no puede alcanzarse una cimentación simple de losa que distribuya los esfuerzos. Aun maximizando el área dentro de lo que el espacio disponible y las distancias entre equipos permiten, minimizando las asimetrías de carga para reducir excentricidades, y aligerando en lo posible el peso propio de la plataforma no llega a cumplirse el esfuerzo en los puntos de máximo esfuerzo cuando hay momentos por excentricidad en ambos sentidos.

Para aplicar este cálculo, o plantear otro definitivo, es necesario que:

- La capacidad portante del suelo solo para el transformador se mejore a al menos 0.95 kg/cm² mediante compactación, inclusión de grava, sustitución de 1m del material debajo de los 2.5m de profundidad, inyecciones de lechada de cemento, etc.
 - o O en su defecto se opte por una pila de cimentación debajo del centro de gravedad hasta un estrato más resistente. Pila que sirve de refuerzo, no toma toda la carga
- Se aplique el enrocado 20-30cm que el estudio de suelos recomienda
- La plataforma del transformador sea simétrica en ambos ejes, y el centro de cargas del transformador se coloque todo lo posible al centro para minimizar los momentos por excentricidad que si no son bien pequeños aumentarán bastante el esfuerzo mas alto en algún punto de la losa

MATERIALES:

Concreto:

| | | | |
|-------|------|--------------------|--------------------------|
| f_c | 210 | kg/cm ² | Resistencia a compresión |
| PUC | 2400 | kg/m ³ | P.U. concreto armado |

Acero estructural:

| | | | |
|-------|------|--------------------|-----------------------------|
| f_y | 4200 | kg/cm ² | Esfuerzo mínimo de fluencia |
| PUa | 7850 | kg/m ³ | Peso unitario |

Grava:

| | | | |
|-----|------|-------------------|---------------|
| PUg | 1900 | kg/m ³ | Peso unitario |
|-----|------|-------------------|---------------|

Relleno compactado:

| | | | |
|-----|------|-------------------|---------------|
| PUr | 1640 | kg/m ³ | Peso unitario |
|-----|------|-------------------|---------------|

CARGAS

| | | | |
|----|----------|-----|--------------------------------|
| Pe | 133000 | kg | Peso del equipo |
| | 88320 | kgf | Peso de la losa de cimentación |
| | 42172.8 | kgf | Peso muros laterales |
| | 95195.52 | kgf | Peso rieles y uniones |

| | | | |
|------|-----------|-----|--|
| | 28211.2 | kgf | Peso de la grava |
| | 6000 | kgf | Peso de las viguetas |
| Pb | 259899.52 | kgf | Peso de la base |
| Pl | 45000 | kgf | Peso de líquido para poza llena |
| Feh | 66500 | kg | Fuerza horizontal de sismo equipo |
| Fev+ | 39900 | kg | Fuerza vertical de sismo positivo equipo |
| Fev- | -39900 | kg | Fuerza vertical de sismo negativo equipo |

CONTENIDO DEL ANÁLISIS:

Se analizarán:

Las presiones en el terreno

Estabilidad al volteo

Diseño del concreto armado

Casos de carga: Los 4 casos son para sismo en X o en Y combinados con sismo vertical positivo o negativo

CASO 1:

CASO 2:

No se evalúa viento pues en el cálculo se considera el más desfavorable entre sismo y viento siendo el sismo siempre mayor en estos casos

PROPIEDADES

GEOMÉTRICAS

Respecto al eje XX:

| | yi | Ai | bi | hi | di | Ixxi | |
|----|----|----|--------|------|----|-------|---------|
| A1 | | 4 | 92.000 | 11.5 | 8 | 0.000 | 490.667 |

I_{xxi} para rectángulos $= (bi * (hi^3)) / 12$

$di = \text{abs}(ycg - yi)$

| | | |
|-----|---------|----------------|
| xcg | 4.000 | m |
| AT | 92.000 | m ² |
| Ixx | 490.667 | m ⁴ |

Centro de gravedad respecto al eje XX. $CG = \sum(Ai * yi) / \sum(Ai)$

Área en planta de la plataforma

Inercia total en XX respecto al centro de gravedad Steiner.

