

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**CÁLCULO DE ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS EN BARRAS
DEL TABLERO GENERAL DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA
DE 5000 A DE LA MINERA LA ARENA S.A.**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:
JORGE MANUEL AZABACHE GONZALES**

**PROMOCIÓN
2008-I**

**LIMA-PERÚ
2013**

**CÁLCULO DE ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS EN BARRAS
DEL TABLERO GENERAL DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA
DE 5000 A DE LA MINERA LA ARENA S.A.**

DEDICATORIA:

A Dios Jehová.

A mis Padres Jorge y Victoria a mi esposa Luz y a mi hijo Kevin. A todos ellos gracias por su apoyo y todo su amor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
CONDICIONES ELÉCTRICAS DE LA RED	2
1.1 Objetivos	2
1.2 Fundamentos teóricos	2
1.3 Características de la red eléctrica de la minera La ARENA, diagrama Unifilar	4
CAPÍTULO II	
CONDICIONES MECÁNICAS	6
2.1 Características de la forma y disposición de los conductores	6
2.2 Conductores por fase según la corriente del bus principal, tablas, alternativas	8
2.3 Resonancia Mecánica	10
CAPÍTULO III	
FACTORES DE CORRECCIÓN	14
3.1 Efectos de la conductividad, temperatura, diseño, efecto piel, ubicación	14
CAPÍTULO IV	
CALCULO DE LAS FUERZAS Y ESFUERZOS EN LOS CONDUCTORES	20
4.1 Calculo de las fuerzas y esfuerzos en los conductores de la configuración de las barras del bus principal	20
4.2 Calculo de los esfuerzos sobre los aisladores	25
4.2.1 Características mecánicas de los aisladores	25
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
ANEXOS	
ANEXO A:	
TIPOS DE AISLADORES Y PORTABARRAS	28
ANEXO B:	
ESPECIFICACIONES DE PERNOS Y TORQUEO-TABLAS	34
BIBLIOGRAFÍA	40

INTRODUCCIÓN

Las corrientes de cortocircuito provocan esfuerzos electrodinámicos en las barras, apoyos, aisladores y demás elementos de los circuitos recorridos por estas corrientes. El conocimiento de estos esfuerzos resulta esencial para poder dimensionar y seleccionar los sistemas de barras colectoras, los aisladores de apoyo, la distancia entre apoyos, etc. de acuerdo con los esfuerzos producidos.

Debido al requerimiento de la Minera La Arena S.A. la cual se encuentra ubicada aproximadamente a 3200 msnm cuyo rubro es la extracción de Oro y en acuerdo con la empresa de fabricación se inicia el diseño del Tablero Eléctrico de Transferencia de 5000 A, para esto se le propone un diseño mecánico que cumpliendo con su diagrama unifilar se hace la disposición de su Interruptor Principal (Red Normal), Un interruptor de respaldo (Grupos Electrógenos) y los interruptores para las diversas cargas requeridas por la minera, además de tomar en cuenta las condiciones eléctricas del Tablero (Capacidad de corriente del bus principal, tensión de servicio y el poder de Corto Circuito) que nos servirán para el diseño de dicho tablero.

Basado en estas condiciones se le propone al cliente un tablero Autosoportado de las siguientes dimensiones de la estructura mecánica Altura (A)=2000 mm, Largo (L)=3600 mm y P=1200 mm, disposición del sistema de barras del bus principal en forma horizontal separadas una distancia mínima de diseño entre fases calculadas de nuestro estudio de corto circuito y las distancias mínimas de seguridad fase-estructura (tierra).

También se debe tener en cuenta otras consideraciones para el diseño y fabricación del tablero que son determinantes y los cuales son requeridos por el cliente como el grado de protección (IP), color del tablero en formato ANSI o RAL, espesor de la plancha, color de las barras: Fase R, Fase S, Fase T, Neutro y Tierra y la disposición de las Fases.

Cabe resaltar que el diseño propuesto a la Minera fue elaborado tomando como referencia el CNE, las normas IEC, IEEE, NEMA, DIN y manual de fabricantes.

CAPÍTULO I

CONDICIONES ELÉCTRICAS DE LA RED

En este capítulo se verán los aspectos teóricos fundamentales, los objetivos, tablas a usar en el cálculo de la fuerza electrodinámica y en nuestro caso particular para la Minera La Arena cuyos cálculos se verán en el capítulo 4.

1.1 Objetivos

Realizar los cálculos determinantes de las fuerzas y esfuerzos electrodinámicos al momento de darse un cortocircuito y dados estos resultados elegir los soportes (aisladores) que según sus especificaciones soporten estos esfuerzos y obtener la separación mínima de estos conductores condicionados a la profundidad de nuestro tablero, que podría cambiar (ampliarse) para cumplir con las distancias mínimas de separación de los soportes.

1.2 Fundamentos Teóricos

En el cálculo de la fuerza electrodinámica con tres fases cortocircuitos para i_p se puede utilizar el valor $0,93 \cdot i_p^3$. El factor de 0,93 considera la mayor carga posible que puede ser experimentado por el conductor central de una configuración de un solo plano en Sistemas trifásicos.

La fuerza electrodinámica entre los conductores principales a través del cual fluye la misma corriente es:

$$F_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i_p^2 \cdot \frac{l}{a} \quad (1.1)$$

o como ecuación numérica:

$$F_m = 0,2 \cdot i_p^2 \cdot \frac{l}{a} \quad \text{o} \quad F_m = 0,173 \cdot i_p^2 \cdot \frac{l}{a} \quad (1.2)$$

Si el conductor principal se compone de varios conductores individuales, la fuerza electrodinámica F_s entre los sub-conductores es:

$$F_s = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{i_p}{t} \right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s} \quad (1.3)$$

1.3 Separación efectiva del conductor

Como se mencionó anteriormente, estas ecuaciones son estrictamente hablando sólo de forma de filamento-conductores o en la primera aproximación para conductores de cualquier sección transversal, siempre y cuando su distancia uno de otro es

significativamente mayor que la dimensión mayor conductor. Si esta condición no se cumple, por ejemplo, con paquetes de barras que comprenden conductores rectangulares de barras, las barras individuales debe ser dividido en filamentos actuales y calcular las fuerzas entre ellos. En este caso, el espaciamento real efectiva conductor principal $a_m = a / k_{1s}$ debe ser utilizado como la separación del conductor principal.

Aquí, k_{1s} debe ser tomada de la figura 1.2 donde $a_{1s} = a$ y d la anchura total de la barra de distribución de paquetes en la dirección de la fuerza de corto circuito y como se muestra en la figura 1.2 b es la altura de las barras perpendiculares a la dirección de la fuerza de corto-circuito.

La separación real efectiva del sub-conductor es:

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} + \dots + \frac{k_{1n}}{a_{1n}} \quad (1.4)$$

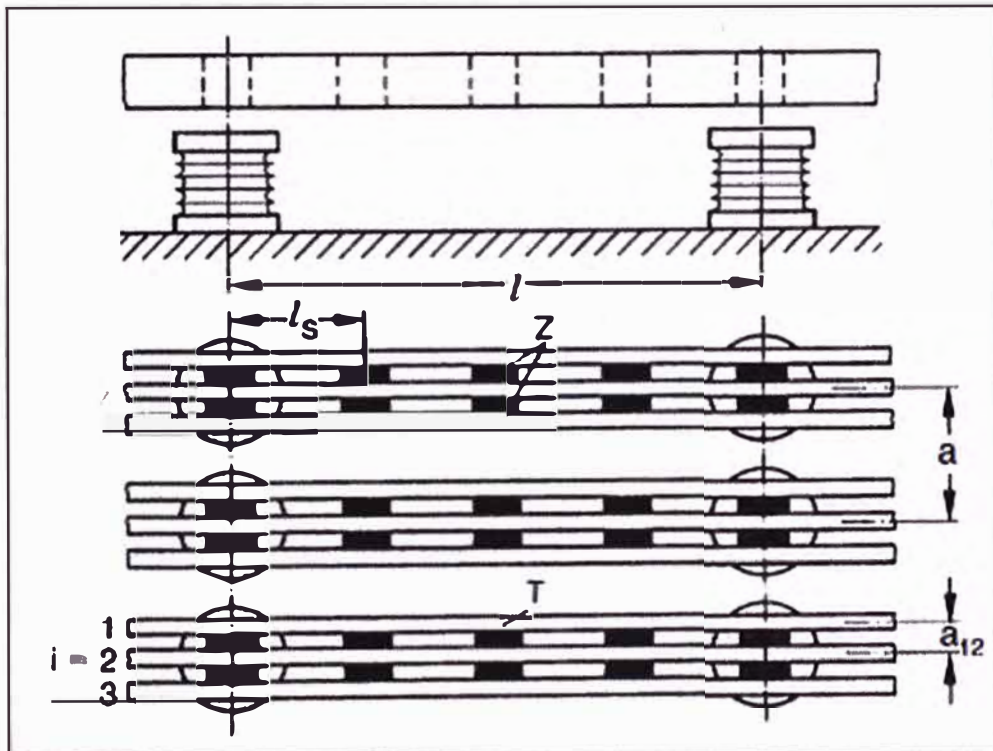


Fig.1.1: Ejemplo de disposición de barras para el cálculo de a_s

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 4.

El esfuerzo de flexión de una barra no debe exceder de un límite especificado, en el caso de un corto circuito para evitar un esfuerzo excesivo en el material. En la especificación de este límite de flexión sostenida en la barra se ha asumido que es hasta el 1% de la longitud de apoyo, debido a que una deformación de esta magnitud es indetectable a la vista. El esfuerzo en conductores rígidos y las fuerzas sobre los soportes también están influenciados por la respuesta de oscilación de los conductores.

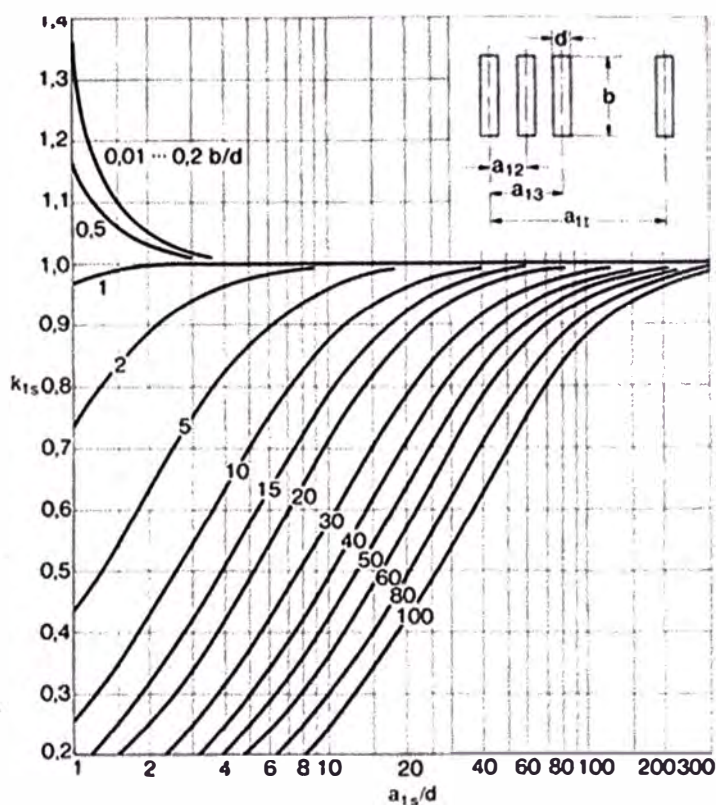


Fig.1.2: Curvas para el cálculo de k_{1s}

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 4.

1.4 Características de la red eléctrica y diagrama Unifilar del Tablero General TG-100-001.

En la tabla 1.1 se muestra las condiciones eléctricas exigidas por la Minera La Arena S.A. al fabricante para el cálculo del esfuerzo electrodinámico y capacidad de carga de las barras.

Tabla 1.1: Características eléctricas del Tablero General TG-100-001

Fuente: Datos obtenidos de la propuesta técnica de la Minera La Arena S.A.

