

Diseño de envolventes eléctricas en baja tensión a partir de las normas IEC-60890 E IEC-60865

Carlos Eduardo Prada Rodriguez, Daniel Enrique Caicedo Sanchez

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electricista

Director:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Dr. en Ciencias con Énfasis en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Faculta de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios, por darme la oportunidad y acompañarme en este camino.
A mis padres Robert y Lucedi, por permitirme cumplir este sueño y enseñarme cada uno de los valores que se le pueden brindar a un hijo, porque a pesar de no haber terminado el bachillerato, me dieron la mejor educación del mundo.

A mis abuelos por cada una de sus bendiciones y por enseñarme,
los valores de la vida.

A mis hermanos Jessica y Robert, los amo y saben que quiero lo mejor para ustedes.
A Lina Hernández, por ser ese apoyo incondicional y darme tanto amor todo este tiempo.
A mis amigos de infancia, mis compañeros de universidad que hicieron parte de mi formación académica y cada una de las personas que Dios puso en mi camino.

Este triunfo es por y para ustedes disfrútenlo se lo merecen, gracias por creer en mí y motivarme a ser mejor persona.

Daniel Enrique Caicedo Sanchez

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander por permitirme ser parte de esta hermosa Universidad, especialmente a las escuelas de Ingenierías Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones E3t, por cada una de sus enseñanzas.

A nuestro profesor y director de trabajo de grado, Dr. Óscar Quiroga Quiroga, gracias por guiarnos y su dirección en este trabajo de grado.

A mis amigos y futuros colegas,

Martín Elías Daza, Carlos Eduardo Prada, Carlos Dovalés, José Barone, Oscar Ayala, Samir

Ospino,

Yoleima Chavarro, Paula González, Yessica Ramos,

Gracias por motivarme todo este tiempo.

A mis tíos por darme ánimo y en especial a Erick James, los quiero.

Daniel Enrique Caicedo Sanchez

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Generalidades de las envolventes eléctricas	17
1.1 Envolvente para instalación en interior.....	19
1.2 Envolvente para instalación en exterior	20
1.3 Formas de segregación interna.....	21
1.4 Verificación de los límites de sobretemperatura en el interior de una envolvente	23
1.4.1 Verificación térmica de la envolvente	25
2. Cálculo de la sobretemperatura conforme a la norma IEC-60890.....	27
2.1 Tipo de instalación de la envolvente.....	28
2.2 Cálculo de las potencias generadas por los distintos componentes y disipadas en el interior de la envolvente.	29
2.2.1 Interruptores automáticos.....	29
2.2.2 Barrajes de distribución	30
2.2.3 Cables de entrada y salida de la envolvente.....	32
2.3 Determinación de la superficie efectiva de refrigeración A_e , de la envolvente.....	36

2.3.1 Cálculo de la sobretensión.....	37
3. Cálculo de los esfuerzos mecánicos en barras y soportes producidos por una corriente de cortocircuito establecida conforme a la norma IEC-60865	47
3.1 Arreglo de conductores rígidos.....	47
3.2 Cálculo de las fuerzas electromagnéticas.	48
3.2.1 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un cortocircuito trifásico.	48
3.2.2 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un cortocircuito bifásico.	49
3.2.3 Cálculo del valor de cresta de la fuerza entre subconductores coplanarios.....	49
3.3 Distancia equivalente entre conductores principales y entre subconductores	50
3.4 Cálculo de tensiones mecánicas en conductores rígidos.....	53
3.4.1 Cálculo de tensiones mecánicas.....	53
3.4.2 Módulo de sección y factor q del conductor principal compuesto por subconductores	55
3.4.3 Tensión mecánica admisible en un conductor	58
3.5 Cálculo de las fuerzas ejercidas sobre los soportes de los conductores rígidos.....	60
3.6 Consideraciones sobre el reenganche automático.....	61
4. Planteamiento de escenarios de estudio según capacidad de corriente nominal y corriente de cortocircuito.	63
4.1 Envoltorio de distribución 100 [A].....	63

4.1.1 Diseño de montaje.....	69
4.2 Envolverte de distribución 630 [A].....	72
4.3 Envolverte de distribución 1000 [A].....	76
4.4 Envolverte de distribución 1600 [A].....	84
4.4.1 Especificaciones técnicas.....	85
4.4.2 Cálculo de esfuerzos mecánicos ante un cortocircuito de 65 [kA].....	88
5. Conclusiones.....	92
Referencias Bibliográficas	93

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Condiciones ambientales para uso interior	20
Tabla 2. Condiciones ambientales para uso Exterior.....	20
Tabla 3. Límites de sobretemperatura según IEC-61439-1	24
Tabla 4. Factor de multiplicación según tipo de interruptor	30
Tabla 5. Potencias disipadas por platinas de cobre.....	32
Tabla 6. Potencias disipadas por cables de cobre	34
Tabla 7. Factor de superficie b según el tipo de instalación (IEC-60890).....	42
Tabla 8. Factor d para envolventes con y sin orificios de ventilación (IEC-60890)	42
Tabla 9. Factor k para envolventes con ventilación y área efectiva $>1.25\text{m}^2$ (IEC-60890).....	43
Tabla 10. Factor k para envolventes sin ventilación y área efectiva $\leq 1.25\text{m}^2$ (IEC-60890).....	43
Tabla 11. Factor k para envolventes sin ventilación y área efectiva $>1.25\text{m}^2$ (IEC-60890).....	44
Tabla 12. Factor c para envolventes sin ventilación y área efectiva $>1.25\text{m}^2$ (IEC-60890).....	45
Tabla 13. Factor de distribución de temperatura c para envolventes con ventilación y área efectiva $>1.25\text{m}^2$ (IEC-60890)	45

Tabla 14. Factor de distribución de temperatura c para envolventes sin ventilación y área efectiva $\leq 1.25m^2$ (IEC-60890)	46
Tabla 15. Especificaciones técnicas, según diseño establecido.....	65
Tabla 16. Listado de equipos instalados en el Envolvente (Datos de potencia disipada totalizadores ABB).....	66
Tabla 17. Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido.....	69
Tabla 18. Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido.....	69
Tabla 19. Especificaciones técnicas, según diseño establecido.....	74
Tabla 20. Listado de equipos instalados en el envolvente (Datos de potencia disipada totalizadores ABB).....	75
Tabla 21. Especificaciones técnicas, según diseño establecido.....	78
Tabla 22. Listado de equipos instalados en el envolvente (Datos de potencia disipada totalizadores ABB).....	79
Tabla 23. Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido.....	81
Tabla 24. Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido.....	81
Tabla 25. Especificaciones técnicas, según diseño establecido.....	85
Tabla 26. Listado de equipos instalados en el envolvente (Datos de potencia disipada totalizadores ABB).....	86
Tabla 27. Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido.....	89
Tabla 28. Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido.....	89

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Guía para construcción de una envolvente eléctrica de baja tensión	19
Figura 2. Formas de segregación	22
Figura 3. Métodos de cálculo de sobretemperatura	26
Figura 4. Tipos de instalación.....	29
Figura 5. Algoritmo de cálculo de sobretemperatura (Electrical installation handbook ABB pag.247)	37
Figura 6. Factor k1s para el cálculo de la distancia equivalente entre conductores	52
Figura 7. Distancia equivalente as entre subconductores, para dimensiones de secciones transversales rectangulares.....	52
Figura 8. Dirección de la carga y el eje de flexión para disposiciones de conductores múltiples	56
Figura 9. Valores máximos posibles de $V_{\sigma m} V_{r m}$, $V_{\sigma s} V_{r s}$, $V F V_{r m}$	57
Figura 10. Factores α , β y γ para diferentes disposiciones de apoyos de embarrados	58
Figura 11. Factor q según sección transversal del conductor	62
Figura 12. Módulos de sección Wm de conductores principales con dos o más elementos rigidizadores entre dos soportes entre dos soportes adyacentes	62

Figura 13. Diagrama unifilar Envoltente de distribución 100A. (Diseñado en E-DESIGN ABB).	64
Figura 14. Diagrama espacial Envoltente de distribución 100A. (Diseñado en AUTOCAD). ...	65
Figura 15. Cálculo de temperatura interna del Envoltente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).....	68
Figura 16. Fichas técnicas de platina y aisladores. (Proporcionados por Matrimol y cobres de Colombia)	70
Figura 17. Cálculo de Esfuerzos mecánicos en barras y soportes (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).	71
Figura 18. Diagrama unifilar envoltente de distribución 630 [A]. (Diseñado en DOC ABB). ...	72
Figura 19. Diagrama espacial envoltente de distribución 630 [A]. (Diseñado en AUTOCAD).	73
Figura 20. Cálculo de temperatura interna de la envoltente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).....	76
Figura 21. Diagrama unifilar Envoltente de distribución 1000 [A]. (Diseñado en DOC ABB)..	77
Figura 22. Diagrama espacial envoltente de distribución 1000 [A]. (Diseñado en AUTOCAD).	78
Figura 23. Cálculo de temperatura interna de la envoltente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).....	80
Figura 24. Fichas técnicas de platina y aisladores. (Proporcionados por Matrimol y cobres de Colombia)	82

Figura 25. Cálculo de Esfuerzos mecánicos en barras y soportes (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).....	83
Figura 26. Diagrama unifilar envolvente de distribución 1600 [A]. (Diseñado en DOC ABB). .	84
Figura 27. Diagrama espacial envolvente de distribución 1600 [A]. (Diseñado en AUTOCAD).	85
Figura 28. Cálculo de temperatura interna de la envolvente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).....	88
Figura 29. Fichas técnicas de platina y aisladores. (Proporcionados por Matrimol y cobres de Colombia)	90
Figura 30. Cálculo de Esfuerzos mecánicos en barras y soportes (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).....	91

Resumen

Título: Diseño de envolventes eléctricas en baja tensión a partir de las normas IEC-60890 E IEC-60865*

Autores Carlos Eduardo Prada Rodriguez, Daniel Enrique Caicedo Sanchez**

Palabras Claves: IEC, Envolvente Eléctrica, Diseño

Descripción:

Las envolventes eléctricas son un componente muy importante de las instalaciones eléctricas, al igual que centros de distribución de energía eléctrica, en las cuales se instalan equipos de protección y maniobra para diferentes circuitos que llevan a unas cargas específicas. Ellas constan de un encerramiento metálico como acero galvanizado en caliente y acabados en pintura de aplicación electrostática o acero inoxidable, al igual elementos y equipos instalados en su interior (barrajes, protecciones, aisladores, medidores, entre otros).

La industria local viene desarrollando la fabricación de envolventes y el ensamblaje de estas, por lo que el propósito de este trabajo de grado es aportar al correcto dimensionamiento de las envolventes acorde con las exigencias del RETIE.

Todos los materiales implicados en el ensamble de una envolvente deben ser certificados y aptos eléctricamente según especificaciones técnicas de las cargas.

Las normas IEC-60890 e IEC-60865-1 sección 2 son el principal referente normativo para el desarrollo de este trabajo de grado, ya que son los procedimientos de cálculo establecidos por las normas internacionales y se rigen bajo parámetros de otras normas IEC. La envolvente se debe diseñar para soportar tanto los esfuerzos mecánicos producidos por cortocircuitos en su interior, como los sobrecalentamientos que se generan debido la potencia disipada por la aparementada instalada.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.
Director: Óscar Arnulfo Quiroga Quiroga, Electrical Engineer, Dr.

Abstract

Title: Design of low voltage electrical enclosures a from IEC-60890 AND IEC-60865*

Authors: Carlos Eduardo Prada Rodriguez, Daniel Enrique Caicedo Sanchez**

Keywords: IEC, Electric Enclosure, Design

Description:

Electrical enclosures are a very important component of electrical installations, as well as electrical power distribution centers, in which protection and switching equipment for different circuits leading to specific loads are installed. They consist of a metal enclosure such as hot-dip galvanized steel and finished with electrostatic or stainless-steel paint, as well as elements and equipment installed inside them (busbars, protections, insulators, meters, among others).

The local industry has been developing the manufacture of enclosures and the assembly of these, so the purpose of this work of degree is to contribute to the correct dimensioning of the enclosures according to the requirements of the RETIE.

All the materials involved in the assembly of an enclosure must be certified and electrically suitable according to the technical specifications of the loads.

Standards IEC-60890 and IEC-60865-1 section 2 are the main normative reference for the development of this degree work, since they are the calculation procedures established by international standards and are governed by the parameters of other IEC standards. The enclosure must be designed to withstand both the mechanical stresses produced by short circuits inside it and the overheating generated by the power dissipated by the installed equipment.

* Bachelor thesis

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Óscar Arnulfo Quiroga Quiroga, Electrical Engineer, Dr.

Introducción

Las envolventes eléctricas constituyen preventiva y funcionalmente un elemento importante de los tableros eléctricos, por cuanto deben garantizar una protección contra contactos eléctricos directos de las personas y, a su vez, una protección del propio equipo contra penetración de agentes ambientales sólidos y líquidos (UNE, sf) (Código IP) y contra los impactos mecánicos externos (UNE, sf) (Código IK), evitando deterioros que puedan afectar a la seguridad de los usuarios o al funcionamiento y longevidad del aparato (NTP588). Son usadas con frecuencia en cualquier subestación de baja tensión, por lo que se hace necesario establecer criterios de diseño con base en las normas mencionadas anteriormente y los parámetros estipulados por los reglamentos nacionales (NTC-2050 y RETIE).

Desde la actualización del RETIE en el año 2013, en el dimensionamiento de envolventes eléctricas en baja tensión se debe considerar el sobrecalentamiento producido por los diferentes elementos instalados dentro de la misma, como son las protecciones, barras y conductores, acorde con las exigencias de cálculo de la norma IEC-60890 la cual se basa en los parámetros establecidos por la norma IEC-61439-1. Por otro lado, también se exige cumplir con la norma IEC-60865-1 sección 2, la cual se basa en el procedimiento de cálculo de esfuerzos mecánicos, para garantizar un buen compartimiento de la envolvente ante cortocircuitos, para lo cual se deben seguir criterios referentes a las normas IEC-60439-1 (Internacional Standard, sf), IEC-61439-1 (Internacional Standard, sf) y NTC-3283 (numeral 6.1.1.1) (Norma Técnica Colombiana NTC-3283, sf). Para realizar estos cálculos se deben asignar configuraciones referentes a disposiciones de barra,

distancias entre ellas y aisladores o soportes de barras. (Lilien, J. L., El Adnani, M., Ford, G., Miri, A. M., Nordin, R., Polevoy, A., ... & Tsanakas, D., 1996)

Estas normas buscan garantizar la integridad física de las personas evitando accidentes causados por instalaciones accesibles e inadecuadas, protección de equipos y elementos eléctricos sensibles y prevenir incendios producidos por cortocircuitos y altas temperaturas generadas por elementos instalados dentro de la envolvente (Sai Global, 1987). También se busca la estandarización de diseños facilitando así las certificaciones de los proyectos ejecutados.

El propósito del presente trabajo de grado es documentar todo el proceso de diseño de una envolvente eléctrica en baja tensión, desde las consideraciones sobre el calentamiento y la capacidad de cortocircuito, así otros factores tales como: ubicación geográfica de instalación, marca de protecciones a utilizar y su respectiva coordinación de protecciones, marca de conductores y tipo de aislamiento, aisladores o soportes de barra, pureza de platinas de cobre y propiedades mecánicas y equipos de aplicación especial. Todos estos equipos obligatoriamente deben cumplir con certificaciones de calidad de producto emitidas por organismos certificados acreditados.

El objetivo general del trabajo de grado es entonces documentar el proceso de dimensionamiento de envolventes eléctricas de baja tensión aplicando los criterios establecidos por las normas IEC-60890 e IEC-60865. Para lograr ese objetivo se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- Describir el procedimiento de diseño de las envolventes eléctricas en baja tensión para cumplir los requerimientos de las normas IEC-60890 e IEC-60865-1 sección 2, teniendo en cuenta los parámetros base establecidos en las normas adscritas a estas.
- Implementar en Excel las rutinas para validación de temperatura y esfuerzos mecánicos, requeridas en el diseño de las envolventes eléctricas en baja tensión
- Mostar la aplicación del procedimiento de diseño usando diferentes casos de estudio.

Para lograr esos objetivos se establecerán diferentes escenarios de estudio analizando sus comportamientos térmicos variando principalmente la corriente nominal y se realizará el cálculo de los esfuerzos mecánicos en los barrajes y soportes de barras ante un nivel de cortocircuito establecido, así se logrará designar un diseño óptimo y seguro para ser puesto en servicio.

Previo al planteamiento de dichos escenarios, se debe entender lo que dicen las normas, por tal motivo se realizara una explicación de terminología técnica con imágenes ilustrativas para mejor entendimiento. Debido a que la verificación de sobretensión contempla unas variables ambientales como son: el lugar de instalación, altura sobre el nivel del mar y el tipo de instalación, esta será analizada previo a una verificación de esfuerzos mecánicos producidos por cortocircuitos. Finalmente, cuando ya se tenga claro los parámetros técnicos y los algoritmos de cálculo, se profundizará en el análisis de estudio para hacer de este documento una herramienta útil para el óptimo dimensionamiento de envolventes de distribución eléctrica en baja tensión.

1. Generalidades de las envolventes eléctricas

Las envolventes son centros de distribución de energía eléctrica, en las cuales se instalan equipos de protección y maniobra para diferentes circuitos que llevan a unas cargas específicas, estas generalmente se fabrican en láminas metálicas como acero galvanizado en caliente y acabados en pintura de aplicación electrostática o acero inoxidable. Todos los materiales implicados en el ensamble de una envolvente deben ser certificados y aptos eléctricamente según especificaciones técnicas de las cargas. (Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No.9.ABB, sf)

La reciente publicación de la norma IEC-61439 (Internacional Standard, sf) ha obligado a cambiar y perfeccionar el concepto de envolvente eléctrica de distribución y maniobra, que había permanecido invariable desde 1990, cuando el concepto de “envolventes montadas en fábrica” fue sustituido por CS (envolventes de tipo aprobado) y CDS (envolventes de tipo parcialmente aprobado).

Como todos los componentes de una instalación eléctrica, los envolventes también deben cumplir las normas correspondientes. Las normas 61439-1 y 2 (Internacional Standard, sf) sobre esta materia han entrado recientemente en vigor a nivel internacional. (Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf)

Estas normas se aplican a envolventes de baja tensión con una tensión nominal máxima de 1000 V CA o 1500 V CC. IEC-61439-1 (Internacional Standard, sf) establece normas generales para los envolventes de baja tensión, mientras que las demás partes especifican las tipologías concretas de los envolventes y deben ser leídas junto con las normas generales.

La lista de pruebas particulares requeridas por la norma bajo la responsabilidad del fabricante de la “envolvente” es la siguiente:

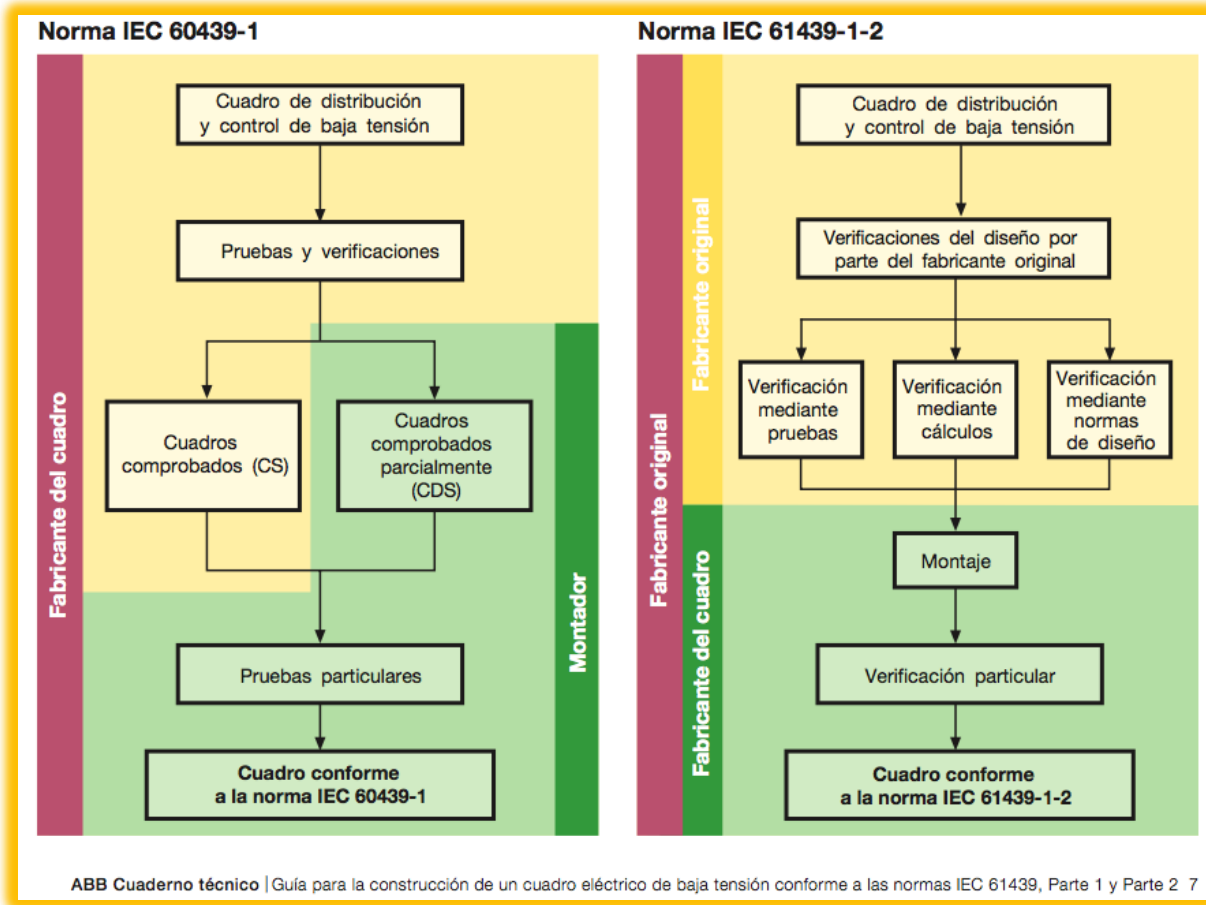
Características relativas a la construcción:

- Grados de protección IP de la envolvente;
- Distancia de aislamiento (en aire y superficialmente);
- Protección contra descarga eléctrica e integrada de los circuitos de protección;
- Instalación de dispositivos y componentes de maniobra;
- Circuitos y conexiones eléctricas internas;
- Terminales para conductores externos;
- Funcionamiento mecánico.