$I_{xx} = \text{sumatoria}(I_{xxi} + Ai * di^2)$

Centro de cargas del transformador en XX

Excentricidad del centro de cargas en XX

| | | |
|-----|-----------|-------|
| | 4.200 | m |
| ex | 0.200 | m |
| Mxx | 26600.000 | kgf-m |

Momento en XX po carga vertical

Respecto al eje YY:

| | xi | Ai | bi | hi | di | Iyyi |
|----|------|--------|----|------|-------|----------|
| A1 | 5.75 | 92.000 | 8 | 11.5 | 0.000 | 1013.917 |
| A2 | | | | | | |

$$I_{yyi} \text{ para rectángulos} = (b_i * (h_i^3)) / 12$$

$$d_i = \text{abs}(y_{cg} - y_i)$$

| | | |
|-----------------|----------|----------------|
| y _{cg} | 5.750 | m |
| A _T | 92.000 | m ² |
| I _{xx} | 1013.917 | m ⁴ |

| | | |
|-----------------|-----------|-------|
| | 6.000 | m |
| e _y | 0.250 | m |
| M _{yy} | 33250.000 | kgf-m |

$$CG = \sum (A_i * x_i) / \sum (A_i)$$

Centro de gravedad respecto al eje YY.

Área en planta de la plataforma

Inercia total en YY respecto al centro de gravedad Steiner.

$$I_{yy} = \text{sumatoria}(I_{yyi} + A_i * d_i^2)$$

Centro de cargas del transformador en YY

Excentricidad del centro de cargas en YY

Momento en YY por carga vertical

CASO 1: Peso propio sin sismo

1: sismo

Cargas actuantes:

P_e 133000 kgf

P_b 259899.52 kgf

P_l 45000 kgf

M_{yy} 33250.000 kgf-m Momento en YY por carga vertical. Uso M_{yy} pues

M_{yy} > M_{xx}

Carga vertical total:

V 437899.52 kgf V = P_e + P_b + P_l

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma_1 < \sigma_t$)

Un método diferente pero parecido al de las zapatas consiste en no calcular momento de volteo si no directamente el esfuerzo por fuerza vertical y un esfuerzo por momento σ_m por fórmula.

Luego se calculan $\sigma_1 = \sigma_v + \sigma_m$ y $\sigma_2 = \sigma_v - \sigma_m$. Se debe cumplir que $\sigma_1 < \sigma_t$ y muy convenientemente que $\sigma_2 > 0$ para que no haya zonas en tracción que desuniformizan la distribución del esfuerzo y generan esfuerzos de giro

| | | | |
|------------|-----------------------|---------------------|--|
| σ_v | 0.476 | kgf/cm ² | Esfuerzo por fuerza vertical. $\sigma_v = V / A_z$ |
| σ_m | 0.019 | kgf/cm ² | Esfuerzo por momento. $\sigma_m = (6 * M) / (B * (A^2))$. Se usa el momento mayor entre M _{xx} e M _{yy} |
| σ_1 | 0.495 | kgf/cm ² | Esfuerzo mayor en el terreno para combinación de P y M |
| σ_2 | 0.457 | kgf/cm ² | Esfuerzo menor en el terreno para combinación de P y M |
| | $\sigma_1 < \sigma_t$ | | OK |
| | $\sigma_2 > 0$ | | OK |

CASO 2: Peso propio, sismo horizontal en X e Y y sismo vertical positivo y negativo

Cargas actuantes:

P_e 133000 kgf

P_b 259899.52 kgf

P_l 45000 kgf

ANTEPROYECTO (INGENIERÍA BÁSICA): "AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA T3 DE LA S.E. CACHIMAYO 138/60/22,9 KV (50/50/50 MVA) Y CELDAS ASOCIADAS"

| | | | |
|------|------------|-------|--|
| Mxx | 26600.000 | kgf-m | Momento en XX por carga vertical |
| Myy | 33250.000 | kgf-m | Momento en YY por carga vertical |
| Feh | 66500 | kg | Fuerza horizontal de sismo equipo |
| Fev+ | 39900 | kg | Fuerza vertical de sismo positivo equipo |
| Fev- | -39900 | kg | Fuerza vertical de sismo negativo equipo |
| Pbh | 129949.76 | kg | Fuerza horizontal de sismo base |
| Pbv+ | 77969.856 | kg | Fuerza vertical de sismo positivo base |
| Pbv- | -77969.856 | kg | Fuerza vertical de sismo negativo base |
| Pl+ | 13500 | kg | Fuerza vertical de sismo positivo agua en poza |
| Pl- | -13500.000 | kg | Fuerza vertical de sismo negativo agua en poza |