TABLERO GENERAL DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA TG-100-001		
Ítem	Descripción	Características
1	Tensión de Distribución	460 V
2	Tensión de Utilización	440 V
3	Clase de Tensión	600 V
4	Fases	3
5	Conductores	3
6	Neutro	a Tierra
7	Frecuencia	60 Hz
8	Capacidad de cortocircuito simétrico	85 kA
9	Corriente de diseño del Tablero General	5000 A
10	Temperatura Ambiente ϑ_u	40°C
11	Temperatura Final de la barra colectora ϑ_s	65°C

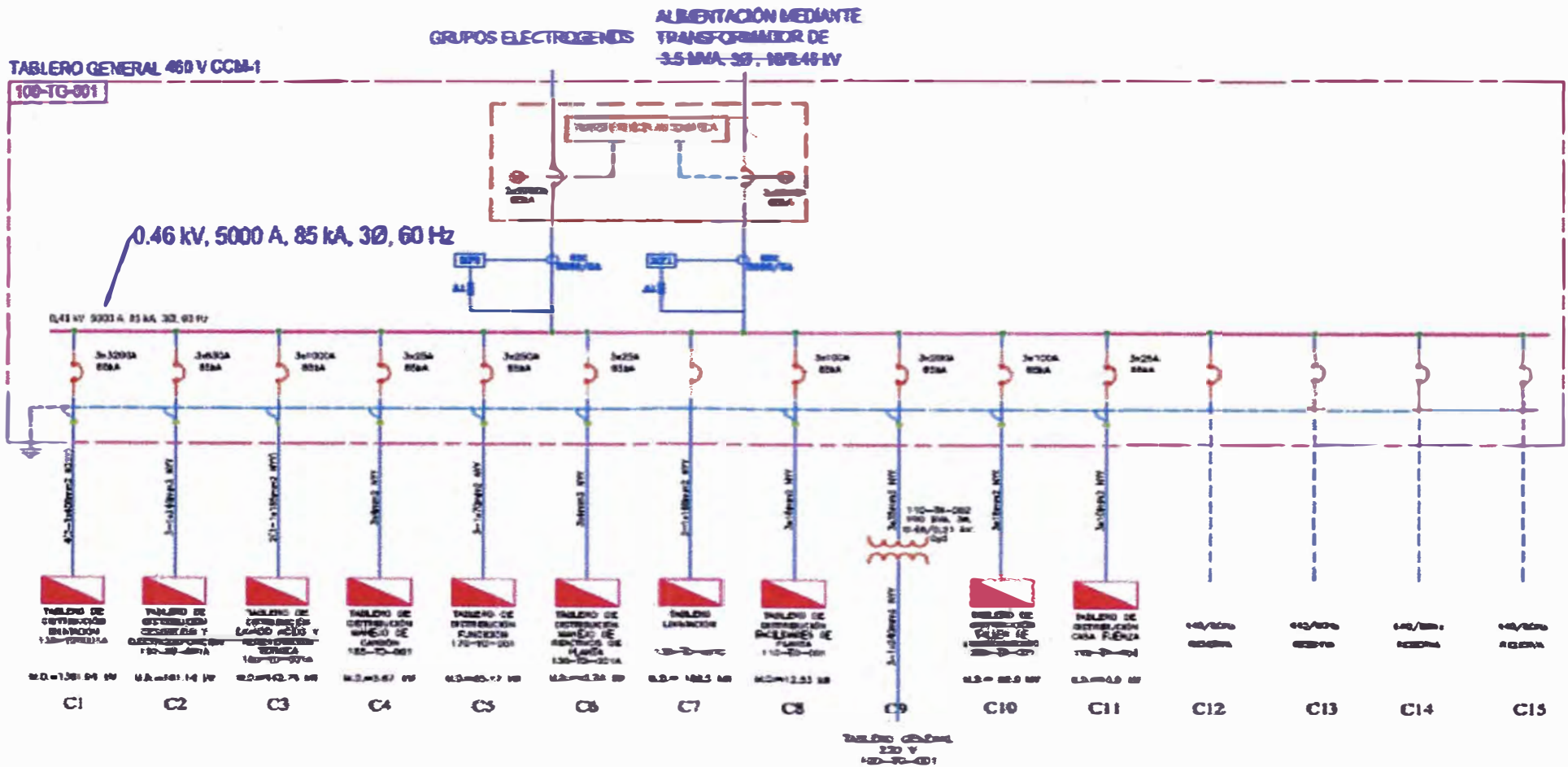


Fig. 1.3: Diagrama Unifilar del Tablero General 100-TG-001
Fuente: Documentación entregada por la Minera La Arena S.A.

CAPÍTULO II

CONDICIONES MECÁNICAS

En este capítulo se verán las condiciones, forma, disposición de conductores, factores a aplicar según las alternativas de nuestro diseño, que implica la disposición de nuestro sistema de barras.

2.1 Características de la forma y disposición de los conductores

En la tabla 2.1 se muestra las condiciones mecánicas exigidas por la Minera La Arena S.A. al fabricante donde se describe los características necesarias para la fabricación de la estructura mecánica del tablero, cabe mencionar que estos están acorde en base a las a normas y al código nacional de electricidad nacional.

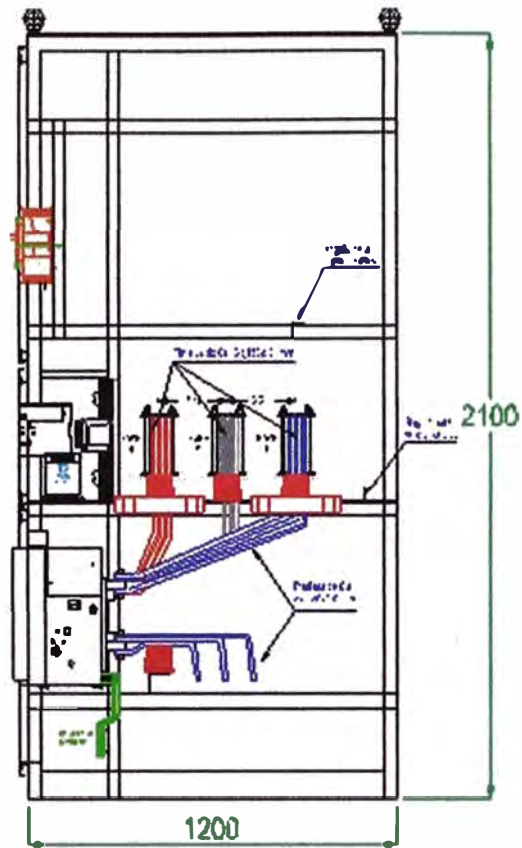
Según nuestro diseño eléctrico y mecánico calculado la disposición de nuestro bus principal será como sigue:

Cada fase estará dispuesto en tres barras verticales de 150 x 10 mm (ancho x espesor), estando las tres fases en un plano horizontal separadas una distancia mínima (Calculada del esfuerzo electrodinámico) dándole para este caso una profundidad a nuestro tablero de 1200 mm lo cual está acorde por lo exigido por el cliente, cabe mencionar que se pudo optar por colocarlas en un plano vertical pero esto implicaría que la altura de nuestro tablero aumentaría la cual está condicionada a la altura estándar exigida por el cliente de 2200 mm y que junto a los equipos (Interruptores Principales y alimentadores para las diversas cargas de la minera) a ser conectados a este sistema de barra y al cálculo de cortocircuito la altura resultante no cumpliría con dicho estándar exigido por la minera La Arena.

Tabla 2.1: Características mecánicas del Tablero General TG-100-001

Fuente: Datos obtenidos de la propuesta técnica de la Minera La Arena S.A.

TABLERO GENERAL DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA TG-100-001		
Ítem	Descripción	Características
1	Estructura	Tipo Autosoportado-Fabricación Nacional
2	Grado de Protección	IP 54
3	Color (Pintura)	ANSI 61
4	Espesor de la plancha LAF	2 mm y 2,5 mm
5	Color de Barras	Fase R(Color Rojo), Fase S (Color Negro), Fase T (Color Azul) y Tierra (Verde)
6	Disposición de Fases	De adelante hacia atrás



CORTE C - C

Fig.2.1: Estructura Mecánica, vista del corte C-C del Tablero.

Fuente: Diseño en AutoCAD de la estructura mecánica del tablero.



Fig.2.2: Fotografía de la Vista Frontal del Tablero General 100-TG-001

Fuente: Foto tomada en las Instalaciones de la Minera La Arena S.A.



Fig.2.3: Fotografía de la Vista interna del Tablero General TG-100-01.

Fuente: Foto tomada en el proceso de fabricación.

2.2 Conductores por fase según la corriente del bus principal, tablas, alternativas

Disposición del bus principal (Fase R, Fase S, Fase T) según diseño eléctrico y mecánico de acuerdo a los requerimientos exigidos por nuestro cliente Minera LA ARENA S.A.

Los distancia entre fases (expresada en mm) se ha calculado del desarrollo de la teoría del esfuerzo electrodinámico del cual obtenemos la distancia mínima de separación entre fases condicionada a la profundidad del tablero exigida por el cliente.

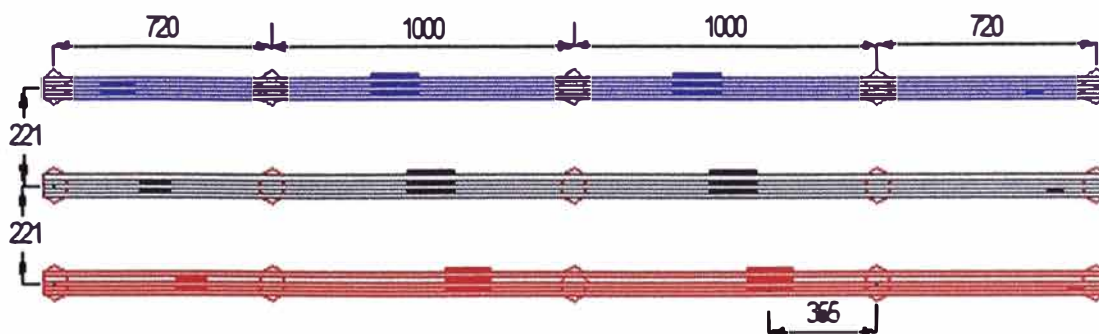


Fig.2.4: Vista de Planta del bus principal de barras del Tablero General TG-100-001.

Fuente: Diseño en AutoCAD de la disposición de barras del tablero.

Según requerimiento del cliente nuestro barraje deberá soportar 5000 A, por lo cual se podría elegir tres barras en paralelo de 160x10 mm, pero no siendo comercial estas barras se elegirá un sistema de 3 barras por fase de 150x10 mm que si se encuentra comercialmente en el mercado pero según la tabla no se conoce su corriente de conducción por lo cual procederemos por el método regresión para hallar su corriente de conducción.

Tabla 2.2: Capacidad de Corriente de barras de secciones rectangulares.

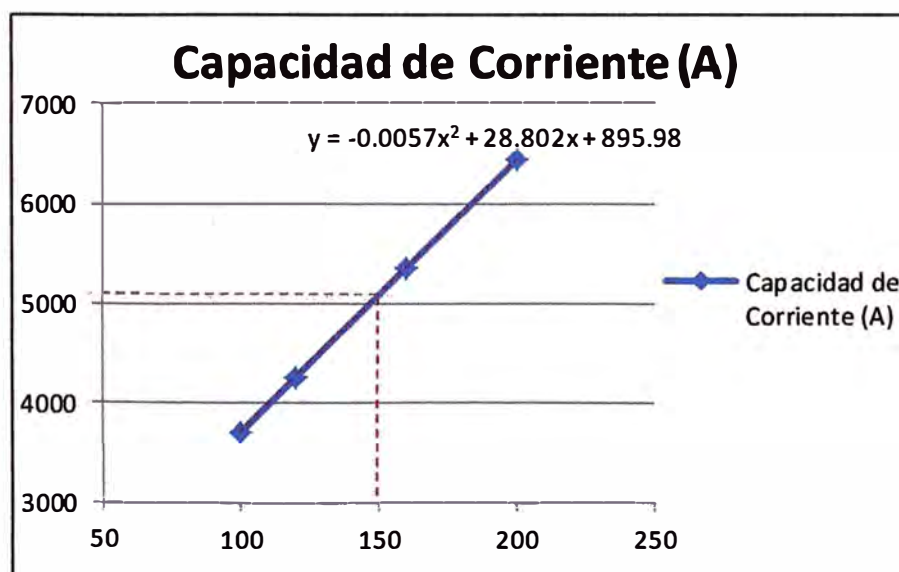
Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 13.

Copper conductors of rectangular cross-section in indoor installations. Ambient temperature 35 °C. Conductor temperature 65 °C. Conductor width vertical: clearance between conductors equal to conductor thickness; with alternating current, clearance between phases > 0.8 × phase centre-line distance.