En la Figura 1 se puede observar el cambio de la norma IEC-60439-1 respecto a la IEC-61439-1-2 específicamente en la verificación mediante cálculos y simulaciones previos al ensamble de una envolvente eléctrica, obligando así a que los fabricantes sean certificados por un organismo acreditado.

Figura 1.

Guía para construcción de una envolvente eléctrica de baja tensión



Nota: Adaptado de *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439*, por Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf.

1.1 Envoltente para instalación en interior

Envoltente diseñada para lugares donde se cumplen las condiciones de servicio normales para uso en interior especificados en la norma IEC 61439- 1 (Internacional Standard, sf), en la Tabla 1, se pueden observar las condiciones ambientales en las cuales se pueden utilizar este tipo de envoltentes.

Tabla 1.*Condiciones ambientales para uso interior*

Humedad relativa	Temperatura ambiente del aire	Altitud
	Temperatura máxima $\leq 40^{\circ}\text{C}$	
50% (a una temperatura máxima de 40°C)	Media de temperatura máxima durante un periodo de 24 h $\leq 35^{\circ}\text{C}$	2000 m como máximo
90% (a una temperatura máxima de 20°C)	Temperatura mínima $\geq -5^{\circ}\text{C}$	

Nota: Adaptado de *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439* (Tabla 3.1), por Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf.

1.2 Envoltente para instalación en exterior

Envoltente diseñada para lugares donde se cumplen las condiciones de servicio normales para uso en exterior especificados en la norma IEC 61439-1 (Internacional Standard, sf), en la Tabla 2, se pueden observar las condiciones ambientales en las cuales se pueden utilizar este tipo de envoltentes.

Tabla 2.*Condiciones ambientales para uso Exterior*

Humedad relativa	Temperatura ambiente del aire	Altitud
	Temperatura máxima $\leq 40^{\circ}\text{C}$	2000 m como máximo
100% temporalmente (a una temperatura máxima de 25°C)	Media de temperatura máxima durante un periodo de 24 h $\leq 35^{\circ}\text{C}$	
	Temperatura mínima $\geq -25^{\circ}\text{C}$ en clima templado	
	Temperatura mínima $\geq -50^{\circ}\text{C}$ en clima ártico	

Nota: Adaptado de *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439* (Tabla 3.2), por Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf.

1.3 Formas de segregación interna

La forma de segregación es el tipo de subdivisión prevista en el interior de la envolvente, mediante barreras o tabiques (metálicos o aislantes) y está destinada a:

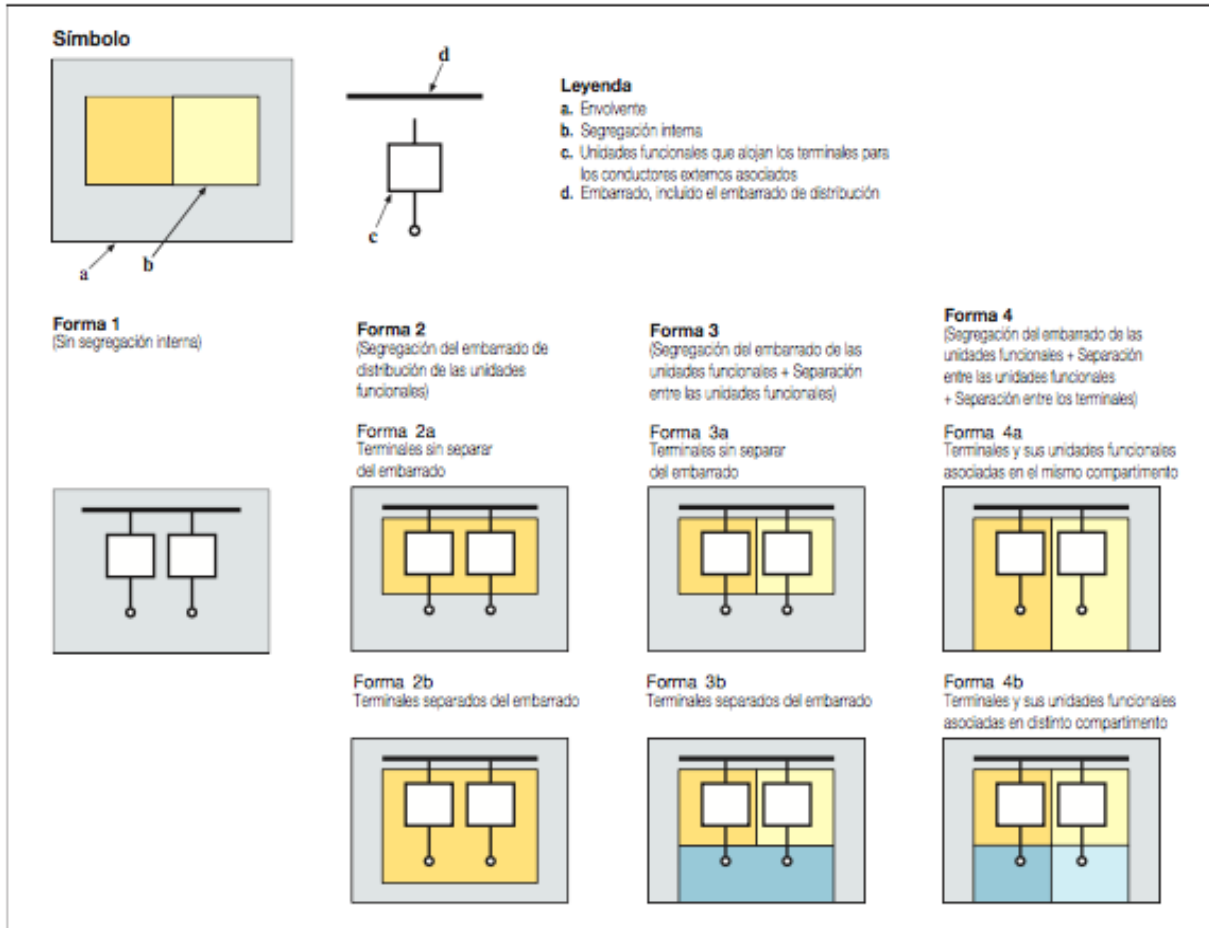
- Garantizar la protección contra los contactos directos (al menos IP XXB), en caso de acceso a una parte de la envolvente sin tensión, respecto al resto de la envolvente en tensión
- Reducir la probabilidad de formación y propagación de un arco interno;
- Impedir el paso de cuerpos sólidos de una parte a otra de la envolvente (grado de protección mínimo IP 2X).

Un tabique es un elemento de separación entre dos celdas, mientras que la barrera protege al operador de los contactos directos y de los efectos del arco de los aparatos de interrupción en la dirección habitual de acceso.

La siguiente Figura 2, incluida en la norma IEC 61439-2 (Internacional Standard, sf), revela las formas típicas de segregación que pueden obtenerse mediante el uso de barreras o tabiques:

Figura 2.

Formas de segregación



Nota: Adaptado de *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439* (Tabla 6.1), por Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf.

- **Forma 1:** (Sin segregación interna)
- **Forma 2:** (Incluye las formas 2a y 3a de la norma)
- **Forma 3:** (Incluye la forma 3b de la norma)
- **Forma 4:** (Incluye la forma 4b de la norma)

1.4 Verificación de los límites de sobretemperatura en el interior de una envolvente

La verificación de los límites de sobretemperatura impuestos por la norma IEC 61439-1 (Internacional Standard, sf) puede realizarse conforme a uno o más de los siguientes métodos:

- Prueba de verificación con corriente (en laboratorio);
- Deducción de las normas de diseño;
- Cálculo algebraico.

Dichos límites de sobretemperatura se aplican considerando una temperatura ambiente que no debe superar los +40 °C, con un valor medio durante un periodo de 24 horas no superior a +35 °C.

La siguiente Tabla 3, muestra los límites de sobretemperatura dictados por la norma para los diferentes componentes de la envolvente.

Tabla 3.*Límites de sobretemperatura según IEC-61439-1*

Partes del cuadro	Sobretemperatura (k)
Componentes incorporados a)	(*) Conforme a los requisitos de la norma relevante para los componentes individuales o conforme a las instrucciones del fabricante (f), teniendo en cuenta la temperatura en el interior de la envolvente.
Terminales para conductores externos aislados	70 b
Embarrados y conductores	Limitada por: - resistencia mecánica del material conductor g; - posibles efectos sobre el equipo adyacente; - límite de temperatura admisible de los materiales aislantes en contacto con el conductor; - el efecto de la temperatura del conductor sobre los aparatos conectados a éste; - para contactos enchufables, la naturaleza y el tratamiento superficial del material de contacto.
Elementos de mando manuales; - de metal - de material aislante	15 c) 25 c)
Envolventes y cubiertas externas accesibles; - superficies metálicas - superficies aislantes	30 d) 40 d)
Conexiones particulares del tipo macho y hembra	Determinada por los límites de los componentes del mecanismo del que forman parte e)
a) El término "componentes incorporados" significa: - aparatos convencionales de protección y de maniobra; - subsistemas electrónicos (por ejemplo, puente rectificador o circuito impreso); - partes del equipo (por ejemplo, regulador, unidad de alimentación estabilizada o amplificador operacional).	b) El límite de sobretemperatura de 70 k es un valor basado en la prueba convencional según 10.10. Un cuadro utilizado o probado en las condiciones de instalación podría tener conexiones cuyo tipo, naturaleza y disposición no sean los mismos que los empleados para la prueba, y ello podría resultar en una sobretemperatura distinta de los terminales para los conductores externos, la cual podría ser requerida o aceptada. Cuando los terminales de los componentes incorporados son también los terminales para los conductores externos aislados, se aplicará el límite de sobretemperatura más bajo.
c) Para los elementos de mando manuales instalados en el interior de los cuadros, accesibles sólo abriendo el cuadro com, por ejemplo, asas de extracción, de uso poco frecuente, se admite un aumento de 25 k en los límites de sobretemperatura.	d) A menos que se especifique lo contrario, en el caso de cubiertas y envolventes que son accesibles pero no exigen ser manipuladas durante el servicio normal, se admite un aumento de 10 k en estos límites de sobretemperatura. Las superficies externas y las partes situadas a más de 2 m de altura desde la base del cuadro se consideran inaccesibles.
e) Esto permite un grado de flexibilidad con respecto al equipo (por ejemplo, dispositivos electrónicos) sujeto a límites de sobretemperatura diferentes de los normalmente atribuidos a los aparatos de protección y maniobra.	f) Para las pruebas de sobretemperatura según 10.10, los límites de sobretemperatura deben ser especificados por el fabricante original teniendo en cuenta cualquier punto de medición adicional y los límites impuestos por el fabricante de los componentes.
g) Suponiendo que todos los demás criterios descritos se cumplan, se establece como sobretemperatura máxima 105 k para los embarrados y conductores de cobre descubiertos.	
Nota: Estos 105 k hacen referencia a la temperatura más allá de la cual el cobre se recocería. Otros materiales pueden tener un límite de sobretemperatura máxima distinto.	

Nota: Adaptado de *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439* (Tabla 7.1), por Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf.

1.4.1 Verificación térmica de la envolvente

En la actualidad existen varios métodos para la verificación de la temperatura al interior de la envolvente como:

- Método de potencias
- Método de cálculo conforme a la norma IEC 60890 (Sai Global, 1987)
- Pruebas de tipo o reglas de derivación

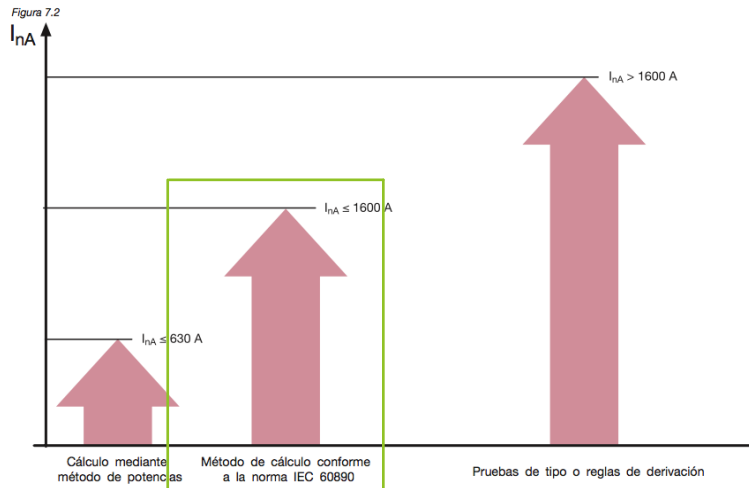
En este proyecto se analizará el método de cálculo conforme a la norma IEC 60890. La cual se basa en el algoritmo de cálculo de la norma IEC 60890 (Sai Global, 1987), aplicable a envolventes con múltiples compartimentos y con una intensidad nominal máxima de 1600 [A] (anteriormente hasta 3150 [A]).

En este caso se utilizan procedimientos de cálculo algebraico sin datos experimentales.

Se trata de un procedimiento de cálculo que permite trazar, de abajo a arriba, el mapa térmico de la envolvente en condiciones estables, conforme a valores de temperatura que aumentan linealmente y alcanzan su valor máximo exactamente en la parte superior de la envolvente.

De esta forma, es posible evaluar la sobret temperatura a diferentes niveles en el interior de la envolvente, desde la parte inferior a la superior, mediante la pérdida total de potencia.

En la figura 3 se pueden observar los métodos de cálculo de verificación térmica respecto a la capacidad máxima de corriente a la que se puede realizar cada uno de ellos.

Figura 3.*Métodos de cálculo de sobret temperatura*

Nota: Adaptado de *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439* (Tabla 7.2), por Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf.

El método empleado en este trabajo se basará en el cálculo del aumento de la temperatura del aire en el interior de la envolvente conforme a la norma IEC 60890 (Sai Global, 1987) ya mencionada. La norma anterior, junto con IEC 61439-1 (Internacional Standard, sf), establece que este método de cálculo solamente es aplicable cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- La intensidad nominal de los circuitos de la envolvente no debe superar el 80% de la intensidad nominal (al aire libre) de los dispositivos de protección y los componentes eléctricos instalados en el circuito;
- Existe una distribución relativamente homogénea de la pérdida de potencia en el interior de la envolvente y no hay obstáculos que impidan su disipación hacia el exterior de la envolvente;
- Las partes mecánicas y el equipo instalado están dispuestos de modo que no haya obstáculos importantes para la circulación del aire;

- La envolvente instalada está diseñado para corriente continua y alterna con una frecuencia máxima de 60 Hz, con una corriente de alimentación total que no supere los 1600 [A];
- Los conductores que transportan corrientes de más de 200 [A] y las partes estructurales están dispuestos de modo que las pérdidas por corrientes parásitas sean despreciables;
- En el caso de envolventes con aberturas de ventilación, la sección transversal de las aberturas de salida de aire es al menos 1,1 veces mayor que la sección transversal de las aberturas de entrada de aire;
- Que no haya más de tres tabiques horizontales en cada sección de la envolvente
- En el caso de que las envolventes con aberturas de ventilación externas estén divididas en compartimentos, la superficie de las aberturas de ventilación en cada tabique horizontal interno deberá ser igual, como mínimo, al 50% de la sección horizontal del compartimento. (Fuente Cuaderno técnico ABB , sf)

2. Cálculo de la sobretemperatura conforme a la norma IEC-60890

La norma IEC-60890 contiene los procedimientos de cálculo de sobretemperatura en envolventes eléctricas siguiendo los lineamientos y parámetros establecidos por IEC-61439-2, permitiendo predecir previo a una simulación, cuanto sería la temperatura en el punto medio y superior de la envolvente. Para llegar a esto se debe tener acceso a información técnica de los equipos implicados en la misma tales como:

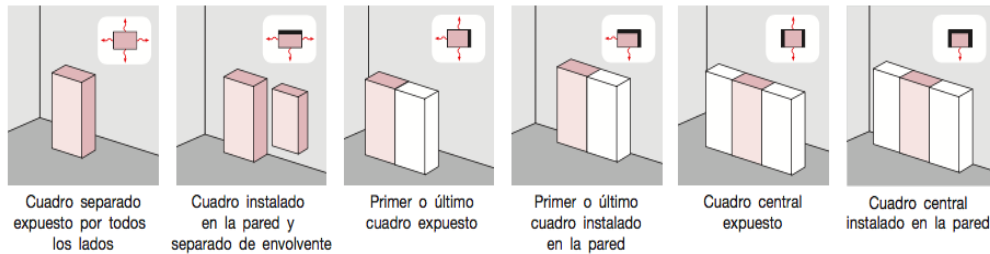
- Tipo de instalación y segregación
- Cálculo de potencias disipadas por interruptores
- Cálculo de potencias disipadas por barras
- Cálculo de potencias disipadas por conductores
- Potencias disipadas por equipos especiales

2.1 Tipo de instalación de la envolvente

En el cálculo de sobretensión se debe tener en cuenta cómo va a ser instalada la envolvente para lo cual la norma designa 7 configuraciones que son las siguientes:

- Expuesto separado
- Separado contra la pared
- Cubierto por uno de sus lados
- Cubierto por uno de sus lados contra la pared
- Cubierto por ambos lados
- Cubierto por ambos lados contra la pared
- Empotrado

En la figura 4 se ilustran las 6 primeras de estas configuraciones de instalación y en qué dirección disipan temperatura, para la séptima (empotrado) la envolvente va incrustada en la pared no permitiendo el flujo de temperatura al ambiente siendo esta la más crítica y no recomendada instalación.

Figura 4.*Tipos de instalación*

Nota: Adaptado de *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439* (Tabla 7.4), por Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB, sf.

2.2 Cálculo de las potencias generadas por los distintos componentes y disipadas en el interior de la envoltente.

El cálculo de la potencia disipada en las configuraciones que se muestran, se realiza teniendo en cuenta las potencias efectivas disipadas por los distintos componentes.

2.2.1 Interruptores automáticos

Partiendo de las pérdidas de potencia con la intensidad nominal (I_n) indicada en las tablas siguientes y la corriente que realmente circula a través de los interruptores automáticos (I_b), es posible calcular las pérdidas de potencia efectivas del equipo:

$$P_{(I_b)} = P_{(I_n)} * \left(\frac{I_b}{I_n}\right)^2 \quad (1)$$

Los valores así obtenidos deben ser multiplicados por un factor que depende del tipo de interruptor automático. Este coeficiente se utiliza para tener en cuenta las conexiones que transportan corriente hasta los interruptores automáticos.

En la tabla 4 se muestra el coeficiente de aumento según el tipo de interruptor, este valor se debe tener en cuenta en el cálculo de la potencia disipada por los interruptores.

Tabla 4.

Factor de multiplicación según tipo de interruptor

Tipo de interruptor automatico	Interruptores de bastidor abierto y en caja moldeada grande (T7)	Interruptores automáticos en caja moldeada	Interruptores automáticos modulares
Coeficiente de aumento (c)	1,3	1,5	2

Nota: Adaptado de *A method of temperature-rise assesmnet by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear* (Tabla 7.2) por (IEC 60890, Sai Global, 1987)

2.2.2 Barrajes de distribución

Deben considerarse los barrajes principales y derivación de carga en la envolvente examinada al calcular la pérdida de potencia. La longitud de estas barras la define el diseño interno establecido por el fabricante.

La potencia disipada por los barrajes puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$P_{(ib)} = P_{(in)} * \left(\frac{i_b}{i_n}\right)^2 * L_{Sección*3} \quad (2)$$

donde:

- $P(I_n)$ es la pérdida de potencia por unidad de longitud con la intensidad nominal y su valor puede obtenerse bien en la Tabla B.2 de la norma IEC 60890, mostrada a continuación, o en el catálogo del fabricante.
- $(L_{\text{sección}} \cdot 3)$ es la longitud de la sección de barra que pasa a través de la columna estudiada, multiplicada por 3, ya que se trata de un circuito trifásico.

Se ha utilizado la Tabla B.2 de la norma IEC 60890 (Sai Global, 1987) (véase la Tabla 5) para los cálculos descritos en este documento, suponiendo que la temperatura del aire en torno a la barra es 55 °C.