Carga vertical total:

| | | | |
|----|------------|-----|-----------------------------|
| V+ | 569269.376 | kgf | $V+=Pe+Pb+Pl+Fev++Pbv++Pl+$ |
| V- | 306529.664 | kgf | $V+=Pe+Pb+Pl+Fev-+Pbv-+Pl-$ |

Momento de volteo:

| | | | |
|--------|------------|-------|---|
| hcg | 5.7 | m | Altura del centro de gravedad del transformador |
| Mv(xx) | 405650.000 | kgf-m | $Mv(xx)=Mxx+Feh*hcgt$ |
| Mv(yy) | 412300.000 | kgf-m | $Mv(yy)=Myy+Feh*hcgt$ |

Momento resistente al volteo: Sin añadir el momento resistente del suelo

| | | | |
|-----------|-------------|-------|----------------------|
| Mrv(xx)V+ | 2277077.504 | kgf-m | $Mrv(xx)V+=V+*(B/2)$ |
| Mrv(yy)V+ | 3273298.912 | kgf-m | $Mrv(yy)V+=V+*(A/2)$ |
| Mrv(xx)V- | 1226118.656 | kgf-m | $Mrv(xx)V-=V-*(B/2)$ |
| Mrv(yy)V- | 1762545.568 | kgf-m | $Mrv(yy)V-=V-*(A/2)$ |

Factor de seguridad al volteo: (≥ 1.5 RNE E.030 Art.21°)

| | | | |
|--------|-------|--|--------------------------|
| Fsvi | 5.613 | | $Fsvi=Mrv(xx)V+/Mv(xx)$ |
| Fsvii | 7.939 | | $fSVii=Mrv(yy)V+/Mv(yy)$ |
| Fsviii | 3.023 | | $Fsvi=Mrv(xx)V-/Mv(xx)$ |
| Fsviv | 4.275 | | $fSVii=Mrv(yy)V-/Mv(yy)$ |

Excentricidad: Se evalúa para V+ en ambos sentidos pues hay momentos grandes en ambos ejes

| | | | |
|----|-------|---|----------------|
| ex | 0.713 | m | $ex=Mv(xx)/V+$ |
| ey | 0.724 | m | $ey=Mv(yy)/V+$ |

Verificación de carga sobre el terreno: ($\sigma_1 < \sigma_t$). Para el caso de mayor exigencia: V+ y Myy

| | | | |
|----------------|-----------------------|---------------------|---|
| σ_v | 0.619 | kgf/cm ² | Esfuerzo por fuerza vertical. $\sigma_v=V+caso2/Az$ |
| σ_{myy} | 0.019 | kgf/cm ² | Esfuerzo por momento yy. $\sigma_m=(6*Myy)/(B*(A^2))$ Myy |
| σ_{mxx} | 0.022 | kgf/cm ² | Esfuerzo por momento xx. $\sigma_m=(6*Mxx)/(A*(B^2))$ Myy |
| | | | Esfuerzo mayor en el terreno para combinación de P y M. |
| σ_1 | 0.638 | kgf/cm ² | $\sigma_1=\sigma_v+\sigma_{myy}$ |
| σ_2 | 0.600 | kgf/cm ² | Esfuerzo menor en el terreno para combinación de P y M |
| | $\sigma_1 < \sigma_t$ | | OK |
| | $\sigma_2 > 0$ | | OK |

| | | | |
|-----------------------------|-------|--------------------|--|
| ex/B | 0.089 | | |
| ey/A | 0.063 | | |
| C3 | 1.913 | | De la tabla interpolo 2.045 y 1.89 para ex/B y luego entre estos valores interpolo para ey/A obteniendo C3 |
| σ | 0.638 | kg/cm ² | Esfuerzo en el terreno. $\sigma=\sigma_l=\sigma_v+\sigma_m$ |
| σ_t | 0.95 | kg/cm ² | |
| σ_{ts} | 1.235 | kg/cm ² | capacidad portante del terreno para sismo. $\sigma_{ts}=\sigma_t*1.3$ |
| σ_l | 1.220 | kg/cm ² | esfuerzo máximo con biexcentricidad. $\sigma_l=\sigma*C3$ |
| OK $\sigma_l < \sigma_{ts}$ | | | |