Width × thickness	Cross- Weight ¹⁾ section		Material ²⁾ AC up to 60 Hz painted	Continuous current in A								Continuous current in A DC and AC 16½ Hz painted							
	mm ²	kg/m		no. of conductors				bare no. of conductors				no. of conductors				bare no. of conductors			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
50 × 5	249	2.22	E-Cu F 37	679	1 140	1 330	2 010	583	994	1 240	1 920	703	1 170	1 370					
50 × 10	499	4.44	E-Cu F 30	1 020	1 720	2 320	2 950	852	1 510	2 040	2 600	1 050	1 830	2 360					
60 × 5	299	2.66	E-Cu F 30	826	1 330	1 510	2 310	688	1 150	1 440	2 210	836	1 370	1 580	2 060	698	1 190	1 500	1 970
60 × 10	599	5.33	E-Cu F 30	1 180	1 960	2 610	3 290	985	1 720	2 300	2 900	1 230	2 130	2 720	3 580	1 020	1 870	2 570	3 390
80 × 5	399	3.55	E-Cu F 30	1 070	1 680	1 830	2 830	885	1 450	1 750	2 720	1 090	1 770	1 990	2 570	902	1 530	1 890	2 460
80 × 10	799	7.11	E-Cu F 30	1 500	2 410	3 170	3 930	1 240	2 110	2 790	3 450	1 590	2 730	3 420	4 490	1 310	2 380	3 240	4 280
100 × 5	499	4.44	E-Cu F 30	1 300	2 010	2 150	3 300	1 080	1 730	2 050	3 190	1 340	2 160	2 380	3 080	1 110	1 810	2 270	2 960
<u>100 × 10</u>	<u>998</u>	<u>8.89</u>	E-Cu F 30	1 810	2 850	<u>3 720</u>	4 530	1 490	2 480	3 260	3 980	1 940	3 310	4 100	5 310	1 600	2 890	3 900	5 150
<u>120 × 10</u>	<u>1 200</u>	<u>10.7</u>	E-Cu F 30	2 110	3 280	<u>4 270</u>	5 130	1 740	2 860	3 740	4 500	2 300	3 900	4 780	6 260	1 890	3 390	4 560	6 010
<u>160 × 10</u>	<u>1 600</u>	<u>14.2</u>	E-Cu F 30	2 700	4 130	<u>5 380</u>	6 320	2 220	3 590	4 680	5 530	3 010	5 060	6 130	8 010	2 470	4 400	5 860	7 710
<u>200 × 10</u>	<u>2 000</u>	<u>17.8</u>	E-Cu F 30	3 290	4 970	<u>8 430</u>	7 490	2 690	4 310	5 610	6 540	3 720	6 220	7 460	9 730	3 040	5 390	7 150	9 390

Tabla 2.3: Método grafico para hallar la corriente en barra de 150 x 10 mm.

Fuente: Tabla 2.2 (Capacidad de corriente de barras rectangulares)



Mediante el método de gráfico y usando la ecuación de tendencia obtenemos que las barras de 150 x 10 mm conducen una corriente de **5088 A**.

Resonancia Mecánica

Como habíamos mencionado el esfuerzo en conductores rígidos (barras) y las fuerzas sobre los soportes están influenciadas por la respuesta de oscilación de los conductores. Este retorno es en función de las condiciones de fijación y la deformación admisible de plástico o la frecuencia natural del conductor. En primer lugar los valores de límite superior del esfuerzo se dan con consideración a la deformación plástica, mientras que en nuestro caso se calcularán los esfuerzos resultantes de la consideración de la respuesta de oscilación.

Donde la fuerza F_d en cada apoyo se calcula como sigue:

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m \quad (2.1)$$

Sin embargo en sistemas de dos fases de c.a. $V_F \cdot V_r$ no requiere un valor mayor que 2 y en sistemas trifásicos no mayores que 2.7.

Si la Condición $\sigma_{tot} \geq 0,8 \cdot R'_{p0.2}$ se cumple, la barra no puede transferir todas las fuerzas mayores que las fuerzas estáticas a los soportes, ya que será previamente deformado ($V_F \cdot V_r = 1$). Sin embargo, si σ_{tot} es muy por debajo de $0,8 \cdot R'_{p0.2}$, se recomienda que las cargas conductoras y el apoyo se determina como sigue, teniendo en cuenta la frecuencia relevante característica del conductor.

En resumen para el cálculo de V_F y V_r se presentan los siguientes casos:

Caso 1.-Si $\sigma_{tot} \geq 0,8 \cdot R'_{p0.2}$, entonces $V_F \cdot V_r = 1$ por lo tanto se produce deformación,

Caso 2.-Si $\sigma_{tot} < 0,8 \cdot R'_{p0.2}$, $V_F \cdot V_r = 0,8 \cdot R'_{p0.2} / \sigma_{tot}$,

Caso 3.-Si $\sigma_{tot} \ll 0,8 \cdot R'_{p0.2}$ los valores de V_F , V_r se calculan tomando en consideración la frecuencia característica del conductor y figuras 2.5 y 2.6.

Para valores bajos de esfuerzos en conductores y fuerzas sobre los soportes se pueden derivar sin considerar la frecuencia característica, pero valores altos se debe tener en cuenta la frecuencia característica de un conductor.

La frecuencia característica del conductor se calcula como sigue:

$$f_c = \frac{v}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} \quad (2.2)$$

Dónde:

v : Factor en función de las condiciones de sujeción de los soportes (Tabla 2.4)

E : Modulo de Young (N/mm^2), l = separación longitudinal entre aisladores (cm),

J =momento de resistencia de un conductor (cm^4) y m' =densidad lineal por subconductor (kg/m).




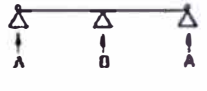

La posición de instalación de la barra del conductor con referencia a la dirección de la fuerza de cortocircuito debe ser considerada por el momento de inercia axial planar.

En cortocircuito de duraciones de 0,1 s o menos las tensiones reales y de las fuerzas

puede ser considerablemente menos que los valores calculados con $f_e < f$.

Tabla 2.4: Factores α , β , γ según la disposición de los soportes (DIN EN 60865-1)

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 4.

Type of busbar and its clamping condition		Force on support	Main conductor stress	Relevant characteristic frequency	
		Factor α	Factor β	Factor γ	
both sides supported		A: 0.5 B: 0.5	1.0	1.57	
Single-span beam	fixed, supported		A: 0.625 B: 0.375	0.73	2.45
	both sides fixed		A: 0.5 B: 0.5	0.50	3.56
Continuous beam with multiple supports and N equal or approximately equal support distances	$N = 2$		A: 0.375 B: 1.25	0.73	2.45
	$N \geq 3$		A: 0.4 B: 1.1	0.73	3.56

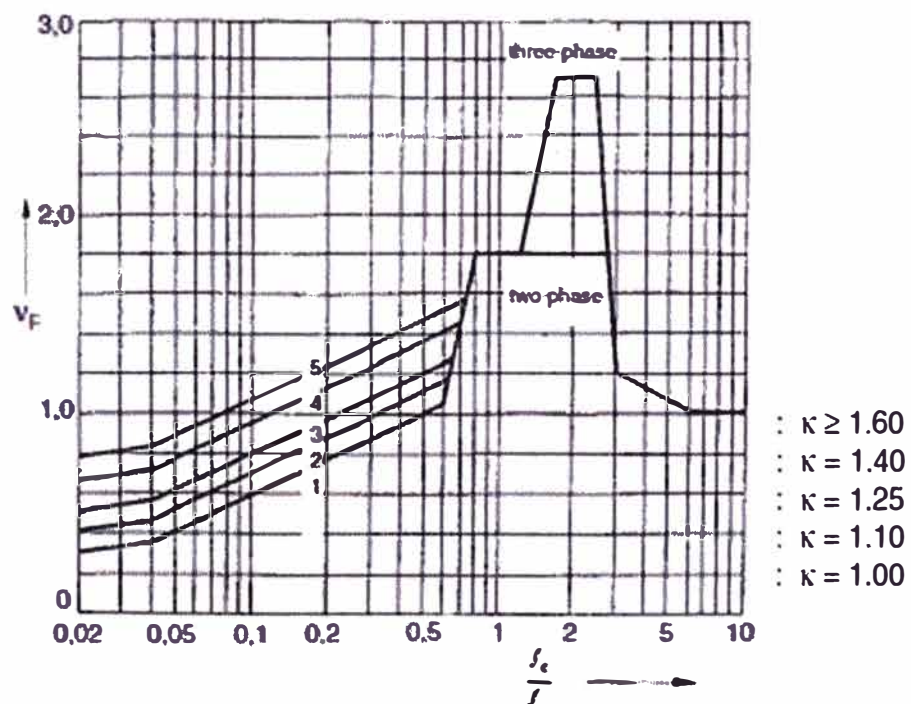


Fig. 2.5: Tabla para hallar el valor de V_F y determinar el esfuerzo de los soportes de las barras.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 4.

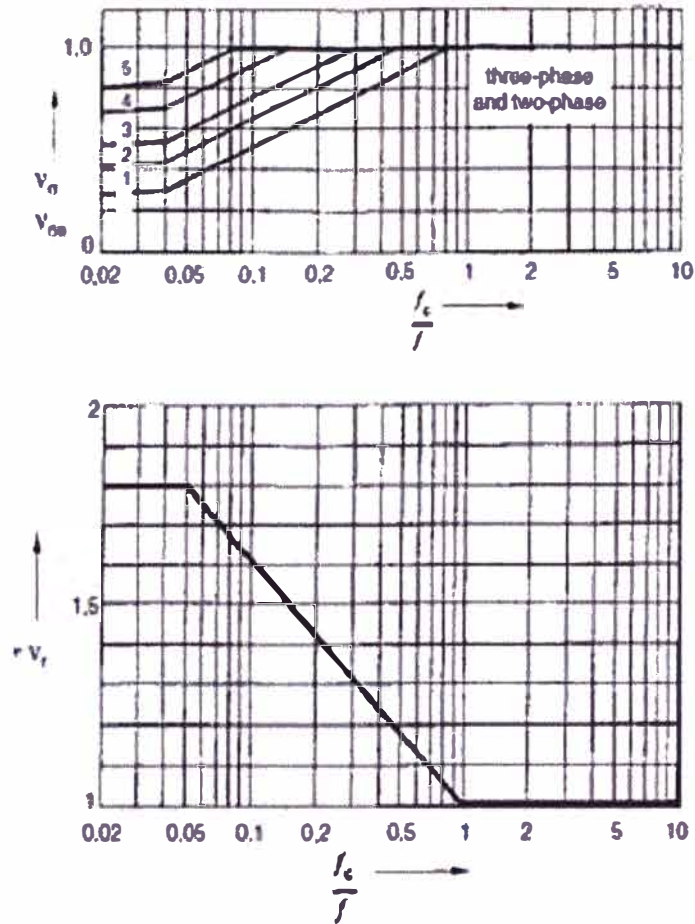


Fig. 2.6: Tabla para hallar el valor de V_σ , $V_{\sigma s}$ y V_r para determinar el esfuerzo de los soportes de las barras.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 4.

A continuación se muestra las fórmulas para calcular los momentos de Inercia y la resistencia del conductor principal compuesto por dos o más refuerzos según disposición de las barras o conductores de forma rectangular.

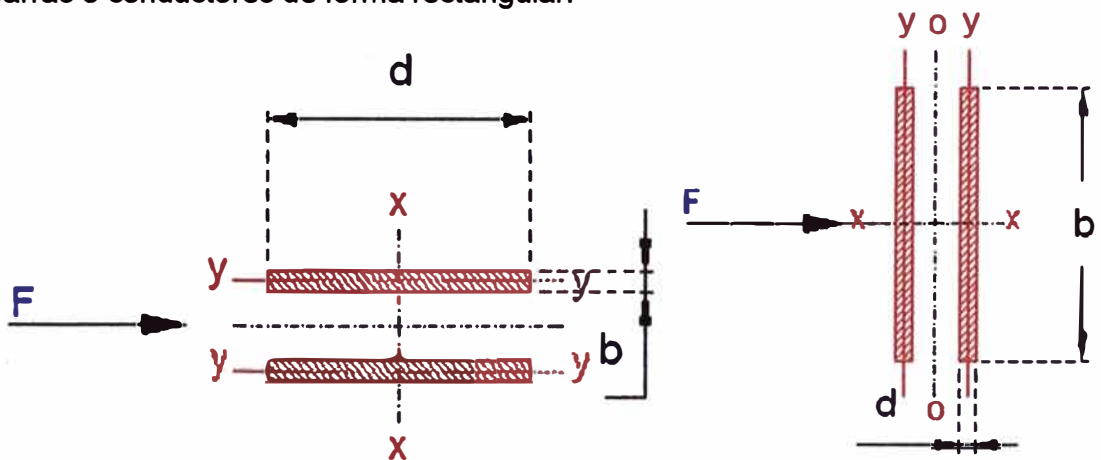
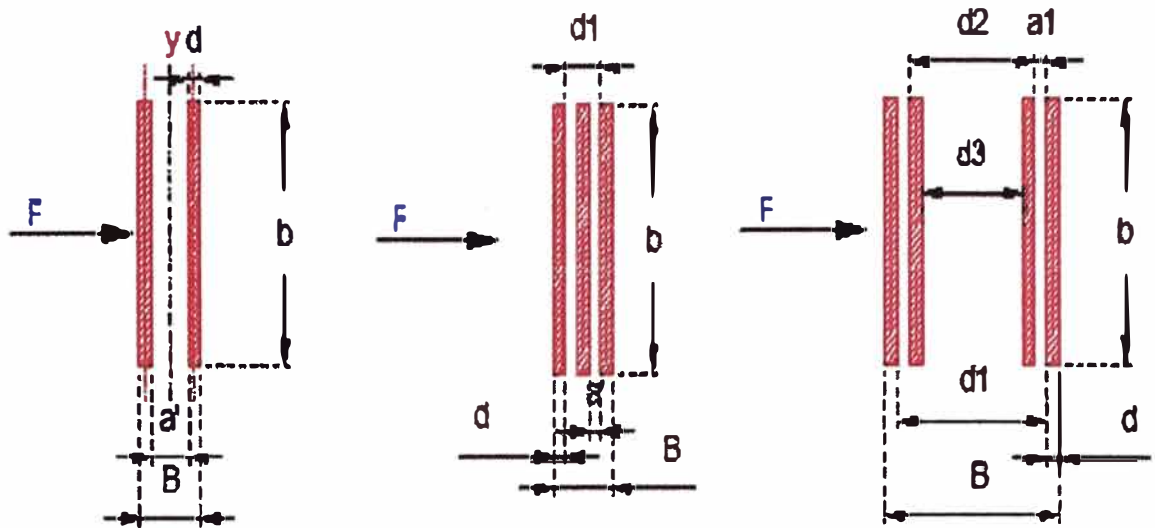