Tabla 5.*Potencias disipadas por platinas de cobre*

Altura x Espesor	Sección trans- versal del emba- rrado (Cu)	Temperatura máxima permitida del conductor: 85 °C															
		Temperatura del aire dentro de la envolvente alrededor de los conductores 35 °C								Temperatura del aire dentro de la envolvente alrededor de los conductores 55 °C							
		de 50 a 60 Hz CA				CC y CA hasta 16 2/3 Hz				de 50 a 60 Hz CA				CC y CA hasta 16 2/3 Hz			
		Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)	Corriente de empleo	Pérdidas de potencia (1)
mm x mm	mm ²	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m	A*	W/m	A**	W/m
12 x 2	23,5	144	19,5	242	27,5	144	19,5	242	27,5	105	10,4	177	14,7	105	10,4	177	14,7
15 x 2	29,5	170	21,7	282	29,9	170	21,7	282	29,9	124	11,6	206	16,0	124	11,6	206	16,0
15 x 3	44,5	215	23,1	375	35,2	215	23,1	375	35,2	157	12,3	274	18,8	157	12,3	274	18,8
20 x 2	39,5	215	26,1	351	34,8	215	26,1	354	35,4	157	13,9	256	18,5	157	12,3	258	18,8
20 x 3	59,5	271	27,6	463	40,2	271	27,6	463	40,2	198	14,7	338	21,4	198	14,7	338	21,4
20 x 5	99,1	364	29,9	665	49,8	364	29,9	668	50,3	266	16,0	485	26,5	266	16,0	487	26,7
20 x 10	199	568	36,9	1097	69,2	569	36,7	1107	69,6	414	19,6	800	36,8	415	19,5	807	37,0
25 x 5	124	435	34,1	779	55,4	435	34,1	78	55,6	317	18,1	568	29,5	317	18,1	572	29,5
30 x 5	149	504	38,4	894	60,6	505	38,2	899	60,7	368	20,5	652	32,3	369	20,4	656	32,3
30 x 10	299	762	44,4	1410	77,9	770	44,8	1436	77,8	556	27,7	1028	41,4	562	23,9	1048	41,5
40 x 5	199	641	47,0	1112	72,5	644	47,0	1128	72,3	468	25,0	811	38,5	469	24,9	586	38,5
40 x 10	399	951	52,7	1716	88,9	968	52,6	1796	90,5	694	28,1	1251	47,3	706	28,0	1310	48,1
50 x 5	249	775	55,7	1322	82,9	782	55,4	1357	83,4	566	29,7	964	44,1	570	29,4	989	44,3
50 x 10	499	1133	60,9	2008	102,9	1164	61,4	2141	103,8	826	32,3	1465	54,8	849	32,7	1562	55,3
60 x 5	299	915	64,1	1530	94,2	926	64,7	1583	94,6	667	34,1	1116	50,1	675	34,4	1154	50,3
60 x 10	599	1310	68,5	2288	116,2	1357	69,5	2487	117,8	955	36,4	1668	62,0	989	36,9	1814	62,7
80 x 5	399	1170	80,7	1929	116,4	1200	80,8	2035	116,1	858	42,9	1407	61,9	875	42,9	1484	61,8
80 x 10	799	1649	85,0	2806	138,7	1742	85,1	3165	140,4	1203	45,3	2047	73,8	1271	45,3	1756	74,8
100 x 5	499	1436	100,1	2301	137,0	1476	98,7	2407	121,2	1048	53,3	1678	72,9	1077	52,5	1756	69,8
100 x 10	999	1982	101,7	3298	164,2	2128	102,6	3844	169,9	1445	54,0	2406	84,4	1552	54,6	2803	90,4
120 x 10	1200	2314	115,5	3804	187,3	2514	115,9	4509	189,9	1688	61,5	2774	99,6	1833	61,6	3288	101,0

* un conductor por fase ** dos conductores por fase (1) longitud individual

Nota. Adaptado de *A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear* (Tabla B.2) por (IEC 60890, Sai Global, 1987)

2.2.3 Cables de entrada y salida de la envolvente

La pérdida de potencia de la sección de cable que entra en la envolvente debe ser calculada por separado. Las variaciones en la longitud de estas secciones hacen que su potencia sea despreciable en algunos casos o decisiva en otros para el cálculo correcto de la pérdida de potencia en el interior de la envolvente.

La pérdida de potencia puede ser determinada mediante la siguiente ecuación:

$$P_{(ib)} = P_{(in)} * \left(\frac{i_b}{i_n}\right)^2 * L_{Sección*3} \quad (3)$$

- $P(I_n)$ es la pérdida de potencia por unidad de longitud con la intensidad nominal y su valor puede obtenerse bien en la Tabla B.1 de la norma IEC 60890 (Sai Global, 1987) (véase la Tabla 6) o en el catálogo del fabricante.
- $(L_{sección} \cdot 3)$ es la longitud de la sección de cable que pasa a través de la envolvente o por el interior de la columna estudiada, multiplicada por 3, ya que se trata de un circuito trifásico; esta longitud puede ser determinada aproximadamente observando la parte frontal de la envolvente de distribución.

Se ha utilizado la Tabla B.1 de la norma IEC 60890 (Sai Global, 1987) (véase la Tabla 6) para estos cálculos, suponiendo que la temperatura del aire en torno al cable es igual a 55 °C.

Tabla 6.

Potencias disipadas por cables de cobre

Sección transversal (Cu)	Temperatura máxima permitida del conductor: 70 °C											
	Temperatura del aire dentro del cuadro alrededor de los conductores											
	35 °C		55 °C		35 °C		55 °C		35 °C		55 °C	
mm ²	Corriente de empleo (A)	Pérdidas de potencia (W/m)	Corriente de empleo (A)	Pérdidas de potencia (W/m)	Corriente de empleo (A)	Pérdidas de potencia (W/m)	Corriente de empleo (A)	Pérdidas de potencia (W/m)	Corriente de empleo (A)	Pérdidas de potencia (W/m)	Corriente de empleo (A)	Pérdidas de potencia (W/m)
1,5	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9
2,5	17	2,5	11	1,1	20	3,5	12	1,3	20	3,5	12	1,3
4	22	2,6	14	1,1	25	3,4	18	1,8	25	3,4	20	2,2
6	28	2,8	18	1,2	32	3,7	23	1,9	32	3,7	25	2,3
10	38	3,0	25	1,3	48	4,8	31	2,0	50	5,2	32	2,1
16	52	3,7	34	1,6	64	5,6	42	2,4	65	5,8	50	3,4
25					85	6,3	55	2,6	85	6,3	65	3,7
35					104	7,5	67	3,1	115	7,9	85	5,0
50					130	7,9	85	3,4	150	10,5	115	6,2
70					161	8,4	105	3,6	175	9,9	149	7,2
95					192	8,7	125	3,7	225	11,9	175	7,2
120					226	9,6	147	4,1	250	11,7	210	8,3
150					275	11,7	167	4,3	275	11,7	239	8,8
185					295	10,9	191	4,6	350	15,4	273	9,4
240					347	12,0	225	5,0	400	15,9	322	10,3
300					400	13,2	260	5,6	460	17,5	371	11,4

Nota: Adaptado de *A method of temperature-rise assesmnet by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear* (Tabla B.1) por (IEC 60890, Sai Global, 1987)

- (1) Cada disposición deseada, con sus valores específicos, hace referencia a un grupo de conductores agrupados (6 conductores cargados al 100%).
- (2) Longitud individual.

El valor de sobrettemperatura en el interior de la envolvente se calculará empleando las herramientas de software ya mencionadas, para ello será necesario los siguientes parámetros.

- Dimensiones lineales de la envolvente (altura, ancho y profundidad);
- Temperatura ambiente;

- Superficie de entrada de aire (la norma IEC-60890) (Sai Global, 1987), requiere un área de salida de aire igual, como mínimo, a 1,1 veces la de entrada; en caso contrario, el área de entrada debe ser un 10% inferior a la real)
- Potencia disipada
- Métodos de instalación (separado expuesto, instalado en la pared, etc.);
- Segregación

La temperatura del aire a media altura y en la parte superior de la envolvente que se desee construir se calculan empleando el mismo método o herramienta.

Una vez trazado el mapa térmico del interior de la envolvente, desde abajo hacia arriba, si se evidencia que, para cada aparato instalado, la temperatura correspondiente en el punto de sujeción siguiera siendo igual o inferior a la permitida (indicada por el fabricante) se considerará que toda la envolvente habrá sido verificada correctamente.

Para esta especificación es obligatorio, además, una reducción de las cargas de tal forma que sean iguales o inferiores al 80% de la intensidad nominal de los dispositivos de protección.

Nota: Partiendo de la conformidad de una envolvente con respecto a la norma IEC-60890, es posible obtener los datos de otros diseños mediante análisis y deducciones físicas de naturaleza conservadora. Estos diseños pueden ser validos si:

- Utilizan una estructura con dimensiones lineales mayores;
- Están situados en un lugar con aire acondicionado, con una temperatura ambiente media < 35 °C;
- Utilizan un método de instalación que aumenta la ventilación de la envolvente;

- Emplean un dispositivo de ventilación forzada de la envolvente.

En caso necesario, estos parámetros pueden ser introducidos en el cálculo de sobretemperatura a fin de crear un mapa térmico preciso de la envolvente.

Sim embargo, los diferentes grados de protección y las distintas formas de segregación no pueden ser tenidas en cuenta para obtener valores de temperatura inferiores.

2.3 Determinación de la superficie efectiva de refrigeración A_e , de la envolvente

El cálculo se realizará mediante la ecuación (1) del algoritmo de la figura 5.

La superficie efectiva de enfriamiento A_e , de una envolvente es la suma de las superficies individuales A_o multiplicadas por el factor de superficie b (tabla 7). Este factor tiene en cuenta la disipación de calor de las superficies individuales de acuerdo con el tipo de instalación de la envolvente.

$$A_e = \sum A_o * b \quad (4)$$

- Los conductores que transportan corrientes elevadas y las partes estructurales están dispuestos de manera que las pérdidas de corriente inducida sean insignificantes;
- Para recintos con aberturas de ventilación, la sección transversal de las aberturas de salida de aire está en al menos 1,1 veces la sección transversal de las aberturas de admisión de aire;
- No hay más de tres particiones horizontales en la PTTA o en una sección de esta;

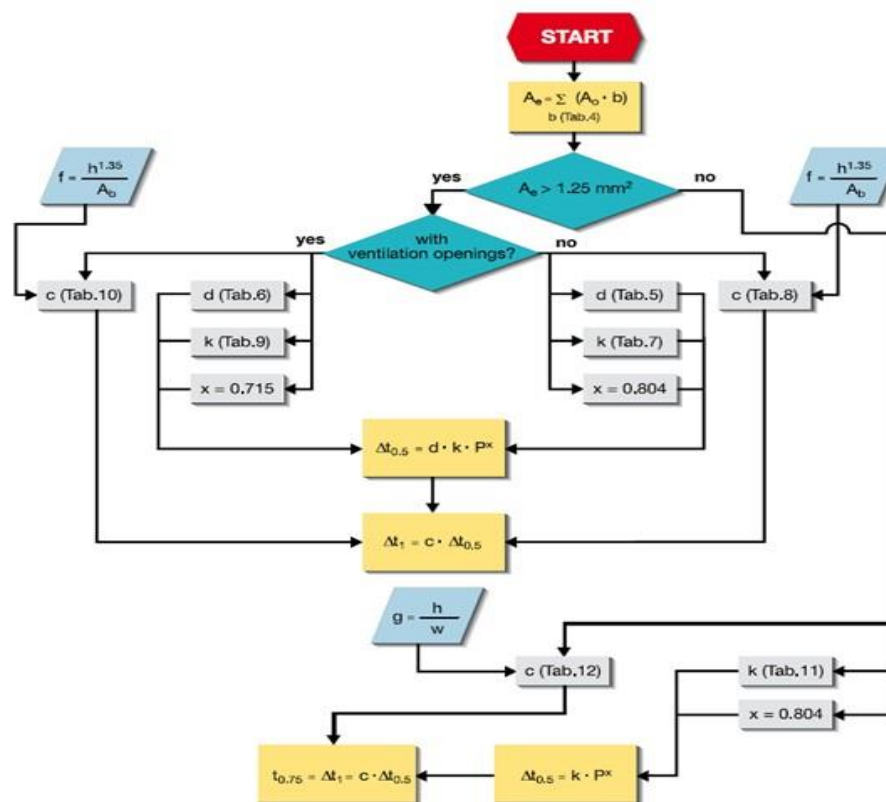
- Cuando los recintos con aberturas exteriores de ventilación tengan compartimientos, la superficie de las aberturas de ventilación en cada tabique horizontal deberán ser al menos del 50% de la sección transversal horizontal del compartimiento.

2.3.1 Cálculo de la sobretemperatura

A continuación, se establecerán algunos parámetros, los cuales serán fundamentales al momento de realizar el cálculo de la sobretemperatura al interior de la envoltura, empleando el software ya mencionado y siguiendo el siguiente algoritmo de cálculo (Figura 5).

Figura 5.

Algoritmo de cálculo de sobretemperatura (Electrical installation handbook ABB pag.247)



Nota: Adaptado de *Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices* por (ABB SACE, 2010)

Los parámetros que requiere el software (Excel), son los siguientes:

- Dimensiones lineales de la envolvente (altura, ancho y profundidad);
- Tipo de instalación (figura 4)
- Área de ventilación natural; (la norma IEC 60890) (Sai Global, 1987) requiere un área de salida de aire igual, como mínimo, a 1,1 veces la de entrada; en caso contrario, el área de entrada debe ser un 10% inferior a la real)
- Temperatura ambiente
- Segregación (figura 2)
- Potencia disipada total

Las temperaturas del aire a media altura y en la parte superior de la envolvente que se va a construir se calculan empleando el mismo método o herramienta.

Llegados a este punto y una vez trazado el mapa térmico del interior de la envolvente, desde abajo hacia arriba, si resultara que, para cada aparato instalado, la temperatura correspondiente en el punto de sujeción siguiera siendo igual o inferior a la permitida (indicada por el fabricante) se considerará que toda la envolvente habrá sido verificado correctamente.

Para esta especificación es obligatorio, además, una reducción de las cargas de tal forma que sean iguales o inferiores al 80% de la intensidad nominal de los dispositivos de protección.

Nota Partiendo de la conformidad de una envolvente con respecto a la norma IEC 60890 (Sai Global, 1987), es posible obtener los datos de otros diseños mediante análisis y deducciones físicas de naturaleza conservadora. Estos diseños pueden ser válidos si:

- Utilizan una estructura con dimensiones lineales mayores
- Están situados en un lugar con aire acondicionado, con una temperatura ambiente media $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Utilizan un método de instalación que aumenta la ventilación de la envolvente
- Emplean un dispositivo de ventilación forzada de la envolvente.

En caso necesario, estos parámetros pueden ser introducidos en el cálculo de sobrettemperatura a fin de crear un mapa térmico preciso de la envolvente.

Sin embargo, los diferentes grados de protección y las distintas formas de segregación no pueden ser tenidos en cuenta para obtener valores de temperatura inferiores.

• **Determinación del calentamiento $\Delta_{t0,5}$ del aire interior a media altura de la envolvente.**

El cálculo se efectuará aplicando la ecuación según el algoritmo (figura 5)

$$\Delta_{t0,5} = d * k * P^x \quad (5)$$

En la ecuación (5), la constante k (Tablas 9-12) de la envolvente tiene en cuenta el tamaño de la superficie efectiva de refrigeración para las envolturas sin orificios de ventilación y, además, de la sección de los orificios de entrada de aire para las envolventes con orificios de ventilación. La constante d (Tabla 8) es un factor definido según el nivel de segregación, P es la potencia disipada total y x es un factor definido por la norma el cual es con ventilación (0.715) y sin ventilación (0.804) (Figura 5).

- **Determinación del calentamiento interno $\Delta_{t1,0}$ del aire en la parte superior de la envolvente**

El cálculo se efectuará mediante la ecuación según el algoritmo (Figura 5)

$$\Delta_{t1,0} = c * \Delta_{t0,5} \quad (6)$$

El factor c (tablas 12-14) tiene en cuenta la distribución de la temperatura dentro de una envolvente.

Su determinación varía con el diseño y la instalación del conjunto como sigue:

a) Para envolventes sin orificios de ventilación y con una superficie efectiva de refrigeración:

$$A_e > 1,25 \text{ m}^2$$

El factor c depende del tipo de instalación y del factor f (Altura/Base),

Con:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} \quad (7)$$

b) Para envolventes con orificios de ventilación y con una superficie efectiva de refrigeración:

$$A_e > 1,25 \text{ m}^2$$

El factor c depende de la sección de los orificios de entrada de desglose y el factor f (Altura/Base),

Con:

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} \quad (8)$$

c) Para envolventes sin orificios de ventilación y con superficie efectiva de refrigeración:

$$A_e \leq 1,25 \text{ m}^2$$

El factor c depende del factor g (Altura/Largo),

Con:

$$g = \frac{h}{w} \quad (9)$$

Donde:

h es la altura de la envolvente, en metros

A_b es la superficie de la base de la envolvente, en metros cuadrados

w es el largo de la envolvente, en metros

La Tabla 7, muestra el factor de superficie a utilizar dependiendo del tipo de instalación de la envolvente, para este no se tomarán en cuenta las caras laterales de los compartimientos ficticios creados solo a fines del cálculo propuesto.

Tabla 7

Factor de superficie b según el tipo de instalación (IEC-60890)

TIPO DE INSTALACION	FACTOR DE SUPERFICIE b
SUPERFICIE SUPERIOR EXPUESTA	1,4
SUPERFICIE SUPERIOR CUBIERTA, POR EJEMPLO ENVOLVENTES EMPOTRADAS	0,7
CARAS LATERALES EXPUESTAS, POR EJEMPLO PAREDES FRONTAL, POSTERIOR Y LATERALES	0,9
CARAS LATERALES CUBIERTAS, POR EJEMPLO CARA POSTERIOR DE LA ENVOLVENTE CON MONTAJE MURAL	0,5
CARAS LATERALES DE ENVOLVENTES CENTRALES	0,5

No se toman en cuenta las caras laterales de los compartimientos ficticios creados solo a fines del calculo

Nota: Adaptado por *Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices* por (Sai Global, 1987).

Para la segregación horizontal se deberá tener en cuenta el factor de multiplicidad “d”, con aberturas al igual que sin aberturas, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Factor d para envolventes con y sin orificios de ventilación (IEC-60890)

SEGREGACION HORIZONTAL	Factor d (sin aberturas)	Factor d (con aberturas)
0	1	1
1	1,05	1,05
2	1,15	1,1
3	1,3	1,15

Nota: Adaptado de *Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices* por (Sai Global, 1987).

En las Tablas 9-11 se puede observar los valores de la constante k según el área efectiva calculada y las aberturas de ventilación extraídos de gráficos de la norma IEC-60890 y tabulados para una mejor lectura.

Tabla 9.

Factor k para envolventes con ventilación y área efectiva >1.25m² (IEC-60890)

Aberturas de ventilación (cm ²)	Ae(m ²)											
	14	12	10	8	7	5	4	3	2,5	2	1,5	1
50	0,135	0,145	0,165	0,18	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3	0,33	0,36
100	0,119	0,128	0,14	0,153	0,2	0,187	0,203	0,22	0,233	0,25	0,27	0,293
150	0,107	0,114	0,123	0,135	0,1	0,16	0,173	0,187	0,198	0,21	0,227	0,247
200	0,097	0,103	0,11	0,12	0,1	0,143	0,152	0,164	0,174	0,184	0,196	0,213
250	0,09	0,095	0,1	0,11	0,1	0,13	0,138	0,147	0,155	0,165	0,175	0,19
300	0,084	0,088	0,093	0,1	0,1	0,118	0,125	0,133	0,14	0,148	0,157	0,17
350	0,079	0,082	0,087	0,093	0,1	0,109	0,115	0,121	0,128	0,135	0,141	0,152
400	0,075	0,078	0,081	0,088	0,1	0,1	0,106	0,11	0,117	0,121	0,129	0,138
450	0,07	0,074	0,078	0,083	0,1	0,094	0,099	0,103	0,108	0,111	0,119	0,126
500	0,067	0,07	0,073	0,078	0,1	0,088	0,092	0,096	0,1	0,104	0,11	0,116
550	0,065	0,068	0,07	0,075	0,1	0,083	0,087	0,09	0,093	0,097	0,102	0,107
600	0,063	0,065	0,067	0,07	0,1	0,079	0,082	0,085	0,088	0,09	0,095	0,1
650	0,061	0,063	0,065	0,068	0,1	0,075	0,077	0,08	0,083	0,086	0,09	0,094
700	0,06	0,062	0,064	0,066	0,1	0,072	0,074	0,076	0,078	0,08	0,085	0,089

Nota: Adaptado de Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices por (Sai Global, 1987).

Tabla 10.

Factor k para envolventes sin ventilación y área efectiva ≤1.25m² (IEC-60890)

Ae(m ²)	k
0,08	3,973
0,09	3,643
0,1	3,371
0,15	2,5
0,2	2,022
0,25	1,716
0,3	1,5
0,35	1,339
0,4	1,213
0,45	1,113
0,5	1,029
0,55	0,96
0,6	0,9
0,65	0,848
0,7	0,803
0,75	0,764
0,8	0,728
0,85	0,696
0,9	0,668
0,95	0,641
1	0,618
1,05	0,596
1,1	0,576
1,15	0,557
1,2	0,54
1,25	0,524

Nota: Adaptado por Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices por (Sai Global, 1987).