DISEÑO DE CONCRETO ARMADO POR CARGAS ÚLTIMAS

LOSA DE LA LOSA PL.

| | | | |
|----------------|------------|-------|--|
| CM | 437899.52 | kgf | Carga muerta. $CM=Pe+Pb+Pl$ |
| CV | 0 | kgf | Carga viva. Ninguna |
| CS | 53400 | kgf | Carga de sismo. $CS=F_{cv}+F_{vv}$ |
| U1 | 600774.4 | kgf | Carga vertical última factorada. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.2. $U1=1.25(CM+CV)+CS$ |
| Mv(xx) | 405650.000 | kgf-m | No hay momentos por cargas vivas, solo por sismo y excentricidad del trafo. $Mv(xx)=M_{xx}+F_{eh}*h_{cgt}$ |
| Mv(yy) | 412300.000 | kgf-m | No hay momentos por cargas vivas, solo por sismo y excentricidad del trafo. $Mv(yy)=M_{yy}+F_{eh}*h_{cgt}$ |
| Excentricidad: | | | |
| e(x) | 0.675 | m | Calculado para U1 y Mv(xx) en sismo |
| e(y) | 0.686 | m | Calculado para U1 y Mv(yy) en sismo |

Coefficiente C3: Del libro Handbook of Concrete Engineering, Mark Fintelaci, 1974. Fig. 5.16

| | | | |
|---------------|--------|--------------------|--|
| e(x)/B | 0.084 | | |
| e(y)/A | 0.049 | | |
| C3 | 1.8025 | | De la tabla interpolo 1.87 y 1.735 para ex/B y luego entre estos valores interpolo para ey/A obteniendo C3 |
| σ | 0.653 | kg/cm ² | Esfuerzo en el terreno. $\sigma=U1/Az$ |
| σ_t | 0.95 | kg/cm ² | |
| σ_{ts} | 1.235 | kg/cm ² | capacidad portante del terreno para sismo. $\sigma_{ts}=\sigma_t*1.3$ |
| σ_l | 1.177 | kg/cm ² | esfuerzo máximo con biexcentricidad. $\sigma_l=\sigma*C3$ |

Diseño por flexión en la dirección de mayor volado:

| | | | |
|----|---------|------|---|
| | 2.2 | m | Volado en X. Del borde al eje de apoyo más lejano |
| | 4.79 | m | Volado en Y. Del borde al eje de apoyo más lejano |
| Lv | 4.79 | m | Mayor volado |
| An | 1 | m | Análisis para 1m de ancho |
| Mu | 135.033 | Tn-m | Momento último. $Mu=\sigma_{max}*L_v*An*(L_v/2)$ |

Peralte efectivo:

$$d = h_3 - (4 + 1.5 * \phi_v) \text{ cm}$$

| | | | |
|------|--------|----|--|
| 5/8" | 1.59 | cm | Diámetro de varillas a emplear asumido |
| d | 33.615 | cm | Peralte efectivo |

Refuerzo por flexión:

$$A_s = M_u / [\phi * f_y * (d_{prom} - 0.5 * a)] \quad a' = A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$$

| | | |
|--------|---------|-----------------|
| a | 3.2863 | cm |
| ϕ | 0.9 | |
| A_s | 111.733 | cm ² |
| a' | 3.2863 | cm |

Refuerzo mínimo por contracción y temperatura:

| | | | |
|-------|------|-----------------|--|
| Asmin | 57.6 | cm ² | Refuerzo por contracción y temperatura. Asmin=0.0018*B*h3 |
|-------|------|-----------------|--|

Refuerzo a emplear: El mayor entre A_s y A_{smin}

| | | | |
|------------|---------|-----------------|-------------------------------------|
| Asf | 111.733 | cm ² | Acero final por flexión |
| 5/8" | 0.625 | pulgada | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.59 | cm | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.9793 | cm ² | Área de sección de la varilla |
| | 0 | cm ² | Recubrimiento mínimo para zapata |
| Asf arriba | 55.866 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| Asf abajo | 55.866 | cm ² | Distribuyendo la mitad en cada cara |
| | 28.23 | und | Número de varillas |