Fig.2.7: Dirección de la fuerza y ejes de flexión de conductor

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 4



$$J_y = \frac{b}{12} (B^3 - a^3)$$

$$J_y = \frac{b}{12} (B^3 - d_1^3 + d^3) \quad J_y = \frac{b}{12} (B^3 - d_1^3 + d_2^3 - d_3^3)$$

$$Z_y = \frac{b}{6B} (B^3 - a^3)$$

$$Z_y = \frac{b}{6B} (B^3 - d_1^3 + d^3)$$

$$Z_y = \frac{b}{6B} (B^3 - d_1^3 + d_2^3 - d_3^3)$$

Fig.2.8: Formulas para cálculo de J_y y Z_y se expresan en cm^4 y cm^3 respectivamente.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 4

CAPÍTULO III

FACTORES DE CORRECCIÓN

Hecha la selección de la configuración de barras, debemos tener en cuenta factores que afectan la capacidad de transmisión de corriente del bus, lo cual se verá en este capítulo.

3.1 Efectos de la conductividad, temperatura, diseño, efecto piel, ubicación.

Si hay diferencias entre las condiciones actuales y las condiciones supuestas, el valor de la corriente continua tomado de las Tabla 2 (Capacidad de barras Secciones rectangulares) multiplicarse por los factores de corrección siguientes (DIN 43670, DIN 43670 Parte 2 y DIN 43671)

k_1 : factor de corrección para las variaciones de capacidad de carga en relación con la conductividad.

k_2 : factor de corrección para el aire otro y / o temperaturas de barras colectoras.

k_3 : factor de corrección para las variaciones térmicas de capacidad de carga debido a diferencias en el diseño.

k_4 : Factor de corrección para las variaciones eléctricas de capacidad de carga (con corriente alterna) debido a diferencias en el diseño.

k_5 : factor de corrección en función de las influencias específicas de ubicación.

Entonces la capacidad de conducción de corriente es:

$$I \text{ corregida} = I \text{ tabla} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$$

Factor de Corrección k_1 :

Factor aplicado para las variaciones de capacidad de carga en relación con la conductividad. La cual se muestra en la siguiente Fig. 3.1.

Por ejemplo, en el caso de aleación de Aluminio E-AlMgSi0.5 (30 m/ Ω mm²), el factor $k_1=0.925$

Según la Fig.3.1 se muestra el factor de corrección k_1 usado para la variación de capacidad de carga cuando la conductividad difiere de 35,1 m / Ω mm² para materiales de aluminio, cuando difiere de 56 m / Ω mm² para los materiales de cobre y el factor k_1 para la variación de capacidad de carga de conductores de aluminio con revestido de cobre distinto de 15% de cobre.

En nuestro caso particular el material usado es Cu (E-Cu F 30) que según el tabla4.1 su conductividad es 56 m/ Ω mm² y llevando este valor a la Tabla 3.1 el valor que le correspondería sería $k_1=1.00$.

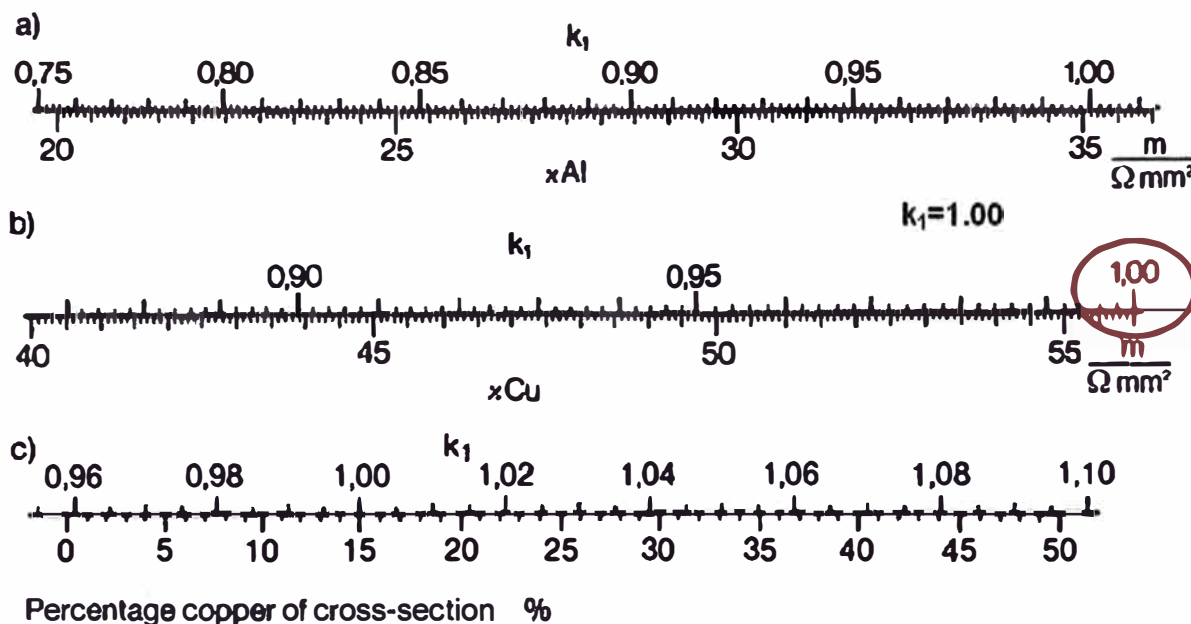


Fig.3.1: Factores de corrección k_1 de la variación de capacidad de carga según la conductividad debido al tipo y calidad de material a usar.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 13.

Factor de Corrección k_2 :

Factor aplicado para las variaciones de temperatura ambiente y/o temperaturas de barras.

Este factor de corrección es aplicado para temperaturas ambiente que no sea $35^\circ C$ y/o temperaturas de barras colectoras que no sea $65^\circ C$; donde ϑ_s es la temperatura de barra colectoras y ϑ_u es la temperatura ambiente a lo largo 24 horas, tiempo corto de valor máximo 5 K por encima de valor de la media.

Cuando se selecciona la barra de distribución secciones transversales, se debe prestar atención a la temperatura de funcionamiento máxima admisible de los equipos y sus conexiones, y también para materiales sensibles al calor aislantes.

Esto se aplica en particular al metal revestidos de las instalaciones.

Por ejemplo, a una temperatura ambiente de $\vartheta_u=35^\circ C$ y una temperatura final de la barra colectoras $\vartheta_s=80^\circ C$ (aumento de la temperatura 45 K), el factor $k_2=1,24$.

Con una temperatura ambiente de $\vartheta_u=45^\circ C$ y una temperatura final de la barra colectoras $\vartheta_s=65^\circ C$ (aumento de la temperatura 20 K), factor $k_2=0,77$.

En nuestro caso particular para la minera La Arena que según sus condiciones ambientales y exigencias de trabajo del tablero tienen una temperatura ambiente de $\vartheta_u=40^\circ C$ y temperatura final de la barra colectoras $\vartheta_s=65^\circ C$ que ubicándolos e interceptándolos en la Fig.3.2 nos da un $k_2=0.9$.

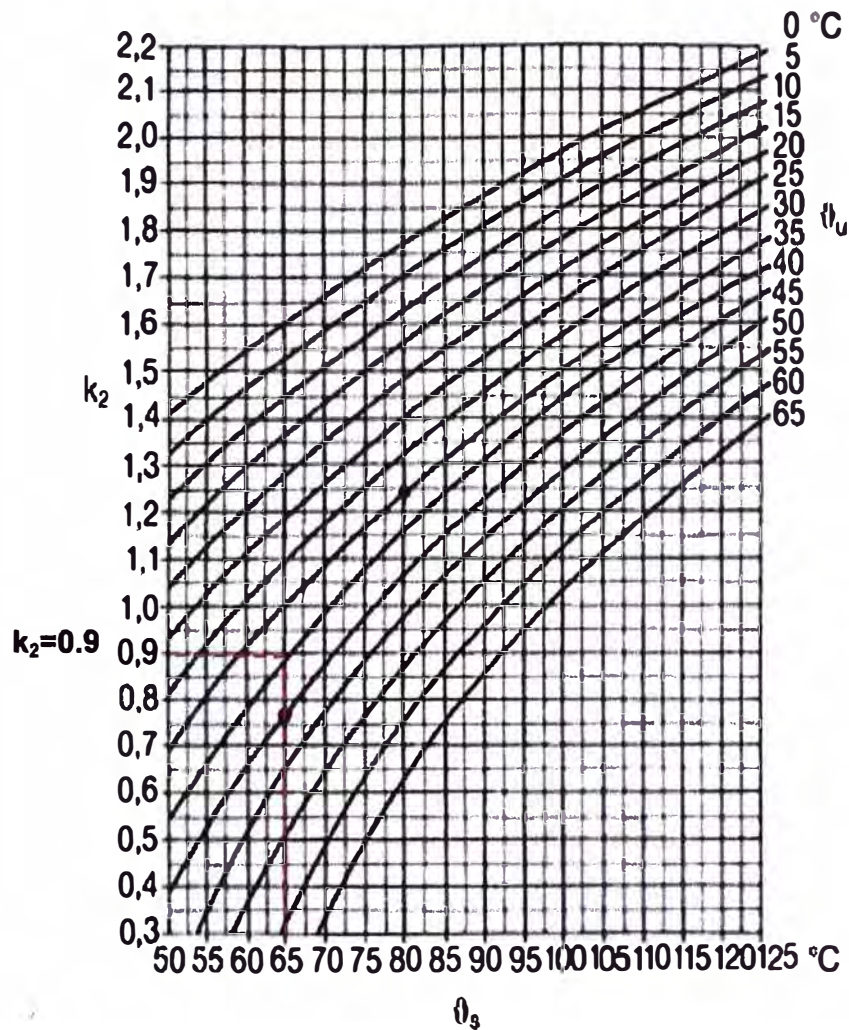


Fig.3.2: Factores de corrección k_2 de la variación de capacidad de carga según las variaciones de temperatura ambiente y de barras.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 13.

Factor de Corrección k_3 :






Factor aplicado para las variaciones térmicas de capacidad de carga debido a las diferencias en el diseño.

En la tabla 3.1 se muestra el factor de corrección k_3 para la reducción de la capacidad de carga con el lado largo (ancho) de los conductores de autobús en posición horizontal o con barras verticales de más de 2 m de Al = conductores de aluminio DIN 43670, Al / Cu = recubiertas de cobre conductores de aluminio DIN 43670 parte 2, Cu = conductores de cobre DIN 43671

En nuestro caso particular la disposición del bus principal debido a nuestro diseño eléctrico y mecánico las barras están dispuestas verticalmente a lo largo del tablero por lo cual según la Tabla 3.1 que muestra disposiciones horizontales de sistemas de barras no se aplicaría a este caso particular siendo el valor del factor aplicable a este caso $k_3=1$. Por lo cual la capacidad eléctrica de nuestro bus principal no se verá afectada.

Tabla 3.1: Factores de corrección k_3 de la variación de capacidad de carga según variaciones de diseño (disposición de barras)

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 13.