Tabla 11.

Factor k para envolventes sin ventilación y área efectiva >1.25m² (IEC-60890)

<i>Ae(m²)</i>	<i>k</i>
1,25	0,524
1,5	0,45
2	0,35
2,5	0,275
3	0,225
3,5	0,2
4	0,185
4,5	0,17
5	0,16
5,5	0,15
6	0,14
6,5	0,135
7	0,13
7,5	0,125
8	0,12
8,5	0,115
9	0,11
9,5	0,105
10	0,1
10,5	0,095
11	0,09
11,5	0,085

Nota: Adaptado de *Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices* por (Sai Global, 1987).

En la Tablas 12-14 se puede observar los valores de la constante c según el área efectiva calculada y las aberturas de ventilación extraídos de gráficos de la norma IEC-60890 y tabulados para una mejor lectura.

Tabla 12.

Factor c para envolventes sin ventilación y área efectiva $>1.25m^2$ (IEC-60890)

$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$	TIPO DE INSTALACION					
	1	2	3	4	5	7
12,5	1,6	1,57	1,585	1,54	1,6	1,51
12	1,59	1,56	1,58	1,535	1,6	1,5
11,5	1,585	1,55	1,57	1,525	1,6	1,49
11	1,575	1,549	1,565	1,52	1,5	1,485
10,5	1,57	1,535	1,55	1,51	1,5	1,475
10	1,56	1,52	1,54	1,5	1,5	1,47
9,5	1,55	1,515	1,53	1,49	1,5	1,455
9	1,535	1,5	1,52	1,48	1,5	1,44
8,5	1,52	1,49	1,505	1,47	1,5	1,43
8	1,51	1,475	1,49	1,455	1,5	1,415
7,5	1,495	1,465	1,48	1,44	1,5	1,4
7	1,48	1,45	1,47	1,43	1,5	1,39
6,5	1,47	1,435	1,45	1,41	1,4	1,37
6	1,45	1,42	1,435	1,395	1,4	1,355
5,5	1,435	1,4	1,415	1,38	1,4	1,34
5	1,415	1,38	1,395	1,36	1,4	1,32
4,5	1,395	1,36	1,375	1,34	1,4	1,295
4	1,37	1,34	1,355	1,32	1,3	1,275
3,5	1,35	1,315	1,33	1,29	1,3	1,255
3	1,325	1,295	1,31	1,27	1,3	1,23
2,5	1,31	1,275	1,29	1,25	1,3	1,21
2	1,285	1,25	1,27	1,23	1,3	1,19
1,5	1,265	1,23	1,245	1,21	1,2	1,17
1	1,24	1,21	1,225	1,185	1,2	1,14
0,6	1,225	1,19	1,21	1,17	1,2	1,113

Donde h es la altura de la envolvente y A_b es el área de la base

Nota: Adaptado de *Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices* por (Sai Global, 1987)

Tabla 13.

Factor de distribución de temperatura c para envolventes con ventilación y área efectiva $>1.25m^2$ (IEC-60890)

Aberturas de ventilación (cm ²)	$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$								
	10	9	8	7	6	4	3	2	1,5
50	1,83	1,78	1,74	1,68	1,6	1,5	1,43	1,35	1,3
100	1,92	1,88	1,84	1,79	1,7	1,62	1,55	1,46	1,41
150	1,97	1,94	1,9	1,85	1,8	1,69	1,63	1,55	1,5
200	2,01	1,97	1,94	1,9	1,9	1,75	1,67	1,61	1,56
250	2,04	2,01	1,97	1,93	1,9	1,78	1,73	1,65	1,61
300	2,06	2,03	2	1,96	1,9	1,82	1,75	1,69	1,65
350	2,08	2,05	2,02	1,97	1,9	1,85	1,78	1,72	1,68
400	2,1	2,07	2,04	2	2	1,87	1,81	1,75	1,71
450	2,12	2,08	2,05	2,02	2	1,88	1,83	1,77	1,74
500	2,13	2,1	2,06	2,04	2	1,9	1,85	1,79	1,76
550	2,14	2,11	2,08	2,05	2	1,93	1,88	1,82	1,77
600	2,15	2,12	2,09	2,06	2	1,94	1,88	1,83	1,8
650	2,17	2,14	2,1	2,07	2	1,95	1,9	1,85	1,81
700	2,18	2,15	2,12	2,08	2,1	1,96	1,92	1,87	1,83

Nota: Adaptado de *Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices* por (Sai Global, 1987).

Tabla 14.

Factor de distribución de temperatura c para envolventes sin ventilación y área efectiva $\leq 1.25m^2$

(IEC-60890)

<i>g</i>	<i>c</i>
0	1
0,1	1,02
0,2	1,04
0,3	1,06
0,4	1,078
0,5	1,097
0,6	1,118
0,7	1,137
0,8	1,156
0,9	1,174
1	1,188
1,1	1,2
1,2	1,21
1,3	1,22
1,4	1,226
1,5	1,231
1,6	1,237
1,7	1,24
1,8	1,244
1,9	1,246
2	1,249
2,1	1,251
2,2	1,253
2,3	1,254
2,4	1,255
2,5	1,256
2,6	1,257
2,7	1,258
2,8	1,259

Donde g es la relación entre la altura y el ancho de la envolvente

Nota: Adaptado de Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices por (Sai Global, 1987).

3. Cálculo de los esfuerzos mecánicos en barras y soportes producidos por una corriente de cortocircuito establecida conforme a la norma IEC-60865

El cálculo de los esfuerzos mecánicos en las barras de distribución es de vital importancia para evitar fracturas de material conductor y arcos en baja tensión los cuales son de alta peligrosidad. La norma IEC-60865 detalla los procedimientos de cálculo de estos tomando como referente los parámetros establecidos por la norma IEC-61439.

3.1 Arreglo de conductores rígidos

Los conductores pueden soportarse de diferentes maneras, por soportes fijos, simples o una combinación de ambos. Dependiendo del tipo y del número de soportes, las tensiones mecánicas en los conductores y las fuerzas sobre los soportes serán diferentes para la misma corriente de cortocircuito. Las ecuaciones dadas, también tienen en cuenta la elasticidad de los soportes.

Las tensiones mecánicas en los conductores y las fuerzas sobre los soportes también dependen de la relación entre la frecuencia propia del sistema mecánico y la frecuencia del sistema eléctrico. Por ejemplo, en el caso de resonancia o próximo a la resonancia, se pueden amplificar las fuerzas y las tensiones mecánicas en el sistema. Si $f_{cm}/f < 0,5$ la respuesta del sistema decrece y las tensiones mecánicas máximas están en las fases exteriores.

3.2 Cálculo de las fuerzas electromagnéticas.

Las fuerzas electromagnéticas son inducidas en los conductores por las corrientes que circulan a través de ellos. Estas al ser de alta intensidad tienden a deformar y cambiar las propiedades del material conductor ocasionando fracturas o inclusive arcos o explosiones al interior de las envolventes.

3.2.1 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un cortocircuito trifásico.

En un sistema trifásico, con los conductores principales dispuestos sobre el mismo plano con igual distancia entre ejes, la fuerza máxima actúa sobre el conductor principal central durante un cortocircuito trifásico, y está dada por:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0 \sqrt{3}}{2\pi} i_p^2 \frac{l}{a_m} \quad (10)$$

Donde

i_p es el valor de cresta de la corriente de cortocircuito en el caso de un cortocircuito trifásico equilibrado. Para su cálculo véase la serie IEC 60909;

l es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes;

a_m es la distancia equivalente entre conductores principales según el apartado 5.3.

Nota: La ecuación (2) también puede ser utilizada para calcular el valor de pico de la fuerza resultante, cuando los conductores con secciones circulares están localizados en los vértices de un triángulo equilátero, siendo a_m la longitud del lado del triángulo.

3.2.2 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un cortocircuito bifásico.

La fuerza máxima que actúa entre los conductores recorridos por la corriente de cortocircuito, durante un cortocircuito bifásico en un sistema trifásico, o en un sistema monofásico de dos conductores, está dada por:

$$F_{m2} = \frac{\mu_0}{2\pi} i_{p2}^2 \frac{l}{a_m} \quad (11)$$

Donde

i_{p2} es el valor de cresta de la corriente de cortocircuito en el caso de un cortocircuito bifásico (línea a línea);

l es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes;

a_m es la distancia equivalente entre conductores principales según el apartado 5.3.

3.2.3 Cálculo del valor de cresta de la fuerza entre subconductores coplanarios

La fuerza máxima actúa sobre los subconductores exteriores y, entre dos piezas de conexión adyacentes, es igual a:

$$F_s = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{i_p}{n}\right)^2 \frac{i_s}{a_s} \quad (12)$$

Donde

n es el número de subconductores;

l_s es la máxima distancia existente entre ejes de dos piezas de conexión adyacentes;

a_s es la distancia equivalente entre subconductores;

i_p es igual a i_p para un sistema trifásico o a i_{p2} para un sistema monofásico de dos conductores.

3.3 Distancia equivalente entre conductores principales y entre subconductores

Las fuerzas entre conductores por los que circulan corrientes de cortocircuito dependen de la configuración geométrica y del perfil de los conductores. Por esta razón, se ha introducido en los apartados 5.2.1 y 5.2.2 de la norma IEC-60865 la distancia equivalente a_m entre conductores principales, en las figuras 6 y 7. Se observan cada una de estas constantes, así como la distancia equivalente a_s entre subconductores en el apartado 5.2.3 de la norma. Dichas distancias deben tenerse en cuenta como sigue:

Distancia equivalente a_m entre conductores principales coplanarios con distancia entre ejes a:

- Conductores principales constituidos por secciones transversales circulares simples.

$$a_m = a \quad (13)$$

– Conductores principales constituidos por secciones transversales rectangulares simples y conductores principales compuestos por subconductores con secciones transversales rectangulares:

$$a_m = \frac{a}{k_{12}} \quad (14)$$

k_{12} debe tomarse de la figura 1, con $a_{1s} = a$, $b_s = b_m$ y $C_s = C_m$

Distancia equivalente a_s entre los n subconductores coplanarios de un conductor principal:

– Subconductores de sección transversal circular:

$$\frac{1}{a_s} = \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}} + \frac{1}{a_{14}} + \dots + \frac{1}{a_{1s}} + \dots + \frac{1}{a_{1n}} \quad (15)$$

– Subconductores con secciones transversales rectangulares:

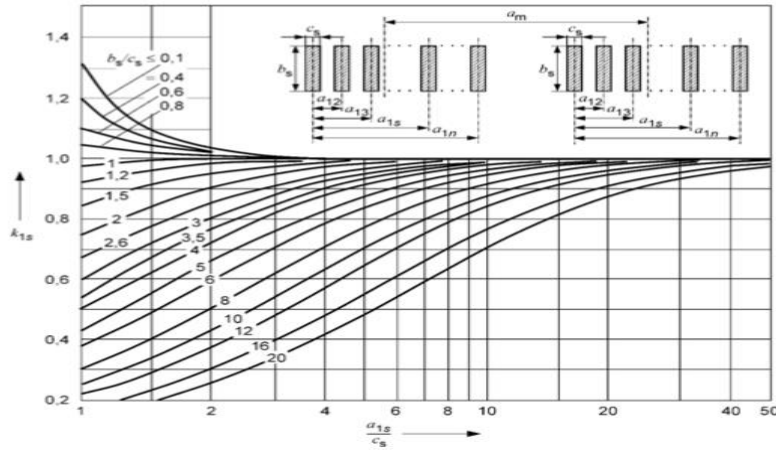
Algunos valores de a_s se indica en la Figura 7. Para otras distancias y dimensiones del subconductor se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} + \frac{k_{14}}{a_{14}} + \dots + \frac{k_{1s}}{a_{1s}} + \dots + \frac{k_{1n}}{a_{1n}} \quad (16)$$

Los valores de $k_{12} \dots k_{1n}$ deben tomarse de la Figura 6.

Figura 6.

Factor k_{1s} para el cálculo de la distancia equivalente entre conductores



Nota: Adaptado de *Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods* por (International Electrotechnical Commission, 1997)

Figura 7.

Distancia equivalente a_s entre subconductores, para dimensiones de secciones transversales rectangulares

Secciones transversales rectangulares	$b_s \backslash c_s$	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
			0,005	0,020	0,024	0,027	0,033	0,040	-
	0,010	0,028	0,031	0,034	0,041	0,047	0,054	0,067	0,080
	0,005	-	0,013	0,015	0,018	0,022	-	-	-
	0,010	0,017	0,019	0,020	0,023	0,027	0,030	0,037	0,043
	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,010	0,014	0,015	0,016	0,018	0,020	0,022	0,026	0,031
	0,005	-	0,014	0,015	0,018	0,020	-	-	-
	0,010	0,017	0,018	0,020	0,022	0,025	0,027	0,032	-

a Todas las dimensiones vienen dadas en metros.

Nota: Adaptado de *Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods* por (International Electrotechnical Commission, 1997)

3.4 Cálculo de tensiones mecánicas en conductores rígidos.

Los conductores pueden soportarse de diferentes maneras, por soportes fijos, simples o una combinación de ambos. Las tensiones mecánicas en los conductores y las fuerzas sobre los soportes también dependen de la relación entre la frecuencia propia del sistema mecánico y la frecuencia del sistema eléctrico.

3.4.1 Cálculo de tensiones mecánicas.

Los conductores tienen que fijarse de tal manera que las fuerzas axiales sean despreciables. Bajo este supuesto las fuerzas que actúan son fuerzas de flexión y la ecuación general para la tensión mecánica de flexión causada por las fuerzas entre los conductores principales, está dada por:

$$\sigma_{m,d} = V_{\sigma m} V_{r m} \beta \frac{F_m l}{8W_m} \quad (17)$$

Donde

F_m es el valor F_{m3} de los sistemas trifásicos de acuerdo con la ecuación (10) o el valor F_{m2} de los sistemas monofásicos de dos conductores según la ecuación (11).

W_m es el módulo de sección del conductor principal y debe calcularse según la dirección de las fuerzas entre conductores principales.

La tensión mecánica de flexión causada por las fuerzas entre los subconductores viene dada por:

$$\sigma_{s,d} = V_{\sigma s} V_{rs} \frac{F_s l_s}{16 W_s} \quad (18)$$

Donde

F_s debe ser calculada según la ecuación (12)

W_s es el módulo de sección del subconductor y debe ser calculado según la dirección de las fuerzas entre subconductores.

$V_{\sigma m}$, $V_{\sigma s}$, V_{rm} y V_{rs} son factores que tienen en cuenta los fenómenos dinámicos, y β es un factor dependiente del tipo y número de soportes. Los valores máximos posibles de $V_{\sigma m}$, V_{rm} y $V_{\sigma s}$, V_{rs} deben ser obtenidos de la Figura 9 y el factor β debe ser tomado de la Figura 10.

Nota: El factor β describe la reducción de la tensión de flexión en el emplazamiento de sus apoyos, teniendo en consideración la deformación plástica del conductor (véase la Figura 10).

Los vanos no uniformes en las vigas continuas se pueden tratar, con suficiente grado de precisión, suponiendo que el máximo vano está aplicado de un extremo al otro. Esto significa que:

- Los soportes extremos no están sometidos a mayores tensiones mecánicas que los internos;
- Deben evitarse las longitudes de vano inferiores al 20% de las de los adyacentes. Si esto no es posible, los conductores deben ser desacoplados usando juntas flexibles en los soportes. Si hay una junta flexible dentro de un vano, la longitud de este vano debería ser menor que el 70% de las longitudes de los vanos adyacentes.

Si no es evidente que la viga esté soportada o empotrada, debe considerarse el caso más desfavorable. Para otras consideraciones, véase el apartado 5.7, en la presente norma IEC (60865) (International Electrotechnical Commission, 1997).

3.4.2 Módulo de sección y factor q del conductor principal compuesto por subconductores

La tensión mecánica de flexión y consecuentemente la resistencia mecánica del conductor dependen del módulo de sección.

Si la tensión mecánica se produce de acuerdo con la Figura 17a, el módulo de sección W_m es independiente del número de piezas de conexión y es igual a la suma de los módulos de sección W_s de los subconductores (W_s con respecto al eje x-x). El factor q tiene entonces el valor 1,5 para las secciones rectangulares y 1,19 para las secciones en U y en I.

Si la tensión mecánica se produce de acuerdo con la Figura 17b y en caso de que exista solamente uno o ningún elemento rigidizador entre dos soportes consecutivos, el módulo de sección W_m es igual a la suma de los módulos de sección W_s de los subconductores (W_s con respecto al eje y-y). El factor q tiene entonces el valor 1,5 para las secciones transversales rectangulares y 1,83 para las secciones en U y en I.

Cuando entre dos soportes consecutivos hay dos o más elementos rigidizadores, es posible usar valores más elevados de los módulos de sección:

– Para conductores principales compuestos de subconductores de sección transversal rectangular con un espacio entre las barras igual al espesor de ellas, los módulos de sección están indicados en la Figura 12-;

– Para grupos de conductores con secciones transversales en U y en I, debería utilizarse el 50% de los módulos de sección con respecto al eje 0-0.

El factor q tiene entonces un valor de 1,5 para las secciones transversales rectangulares y de 1,83 para las secciones en U y en I.

Cada una de las figuras, a continuación, mostrarán las diferentes disposiciones, dirección de la carga y flexión de conductores a la hora de la construcción de la envolvente.

En las Figuras 11 y 12 se observan las diferentes disposiciones de apoyos, al igual que los efectos de plasticidad, las figuras 8, 9 y 10 muestran algunos valores importantes que se deberán tener en consideración al momento de calcular los esfuerzos mecánicos, a través de los barrajes principales.

Figura 8.

Dirección de la carga y el eje de flexión para disposiciones de conductores múltiples

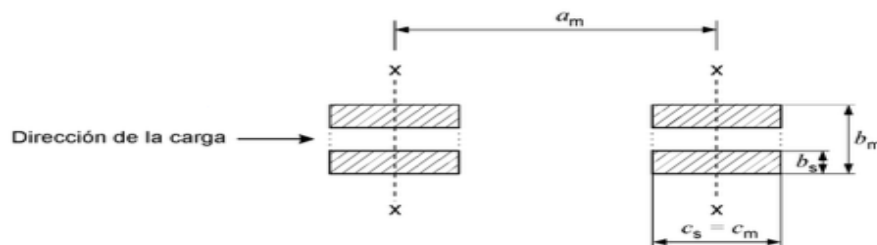


Figura 17a. carga a lo largo de la superficie

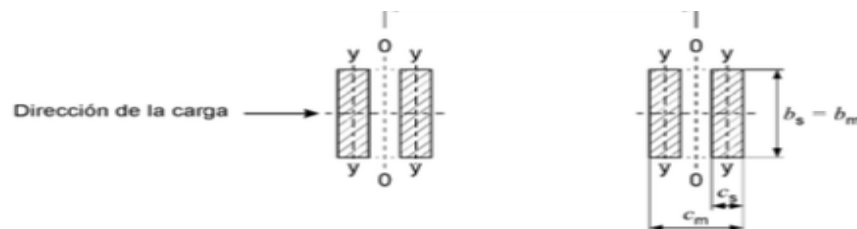
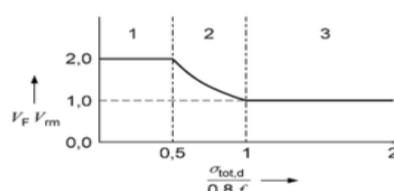


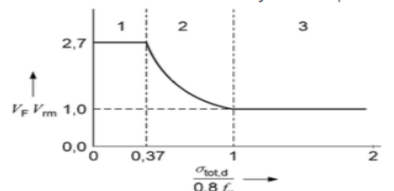
Figura 17b. carga perpendicular a la superficie

Nota: Adaptado de *Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods* por (International Electrotechnical Commission, 1997)

Figura 9.

Valores máximos posibles de $V_{om}V_{rm}$, $V_{os}V_{rs}$, V_FV_{rm}

Tipo de corto-circuito	Sistema			rango												
	Sin reenganche automático trifásico	Con reenganche automático trifásico	Con y sin reenganche automático trifásico													
	$V_{om}V_{rm}$, $V_{os}V_{rs}$	$V_{om}V_{rm}$, $V_{os}V_{rs}$	V_FV_{rm}													
		Primer flujo de corriente	Segundo flujo de corriente													
Bifásico	1,0	1,0	1,8	<table border="0"> <tr> <td>2,0</td> <td>para</td> <td>$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,5$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}$</td> <td>para</td> <td>$0,5 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} < 1,0$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>para</td> <td>$1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}$</td> <td>3</td> </tr> </table> 	2,0	para	$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,5$	1	$\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}$	para	$0,5 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} < 1,0$	2	1,0	para	$1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}$	3
2,0	para	$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,5$	1													
$\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}$	para	$0,5 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} < 1,0$	2													
1,0	para	$1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}$	3													

Tipo de corto-circuito	Sistema			rango												
	Sin reenganche automático trifásico	Con reenganche automático trifásico	Con y sin reenganche automático trifásico													
	$V_{om}V_{rm}$, $V_{os}V_{rs}$	$V_{om}V_{rm}$, $V_{os}V_{rs}$	V_FV_{rm}													
		Primer flujo de corriente	Segundo flujo de corriente													
Trifásico	1,0	1,0	1,8	<table border="0"> <tr> <td>2,7</td> <td>para</td> <td>$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,37$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}$</td> <td>para</td> <td>$0,37 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} < 1,0$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>para</td> <td>$1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}$</td> <td>3</td> </tr> </table> 	2,7	para	$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,37$	1	$\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}$	para	$0,37 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} < 1,0$	2	1,0	para	$1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}$	3
2,7	para	$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,37$	1													
$\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}$	para	$0,37 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} < 1,0$	2													
1,0	para	$1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}$	3													

Nota: Adaptado de *Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods* por (International Electrotechnical Commission, 1997)

Figura 10.