En la losa de plataforma usar mallas arriba y debajo de 5/8" @20cm empezando por los bordes y acomodando al centro

Verificación por

cortante: (Vu < Vc)

| | | | |
|---|--------|----|--|
| d | 33.615 | cm | Peralte efectivo $d = h_6 - (4 + 1.5 * \phi_v)$ cm |
|---|--------|----|--|

| | | | |
|--------|-----------|-----|---|
| Vc | 25817.764 | kgf | Resistencia del concreto al corte $V_c = 0.53 * b_w * d * (f'_c)^{1/2}$ |
| ϕ | 0.85 | | Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 |
| Vcf | 21945.100 | kgf | numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial |
| | | | Resistencia del concreto al corte factorada |

| | | | |
|----|-------------------|-------|---|
| Wu | 11770.607 | kgf/m | Wu=σ1*B |
| Vu | 56381.208 | kgf | Fuerza cortante última. Se da a una distancia 'lv' de mayor volado (en el lado largo). Vu=Wu*Lv |
| | Vc < Vu | | ERROR |

Pero el transformador se apoya sobre dos vigas de gran peralte que también aportan resistencia al cortante:

| | | | |
|----|---------|----|---|
| d | 203.615 | cm | Peralte efectivo de viga de apoyo para acero 5/8" |
| bw | 80 | cm | Ancho de la viga de apoyo |

| | | | |
|--------|-------------------|-----|--|
| Vc | 125108.055 | kgf | Resistencia del concreto al corte $V_c = 0.53 * b_w * d * (f_c)^{1/2}$ |
| ϕ | 0.85 | | Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial |
| Vc | 106341.847 | kgf | Resistencia del concreto al corte factorada |
| Luego | | | |
| Vcf | 128286.947 | | Resistencia factorada final |
| Vu | 56381.208 | | Fuerza cortante última. Se da a una distancia 'lv' de mayor volado (en el lado largo). $V_u = W_u * L_v$ |
| | Vc > Vu | | OK |

Verificación de la cuantía de acero por cuantía balanceada: $\frac{A_{sf}}{B * h_3} < \rho_{max} = \gamma * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} * \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + 0.005}$

| | | | |
|--------------|---|-----|--|
| Asf | 111.733 | cm2 | Cuantía calculada de acero |
| γ | 0.850 | | |
| β_1 | 0.650 | | $\beta_1 = 0.85 - 0.008 * (f_c - 30)$ pero $0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$ |
| ξ_u | 0.003 | | Deformación unitaria del hormigón |
| E_y | 0.005 | | Deformación unitaria del acero |
| ρ_{max} | 0.0104 | | |
| Asf/(B*h3) | 0.0035 | | |
| | Asf > ρ_{max} | | OK |

MUROS PERIMETRALES

:

Cálculo de empuje y momento de volteo del suelo:

| | | | |
|--------|----------|-------|--|
| Hv | 2.3 | m | Altura de volado del muro de contención. $H_v = h_1 + h_2$ |
| Ka | 0.376 | | Coefficiente de empuje activo $K_a = \frac{1}{T_g^2 (45 + \frac{\phi}{2})}$ |
| bw | 1 | m | Ancho de análisis |
| bm | 0.2 | m | Ancho de muro |
| be | 0.16 | m | Ancho efectivo de muro sin recubrimiento |
| | 4337.8 | kgf | Fuerza máxima del suelo en el fondo del volado. $F_s = P_{ur} * H_v * (H_v / 2)$ |
| Ms | 3325.647 | kgf-m | Momento de volteo del suelo. $M_s = F_s * (H_v / 3)$ |
| MUs | 4655.905 | kgf-m | Momento último factorado. $M_U = 1.4 * M_s$ |
| Ku | 11.6398 | | $K_u = M_U / (b_w * b_m^2)$, MU en kgf-cm, bw y bm en cm |
| ρ | 0.32 | % | densidad de acero obtenido interpolando de tablas a partir de Ku |
| Asf | 6.4 | cm2 | $As_f = \rho * b_w * b_m$; para un ancho de análisis |

En los muros perimetrales emplear 1/2" @ 25cm

Verificación por cortante: (Vu < Vc)
Vu 4337.8 Fuerza cortante en la base del volado del muro perimetral. $V_u = F_s$