Number of conductors	Width of busbar mm	Thickness of conductor and clearance mm	Factor k_3 when conductors					
			painted			bare		
			Al	Al/Cu	Cu	Al	Al/Cu	Cu
2 	50...100	5...10	—	0.85	—	—	0.8	—
	50...200		0.85	—	0.85	0.8	—	0.8
3 	50...80	5...10	0.85	0.85	0.85	0.8	0.8	0.8
	100		—	0.8	—	—	0.75	—
	100...200		0.8	—	0.8	0.75	—	0.75
4  	up to 100		—	0.8	—	—	0.75	—
	160		0.75	—	0.75	0.7	—	0.7
	200		0.7	—	0.7	0.65	—	0.65
2 	up to 200		0.95	—	—	0.9	—	—

Factor de Corrección k_4 :

Factor aplicado para variaciones eléctricas de capacidad de carga (con corriente alterna), debido a una disposición distinta según como se muestran en las figuras para conductores de cobre, Factor k_4 se necesita considerar sólo si no hay ninguna ramificación dentro de una distancia de al menos 2 m.

- a) Ejemplos: Trifásico de barras colectoras con $n=3$ conductores por fase y conductores de espesor s en la dirección de la primera fase de la línea central una distancia a (arriba), monofásico de barras colectoras con $n=2$ conductores por fase y conductores de espesor s a la derecha del centro de fase de la línea una distancia a , Factor k_4 (Abajo),
 b) para conductores de $s=5$ mm, y c) Factor k_4 para conductores de $s=10$ mm como función de $b \cdot h/a^2$, y a , b h en mm; donde n = número de conductores.

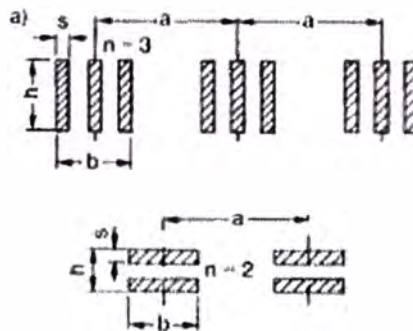


Fig.3.3: Sistema trifásico con 3 conductores por fase de espesor s y sistema monofásico de espesor s .

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 13.

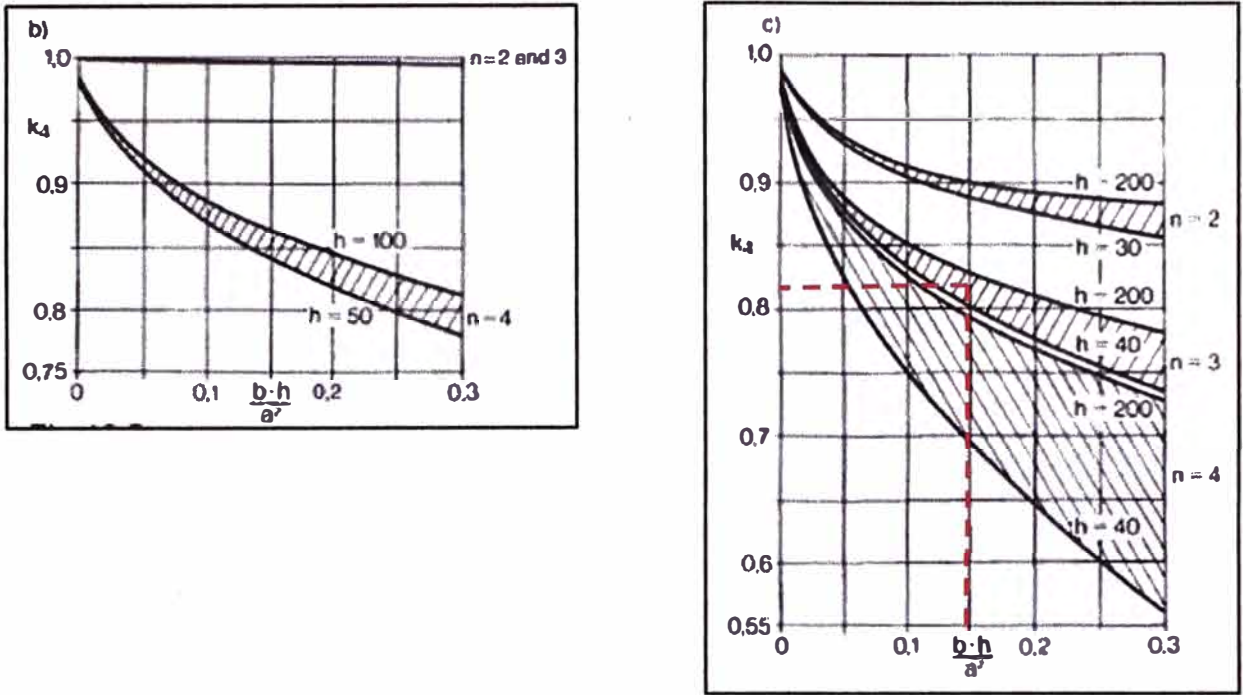


Fig.3.4: Factores de corrección k_4 de reducción de la carga de corriente alterna hasta 60 Hz debido al efecto piel adicional en los conductores.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 13.

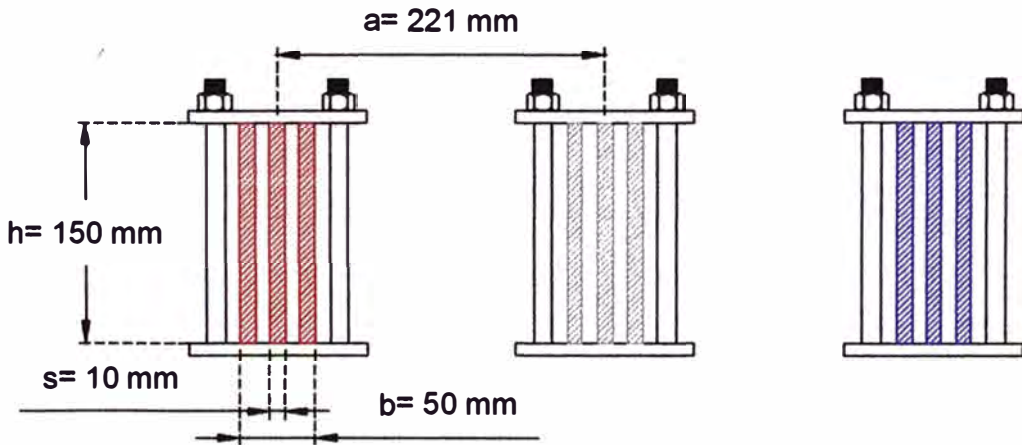


Fig. 3.4: Cotas de las barras de una fase y las fases adyacente.

Fuente: Diseño en AutoCAD de la disposición física.

De nuestra configuración tenemos los siguientes valores $a=221 \text{ mm}$, $b=50 \text{ mm}$, $h=150\text{mm}$ y $s=10\text{mm}$. Según nuestra tabla 3.4, k_4 es función del factor $(b \cdot h)/a^2$ reemplazando estos valores de nuestra configuración tenemos que $(b \cdot h)/a^2 = (50 \cdot 150)/221^2 = 0.15$ que interceptando en la figura con la región comprendida $h=40 \text{ mm} < \text{shaded region} < h=200 \text{ mm}$ y $n=3$ conductores el valor de $k_4=0.82$ aplicado para un sistema en corriente continua pero como los valores iniciales de corriente fuerón tomados en valores para 60

Hz (ver tabla 2.1) nuestro valor seria $k_4=1$.

Factor de Corrección k_5 :

Factor aplicado por influencias específicas del lugar (altitud, exposición al sol, etc.)

Tabla 3.5: Factores de corrección k_5 de la variación de capacidad de carga para alturas arriba de los 1000 m.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 13.

Height above sea-level m	Factor k_5 indoors	Factor k_5 outdoors ¹⁾
1 000	1.00	0.98
2 000	0.99	0.94
3 000	0.96	0.89
4 000	0.90	0.83

En nuestro caso particular nuestro tablero perteneciente a la Minera La Arena S.A. se encuentra ubicada a una altura de 3200 msnm y nuestras barras se ubican dentro de nuestro tablero por lo cual el factor de corrección según nuestra tabla 3.5 es aproximadamente $k_5=0.96$.

Reemplazando los factores de corrección tenemos que:

$$I \text{ corregida} = I \text{ tabla} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 = 5088 \text{ A} \cdot (1) \cdot (0.9) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0.96) = 4396 \text{ A}$$

CAPÍTULO IV

CÁLCULO DE LAS FUERZAS Y ESFUERZOS EN LOS CONDUCTORES

Este capítulo se presentan los cálculos y resultados que son motivo de este informe, además se muestra el uso de las tablas, aplicación de las formulas respectivas, disposición de barras, tipos de material y demás aplicados a nuestro caso particular.

4.1 Calculo de las fuerzas y esfuerzos en los conductores de la configuración de barras del bus principal

De las condiciones eléctricas y mecánicas de nuestro tablero y el uso de las tablas correspondientes procedemos a reemplazar los datos para el cálculo.

Calculo de la fuerza electrodinámica entre conductores:

$$F_m = 0,173 \cdot i_p^2 \cdot \left(\frac{l}{a_m}\right) \quad (4.1)$$

y la fuerza electrodinámica entre subconductores es:

$$F_s = 0,2 \cdot \left(\frac{i_p}{t}\right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s} \quad (4.2)$$

Dónde:

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} \quad (4.3)$$

Donde según nuestra disposición mecánica $a_{12}=20$ mm y $a_{13}=40$ mm y utilizando la Fig. 4.1, interceptamos $\frac{b}{d} = 15$ y $\frac{a_{12}}{d} = 2$ tenemos que $k_{12}=0,32$ y para la intersección de $\frac{b}{d} = 15$ y $\frac{a_{13}}{d} = 4$ tenemos que $k_{13}=0,5$ reemplazamos en la ecuación (4.3) nos dan como resultado $a_s=35,1$ mm.

También sabemos que:

$$a_m = \frac{a}{k_{1s}} \quad (4.4)$$

Donde k_{1s} lo obtenemos de la Fig.4.1 donde $a_{1s}=a$ por lo tanto interceptamos $\frac{b}{d} = 15$ y $\frac{a}{d} = \frac{221}{10} = 22,1$ de lo cual tenemos que $k_{1s}=0,94$ ahora reemplazamos en la ecuación (4.4) y tenemos que $a_m=235,1$ mm.

Reemplazando los datos en la ecuación (4.1) y (4.2) tenemos que:

$$F_m = 0,173 \cdot (85)^2 \cdot \left(\frac{1000}{235,1}\right) = 5316,5 \text{ N}$$

$$F_s = 0,2 \cdot \left(\frac{85}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{355}{35,1}\right) = 1623,9 \text{ N}$$

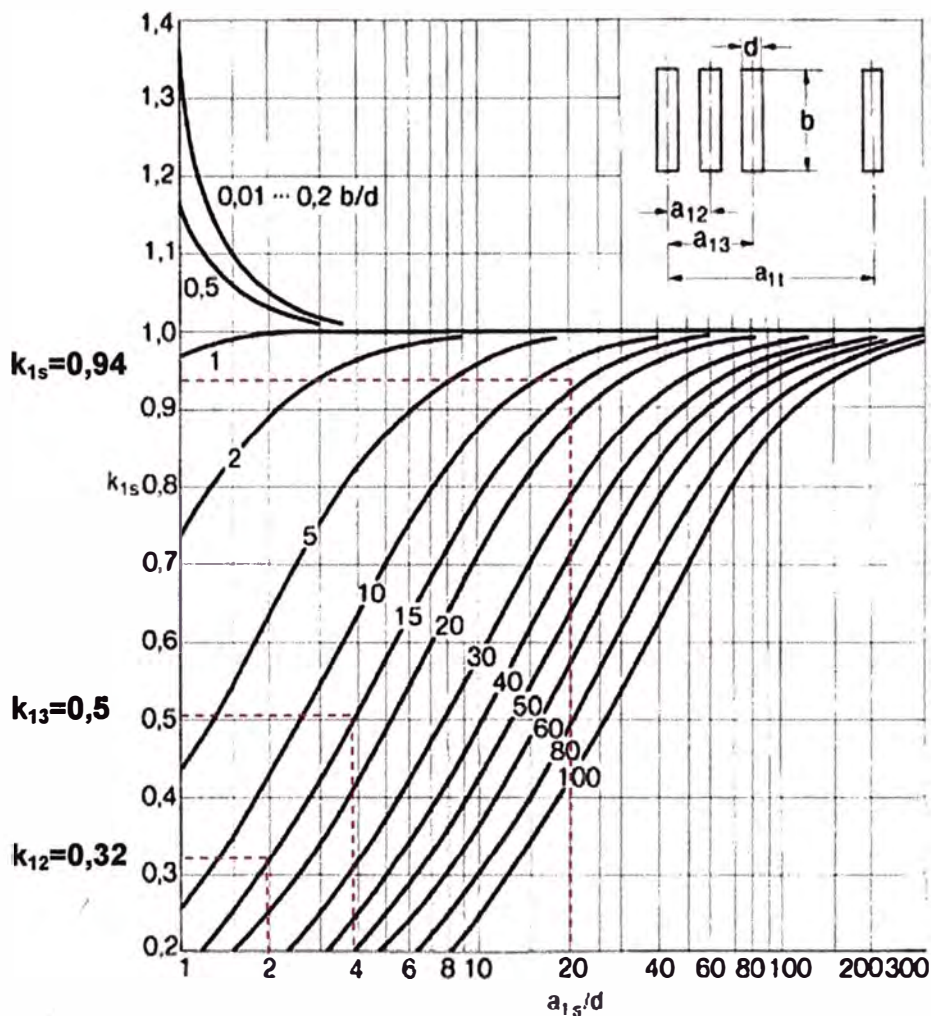


Fig.4.1: Uso de la Fig.1.2 para hallar los factores de corrección k_{1s}

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 4.