Factores α , β y γ para diferentes disposiciones de apoyos de embarrados

Tipo de viga y de soporte		Factor α	Factor β^*	Factor γ
Vigas de un solo vano	A y B: soportes simples	A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: soporte empotrado B: soporte simple	A: 0,625 B: 0,375	$\frac{8}{11} = 0,73$	2,45
	A y B: soportes empotrados	A: 0,5 B: 0,5	$\frac{8}{16} = 0,5$	3,56
Vigas continua con soportes simples equidistantes	Dos vanos	A: 0,375 B: 1,25	$\frac{8}{11} = 0,73$	2,45
	Tres o más vanos	A: 0,4 B: 1,1	$\frac{8}{11} = 0,73$	3,56

* Se incluyen los efectos de plasticidad.

Nota: Adaptado de *Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods* por (International Electrotechnical Commission, 1997)

3.4.3 Tensión mecánica admisible en un conductor

Un conductor único se supone capaz de soportar fuerzas de cortocircuito cuando:

$$\sigma_{m,d} \leq q f_y \quad (19)$$

Donde

f_y es la tensión mecánica correspondiente al límite elástico.

El factor q debe tomarse de la Figura 11.

Nota: El factor q, tal como viene dado en la Figura 11 y en el apartado 5.4.2 de la norma, describe el aumento de la tensión mecánica máxima admisible en un conductor debido a su comportamiento plástico fuera de sus apoyos, teniendo en cuenta la forma del conductor.

Cuando un conductor principal consta de dos o más subconductores la tensión mecánica total en el conductor está dada por:

$$\sigma_{tot,d} = \sigma_{m,d} + \sigma_{s,d} \quad (20)$$

Se asume que el conductor soportará las fuerzas de cortocircuito cuando:

$$\sigma_{tot,d} \leq qf_y \quad (21)$$

Es necesario verificar que el cortocircuito no afecte demasiado a la distancia entre subconductores, por esta razón se recomienda que:

$$\sigma_{s,d} \leq f_y \quad (22)$$

La Figura 11 indica los valores admisibles más elevados de q para diferentes secciones transversales. Para $\sigma_{m,d} = qf_y$ y $\sigma_{tot,d} = qf_y$ se pueden producir pequeñas deformaciones permanentes, del orden del 1% de la distancia entre soportes para los valores de q indicados en la Figura 11, lo cual no compromete la seguridad de operación siempre que no se violen por este motivo las distancias mínimas entre los conductores principales o entre un conductor principal y la estructura puesta a tierra.

Para el límite elástico de los materiales de los conductores, f_y , las normas establecen a menudo rangos con valores mínimos y máximos. Si solamente tales valores están disponibles en

lugar de valores reales, debería utilizarse el valor mínimo obtenido del apartado 5.4.3 de la norma y el valor máximo de la Figura 10.

Nota En las ecuaciones (11) a (14) no se contempla una posible tensión mecánica estática en el conductor (por ejemplo, debido a su peso muerto). En el caso de que aplique, debería combinarse con la tensión debida a la corriente de cortocircuito correspondiente a la dirección de la acción.

3.5 Cálculo de las fuerzas ejercidas sobre los soportes de los conductores rígidos

La fuerza estática equivalente $F_{r,d}$ sobre los soportes de los conductores rígidos debe calcularse a partir de:

$$F_{r,d} = V_F V_{rm} \alpha F_m \quad (23)$$

Donde

F_m es el valor F_{m3} de los sistemas trifásicos de acuerdo con la ecuación (10) o el valor F_{m2} de los sistemas monofásicos de dos conductores según la ecuación (11).

Los valores máximos posibles de $V_F V_{rm}$ deben ser obtenidos de la Figura 9.

El factor α depende del tipo y número de soportes y debe obtenerse de la Figura 10.

La fuerza $F_{r,d}$ no debe ser mayor que el valor soportado dado por el fabricante de los soportes y aisladores. En el caso de aisladores en los que apliquen fuerzas de flexión, el valor asignado soportado viene dado como una fuerza actuando en la cabeza del aislador.

Nota Para una fuerza que actúa en un punto más alto que la cabeza del aislador debe usarse un valor soportado más bajo que el valor soportado asignado, basado en el momento de flexión soportado en la sección transversal crítica del aislador.

3.6 Consideraciones sobre el reenganche automático

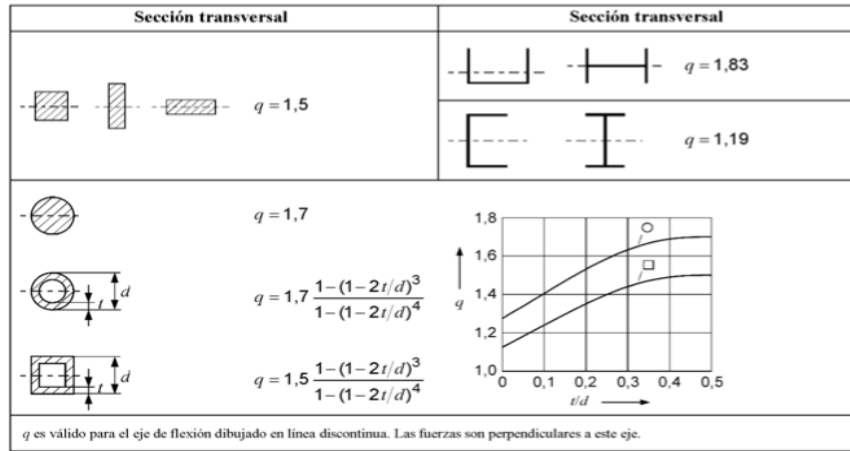
En conductores rígidos se debe considerar el reenganche automático si se utiliza el reenganche automático trifásico.

En redes con reenganche automático trifásico tienen lugar diferentes tensiones mecánicas durante el primer y segundo intervalo de corriente de cortocircuito. De este modo, en los apoyos pueden darse diferentes fuerzas durante los dos intervalos de cortocircuito. Es por ello por lo que la fuerza $F_{r,d}$ debe calcularse como se expone a continuación:

- Cálculo de $\sigma_{tot,d}$ de acuerdo con el apartado 5.4 con $V_{\sigma m} V_{\sigma s}, V_{r m} V_{r s}$ de la tabla 17 para el primer intervalo de corriente y determinación de $V_F V_{r m}$ de la Figura 9;
- Cálculo de $\sigma_{tot,d}$ de acuerdo con el apartado 5.4 con $V_{\sigma m} V_{\sigma s}, V_{r m} V_{r s}$ de la tabla 17 para el segundo intervalo de corriente y determinación de $V_F V_{r m}$ de la Figura 9;
- Cálculo de $F_{r, d}$ de acuerdo con la ecuación (23) con el valor máximo de $V_F V_{r m}$ fuera de los dos intervalos de corriente.

Figura 11.

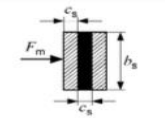
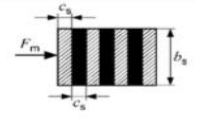
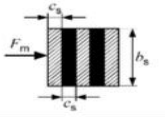
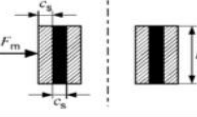
Factor q según sección transversal del conductor



Nota: Adaptado de *Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods* por (International Electrotechnical Commission, 1997)

Figura 12.

Módulos de sección W_m de conductores principales con dos o más elementos rigidizadores entre dos soportes entre dos soportes adyacentes

Secciones rectangulares	W_m	Secciones rectangulares	W_m
	$0,867 c_s^2 b_s$		$3,48 c_s^2 b_s$
	$1,98 c_s^2 b_s$		$1,73 c_s^2 b_s$

Los elementos rigidizadores se representan en negro.

Nota: Adaptado de *Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods* por (International Electrotechnical Commission, 1997)

4. Planteamiento de escenarios de estudio según capacidad de corriente nominal y corriente de cortocircuito.

Para lograr los objetivos propuestos, se establecerán 4 escenarios de estudio propuestos por el fabricante (100A, 630A, 1000A y 1600A), se realizarán los cálculos en software Excel y se validará el cumplimiento de los parámetros de diseño, para esto se deberá definir lo siguiente:

- Diagrama unifilar
- Planos constructivos
- Marca de equipos
- Calibre de platinas de cobre
- Aisladores y soportes de barras

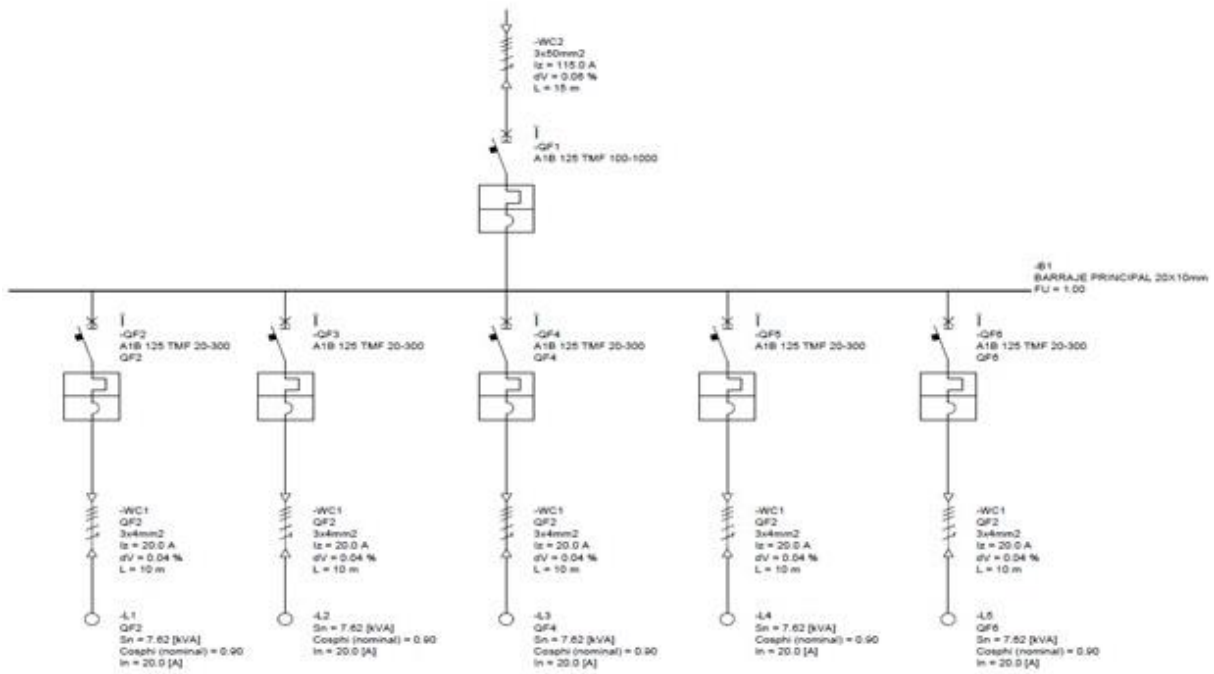
4.1 Envoltente de distribución 100 [A]

Se realiza el montaje de una envoltente de distribución de 100A con 5 derivaciones a cargas genéricas de 20A cada una, para lo cual se realiza el montaje en software E-design de ABB para definir diagrama unifilar (Figura 21) con protecciones, barrajes y calibre de conductores y diseño en software AUTOCAD para definir el plano constructivo de la envoltente (Figura 22).

Diagrama unifilar

Figura 13.

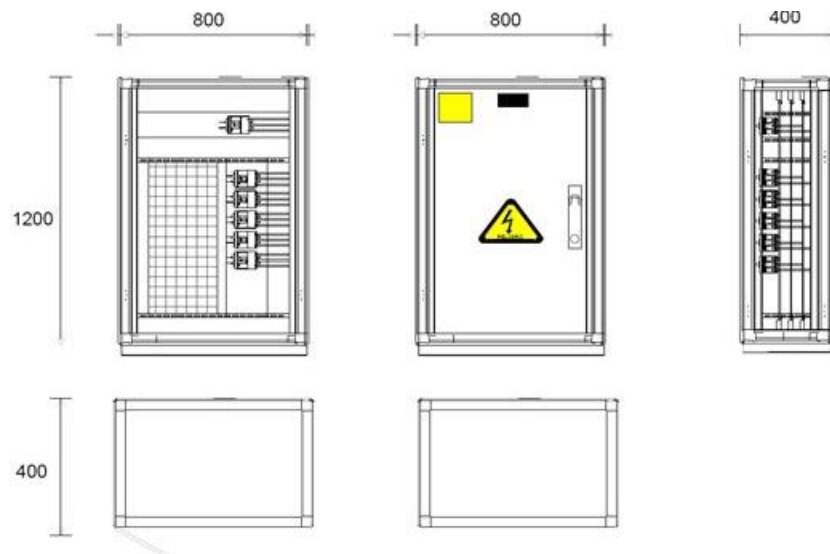
Diagrama unifilar Envolvente de distribución 100A. (Diseñado en E-DESIGN ABB).



Plano constructivo

Figura 14.

Diagrama espacial Envoltente de distribución 100A. (Diseñado en AUTOCAD).



Especificaciones técnicas

Tabla 15.

Especificaciones técnicas, según diseño establecido.

Envoltente de distribución	Dimensión
Corriente nominal	100A
Tensión de operación	220V
Corriente de cortocircuito	35kA
Disposición de barras	Vertical
Barraje principal (Cu)	20x10 mm
Aisladores (Barril)	40 mm

Tabla 15. (Continuación)

Envolvente de distribución	Dimensión
IP	54
IK	10
Fases	3
Hilos	5
Ambiente	Exterior
Temperatura ambiente	30°C
Segregación	1
Tipo de instalación	6
Ventilación	Natural
Área de ventilación	400 cm ²
Alto	1200 mm
Ancho	800 mm
Profundidad	400

Cálculo de sobretemperatura

Para realizar este cálculo se debe extraer del diagrama unifilar la información referente a los equipos instalados, calibre de barras y conductores (Tabla 16).

Tabla 16.

Listado de equipos instalados en el Envolvente (Datos de potencia disipada totalizadores ABB)

Elementos	Tipo	Longitud (m)	Potencia disipada (W)
QF1	Totalizador 3x100A	0	49.50
QF2	Totalizador 3x20A	0	13.50
QF3	Totalizador 3x20A	0	13.50
QF4	Totalizador 3x20A	0	13.50

Tabla 16. (Continuación)

Elementos	Tipo	Longitud (m)	Potencia disipada (W)
QF5	Totalizador 3x20A	0	13.50
QF6	Totalizador 3x20A	0	13.50
Barraje principal	Platina de cobre 20x10mm	3.6	12.35
Barras de derivación QF2	Platina de cobre 15x3mm	1.5	0.90
Barras de derivación QF3	Platina de cobre 15x3mm	1.5	0.90
Barras de derivación QF4	Platina de cobre 15x3mm	1.5	0.90
Barras de derivación QF5	Platina de cobre 15x3mm	1.5	0.90
Barras de derivación QF6	Platina de cobre 15x3mm	1.5	0.90
Alimentación principal	Cable de cobre 50mm ²	1.2	16.88
Alimentación QF2	Cable de cobre 4mm ²	0.8	5.28
Alimentación QF3	Cable de cobre 4mm ²	0.7	4.62
Alimentación QF4	Cable de cobre 4mm ²	0.6	3.96
Alimentación QF5	Cable de cobre 4mm ²	0.5	3.30
Alimentación QF6	Cable de cobre 4mm ²	0.4	2.64

Tabla de cálculo diseñada en software EXCEL

Una vez definidos los diseños, se verifica que la envolvente seleccionada cumpla con los límites de sobrecalentamiento según la norma IEC-60890 (Figura 15).

Figura 15.

Cálculo de temperatura interna del Envoltente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).

DIMENSIONES (m)		TIPO DE INSTALACION		CÁLCULO DE VERIFICACION DE SOBRETENPERATURA SEGÚN NORMA IEC60890	
ALTURA	1,2	6		1	EXPUESTO SEPARADO
ANCHO	0,8			2	SEPARADO CONTRA LA PARED
PROFUNDIDAD	0,4			3	CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS
AREA BASE	0,32			4	CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS CONTRA LA PARED
AREA EFECTIVA DE DISIPACION Ae(m2)				5	CUBIERTO POR DOS LADOS
UBICACIÓN DEL TABLERO (Tabla 4)		Ao(m2)	b (Tabla 4)	6	CUBIERTO POR DOS LADOS CONTRA LA PARED
PARED SUPERIOR		0,3	1,40	7	EMPOTRADO
PARED FRONTAL		1,0	0,90		
PARED POSTERIOR		1,0	0,50		
PARED LATERAL IZQUIERDA		0,5	0,50		
PARED LATERAL DERECHA		0,5	0,50		
K		5,5	W/m2	Ae (m2) 2,27	
Segregacion horizontal		1		DATOS DE ENTRADA	
f		4,0		T ambiente maxima	30
g		1,50	Relacion altura/ancho	T ambiente minima	25
Area de ventilacion (cm2)		400		Maxima Potencia disipable (W)	170,52
				T interna maxima deseada	60
				T interna minima deseada	40
Constantes		Con ventilacion	Sin ventilacion	Aes1,25(m2)	Ventilacion forzada m3/h
d	1,050	1,050	0,000		
k	0,117	0,350	0,524		
c	1,870	1,320	1,226		
x	0,715	0,804	0,804		
				Con ventilacion	Sin ventilacion
				4,842747618	22,89767558
				9,055938046	30,21173176
				39,05593805	60,21173176
				32,63440001	70,00977441
				PSIS	FALSO
				CAUDAL m3/h	0
				Resistencia W	FALSO
				f coeficiente relativo a la altura sobre el nivel del mar	
				0-100 m	3,1
				100-250 m	3,2
				250-500 m	3,3
				500-750 m	3,4
				750-1000 m	3,5

Cálculo de esfuerzos mecánicos ante un cortocircuito de 35 [kA]

Se establece una corriente de cortocircuito de 35 [kA] para 100 y 630 [A], por lo cual se utiliza la misma configuración, pero la simulación se hace para el nivel de corriente más bajo (más crítico) ya que para 630 [A] la platina es de un calibre superior y los esfuerzos mecánicos ante el mismo nivel de cortocircuito son más bajos.

Especificaciones del barraje principal

Tabla 17.

Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido

Elemento	Material	Dimensión
Barraje principal	Cobre	20x10 mm
Aisladores	Resina epoxica	25 mm
Soportes internos	Lamina Glastic UTR 6mm	480 2

4.1.1 Diseño de montaje

Tabla 18.

Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido

Elemento	Orientación	Separación entre centros
Barraje principal	Vertical	75 mm
Aisladores	Horizontal	320 mm
Soportes internos	Horizontal	320 mm

Fichas técnicas de elementos

Figura 16.

Fichas técnicas de platina y aisladores. (Proporcionados por Matrimol y cobres de Colombia)

 PROPIEDADES MECÁNICAS PLETINAS Y BARRAS DE COBRE		
CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR PROMEDIO
Módulo de Elasticidad	Kg/cm ²	1.648 X 10 ⁶
Módulo de Poisson	μ	0.34
Esfuerzo de Fluencia	Kg/cm ²	2642
Módulo Tangente	Kg/cm ²	1.648 X 10 ⁶
Esfuerzo Último a Tensión	Kg/cm ²	2819.3
Conductividad Térmica	W/k·m	372.1 - 385.2
Calor Específico	J/g·k	0.385
Resistividad	Ω·m	1.7 X 10 ⁻⁴
Densidad	g/cm ³	8.89
Coefficiente de Expansión Térmica	1/°C	1.7 X 10 ⁻⁵

OBSERVACIONES: Valores promedios obtenidos en producto calibrado.