Vc 15360.859 kgf Resistencia del concreto al corte

$$V_c = 0.53 * b_w * b_m * (f_c)^{1/2}$$

| | | |
|--------|-----------------|---|
| ϕ | 0.85 | Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 |
| Vcf | 13056.730 kgf | numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial |
| | Vc>Vu | Resistencia del concreto al corte factorada |
| | | OK |

VIGUETAS DE

APOYO DE GRAVA:

| | | |
|--------|----------------------|--|
| Lv | 1.7 m | Suponiéndolas de concreto |
| bv | 0.1 m | Largo de vigueta |
| Hv | 0.2 m | Ancho de vigueta |
| dv | 0.175 m | Altura de vigueta |
| wpv | 48 kgf/m | Peralte efectivo de vigueta |
| | | Peso propio de vigueta |
| wgv | 156.75 kgf/m | Peso de grava sobre cada vigueta asumiendo espaciamiento entre ejes 50cm. Altura de grava 15cm y luego todo por sobrecarga 1.1 |
| M | 73.966 kgf-m | Momento máximo en viga simplemente apoyada con carga distribuida uniforme: $W * L^2 / 8$ en el medio |
| MU | | |
| s | 103.552 kgf-m | Momento último factorado. $MUs = 1.4 * M$ |
| Ku | 2.5888 | $Ku = MUs / (b_w * b_m^2)$, MU en kgf-cm, b_w y b_m en cm |
| ρ | 0.07 % | densidad de acero obtenido interpolando de tablas a partir de Ku |
| Asf | 0.14 cm ² | $Asf = \rho * b_w * b_m$; para un ancho de análisis |

En las viguetas de apoyo de grava colocar 1 fierro 3/8" por flexión en la parte inferior

| | | |
|----------------------------|-----------------|--|
| Verificación por cortante: | (Vu < Vc) | |
| Vu | 433.78 | Fuerza cortante en vigueta en base a la fuerza cortante en la base del volado del muro perimetral. $Vu = 0.1 * Fs$ |
| Vc | 1344.07 5 kgf | Resistencia del concreto al corte $V_c = 0.53 * b_w * b_m * (f_c)^{1/2}$ |
| ϕ | 0.85 | Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial |
| Vc | 1142.46 4 kgf | Resistencia del concreto al corte factorada |
| | Vc>Vu | OK |

MUROS DE APOYO DEL TRANSFORMADOR:

Cálculo de reacciones:

| | | |
|----|-----------|---|
| P1 | 43225 kgf | Al ser simétrica la plataforma y en el eje X la ubicación del trafo, se aproxima a peso igual en cada una de las 4 patas. Se usa peso |
|----|-----------|---|

| | | |
|---|------------|--|
| | | del transformador en sismo. $P1=P2=(Pe*1.3)/4$ |
| P2 | 43225 | kgf |
| L1 | 4.52 | m |
| L2 | 3 | m |
| L3 | 2.98 | m |
| $\xi Ma=0$ | | |
| | -520429 | kgf-m $P1*L1*-1+P2*(L1+L2)*-1$ |
| Rby | 49564.667 | kgf |
| $\xi Fy=0$ | | |
| Ray | 36885.333 | kgf |
| Diagrama de cortante y momento flector: | | |
| Para $0 \leq X \leq 4.52$ | | |
| V1 | 36885.333 | $V1=Ray$ |
| | | $M1=Ray$ |
| $M1(x=0)$ | 0 | $*X$ |
| $M1(x=4.52)$ | 166721.707 | $M1=Ray$ |
| | | $*X$ |
| Para $4.52 \leq X \leq 7.52$ | | |
| | | $V2=Ray-P1$ |
| V2 | -6339.667 | |
| $M2(x=4.52)$ | 166721.707 | |
| | 7 | $M2=Ray*X-P1*(X-L1)$ |
| $M2(x=7.52)$ | 147702.707 | |
| | 67 | $M2=Ray*X-P1*(X-L1)$ |
| Para $7.52 \leq X \leq 10.5$ | | |
| | - | |
| V3 | 49564.667 | $V3=Ray-P1-P2$ |
| $M3(x=7.52)$ | 147702.707 | |
| | 7 | $M3=Ray*X-P1*(X-L1)-P2*(X-(L1+L2))$ |
| $M3(x=10.5)$ | 0 | $M3=Ray*X-P1*(X-L1)-P2*(X-(L1+L2))$ |
| Cálculo de acero por flexión: | | |
| | 166721.707 | El máximo momento del diagrama de momento. Para 1m ancho de análisis |
| Mmáx | 7 | |
| | 233410.38 | |
| MU | 9 | Momento último factorado. $MU=Mmáx*1.4$ |
| Bv | 0.8 | Ancho de las vigas de apoyo |
| Hv | 2.5 | Peralte de las vigas de apoyo, incluyendo el peralte de la losa de cimentación |
| dv | 240.705 | Peralte efectivo de la viga |
| Ku | 5.0357 | $Ku=MU/(bv*dv^2)$, MU en kgf-cm, bv y dv en cm para 1m de ancho |
| ρ | 0.3547 | % densidad de acero obtenido interpolando de tablas a partir de Ku |