A continuación se procede a calcular el esfuerzo electrodinámico entre conductores:

$$\sigma_m = V_o \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot z} = \sigma_m \quad (4.5)$$

$$Z_y = \frac{b}{6B} (B^3 - d^3 + d^3) \quad (4.6)$$

Reemplazando los datos de nuestra configuración de barras tenemos:

$$Z_y = \frac{150}{6 \cdot (50)} (50^3 - 30^3 + 10^3) = 49,5 (10)^3 \text{ mm}^3 = 49,5 \text{ cm}^3$$

Entonces procedemos hallar Z

$$Z = 0,6 \cdot Z_y = 0,6 \cdot (49,5 \text{ cm}^3) = 29,7 \text{ cm}^3$$

Reemplazando estos datos en la ecuación 3 tenemos como resultado:

$$\sigma_m = 1(0,73) \left(\frac{5316,5(100)}{8(29,7)} \right) = 1633,4 \text{ N/cm}^2$$

$$Z_s = \frac{b}{6} (B^2) = \frac{150}{6} (10^2) = 2500 \text{ mm}^3 = 2,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_s = 1 \frac{(1623,9) \cdot (35,5)}{16 \cdot (2,5)} = 1441,2 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_m + \sigma_s = 1633,4 + 1441,2 = 3074,6 \text{ N/cm}^2$$

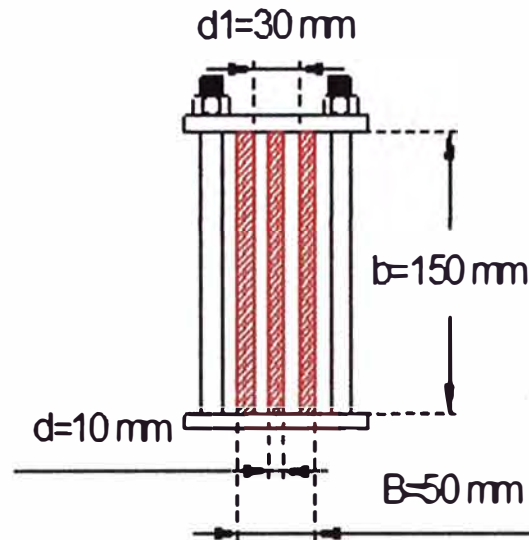


Fig.4.2: Detalle de las cotas de las barras de una fase (fase R)

Fuente: Diseño en AutoCAD de las barras de una fase del tablero.

Y para subconductores tenemos:

$$\sigma_s = V_{\sigma s} \cdot V_r \cdot \frac{F_s \cdot l_s}{16 \cdot Z_s} = \sigma_s = V_{\sigma s} \cdot V_r \cdot \frac{F_s \cdot l_s}{16 \cdot Z_s} \quad (4.7)$$

Donde la fuerza en el soporte se calcula como sigue:

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m \quad (4.8)$$

Para el cobre: E-Cu-F30 según el Cuadro 4.1 tenemos:

$R_{p0,2} = 25000 \text{ N/cm}^2$ Límite de fluencia mínimo, $R'_{p0,2} = 36000 \text{ N/cm}^2$ Límite de fluencia máximo.

Vemos que el $\sigma_{\text{total}} = 3074,6 \text{ N/cm}^2 \lll 0,8 \cdot R'_{p0,2} = 28800 \text{ N/cm}^2$ para este caso particular procedemos hallar los valores de V_F , V_r , V_σ y $V_{\sigma s}$ con el cálculo f_c/f e interceptándolo con la Figs. 4.3 y 4.4.

Para esto necesitamos calcular f_c :

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} \quad (4.9)$$

donde E: Modulo de Young para el Cu (E-Cu F 30) es $11 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$;

$l = 100 \text{ cm}$; $\gamma = 3,56$ (valor según Tabla 2.4 debido a las disposiciones de soportes o aisladores); $J = 1,25 \text{ cm}^4$ momento de inercia y el valor de m' que lo obtenemos de las Tabla 4.2 y Tabla 4.3.

Tabla 4.1: Valores típicos de las propiedades de los materiales de los conductores.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 13.

Symbol	Tensile strength R_m min. N/mm ²	Young's modulus E Elasticity modulus N/mm ²	Yield strength		Brinell hardness HB 10 N/mm ²	Conductivity κ at 20 °C min. m/ Ω mm ²
			$R_{p0.2}$ min. N/mm ²	$R'_{p0.2}$ max. N/mm ²		
Copper						
E-Cu F 20	200	$11 \cdot 10^4$		120	450... 700	57
E-Cu F 25	250	$11 \cdot 10^4$	200	290	700... 950	56
E-Cu F 30	300	$11 \cdot 10^4$	250	360	800...1050	56
E-Cu F 37	370	$11 \cdot 10^4$	330	400	950...1150	55
Aluminium						
E-Al F 6.5/7	65/70	$6.5 \cdot 10^4$	25	80	200... 300	35.4
E-Al F 8	80	$6.5 \cdot 10^4$	50	100	220... 320	35.2
E-Al F 10	100	$6.5 \cdot 10^4$	70	120	280... 380	34.8
E-Al F 13	130	$6.5 \cdot 10^4$	90	160	320... 420	34.5
Al F 10	100	$= 6.5 \cdot 10^4$	70		280... 300	34
Malleable aluminium alloy						
E-Al Mg Si 0.5 F 17	170	$7 \cdot 10^4$	120	180	450... 650	32
E-Al Mg Si 0.5 F 22	220	$7 \cdot 10^4$	160	240	650... 900	30
Copper-clad aluminium						
Cu comprises 15 %	130	$8 \cdot 10^4$	100	130	—	42.3

Tabla 4.2: Densidades lineales de barras próximas a barra de 150 mm

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 13.

Sistema de 3 Barras en Paralelo	Densidad Lineal (kg/m)
100	8.89
120	10.7
160	14.2
200	17.8

Usando los datos de la Tabla 4.2 y mediante el método de gráfico (Tabla 3.1) y obtenemos la ecuación de tendencia, aplicando a nuestro caso particular de nuestro tablero donde el bus principal está compuesto de subconductores de 150 x 10 mm la densidad resultante aplicando la ecuación de tendencia es de 13,11 kg/m.

Reemplazando estos datos en la ecuación 4.9 tenemos que $f_c=36,46$ Hz donde $f_c/f=0,6$ que interceptándolo con las Figuras. 4.3 y 4.4 obtenemos los valores resultantes $V_F= 1,05$, $V_r=1.15$, $V_o=1$ y $V_{os}=1$, las cuales nos servirán para el cálculo de las fuerza y esfuerzos en los soportes.

Tabla 4.3: Curva de Densidad vs Ancho de barras próximos a barra de 150 mm.

Fuente: Elaboración propia.

Densidad Lineal (kg/m)

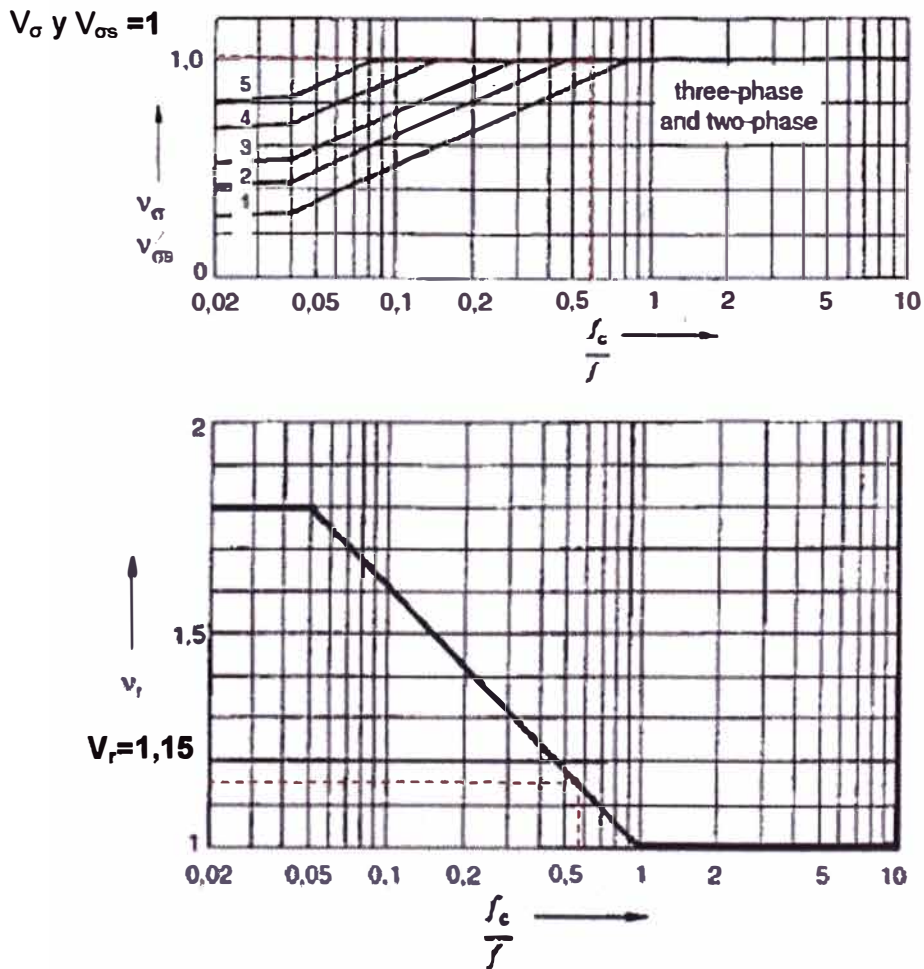
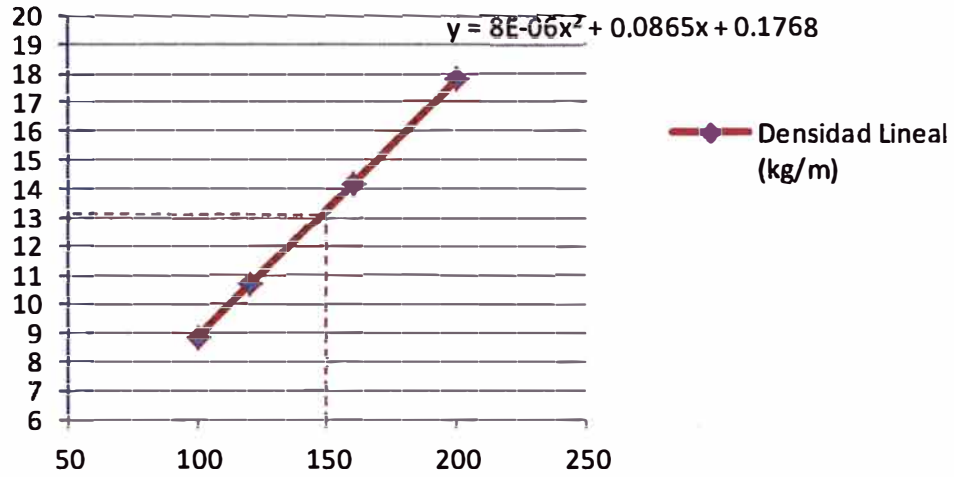


Fig. 4.3: Uso de la Fig. 2.6 para hallar el valor de V_σ , $V_{\sigma B}$ y V_r para determinar el esfuerzo de los soportes de las barras.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capitulo 4.