	UNIT	Procedure	Typical Value ¹
General Information			
Part Number	1491, 1493, 1494, 1495, 1497		
Standard Color	White, Red, Black		
NEMA Grade LI 1-1989	NEMA LI-1	GPO-3	
Mechanical Properties			
Tensile Strength	Psi	ASTM D638	8,000
Tensile Modulus	Psi X 10 ⁴	ASTM D638	1.7
Flexural Strength	Psi	ASTM D790	22,100
Flexural Strength - 130°C	Psi	ASTM D790	13,100
Compressive Strength	Psi	ASTM D695	32,100
Shear Strength	Psi	ASTM D732	11,600
IZOD Impact Strength (notched)	ft. lb./in.	ASTM D256	8.9
Water Absorption	% by wt.	ASTM D570	0.4
Specific Gravity	-	ASTM D792	1.81
Electrical Properties			
Electrical Strength - Perpendicular S/T in air	Vpm	ASTM D149	450
Electrical Strength - Perpendicular S/T in oil	Vpm	ASTM D149	584
Electrical Strength - Parallel S/S in oil	kV	ASTM D149	47
Arc Resistance	Sec.	ASTM D495	180
Inclined Plane Track Resistance - 1/4" thick @ 2.5 kV		ASTM D2303	1,000
IEC Track Resistance (CTI) @ 3 mm thickness	V.	UL746A	>600
UL High Voltage Track Rate	In./Min.	UL746A	0
Permittivity, 60 Hz	-	ASTM D150	4.1
Dissipation Factor, 60 Hz	-	ASTM D150	0.013
Permittivity, MHz	-	ASTM D150	4.1
Dissipation Factor, MHz	-	ASTM D150	0.010
Insulation Resistance	Ohm x 10 ¹¹	ASTM D257	3.1

T-25L (Ref 1004 - 2001)

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
TENSION DE TRABAJO	600	V
ALTURA	25	mm
DISTANCIA DE FUGA	26	mm
TENSION APLICADA EN SECO DURANTE 1 MINUTO	10	kV
BIL (Aprox.)	20	kV
FUERZA DE FLEXION DE ROTURA (Po)	2000	N
PESO	30	gr
TEMPERATURA DE OPERACION	- 20°C hasta +90°C	°C
FLAMABILIDAD	V0	
USO	INTERIOR	



Dimensiones en mm


Los insertos utilizados, pueden ser en pulgadas o en milímetros, de acuerdo a solicitud del cliente.

Tabla de cálculo diseñada en software EXCEL

Una vez definidos los diseños, se verifica que la envolvente seleccionada cumpla con los límites de esfuerzos mecánicos en barras y soportes según la norma IEC-60865 (Figura 17).

Figura 17.

Cálculo de Esfuerzos mecánicos en barras y soportes (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).

		CALCULO POR CORTOCIRCUITO SEGÚN NORMA IEC60865	
PARA BARRAS VERTICALES. CARAS ENCONTRADAS		b= ANCHO	d= ESPESOR
		MODIFICABLE	FORMULA
Datos geométricos de los conductores principales			
a	0,075 m	Distancia entre centros de conductores principales	
b_m	0,020 m	Dimensión del conductor en dirección perpendicular a la fuerza	
d_m	0,010 m	Dimensión del conductor en la dirección de la fuerza	
J	1,67E-09 m ⁴	Segundo momento de área del conductor principal	
Z	3,33E-07 m ³	Modulo de sección del conductor principal respecto a la dirección de las fuerzas magnéticas	
q	1,50	Factor de plasticidad	
Datos para el calculo de K_{12} de la figura 1			
b/d	2,00	1	
a/d	7,50	1	
k_{12}	0,39	Factor para la distancia efectiva entre conductores	
Sección 5: Efecto electromagnético en conductores rígidos			
5.1 Arreglo de conductores rígidos			
5.2 Cálculo de las fuerzas electromagnéticas			
5.2.1 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un corto-circuito trifásico			
μ_0	1,26E-06 H/m	Constante magnética Permeabilidad del vacío	
$I_{inicial}$	35,000 A	Factor de Acuerdo a la corriente de corto	
factor $ip3$	2,10	Valor pico de la corriente de corto circuito en el caso de un corto circuito balanceado (IEC 909)	
I_{p3}	73,500 A		
l	0,3200 m	Distancia máxima entre líneas de centro entre soportes	
a_m	0,076 m	Distancia efectiva entre conductores principales	
F_{m3}	3,952,38 N	Fuerza en el conductor central principal durante un corto circuito trifásico balanceado	
5.2.2 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un corto-circuito bifásico			
I_{p2}	33,600,00 A	Valor pico de la corriente de corto circuito en el caso de un corto circuito línea-línea	
F_{m2}	953,75 N	Fuerza en el conductor central principal durante un corto circuito línea-línea	
5.4 Cálculo de tensiones mecánicas en conductores rígidos			
5.4.1 Cálculo de tensiones mecánicas			
V_p	1,00	Razon entre los esfuerzos estáticos y dinámicos del conductor principal	
V_d/V_p	1,00	Razon entre los esfuerzos del conductor principal con y sin redosing trifásico automatico	
β	0,73	Factor para los esfuerzos del conductor principal	
σ_m	03,8E+8 N/m ²	Esfuerzos de flexion causado por F_{m3} entre conductores principales para sistemas trifásicos	
σ_m	8,35E+07 N/m ²	Esfuerzos de flexion causado por F_{m2} entre conductores principales para sistemas monofásicos	
SOBREDIMENSIONADO % 10%			
5.4.3 Tensión mecánica admisible en un conductor			
$R_{pl,2}$	02,6E+8 N/m ²	Limite de fluencia (yield point)	
$qR_{pl,2}$	3,89E+08 N/m ²	Esfuerzo permitido en los conductores	
$\sigma_m < qR_{pl,2}$	CUMPLE		
5.5 Cálculo de las fuerzas ejercidas sobre los soportes de los conductores rígidos			
$\sigma_m / (0,8Rp0,2)$	1,225	1 Para el corto circuito trifásico	
V_p/V_p	1,00	1 V_p Razon entre la fuerza dinamica y estática en los sopotes. Para el corto circuito trifásico.	
V_p/V_p	1,97	1 V_p Razon entre la fuerza dinamica y estática en los sopotes. Para el corto circuito línea-línea.	
$\alpha(A)$	0,40	1 Factor para la fuerza en los soportes externos	
$\alpha(B)$	1,10	1 Factor para la fuerza en los soportes internos	
F_{m3}	1,580,95 N	Fuerzas en los soportes externos por corto circuito trifásico	
F_{m3}	4,347,62 N	Fuerzas en los soportes internos por corto circuito trifásico	
F_{m2}	751,55 N	Fuerzas en los soportes externos por corto circuito línea-línea	
F_{m2}	2,066,77 N	Fuerzas en los soportes internos por corto circuito línea-línea	
$F_{dA3} < P_0$	CUMPLE	SOPORTE EXTERNO	
$F_{dB3} < P_0$	CUMPLE	SOPORTE INTERNO	
$P_0 =$ FUERZA DE FLEXIÓN DE ROTURA			
		MATRIMOL T-25L 2000 N UTR 38400,00 N	
		AREA COSTANTE UTR 480,00 mm ²	
		DISTANCIA A 1 BARRA 40 mm	
		ESPESOR UTR 6 mm	

4.2 Envoltente de distribución 630 [A]

Se realiza el montaje de una envoltente de distribución de 630A con 4 derivaciones a cargas genéricas de 100, 200, 320 y 10A respectivamente, para lo cual se realiza el montaje en software E-design de ABB para definir diagrama unifilar (Figura 18) con protecciones, barrajes y calibre de conductores y diseño en software AUTOCAD para definir el plano constructivo de la envoltente (Figura 19).

Diagrama unifilar

Figura 18.

Diagrama unifilar envoltente de distribución 630 [A]. (Diseñado en DOC ABB).

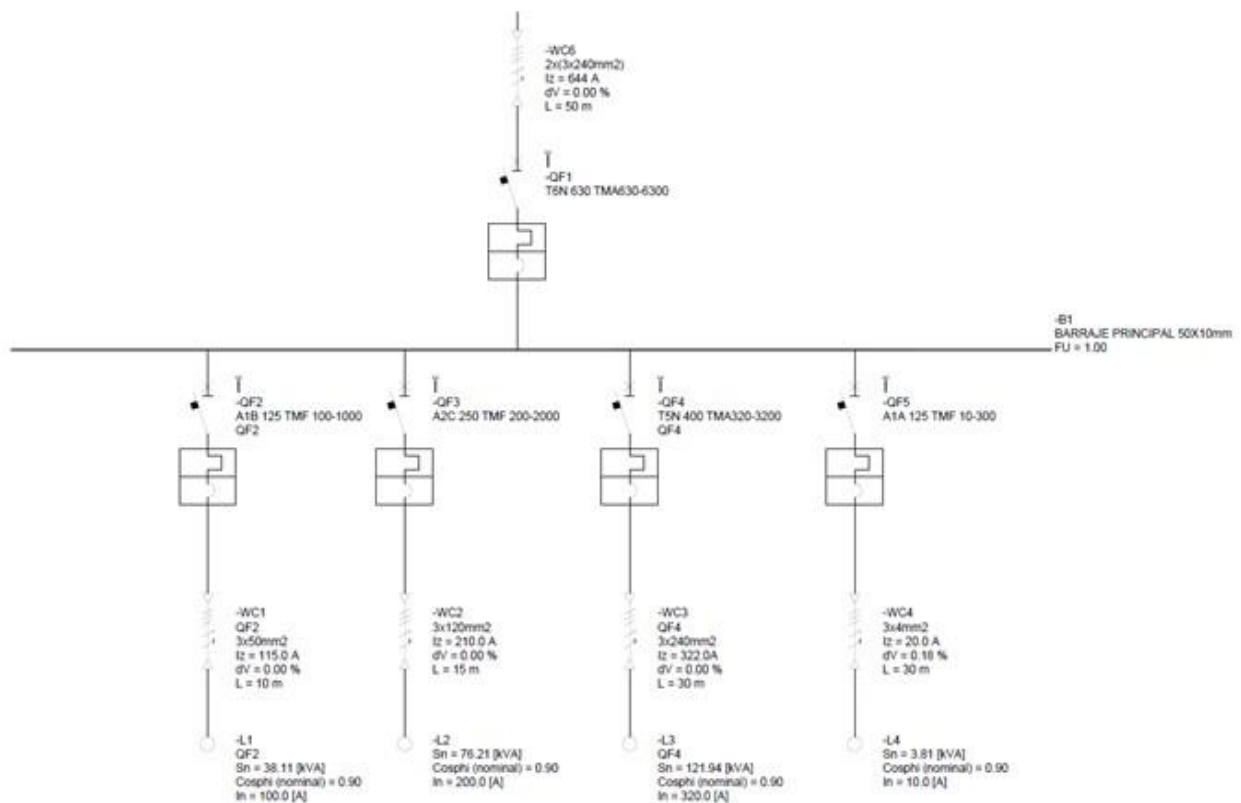
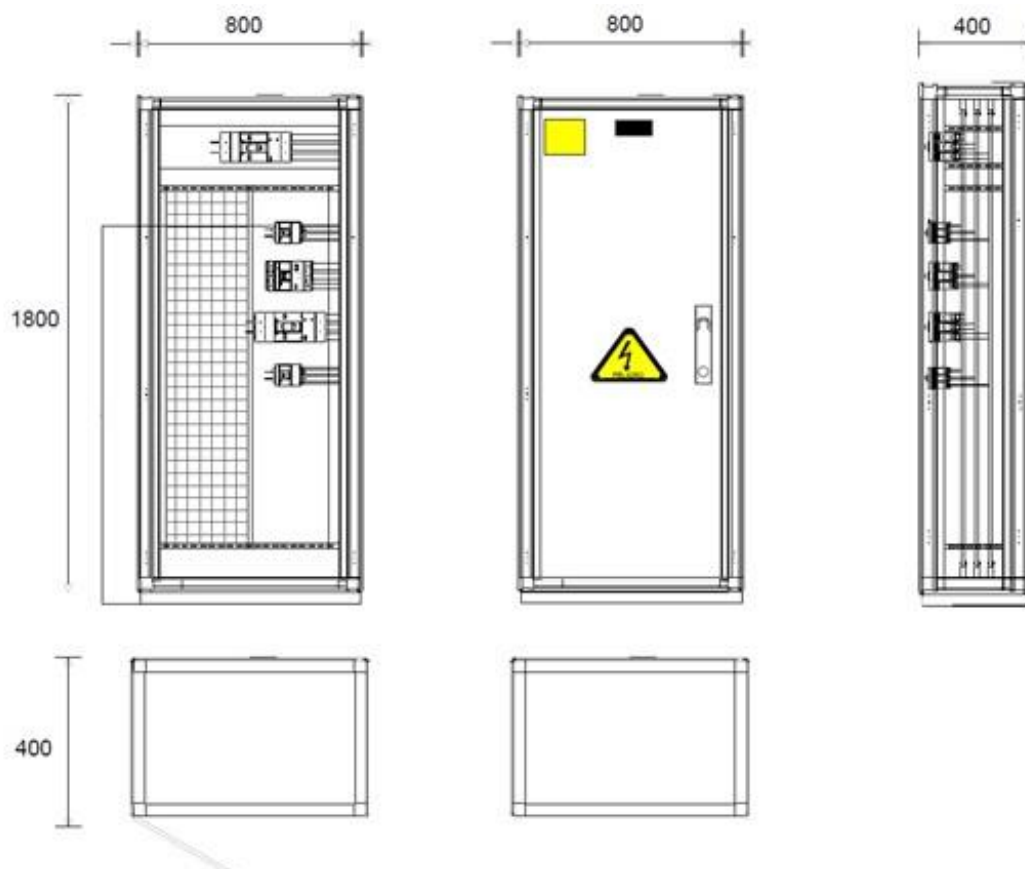


Diagrama Espacial

Figura 19.

Diagrama espacial envoltorio de distribución 630 [A]. (Diseñado en AUTOCAD).



Especificaciones técnicas

Tabla 19.

Especificaciones técnicas, según diseño establecido.

Envolvente de distribución	Dimensión
Corriente nominal	630 [A]
Tensión de operación	220 [V]
Corriente de cortocircuito	35 [kA]
Disposición de barras	Vertical
Barraje principal (Cu)	50x10 mm
Aisladores (Barril)	40 mm
IP	54
IK	10
Fases	3
Hilos	5
Ambiente	Exterior
Temperatura ambiente	30°C
Segregación	1
Tipo de instalación	6
Ventilación	Natural
Área de ventilación	400 cm ²
Alto	1800 mm
Ancho	800 mm
Profundidad	400

Cálculo de sobretensión

Para realizar este cálculo se debe extraer del diagrama unifilar la información referente a los equipos instalados, calibre de barras y conductores (Tabla 20).

Tabla 20.

Listado de equipos instalados en el envoltorio (Datos de potencia disipada totalizadores ABB)


Elementos	Tipo	Longitud (m)	Potencia disipada (W)
QF1	Totalizador 3x630A	0	135.00
QF2	Totalizador 3x100A	0	83.70
QF3	Totalizador 3x200A	0	49.50
QF4	Totalizador 3x320A	0	59.40
QF5	Totalizador 3x10A	0	3.38
Barraje principal	Platina de cobre 50x10mm	1.8	101.47
Barras de derivación QF2	Platina de cobre 15x3mm	1.5	22.46
Barras de derivación QF3	Platina de cobre 20x5mm	1.5	40.70
Barras de derivación QF4	Platina de cobre 30x5mm	1.5	69.75
Barras de derivación QF5	Platina de cobre 15x3mm	1.5	0.22
Alimentación principal	Cable de cobre 2x240mm ²	1.8	106.46
Alimentación QF2	Cable de cobre 50mm ²	1.4	19.69
Alimentación QF3	Cable de cobre 120mm ²	1.3	29.36
Alimentación QF4	Cable de cobre 240mm ²	1.1	33.57
Alimentación QF5	Cable de cobre 4mm ²	0.9	1.49

Tabla de cálculo diseñada en software EXCEL

Una vez definidos los diseños, se verifica que la envolvente seleccionada cumpla con los límites de sobrecalentamiento según la norma IEC-60890 (Figura 20).

Figura 20.

Cálculo de temperatura interna de la envolvente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).

DIMENSIONES (m)				CALCULO DE VERIFICACION DE SOBRETENPERATURA SEGÚN NORMA IEC60890																								
ALTURA	1,8																											
ANCHO	0,8																											
PROFUNDIDAD	0,4																											
AREA BASE	0,32																											
AREA EFECTIVA DE DISIPACION Ae(m2)		TIPO DE INSTALACION		6																								
UBICACIÓN DEL TABLERO (Tabla 4)			Ao(m2)	b (Tabla 4)	Ao*b(m2)																							
PARED SUPERIOR			0,3	1,40	0,448																							
PARED FRONTAL			1,4	0,90	1,296																							
PARED POSTERIOR			1,4	0,50	0,72																							
PARED LATERAL IZQUIERDA			0,7	0,50	0,36																							
PARED LATERAL DERECHA			0,7	0,50	0,36																							
K	5,5	W/m2	Ae (m2) 3,18																									
Segregacion horizontal	1		DATOS DE ENTRADA																									
f	6,9		f	3,5	T ambiente maxima	30	T ambiente minima	25																				
g	2,25	Relacion altura/ancho	Maxima Potencia disipable (W)	756,14	T interna maxima deseada	60	T interna minima deseada	40																				
Area de ventilacion (cm2)	400		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Con ventilacion</th> <th>Sin ventilacion</th> <th>Ae<math>\leq 1,25(m^2)</math></th> <th>Ventilacion forzada m3/h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ΔT_{es}</td> <td>12,72609086</td> <td>48,72672007</td> <td>108,075349</td> <td>PSIS FALSO</td> </tr> <tr> <td>ΔT_1</td> <td>25,45218172</td> <td>69,67920971</td> <td>135,418413</td> <td>CAUDAL m3/h</td> </tr> <tr> <td>T_t</td> <td>55,45218172</td> <td>99,67920971</td> <td>165,418413</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>							Con ventilacion	Sin ventilacion	Ae$\leq 1,25(m^2)$	Ventilacion forzada m3/h	ΔT_{es}	12,72609086	48,72672007	108,075349	PSIS FALSO	ΔT_1	25,45218172	69,67920971	135,418413	CAUDAL m3/h	T_t	55,45218172	99,67920971	165,418413	0
	Con ventilacion	Sin ventilacion	Ae$\leq 1,25(m^2)$	Ventilacion forzada m3/h																								
ΔT_{es}	12,72609086	48,72672007	108,075349	PSIS FALSO																								
ΔT_1	25,45218172	69,67920971	135,418413	CAUDAL m3/h																								
T_t	55,45218172	99,67920971	165,418413	0																								
Constantes			Resistencia W		FALSO																							
d	1,050	1,050	0,000																									
k	0,106	0,225	0,524																									
c	2,000	1,430	1,253																									
x	0,715	0,804	0,804																									
			f coeficiente relativo a la altura sobre el nivel del mar																									
			0-100 m	3,1																								
			100-250 m	3,2																								
			250-500 m	3,3																								
			500-750 m	3,4																								
			750-1000 m	3,5																								

4.3 Envolvente de distribución 1000 [A]

Se realiza el montaje de una envolvente de distribución de 1000A con 5 derivaciones a cargas genéricas de 100, 200, 320, 320 y 60A respectivamente, para lo cual se realiza el montaje en software E-design de ABB para definir diagrama unifilar (Figura 21) con protecciones, barrajes

y calibre de conductores y diseño en software AUTOCAD para definir el plano constructivo de la envolvente (Figura 22).

Diagrama unifilar

Figura 21.

Diagrama unifilar Envolvente de distribución 1000 [A]. (Diseñado en DOC ABB).

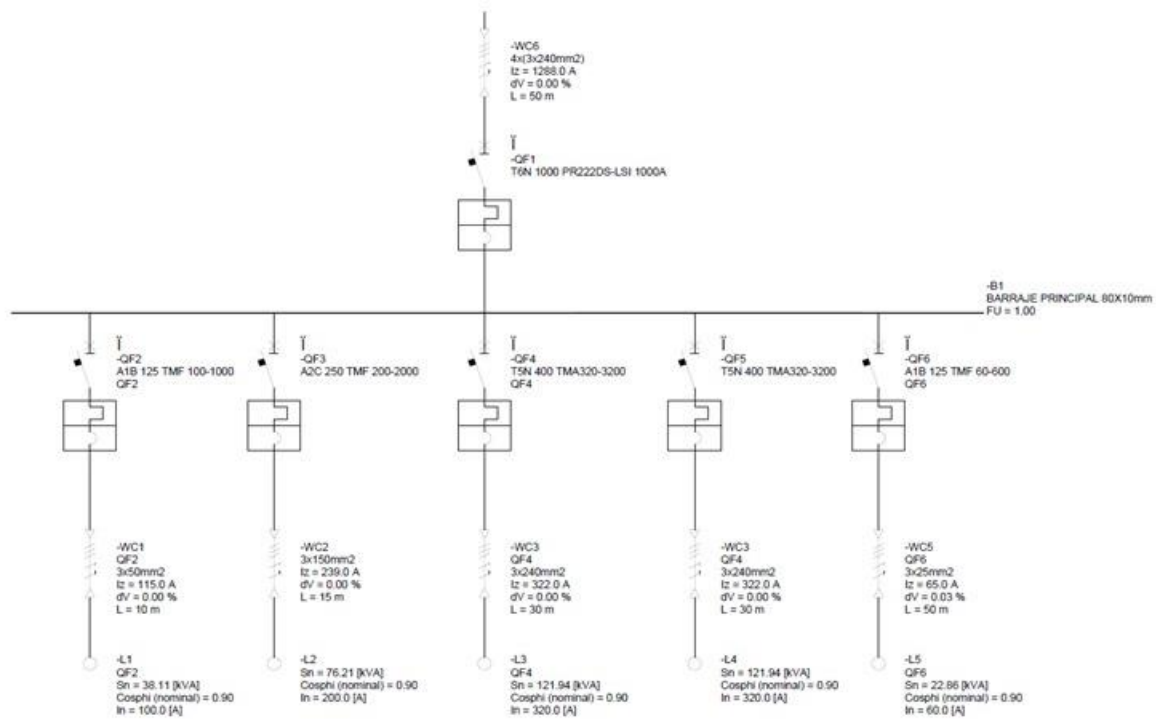
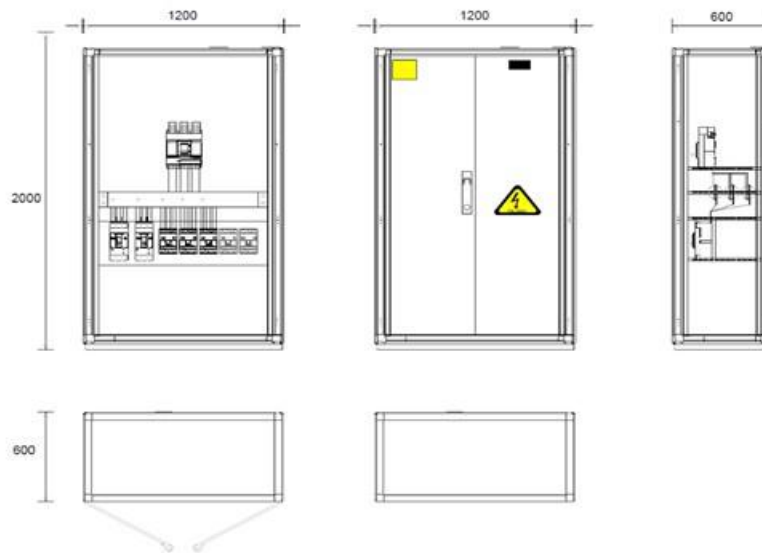


Diagrama Espacial

Figura 22.