| | | | |
|------|--------|---------|---|
| Asf | 70.940 | cm2 | Asf= $\rho \cdot B_v \cdot H_v$; para un ancho de análisis |
| 5/8" | 0.625 | pulgada | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.59 | cm | Diámetro de la varilla de refuerzo |
| | 1.9793 | cm2 | Área de sección de la varilla |
| | 4 | cm2 | Recubrimiento mínimo para elementos de concreto |
| | 35.84 | und | Número de varillas |

En cada viga de apoyo emplear 36 varillas 5/8" @17cm lados, @17.5cm abajo, @23.5cm arriba. Usar estribos 3/8" @30cm

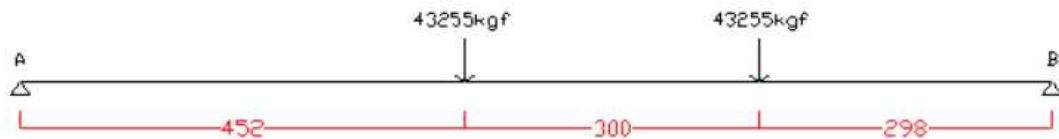
Como es una viga T invertida, la parte ancha abajo absorbe una parte de la carga también. Se diseñó tal que solo la viga toma el esfuerzo

Verificación por (Vu < Vc
cortante:)

V

u 49564.667 El cortante de mayor valor absoluto del diagrama de corte

| | | | |
|--------|-------------------|-----|--|
| Vc | 153608.594 | kgf | Resistencia del concreto al corte |
| | | | Factor de reducción de resistencia. RNE E.060 Cap.9 numeral 9.3.2.1 para flexión sin carga axial |
| ϕ | 0.85 | | |
| Vc | 130567.304 | kgf | Resistencia del concreto al corte factorada |
| | Vc > Vu | | OK |



Modelo en el lado largo de la plataforma cual si solo se apoyara en los extremos dando un momento máximo mayor a si se modelara con apoyos continuos en suelo

6. CÁNCAMO DE TIRO

$P = 0.1 \cdot t \cdot 2 \cdot S \cdot (R_o - R_i)$. Solo sirve para orden de magnitud. P carga kg, t espesor del cáncamo mm, S tensión admisible del material N/mm², R_o y R_i radios exterior e interior mm
Carga aproximada que resiste un cáncamo para un ojal de varilla circular

| | | | |
|---|-----------|-----|---|
| P | 76830.814 | kgf | de 2". t=50.8mm, S=148.86N/mm ² , R _o -R _i =50.8mm |
|---|-----------|-----|---|

S tomo $0.6 \cdot f_y$. Para Acero A36 esto es $0.6 \cdot 2530 \text{ kg/cm}^2$, convertido a N/mm^2

Fuerza para desplazar el transformador:

| | | |
|----|------------------|---|
| u | 0.175 | u Coeficiente de fricción rueda metálica en riel metálico de tren. Valor medio para riel seco velocidad mínima Lubricado puede tomarse 0.08 o 0.9 |
| F | 224853.75 9 N | $F = (u \cdot P_e \cdot g) / (\cos 10^\circ + u \cdot \sin 10^\circ)$; g aceleración de la gravedad, P_e peso del equipo, 10° ángulo de tiro máximo |
| | 22920.873 kgf | |
| FS | 2 3.35 | FS Factor de seguridad |

OK

Esto es si un cáncamo solo se usara. Pero se usarán 2 iguales. Sobradamente suficiente