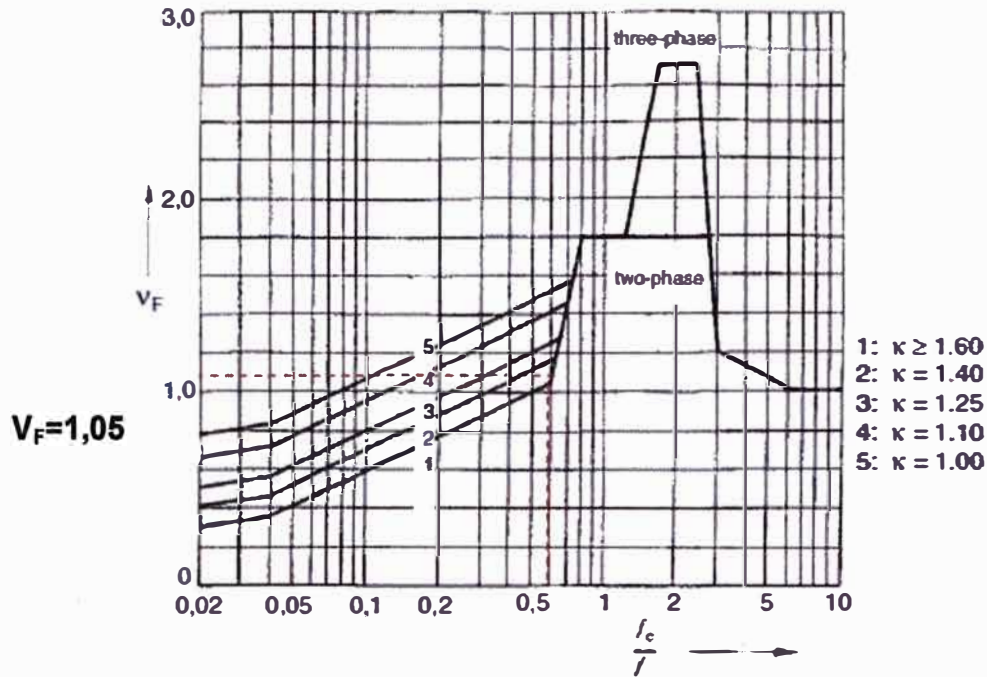


Fig.4.4: Uso de la Fig. 2.5 para hallar el valor de V_F y determinar el esfuerzo de los soportes de las barras.

Fuente: Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB, Capítulo 4.

4.2 Cálculo de los esfuerzos sobre los aisladores

Obtenido los valores de V_F , V_r , procedemos a hallar las fuerzas en los soportes:

Fuerza en aislador B.

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m = 1,05 \cdot (1,15) \cdot (1,1) \cdot (5316,5) = 7061,64 \text{ N}$$

Fuerza en aislador A

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m = 1,05 \cdot (1,15) \cdot (0,4) \cdot (5316,5) = 2567,87 \text{ N}$$

Condiciones para la validez de la configuración de las barras de nuestro tablero:

$$\sigma_{\text{total}} = 3074,6 \text{ N/cm}^2 < 1.5(R_{p0.2}) = 37500 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_s = 1441,2 \text{ N/cm}^2 < 25000 \text{ N/cm}^2$$

4.2.1 Características mecánicas de los aisladores

De las especificaciones técnicas de nuestro aislador que utilizaremos en nuestro sistema de barras (Tabla 4.4) tenemos:

Resistencia a la Flexión del aislador es $E_f = 1500/95 \text{ Kgf/mm} = 1500 \cdot 9.8/95 = 14700/95 \text{ N/mm}$.

Como el punto de aplicación de la fuerza electrodinámica se encuentra en el eje horizontal de la barra, la distancia total que se aplica para el cálculo de la fuerza sobre el aislador sería desde la base del aislador hasta el punto de aplicación de la fuerza electrodinámica es decir:

$$H = L + b = 75 + 83 = 158 \text{ mm}$$

Por lo tanto la fuerza de flexión máxima soportada por la barra sería de:

$$F_f = E_f \cdot H = 14700/95 \text{ N/mm} \cdot 158 \text{ mm} = 24448,42 \text{ N}$$

Comparando con las fuerzas aplicadas en los aisladores A y B tenemos:

$$F_d A = 2567,87 \text{ N} < F_f = 24448,42 \text{ N}$$

$$F_d B = 7061,64 \text{ N} < F_f = 24448,42 \text{ N}$$

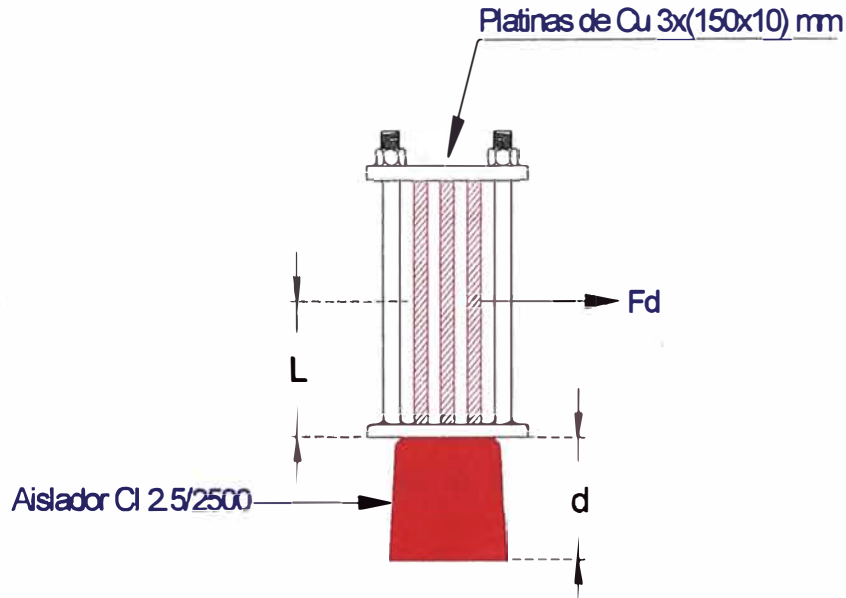


Fig. 4.5: Detalle del punto de aplicación de la fuerza F_d .

Fuente: Diseño en AutoCAD de las barras de una fase del tablero.

Tabla 4.4: Especificaciones técnicas del aislador usado CI 2.5/2500

Fuente: Catalogo de aisladores del fabricante FARCOTEC.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión Normal	2.5 Kv
Tensión Máxima	35 Kv
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA	
Tensión Aplicada 1min.	
- En seco	45 Kv
- En húmedo	50 Kv
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
Resistencia de Aislamiento	
(25Kv - M)	8000
Línea de Fuga	91 Mm.
PRUEBA MECÁNICA DE CARGA DE ROTURA	
Resistencia a la compresión	452 Tn.
Resistencia a la Flexión (Kg/cm)	1500/95

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

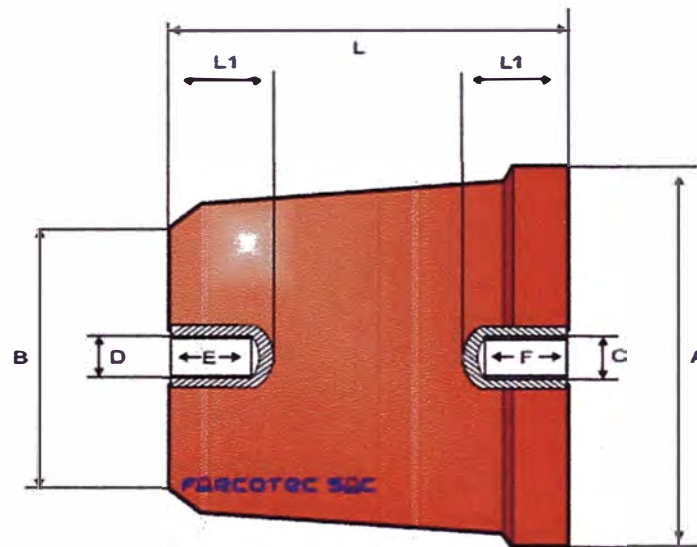
CONCLUSIONES

1. Dados estos resultados la configuración de las barras 150x3 mm, dispuestas en un plano horizontal de nuestro sistema trifásico cumplen con las condiciones de esfuerzos electrodinámicos si se efectúan un cortocircuito.
2. Nuestra corriente de diseño para el sistema de barraje se ve afectado por los factores de corrección dando un valor debajo de la nominal solicitada, pero también se debe de tener en cuenta el factor de simultaneidad de las cargas aplicable.

RECOMENDACIONES

1. Para este sistema de barraje que soporta 5000 A hemos utilizado los aisladores tipo cono más portabarras para asegurar la barra, pero para corrientes mayores se recomendaría usar aisladores tipo E.
2. También para el diseño de este tablero se pudo optar por la posibilidad de un sistema de barras en forma vertical, lo cual ayudaría en disminuir la profundidad del tablero y ubicarlos en zonas de poco espacio según requerimiento del cliente.
3. Concluido nuestro cálculo de corto circuito y obtenido finalmente la separación optima de nuestras barras, un factor importante mecánicamente que se debe de realizar es el torqueo de todos los pernos según su grado, para esto usamos las tablas respectivas y un torquimetro como herramienta de aplicación.
4. El cálculo de cortocircuito se debe de realizar a tableros cuyas corrientes son mayores de 1000 A por debajo de esta se debe considerar la separación entre barras como método practico la altura de los aisladores a utilizar.
5. Para disminuir el calentamiento de las conexiones de las cargas al bus principal se puede platear dichos puntos de contactos

ANEXO A
TIPOS DE AISLADORES Y PORTABARRAS

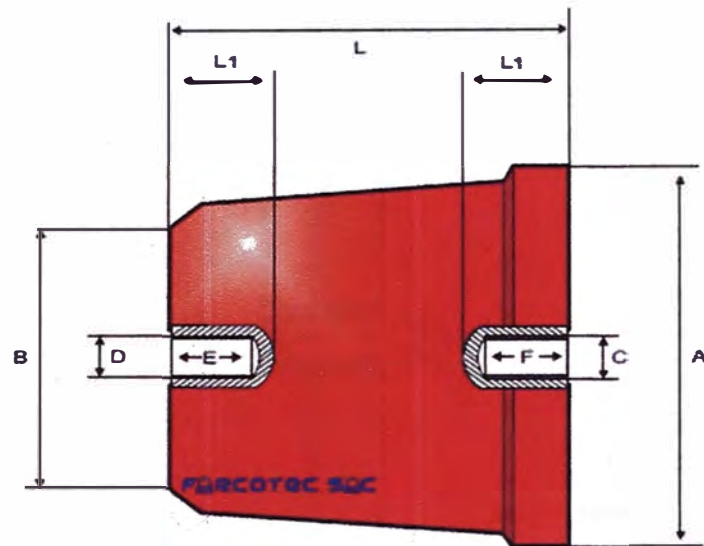


Dimensiones	A	B	C	D	E	F	L	L1	Peso (gr)
CI 0.5/400	30	24	1/4	1/4	10	10	30	12	50

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión Nominal	1 Kv
Tensión Máxima	1.5 Kv
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA	
Tensión Aplicada 1min.	
- En seco	25 Kv
- En Húmedo	20 Kv
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
Resistencia de Aislamiento (25Kv- 1Min)	860
Línea de Fuga	731 Mm.
PRUEBA MECÁNICA DE CARGA DE ROTURA	
Resistencia a la compresión	14.5 Tn.
Resistencia a la Flexión (Kj/cm)	520/51

Normas Técnicas
UNE 21-110 -83
UNE 21-110 -82
UNE 21-110 -90

Descripción	Aislador eléctrico de Resina epoxica
Nombre Comercial	CI 0.5/400
Aplicación	Soporte de Barras
Uso	Interior

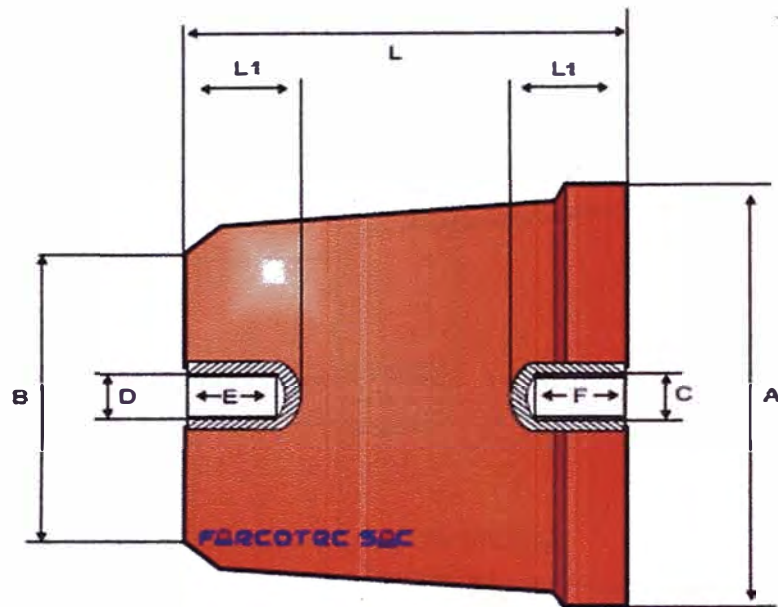


Dimensiones	A	B	C	D	E	F	L	L1	Peso (gr)
CI 1/750	40	32	3/8	3/8	14	14	50	16	90

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión Normal	1 Kv
Tensión Máxima	1.5 Kv
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA	
Tensión Aplicada 1 min.	
- En seco	30 Kv
- En húmedo	25 Kv
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
Resistencia de Aislamiento (25Kv- Mn)	900
Línea de Fuga	41 Mm.
PRUEBA MECÁNICA DE CARGA DE ROTURA	
Resistencia a la compresión	26.5 Tn.
Resistencia a la Flexión (Kob/m)	580 / 62