Diagrama espacial envoltente de distribución 1000 [A]. (Diseñado en AUTOCAD).



Especificaciones técnicas

Tabla 21.

Especificaciones técnicas, según diseño establecido.

Envoltente de distribución	Dimensión
Corriente nominal	1000 [A]
Tensión de operación	220 [V]
Corriente de cortocircuito	65 [kA]
Disposición de barras	Vertical
Barraje principal (Cu)	80x10 mm
Aisladores (Barril)	60 mm

Cálculo de sobretemperatura

Para realizar este cálculo se debe extraer del diagrama unifilar la información referente a los equipos instalados, calibre de barras y conductores (Tabla 22).

Tabla 22.

Listado de equipos instalados en el envoltente (Datos de potencia disipada totalizadores ABB)


Elementos	Tipo	Longitud (m)	Potencia disipada (W)
QF1	Totalizador 3x1000A	0	225.00
QF2	Totalizador 3x100A	0	61.20
QF3	Totalizador 3x200A	0	49.50
QF4	Totalizador 3x320A	0	59.40
QF5	Totalizador 3x320A	0	20.25
QF6	Totalizador 3x40A	0	61.20
Barraje principal	Platina de cobre 80x10mm	3.6	112.69
Barras de derivación QF2	Platina de cobre 15x3mm	1.5	22.46
Barras de derivación QF3	Platina de cobre 20x5mm	1.5	40.70
Barras de derivación QF4	Platina de cobre 30x5mm	1.5	69.75
Barras de derivación QF5	Platina de cobre 30x5mm	1.5	69.75
Barras de derivación QF6	Platina de cobre 15x3mm	1.5	3.59
Alimentación principal	Cable de cobre 4x240mm ²	1.8	134.11
Alimentación QF2	Cable de cobre 50mm ²	0.7	9.84
Alimentación QF3	Cable de cobre 150mm ²	0.7	12.94
Alimentación QF4	Cable de cobre 240mm ²	0.7	21.36
Alimentación QF5	Cable de cobre 240mm ²	0.7	21.36
Alimentación QF6	Cable de cobre 25mm ²	0.7	6.62

Tabla de cálculo diseñada en software EXCEL

Una vez definidos los diseños, se verifica que la envolvente seleccionada cumpla con los límites de sobrecalentamiento según la norma IEC-60890 (Figura 23).

Figura 23.

Cálculo de temperatura interna de la envolvente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).

DIMENSIONES (m)		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		CALCULO DE VERIFICACION DE SOBRETENPERATURA SEGÚN NORMA IEC60890																								
ALTURA	2			<table border="1"> <tr><td>1</td><td>EXPUESTO SEPARADO</td></tr> <tr><td>2</td><td>SEPARADO CONTRA LA PARED</td></tr> <tr><td>3</td><td>CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS</td></tr> <tr><td>4</td><td>CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS CONTRA LA PARED</td></tr> <tr><td>5</td><td>CUBIERTO POR DOS LADOS</td></tr> <tr><td>6</td><td>CUBIERTO POR DOS LADOS CONTRA LA PARED</td></tr> <tr><td>7</td><td>EMPOTRADO</td></tr> </table>		1	EXPUESTO SEPARADO	2	SEPARADO CONTRA LA PARED	3	CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS	4	CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS CONTRA LA PARED	5	CUBIERTO POR DOS LADOS	6	CUBIERTO POR DOS LADOS CONTRA LA PARED	7	EMPOTRADO									
1	EXPUESTO SEPARADO																											
2	SEPARADO CONTRA LA PARED																											
3	CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS																											
4	CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS CONTRA LA PARED																											
5	CUBIERTO POR DOS LADOS																											
6	CUBIERTO POR DOS LADOS CONTRA LA PARED																											
7	EMPOTRADO																											
ANCHO	1,2																											
PROFUNDIDAD	0,6																											
AREA BASE	0,72																											
AREA EFECTIVA DE DISIPACION Ae(m2)		TIPO DE INSTALACION		6																								
UBCACION DEL TABLERO (Tabla 4)		Ao(m2)	b (Tabla 4)	Ao*b(m2)																								
PARED SUPERIOR		0,7	1,40	1,008																								
PARED FRONTAL		2,4	0,90	2,16																								
PARED POSTERIOR		2,4	0,50	1,2																								
PARED LATERAL IZQUIERDA		1,2	0,50	0,6																								
PARED LATERAL DERECHA		1,2	0,50	0,6																								
K	5,5	Ae (m2)		5,57																								
Segregacion horizontal	1	<table border="1"> <tr><th colspan="4">DATOS DE ENTRADA</th></tr> <tr><td>f</td><td>3,5</td><td>T ambiente maxima</td><td>30</td><td>T ambiente minima</td><td>25</td></tr> <tr><td>Maxima Potencia disipable (W)</td><td>1001,73</td><td>T interna maxima deseada</td><td>60</td><td>T interna minima deseada</td><td>40</td></tr> </table>				DATOS DE ENTRADA				f	3,5	T ambiente maxima	30	T ambiente minima	25	Maxima Potencia disipable (W)	1001,73	T interna maxima deseada	60	T interna minima deseada	40							
DATOS DE ENTRADA																												
f	3,5					T ambiente maxima	30	T ambiente minima	25																			
Maxima Potencia disipable (W)	1001,73	T interna maxima deseada	60	T interna minima deseada	40																							
f	3,5																											
g	1,67																											
Area de ventilacion (cm2)	400	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Con ventilacion</th><th>Sin ventilacion</th><th>Ae 51,25(m2)</th><th>Ventilacion forzada m3/h</th></tr> <tr><td>ΔT_{es}</td><td>14,0928594</td><td>40,7273531</td><td>135,499257</td><td>PSIS</td><td>FAISO</td></tr> <tr><td>ΔT_i</td><td>26,35364707</td><td>53,76010609</td><td>167,612581</td><td colspan="2">CAUDAL m3/h</td></tr> <tr><td>T_i</td><td>56,35364707</td><td>83,76010609</td><td>197,612581</td><td colspan="2">0</td></tr> </table>				Con ventilacion		Sin ventilacion	Ae 51,25(m2)	Ventilacion forzada m3/h	ΔT _{es}	14,0928594	40,7273531	135,499257	PSIS	FAISO	ΔT _i	26,35364707	53,76010609	167,612581	CAUDAL m3/h		T _i	56,35364707	83,76010609	197,612581	0	
Con ventilacion		Sin ventilacion	Ae 51,25(m2)	Ventilacion forzada m3/h																								
ΔT _{es}	14,0928594	40,7273531	135,499257	PSIS	FAISO																							
ΔT _i	26,35364707	53,76010609	167,612581	CAUDAL m3/h																								
T _i	56,35364707	83,76010609	197,612581	0																								
Constantes		Con ventilacion	Sin ventilacion	Ae(1,25(m2))																								
d	1,050	1,050	0,000	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Resistencia W</th></tr> <tr><td colspan="2">FAISO</td></tr> </table>		Resistencia W		FAISO																				
Resistencia W																												
FAISO																												
k	0,096	0,150	0,524																									
c	1,870	1,320	1,237																									
x	0,715	0,804	0,804																									
f coeficiente relativo a la altura sobre el nivel del mar		<table border="1"> <tr><td>0-100 m</td><td>3,1</td></tr> <tr><td>100-250 m</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>250-500 m</td><td>3,3</td></tr> <tr><td>500-750 m</td><td>3,4</td></tr> <tr><td>750-1000 m</td><td>3,5</td></tr> </table>				0-100 m	3,1	100-250 m	3,2	250-500 m	3,3	500-750 m	3,4	750-1000 m	3,5													
0-100 m	3,1																											
100-250 m	3,2																											
250-500 m	3,3																											
500-750 m	3,4																											
750-1000 m	3,5																											

Cálculo de esfuerzos mecánicos ante un cortocircuito de 65 [kA]

Se establece una corriente de cortocircuito de 65 [kA] para 1000 [A], por lo cual se utiliza la misma configuración, pero la simulación se hace para el nivel de corriente más bajo (más crítico) ya que para 1600 [A] la platina es de un calibre superior y los esfuerzos mecánicos ante el mismo nivel de cortocircuito son más bajos.

Especificaciones del barraje principal

Tabla 23.

Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido

Elemento	Material	Dimensión
Barraje principal	Cobre	80x10 mm
Aisladores	Resina epoxica	60 mm
Soportes internos	Lamina Glastic UTR 6mm	480 2

Diseño de montaje

Tabla 24.

Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido

Elemento	Orientación	Separación entre centros
Barraje principal	Vertical	75 mm
Aisladores	Horizontal	330 mm
Soportes internos	Horizontal	330

Fichas técnicas de elementos

Figura 24.

Fichas técnicas de platina y aisladores. (Proporcionados por Matrimol y cobres de Colombia)

 PROPIEDADES MECÁNICAS PLETINAS Y BARRAS DE COBRE		
CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR PROMEDIO
Módulo de Elasticidad	Kg/cm ²	1.648 X 10 ⁸
Módulo de Poisson	μ	0.34
Esfuerzo de Fluencia	Kg/cm ²	2642
Módulo Tangente	Kg/cm ²	1.648 X 10 ⁸
Esfuerzo Último a Tensión	Kg/cm ²	2819.3
Conductividad Térmica	W/k•m	372.1 - 385.2
Calor Específico	J/g•k	0.385
Resistividad	Ω•m	17 X 10 ⁻⁴
Densidad	g/cm ³	8.89
Coefficiente de Expansión Térmica	1/°C	1.7 X 10 ⁻⁵
OBSERVACIONES: Valores promedios obtenidos en producto calibrado.		

	UNIT	Procedure	Typical Value ^a
General Information			
Part Number		1491, 1493, 1494, 1495, 1497	
Standard Color		White, Red, Black	
NEMA Grade Li 1-1989		NEMA Li-1	GPO-3
Mechanical Properties			
Tensile Strength	Psi	ASTM D638	8,000
Tensile Modulus	Psi X 10 ⁴	ASTM D638	1.7
Flexural Strength	Psi	ASTM D790	22,100
Flexural Strength - 130°C	Psi	ASTM D790	13,100
Compressive Strength	Psi	ASTM D695	33,100
Shear Strength	Psi	ASTM D732	11,600
IZOD Impact Strength (notched)	ft. lb./in.	ASTM D256	8.9
Water Absorption	% by wt.	ASTM D570	0.4
Specific Gravity	-	ASTM D792	1.81
Electrical Properties			
Electrical Strength - Perpendicular S/T in air	V/pm	ASTM D149	450
Electrical Strength - Perpendicular S/T in oil	V/pm	ASTM D149	584
Electrical Strength - Parallel S/S in oil	kV	ASTM D149	47
Arc Resistance	Sec.	ASTM D495	180
Inclined Plane Track Resistance - 3/4" thick @ 2.5 kV		ASTM D2303	1,000
IEC Track Resistance (CTI) @ 3 mm thickness	V.	UL 746A	>500
UL High Voltage Track Rate	In./Min.	UL746A	0
Permittivity, 60 Hz	-	ASTM D150	4.1
Dissipation Factor, 60 Hz	-	ASTM D150	0.013
Permittivity, MHz	-	ASTM D150	4.1
Dissipation Factor, MHz	-	ASTM D150	0.010
Insulation Resistance	Ohm x 10 ¹⁰	ASTM D257	3.1

T-PRI (Ref 5000)

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
TENSION DE TRABAJO	5	kV
ALTURA	60	mm
DISTANCIA DE FUGA	60	mm
TENSION APLICADA EN SECO DURANTE 1 MINUTO	25	kV
BIL	50	kV
FUERZA DE FLEXION DE ROTURA (Po)	8000	N
PESO	380	gr
TEMPERATURA DE OPERACION	- 20°C hasta +90°C	°C
FLAMABILIDAD	V0	
USO	INTERIOR	



Dimensiones en mm


Los insertos utilizados, pueden ser en pulgadas o en milímetros, de acuerdo a solicitud del cliente.

Tabla de cálculo diseñada en software EXCEL

Una vez definidos los diseños, se verifica que la envolvente seleccionada cumpla con los límites de esfuerzos mecánicos en barras y soportes según la norma IEC-60865 (Figura 25).

Figura 25.

Cálculo de Esfuerzos mecánicos en barras y soportes (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).

		CALCULO POR CORTOCIRCUITO SEGÚN NORMA IEC60865										
PARA BARRAS H - V CARAS ENCONTRADAS		b= ANCHO	d= ESPESOR									
		<table border="1"> <tr> <td style="background-color: #92d050;">MODIFICABLE</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #f08080;">FORMULA</td> </tr> </table>		MODIFICABLE	FORMULA							
MODIFICABLE												
FORMULA												
Datos geométricos de los conductores principales												
a	0,075 m	Distancia entre centros de conductores principales										
b_m	0,080 m	Dimensión del conductor en dirección perpendicular a la fuerza										
d_m	0,010 m	Dimensión del conductor en la dirección de la fuerza										
J	6,67E-09 m ⁴	Segundo momento de area del conductor principal										
Z	1,33E-06 m ³	Modulo de sección del conductor principal respecto a la dirección de las fuerzas magneticas										
q	1,50	Factor de plasticidad										
Datos para el calculo de K_{12} de la figura 1												
b/d	8,00	1										
a/d	7,50	1										
K_{12}	0,87	1	Factor para la distancia efectiva entre conductores									
Sección 5: Efecto electromagnético en conductores rígidos												
5.1 Arreglo de conductores rígidos												
5.2 Cálculo de las fuerzas electromagnéticas												
5.2.1 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un corto-circuito trifásico												
μ_0	1,26E-06 H/m	Constante magnética Permeabilidad del vacío										
i inicial	65,000 A	Factor de Acuerdo a la corriente de corto										
factor $ip3$	2,20	Factor de Acuerdo a la corriente de corto										
F_{m3}	183,000 N	Valor pico de la corriente de corto circuito en el caso de un corto circuito balanceado (IEC 909)										
a_m	0,3300 m	Distancia máxima entre líneas de centro entre soportes										
a_m	0,086 m	Distancia efectiva entre conductores principales										
F_{m3}	13,558,28 N	Fuerza en el conductor central principal durante un corto circuito trifásico balanceado										
5.2.2 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un corto-circuito bifásico												
F_{m2}	33,600,00 N	Valor pico de la corriente de corto circuito en el caso de un corto circuito línea-línea										
F_{m2}	864,33 N	Fuerza en el conductor central principal durante un corto circuito línea-línea										
5.4 Cálculo de tensiones mecánicas en conductores rígidos												
5.4.1 Cálculo de tensiones mecánicas												
V_e	1,00	1	Razon entre los esfuerzos estaticos y dinamicos del conductor principal									
$V_e V_e$	1,00	1	Razon entre los esfuerzos del conductor principal con y sin reclosing trifásico automatico									
β	0,71	1	Factor para los esfuerzos del conductor principal									
σ_m	03,4E+8 N/m ²	Esfuerzos de flexion causado por F_{m3} entre conductores principales para sistemas trifásicos										
σ_m	1,95E+07 N/m ²	Esfuerzos de flexion causado por F_{m2} entre conductores principales para sistemas monofásicos										
SOBREDIMENSIONADO % 10%												
5.4.3 Tensión mecánica admisible en un conductor												
R_{m2}	02,6E+8 N/m ²	Limite de fluencia (yield point)										
qR_{m2}	3,89E+08 N/m ²	Esfuerzo permitido en los conductores										
$\sigma_m < qR_{m2}$	CUMPLE											
5.5 Cálculo de las fuerzas ejercidas sobre los soportes de los conductores rígidos												
$\sigma_e / (0,8R_{p0,2})$	1,083	1	Para el corto circuito trifásico									
$V_e V_e$	1,00	1	V_e Razon entre la fuerza dinamica y estatica en los sopotes. Para el corto circuito trifásico.									
$V_e V_e$	1,97	1	V_e Razon entre la fuerza dinamica y estatica en los sopotes. Para el corto circuito línea-línea.									
$\alpha (A)$	0,40	1	Factor para la fuerza en los soportes externos									
$\alpha (B)$	1,20	1	Factor para la fuerza en los soportes internos									
F_{m3}	5,423,31 N	Fuerzas en los soportes externos por corto circuito trifásico										
F_{m3}	14,914,11 N	Fuerzas en los soportes internos por corto circuito trifásico										
F_{m2}	681,09 N	Fuerzas en los soportes externos por corto circuito línea-línea										
F_{m2}	1,873,01 N	Fuerzas en los soportes internos por corto circuito línea-línea										
$FdR3 < P_o$	CUMPLE											
$FdR3 < P_o$	CUMPLE											
Po = FUERZA DE FLEXION DE ROTURA												
		<table border="1"> <tr> <th>SOPORTE EXTERNO</th> <th>T.PRI</th> <th>8000</th> <th>N</th> </tr> <tr> <td>UTR</td> <td>UTR</td> <td>38400,00</td> <td>N</td> </tr> </table>	SOPORTE EXTERNO	T.PRI	8000	N	UTR	UTR	38400,00	N		
SOPORTE EXTERNO	T.PRI	8000	N									
UTR	UTR	38400,00	N									
		<table border="1"> <tr> <th>AREA CORTANTE UTR</th> <th>480,00</th> <th>mm²</th> </tr> <tr> <th>DISTANCIA A 1 BARRA</th> <th>40</th> <th>mm</th> </tr> <tr> <th>ESPESOR UTR</th> <th>6</th> <th>mm</th> </tr> </table>	AREA CORTANTE UTR	480,00	mm ²	DISTANCIA A 1 BARRA	40	mm	ESPESOR UTR	6	mm	
AREA CORTANTE UTR	480,00	mm ²										
DISTANCIA A 1 BARRA	40	mm										
ESPESOR UTR	6	mm										

4.4 Envoltente de distribución 1600 [A]

Se realiza el montaje de una envoltente de distribución de 1600A con 5 derivaciones a cargas genéricas de 100, 200, 400, 630 y 250A respectivamente, para lo cual se realiza el montaje en software E-design de ABB para definir diagrama unifilar (Figura 26) con protecciones, barrajes y calibre de conductores y diseño en software AUTOCAD para definir el plano constructivo de la envoltente (Figura 27).

Diagrama unifilar

Figura 26.

Diagrama unifilar envoltente de distribución 1600 [A]. (Diseñado en DOC ABB).