Normas Técnicas
UNE 21-110 - 83
UNE 21-110 - 82
UNE 21-110 - 90

Descripción	Aislador eléctrico de Resina epoxica
Nombre Comercial	CI 1/750
Aplicación	Soporte de Barras
Uso	Interior



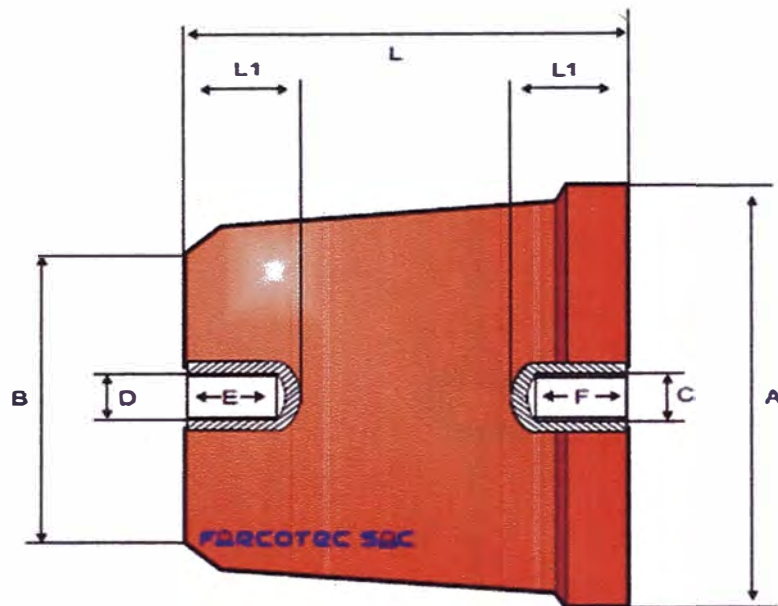
Dimensiones	A	B	C	D	E	F	L	L1	Peso (gr)
CI 1/1000	50	40	1/2	1/2	17	17	50	19	170

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión Normal	1 Kv
Tensión Máxima	1.5 Kv
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA	
Tensión Aplicada 1min.	
- En seco	35 Kv
- En húmedo	30 Kv
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
Resistencia de Aislamiento (25Kv-Min)	2080
Línea de Fuga	51 Mm.
PRUEBA MECÁNICA DE CARGA DE ROTURA	
Resistencia a la compresión	33.6 Tn.
Resistencia a la Flexión (Kg/cm)	870 / 70



Normas Técnicas
UNE 21-110 - 83
UNE 21-110 - 82
UNE 21-110 - 90

Descripción	Aislador eléctrico de Resina epoxica
Nombre Comercial	CI 1/1000
Aplicación	Soporte de Barras
Uso	Interior

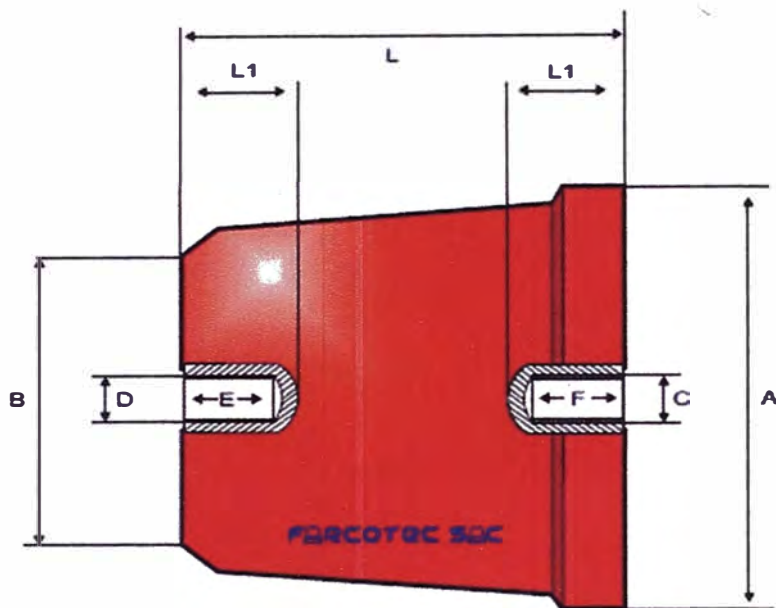


Dimensiones	A	B	C	D	E	F	L	L1	Peso (gr)
CI 1.5/1250	60	50	5/8	5/8	20	20	50	22	300

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión Normal	1 Kv
Tensión Máxima	3 Kv
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA	
Tensión Aplicada 1min.	
- En seco	40 Kv
- En húmedo	35 Kv
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
Resistencia de Aislamiento (25Kv - MI)	4000
Línea de Fuga	61 Mm.
PRUEBA MECÁNICA DE CARGA DE ROTURA	
Resistencia a la compresión	35.2 Tn.
Resistencia a la Flexión (Kg/cm)	890 / 70

Normas Técnicas
UNE 21-110 - 83
UNE 21-110 - 82
UNE 21-110 - 90

Descripción	Aislador eléctrico de Resina epoxica
Nombre Comercial	CI 1.5/1250
Aplicación	Soporte de Barras
Uso	Interior



Dimensiones	A	B	C	D	E	F	L	L1	Peso (gr)
CI 2.5/2000	90	80	3/4	3/4	20	20	75	22	740

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión Normal	2.5 Kv
Tensión Máxima	3.5 Kv
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA	
Tensión Aplicada 1min.	
- En seco	45 Kv
- En húmedo	50 Kv
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
Resistencia de aislamiento	
(25Kv - Mts)	8000
Línea de fuga	91 Mm.
PRUEBA MECÁNICA DE CARGA DE ROTURA	
Resistencia a la compresión	45.2 Tn.
Resistencia a la Flexión (Kg/cm)	1500/95

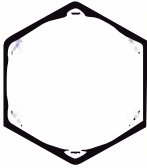
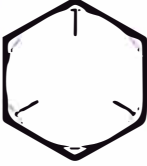
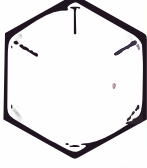
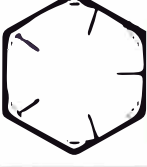


Normas Técnicas	
UNE 21-110 - 83	
UNE 21-110 - 82	
UNE 21-110 - 90	

Descripción	Aislador eléctrico de Resina epoxica
Nombre Comercial	CI 2.5/2000
Aplicación	Soporte de Barras
Uso	Interior

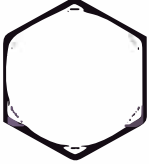



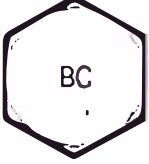
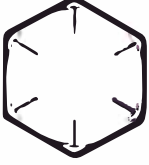
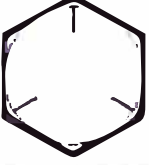


ANEXO B
ESPECIFICACIONES DE PERNOS Y TORQUEO-TABLAS

RESISTENCIA DE PERNOS

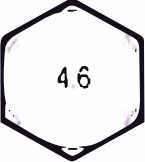
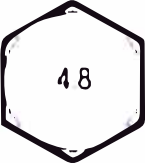





Las normas de prueba de pernos indican cargarlo contra su propio hilo, sin utilizar una probeta representativa. Esto genera un valor llamado carga de prueba, la cual puede utilizarse para diseñar en reemplazo de la resistencia a la fluencia. Se adjuntan las marcas con que se indica el grado de resistencia de los pernos, para las normas SAE, ASTM y Métrica.

Marcado de pernos de acero grado SAE					
Número de grado SAE	Rango de diámetro[inch]	Carga de prueba[kpsi]	Esfuerzo de ruptura[kpsi]	Material	Marcado de la cabeza
12	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	5533	7460	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	8574	120105	Acero al carbono, Templado y Revenido	
5.2	$\frac{1}{4}$ - 1	85	120	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8.2	$\frac{1}{4}$ - 1	120	150	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	

Marcas para pernos de acero grado ASTM






DesignaciónASTM	Rango del diámetro [inc.]	Carga de prueba[psi]	Esfuerzo de ruptura[psi]	Material	Marcado de la cabeza
A307	¼ a 4			Acero de bajo carbono	
A325 tipo 1	½ a 1 1/8 a 1 ½	8574	120105	Acero al carbono, Templado y Revenido	
A325 tipo 2	½ a 1 1/8 a 1 ½	8574	120105	Acero de bajo carbonomartensítico, Templado y Revenido	
A325 tipo 3	½ a 1 1/8 a 1 ½	8574	120105	Acero recubierto, Templado y Revenido	
A354 grado BC				Acero aleado, Templado y Revenido	
A354 grado BD	¼ a 4	120	150	Acero aleado, Templado y Revenido	
A449	¼ a 1 1/8 a 1 ½ ¾ a 3	857455	12010590	Acero al carbono, Templado y Revenido	
A490 tipo 1	½ a 1 ½	120	150	Acero aleado, Templado y Revenido	
A490 tipo 3				Acero recubierto, Templado y Revenido	


Propiedades mecánicas de elementos roscados de clase métrica

Clase	Rango del diámetro	Carga de prueba[MPa]	Esfuerzo de ruptura[MPa]	Material	Marcado de la cabeza
4.6	M5 - M36	225	400	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
4.8	M1.6 - M16	310	420	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5.8	M5 - M24	380	520	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
8.8	M16 - M36	600	830	Acero al carbono, Templado y Revenido	
9.8	M1.6 - M16	650	900	Acero al carbono, Templado y Revenido	
10.9	M5 - M36	830	1040	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
12.9	M1.6 - M36	970	1220	Acero aleado, Templado y Revenido	

MARCAS DE GRADOS DE RESISTENCIA PERNOS DE ACERO

MARCA A.S.	ESPECIFICACION	ALGUNOS USOS	Resistencia a la	Límite de	DUREZA
------------	----------------	--------------	------------------	-----------	--------

GRADO RESISTENCIA	SAEgrado	ISOclase	ASTM	RECOMENDADOS	tracción mínima[Kg/mm ²]	fluencia mínima[Kg/mm ²]	
		3,6		Para requerimientos menores de resistencia, metalmecánica, motores eléctricos, línea blanca. electrónica, usos generales.	34	20	53 - 70 Rb
	J429grado 1¼" a 1½" "	4,6	A307gradoA y B	Para requerimientos de resistencia media, construcción de máquinas livianas, automotriz (piezas no afectas a fuertes tensiones), máquinas agrícolas, estructuras livianas.	42	23	70 - 95 Rb
		8,8	A449	Para requerimientos de alta resistencia a la tracción, ruedas de vehículos, partes de motores de tracción, cajas de cambio, máquinas herramientas, matrices	80	64	22 - 32 Rc
			A325	Para requerimientos de alta resistencia a la tracción y otros, especialmente para juntas estructurales exigidas mecánicamente. Debe trabajar con TU y golilla de la misma calidad	Hasta 1 φ 85de 1 1/8 a 1 1/2 φ 74	Hasta 1 φ 65de 1 1/8 a 1 1/2 φ 57	Hasta 1 φ 23 - 35 Rcde 1 1/8 a 1 1/2 φ 19 - 31 Rc
			A490	Para requerimientos de alta resistencia a la tracción y alta temperatura. Debe	105	81	32 - 38Rc

				trabajar con TU y golilla de la misma calidad			
 GRADO 8	8	10,9		Para requerimientos de alta resistencia a la tracción, flexión, cizalle, etc. Culata de motores, paquete de resortes, pernos para ruedas vehículos pesados, bielas, etc.	105	88	31 - 38Rc

Fuente: Catálogo de productos American Screw

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. "Manual de Switchgear 10th revised edition by ABB", Autor: ABB-Berlin 2001, Capítulo 4 y 13
- [2]. Código Nacional de Electricidad. Tomo V-Sistema de Utilización, Ministerio de Energía y Minas-Perú 2006, Capítulo4: Enciso 4.10.
- [3]. Software "Any PDF to DWG Converter", <http://www.softonic.com/s/convertir-pdf-en-autocad>