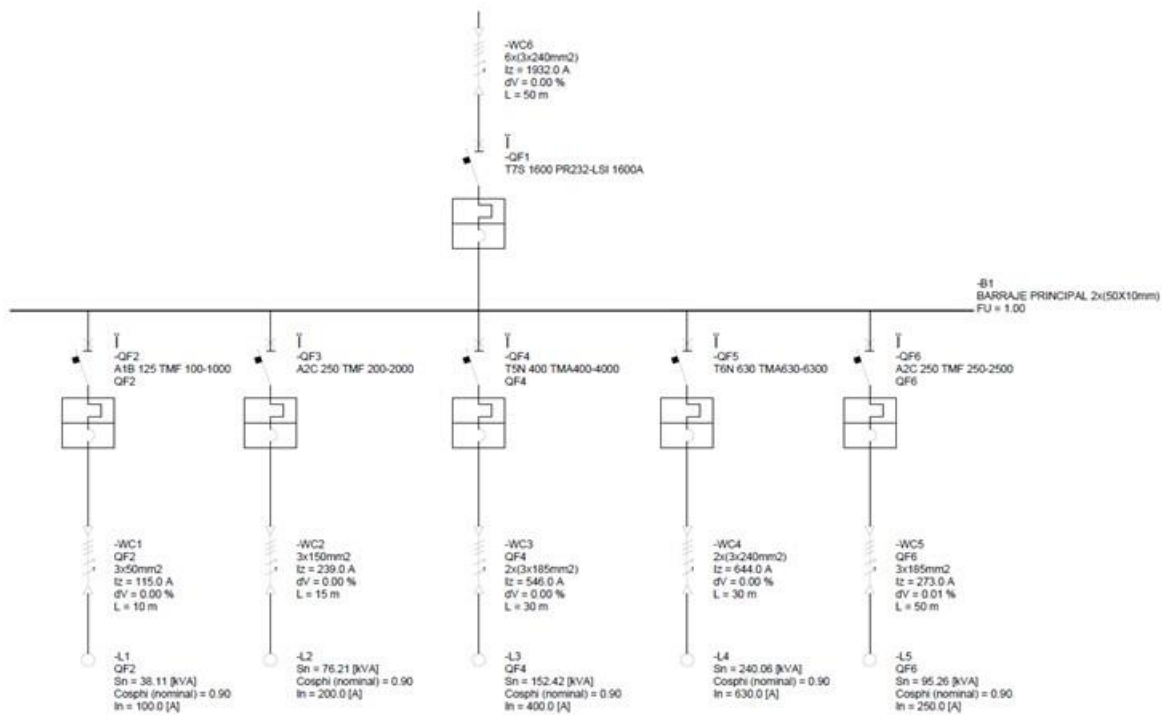
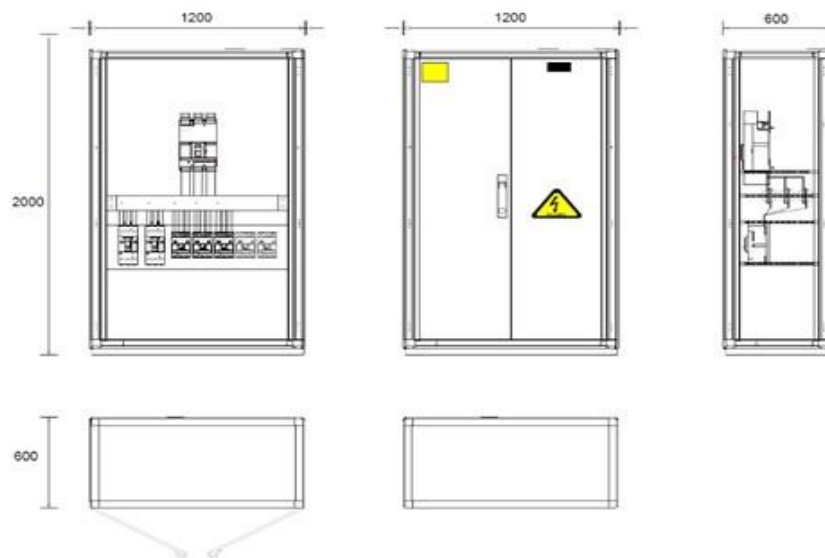


Diagrama Espacial

Figura 27.

Diagrama espacial envoltente de distribución 1600 [A]. (Diseñado en AUTOCAD).



4.4.1 Especificaciones técnicas

Tabla 25.

Especificaciones técnicas, según diseño establecido.

Envoltente de distribución	Dimensión
Corriente nominal	1600 [A]
Tensión de operación	220 [V]
Corriente de cortocircuito	65 [kA]
Disposición de barras	Vertical
Barraje principal (Cu)	2x (50x10 mm)
Aisladores (Barril)	60 mm

Tabla 25. (Continuación)

Envolvente de distribución	Dimensión
IP	54
IK	10
Fases	3
Hilos	5
Ambiente	Exterior
Temperatura ambiente	30°C
Segregación	1
Tipo de instalación	6
Ventilación	Natural
Área de ventilación	700 cm ²
Alto	2000 mm
Ancho	1200 mm
Profundidad	600

Cálculo de sobretemperatura

Para realizar este cálculo se debe extraer del diagrama unifilar la información referente a los equipos instalados, calibre de barras y conductores (Tabla 26).

Tabla 26.

Listado de equipos instalados en el envolvente (Datos de potencia disipada totalizadores ABB)

Elementos	Tipo	Longitud (m)	Potencia disipada (W)
QF1	Totalizador 3x1600A	0	346.50
QF2	Totalizador 3x100A	0	135.00
QF3	Totalizador 3x200A	0	87.75

Tabla 26. (Continuación)

Elementos	Tipo	Longitud (m)	Potencia disipada (W)
QF4	Totalizador 3x400A	0	49.50
QF5	Totalizador 3x630A	0	237.60
QF6	Totalizador 3x250A	0	80.10
Barraje principal	Platina de cobre 2x50x10mm	1.2	58.83
Barras de derivación QF2	Platina de cobre 15x3mm	1.5	22.46
Barras de derivación QF3	Platina de cobre 20x5mm	1.5	40.70
Barras de derivación QF4	Platina de cobre 30x5mm	1.5	63.60
Barras de derivación QF5	Platina de cobre 30x5mm	1.5	64.52
Barras de derivación QF6	Platina de cobre 15x3mm	1.5	104.20
Alimentación principal	Cable de cobre 6x240mm ²	1.8	228.88
Alimentación QF2	Cable de cobre 50mm ²	0.7	9.84
Alimentación QF3	Cable de cobre 150mm ²	0.7	12.94
Alimentación QF4	Cable de cobre 2x185mm ²	0.7	21.19
Alimentación QF5	Cable de cobre 2x240mm ²	0.7	41.40
Alimentación QF6	Cable de cobre 185mm ²	0.7	16.55

Tabla de cálculo diseñada en software EXCEL

Una vez definidos los diseños, se verifica que la envolvente seleccionada cumpla con los límites de sobrecalentamiento según la norma IEC-60890 ().

Figura 28.

Cálculo de temperatura interna de la envolvente (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).

DIMENSIONES (m)		TIPO DE INSTALACION		CÁLCULO DE VERIFICACION DE SOBRETENPERATURA SEGÚN NORMA IEC60890	
ALTURA	2	6		1 EXPUESTO SEPARADO	
ANCHO	1,2			2 SEPARADO CONTRA LA PARED	
PROFUNDIDAD	0,6			3 CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS	
AREA BASE	0,72			4 CUBIERTO POR UNO DE SUS LADOS CONTRA LA PARED	
AREA EFECTIVA DE DISIPACION Ae(m2)				5 CUBIERTO POR DOS LADOS	
UBICACIÓN DEL TABLERO (Tabla 4)		Ao(m2)	b (Tabla 4)	6 CUBIERTO POR DOS LADOS CONTRA LA PARED	
PARED SUPERIOR		0,7	1,40	7 EMPOTRADO	
PARED FRONTAL		2,4	0,90		
PARED POSTERIOR		2,4	0,50		
PARED LATERAL IZQUIERDA		1,2	0,50		
PARED LATERAL DERECHA		1,2	0,50		
K		5,5	Ae (m2)		5,57
Segregacion horizontal		1	DATOS DE ENTRADA		
f		3,5	f	3,5	T ambiente maxima
g		1,67	Relacion altura/ancho		T ambiente minima
Area de ventilacion (cm2)		700	Maxima Potencia disipable (W)		1621,56
Constantes		Con ventilacion	Sin ventilacion	T interna maxima deseada	
d	1,050	1,050	0,000	60	
k	0,070	0,150	0,524	T interna minima deseada	
c	1,960	1,320	1,237	40	
x	0,715	0,804	0,804	Con ventilacion	
f (coeficiente relativo a la altura sobre el nivel del mar)		0-100 m		3,1	CAUDAL m3/h
		100-250 m		3,2	0
		250-500 m		3,3	Resistencia W
		500-750 m		3,4	FALSO
		750-1000 m		3,5	

4.4.2 Cálculo de esfuerzos mecánicos ante un cortocircuito de 65 [kA]

Se establece una corriente de cortocircuito de 65 [kA] doble barra para 1600 [A], por lo cual se utiliza la misma configuración, pero la simulación se hace para el nivel de corriente más bajo (más crítico).

Especificaciones del barraje principal

Tabla 27.

Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido

Elemento	Material	Dimensión
Barraje principal	Cobre	2x (50x10 mm)
Aisladores	Resina epoxica	60 mm
Soportes internos	Lamina Glastic UTR 6mm	480 2

Diseño de montaje

Tabla 28.

Especificaciones técnicas del barraje principal, según diseño establecido

Elemento	Orientación	Separación entre centros
Barraje principal	Vertical	90 mm
Aisladores	Horizontal	300 mm
Soportes internos	Horizontal	300

Fichas técnicas de elementos

Figura 29.

Fichas técnicas de platina y aisladores. (Proporcionados por Matrimol y cobres de Colombia)

 PROPIEDADES MECÁNICAS PLETINAS Y BARRAS DE COBRE		
CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR PROMEDIO
Módulo de Elasticidad	Kg/cm ²	1.648 X 10 ⁶
Módulo de Poisson	μ	0.34
Esfuerzo de Fluencia	Kg/cm ²	2642
Módulo Tangente	Kg/cm ²	1.648 X 10 ⁶
Esfuerzo Último a Tensión	Kg/cm ²	2819.3
Conductividad Térmica	W/k•m	372.1 - 385.2
Calor Específico	J/g•k	0.385
Resistividad	Ω•m	17 X 10 ⁻⁴
Densidad	g/cm ³	8.89
Coefficiente de Expansión Térmica	1/°C	1.7 X 10 ⁻³
OBSERVACIONES: Valores promedios obtenidos en producto calibrado.		

	UNIT	Procedure	Typical Value ¹
General Information			
Part Number		1491, 1493, 1494, 1495, 1497	
Standard Color		White, Red, Black	
NEMA Grade Li 1-1989		NEMA LI-1	GPO-3
Mechanical Properties			
Tensile Strength	Psi	ASTM D638	8,000
Tensile Modulus	Psi X 10 ⁴	ASTM D638	1.7
Flexural Strength	Psi	ASTM D790	22,100
Flexural Strength - 130°C	Psi	ASTM D790	13,100
Compressive Strength	Psi	ASTM D695	33,100
Shear Strength	Psi	ASTM D732	11,600
IZOD Impact Strength (notched)	ft. lb./in.	ASTM D256	8.9
Water Absorption	% by wt.	ASTM D570	0.4
Specific Gravity	-	ASTM D792	1.81
Electrical Properties			
Electrical Strength - Perpendicular S/T in air	Vpm	ASTM D149	450
Electrical Strength - Perpendicular S/T in oil	Vpm	ASTM D149	584
Electrical Strength - Parallel S/S in oil	kV	ASTM D149	47
Arc Resistance	Sec.	ASTM D495	180
Inclined Plane Track Resistance - 1/4" thick @ 2.5 kV		ASTM D3303	1,000
IEC Track Resistance (CTI) @ 3 mm thickness	V.	UL746A	>600
UL High Voltage Track Rate	In./Min.	UL746A	0
Permittivity, 60 Hz	-	ASTM D150	4.1
Dissipation Factor, 60 Hz	-	ASTM D150	0.013
Permittivity, MHz	-	ASTM D150	4.1
Dissipation Factor, MHz	-	ASTM D150	0.010
Insulation Resistance	Ohm x 10 ¹²	ASTM D257	3.1

T-PRI (Ref 5000)

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
TENSION DE TRABAJO	5	kV
ALTURA	60	mm
DISTANCIA DE FUGA	60	mm
TENSION APLICADA EN SECO DURANTE 1 MINUTO	25	kV
BIL	50	kV
FUERZA DE FLEXION DE ROTURA (P _o)	8000	N
PESO	380	gr
TEMPERATURA DE OPERACION	- 20°C hasta +90°C	°C
FLAMABILIDAD	V0	
USO	INTERIOR	



Dimensiones en mm


Los insertos utilizados, pueden ser en pulgadas o en milímetros, de acuerdo a solicitud del cliente.

Tabla de cálculo diseñada en software EXCEL

Una vez definidos los diseños, se verifica que la envolvente seleccionada cumpla con los límites de esfuerzos mecánicos en barras y soportes según la norma IEC-60865 (Figura 30).

Figura 30.

Cálculo de Esfuerzos mecánicos en barras y soportes (Diseñado en EXCEL. Anexo hoja de cálculo).

		CALCULO POR CORTOCIRCUITO SEGÚN NORMA IEC60865			
EJERCICIO SON 2 BARRAS POR FASE PARA 1800 AMPERIOS, 65 KA BARRAS DE 50X10 mm POSICIÓN HORIZONTAL CARAS ENCONTRADAS					
PARA BARRAS H. Y CARAS ENCONTRADAS		h= ANCHO e= ESPESOR	MODIFICABLE FORMULA		
Datos geométricos de los conductores principales					
a	0,05	m	Distancia entre centros de conductores principales		
b	0,05	m	Dimensión del conductor en dirección perpendicular a la fuerza		
d	0,01	m	Dimensión del conductor en la dirección de la fuerza		
h _{ca}	0,05	m	Dimensión del conductor Principal en dirección perpendicular a la fuerza		
h _{ca}	0,03	m	Dimensión del conductor Principa en la dirección de la fuerza		
a12/d	0,03	m	Distancia entre centros de conductores con respecto a Barra adyacente		
a13/d	8,337E-08	m ²	Segundo momento de area del conductor principal		
Z	1,87E-06	m ³	Módulo de seccion del conductor principal respecto a la dirección de las fuerzas magnéticas		
Zs	8,33E-07	m ³	Módulo de seccion del subconductor principal respecto a la dirección de las fuerzas magnéticas		
q	1,50	1	Factor de plasticidad		
Datos para el calculo de K₁₂ de la figura 1					
h/d	0,00	1	Por Barra		
a/d	0,00	1	Por Barra		
hca/dca	1,67	1	Por Grupo de Barras		
a12/d12	0,00	1	Por Grupo de Barras		
a13/d13	0,00	1	Por Grupo de Barras adyacentes		
k12Max	0,92	1	Por Grupo de Barras Conductor Principal		
K ₁₂	0,00	1	Por Grupo de Barras adyacentes		
Sección 5: Efecto electromagnético en conductores rígidos					
5.1 Arreglo de conductores rígidos					
5.2 Cálculo de las fuerzas electromagnéticas					
5.2.1 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un corto-circuito trifásico					
H _{sc}	3,26E-06	N/m	Constante magnética Permeabilidad del vacío		
I _{sc}	43,000	A	Corriente de Corto Nominal		
factor (a3)	7,20	1	1 inicial		
f _{sc}	143,000	A	Valor pico de la corriente de corto circuito en el caso de un corto circuito balanceado (IEC 909)		
l	0,300	m	Distancia máxima entre líneas de centro entre soportes		
e _{ca}	0,099	m	Distancia efectiva entre conductores principales		
F _{ca}	10,881,78	N	Fuerza en el conductor central principal durante un corto circuito trifásico balanceado		
k	0,00	1	Numero de soportes internos (CALZAS)		
h	0,000	m	Distancia entre Soportes Internos o Espaciadores		
n	2,00	1	Numero de Barras por Fase		
e _{ca}	0,011	m	Distancia Efectiva entre Subconductores		
F _{ca}	0,00	N	Fuerza entre conductores adyacentes durante un corto circuito trifásico balanceado		
5.2.2 Cálculo del valor de pico de la fuerza entre los conductores principales durante un corto-circuito bifásico					
I _{sc}	33,600,00	A	Valor pico de la corriente de corto circuito en el caso de un corto circuito línea-línea		
F _{ca}	600,48	N	Fuerza en el conductor central principal durante un corto circuito línea-línea		
5.4 Cálculo de tensiones mecánicas en conductores rígidos					
5.4.1 Cálculo de tensiones mecánicas					
V _{ca}	1,00	1	Razon entre los esfuerzos estáticos y dinámicos del conductor principal		
V _{caV}	1,00	1	Razon entre los esfuerzos del conductor principal con y sin rechozo trifásico automatico		
β	0,71	1	Factor para los esfuerzos del conductor principal		
V _{caV}	1,00	1	Factor para los esfuerzos del conductor Adyacentes		
β _{ca}	0,71	1	Factor para los esfuerzos del conductor principal		
e _{ca}	0,178,48+E	N/m ²	Esfuerzos de flexion causado por F _{ca} entre conductores principales para sistemas trifásicos		
e _{ca}	11,37E+06	N/m ²	Esfuerzos de flexion causado por F _{ca} entre conductores principales para sistemas monofásicos		
e _{ca}	900000,0E+0	N/m ²	Esfuerzos de flexion causado por F _{ca} entre conductores adyacentes para sistemas trifásicos		
e _{ca}	0,196,28+E	N/m ²	Esfuerzos Totales de flexion para sistemas trifásicos		
5.4.3 Tensión mecánica admisible en un conductor					
e _{ca}	0,259,18+E	N/m ²	Límite de fluencia (yield point)		
e _{ca}	0,388,62+E	N/m ²	Esfuerzo permitido en los conductores		
e _{ca}	CUMPLE				
5.5 Cálculo de las fuerzas ejercidas sobre los soportes de los conductores rígidos					
a _{ca} /(0,88q+0,2)	0,574	1	Para el corto circuito trifásico		
a _{ca} /(0,88q+0,2)	0,611	1	Para el corto circuito bifásico		
V _{ca} V _{ca}	1,58	1	V _{ca} Razon entre la fuerza dinámica y estática en los soportes. Para el corto circuito trifásico.		
V _{ca} V _{ca}	2,70	1	V _{ca} Razon entre la fuerza dinámica y estática en los soportes. Para el corto circuito línea-línea.		
a (A)	0,40	1	Factor para la fuerza en los soportes externos		
a (E)	1,10	1	Factor para la fuerza en los soportes internos		
F _{ca}	8,883,30	N	Fuerzas en los soportes externos por corto circuito trifásico		
F _{ca}	18,929,07	N	Fuerzas en los soportes internos por corto circuito trifásico		
F _{ca}	19,7,80	N	Fuerzas en los soportes externos por corto circuito línea-línea		
F _{ca}	7,026,51	N	Fuerzas en los soportes internos por corto circuito línea-línea		
F6A3 + Po	CUMPLE		SOPORTE EXTERNO		
F6B3 + Po	CUMPLE		SOPORTE INTERNO		
Po = FUERZA DE FLEXION DE ROTURA					
		MATERIAL	σ _{PEL} - 600 9000	9000	Pa
		UTM		3850,00	N
		AREA CORTANTE	UTM	480,00	mm ²
		INSTANCIA A SUARCA		40	mm
		ESPESOR UTM		6	mm

5. Conclusiones

Se estableció un procedimiento específico de diseño de envolventes eléctricas, en el cual se definieron parámetros preliminares previos que hay que tener en cuenta como son, el lugar de instalación, tipo de instalación, nivel de segregación y ambiente.

Para un correcto dimensionamiento de envolventes, hay que tener un diagrama unifilar completo que contenga: corriente de cortocircuito, calibre de acometidas factor de utilización de cargas, calibre de barrajes principales y marca específica de equipos de protección validada por la respectiva coordinación de protecciones.

Se transcribieron los procedimientos de cálculo de las normas IEC-60890 e IEC-60865 al software EXCEL para hacer uso del como una herramienta práctica de aplicación de ingeniería y validación de cumplimiento de parámetros establecidos por IEC-61439

Se analizaron 4 escenarios de estudio diferentes de aplicación de ingeniería en los cuales se validó que la herramienta fue de utilidad y donde se logró observar como la variación de parámetros alteran los cálculos y esto conlleva a rediseñar y encontrar las mejores condiciones de operación de las envolventes de distribución eléctrica.

Se logró documentar los procedimientos de cálculo de sobre temperatura y esfuerzos mecánicos en barras y soportes según las normas IEC-60890 e IEC-60865 y llevar todo esto a una herramienta de cálculo práctica como es Microsoft EXCEL con lo cual una empresa fabricante de envolventes eléctricas puede certificarse y estar en condiciones de diseñar subestaciones de baja tensión.

Referencias Bibliográficas

ABB SACE. (2010). *Electrical installation handbook. Protection, control and electrical devices. Technical guide – 6th edition.*

Lilien, J. L., Declercq, G., Meyer, W., Miri, A. M., Papailiou, K., Roeder, D., ... & Tsanakas, D. (2002). *The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations (Part II)*. Vol. 214. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2268/114794>

Lilien, J. L., El Adnani, M., Ford, G., Miri, A. M., Nordin, R., Polevoy, A., ... & Tsanakas, D. (1996). *The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations (Rigid and Flexible bus-bars)*. Vol. 105. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2268/115127>

Cuaderno de Aplicaciones Técnicas No. 9. ABB. (sf). *Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y 2.*

Internacional Standard. (sf). *IEC-60439-1. Low voltage switchgear and controlgear assemblies. Part 1: Type tested and partially type-tested assemblies.*

Internacional Standard. (sf). *IEC-61439. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: General rules.*

International Electrotechnical Commission. (1997). *IEC-60865-1. Short-circuit current – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods.* Geneva.

Ministerio de Minas y Energía. Proyecto de Norma: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). 2014.

Decreto 2811 de 1974 [con fuerza de ley]. Por medio del cual se expide el Código de Recursos Naturales Renovables y de protección al Medio Ambiente. Enero 27 de 1975. D.O.N°34243.

Norma Técnica Colombiana NTC-3283. (sf). *Paneles de maniobra y control de baja tensión. Requisitos particulares para sistemas de barrajes canalizados.*

Sai Global. (1987). *A method of temperature-rise assesmnet by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear* (IEC 60890, Ed. 1. MOD)

UNE. (sf). *EN 50102 Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (Código IK).*

UNE. (sf). *UNE 20-324-93 Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP). Esta norma UNE es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 60529*