



INGENIERÍA ELÉCTRICA

Proyecto Final de Ingeniería Eléctrica
Diseño de un centro control de motores para
sistema de bombeo en planta de proceso

Autora
Agustina Pagani

Tutor
Ing. Carlos Alberto Pistonesi

Bahía Blanca | 14 de junio de 2024



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Bahía Blanca

Ingeniería Eléctrica

Proyecto final de carrera

***Diseño de un centro control de
motores para sistema de bombeo en
planta de proceso***

Autora

Agustina Pagani

Tutor

Ing. Carlos Alberto Pistonesi

Bahía Blanca, 14 de junio de 2024



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Bahía Blanca

Ingeniería Eléctrica

Proyecto final de carrera

***Diseño de un centro control de
motores para sistema de bombeo en
planta de proceso***

Proyecto Final presentado en cumplimiento de las exigencias
de la Carrera Ingeniería Eléctrica de la Facultad Regional Bahía Blanca,
realizado por Agustina Pagani

Profesores: Ing. Carlos Mainetti / Mg. Ing. Marcelo Antón / Ing. Gabriela
Romero
Profesor Tutor: Ing. Carlos Alberto Pistonesi

Bahía Blanca, 14 de junio de 2024

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, que marca el final de mi formación universitaria, a todas las mujeres que me precedieron en este camino. A las ingenieras, técnicas, científicas, profesionales y muchas más que, con su participación, grande o pequeña, convirtieron lo impensado en lo cotidiano y abrieron el camino para que las nuevas generaciones tengamos un lugar en la ingeniería. Sin ellas, hoy nada de esto sería posible.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi familia por su apoyo incondicional durante estos años.

A toda la comunidad educativa. A mis compañeros, con quienes siempre encontré un ambiente de verdadera colaboración y ayuda mutua, y especialmente a mis amigos, quienes alegraron mi paso por la universidad. A todos los docentes que conocí en la carrera con gran vocación profesional, y a los profesionales con quienes trabajé en mis pasantías con gran vocación docente.

Y por último a la universidad pública, donde tuve el honor de formarme.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	15
Objetivos	17
Alcances	18
CAPÍTULO 1 – ASPECTOS GENERALES	19
1.1. Descripción general del sistema	19
1.2. Descripción de la localización	21
1.3. Planos de planta	22
1.4. Clasificación de zona explosiva	24
CAPÍTULO 2 – SELECCIÓN DE MOTORES	30
2.1. Bombas sumergibles	31
2.2. Motores Siemens	32
2.3. Motores Weg	33
2.4. Elección	33
CAPÍTULO 3 – VARIADORES DE FRECUENCIA	34
3.1. Variadores de frecuencia Schneider	35
3.2. Variadores de frecuencia Weg	36
3.3. Elección	37
CAPÍTULO 4 – TRANSFORMADOR	38
CAPÍTULO 5 – CELDAS DE MEDIA TENSION	41
5.1. Celdas ABB	44

5.2.	Celdas Schneider	46
5.3.	Celdas Siemens.....	48
5.4.	Elección y verificación	50
CAPÍTULO 6 – DISEÑO DE ILUMINACIÓN		53
6.1.	Dimensionamiento del CCM	53
6.2.	Iluminación normal Centro de Control de Motores.....	55
6.2.1.	Sala de tableros	55
6.2.2.	Sala del transformador.....	59
6.2.3.	Elección	61
6.3.	Iluminación de emergencia Centro de Control de Motores ..	61
6.3.1.	Sala de tableros	63
6.3.2.	Sala del transformador.....	68
6.3.3.	Elección	72
6.4.	Iluminación del contorno de la piletta.....	72
CAPÍTULO 7 CÁLCULO DE CLIMATIZACIÓN.....		76
7.1.	Estimación del calor total disipado.....	76
7.2.	Extractores de tableros	79
CAPÍTULO 8 – TABLEROS DE BAJA TENSIÓN		81
8.1.	Listado de cargas	81
8.2.	Consideraciones respecto a los tableros	83
8.3.	Tablero de corrección del factor de potencia.....	83
CAPÍTULO 9 – CANALIZACIONES		87

9.1.	Verificación de corriente admisible	87
9.2.	Verificación de caída de tensión	90
9.3.	Verificación de corriente de cortocircuito	91
9.4.	Bandejas portacables	92
CAPÍTULO 10	– PUESTA A TIERRA	96
CAPÍTULO 11	– ANÁLISIS DE COSTOS.....	98
CAPÍTULO 12	– CONCLUSIONES	99
ANEXOS		101
Anexo 1.	Hoja de datos motor Siemens	101
Anexo 2.	Hoja de datos motor Weg.....	107
Anexo 3.	Hoja de datos variador de frecuencia Weg.....	111
Anexo 4.	Hoja de datos transformador TMC	117
Anexo 5.	Hoja de datos celdas Schneider.....	119
Anexo 6.	Dimensiones CCM.....	125
Anexo 7.	Hoja de datos proyectores EXPRL 2203	126
Anexo 8.	Plano iluminación	127
Anexo 9.	Plano tomacorrientes.....	129
Anexo 10.	Diagrama unifilar CCM	130
Anexo 11.	Cables Prysmian línea Varinet	131
Anexo 12.	Plano bandejas portacables BT.....	134
Anexo 13.	Radios de curvatura admisibles	137
Anexo 14.	Cálculo malla de puesta a tierra	138

Anexo 15. Planilla de cálculo anexa	141
Bibliografía	142

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. – Esquema básico del sistema.....	20
Figura 2. – Ubicación de la localidad de Ingeniero White. Extraído de Google Maps. © 2024 Google.....	21
Figura 3. – Plano en planta de pileta y CCM.	22
Figura 4. – Plano en planta zona de la pileta.....	23
Figura 5. – Marcación IECEx. Elaboración propia, extraído de «Guía para Atmósferas Explosivas» [1]. Recuperado de https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h46/h03/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076341-brochure-spanish-web.pdf . © 2024 WEG. ...	29
Figura 6. – Marcación ATEX. Elaboración propia, extraído de «Guía para Atmósferas Explosivas» [1]. Recuperado de https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h46/h03/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076341-brochure-spanish-web.pdf . © 2024 WEG. ...	29
Figura 7. – Selector de productos Schneider para VFD. Extraído de «Selector de productos». Recuperado de https://www.se.com/ar/es/work/support/product-selector/?parent-subcategory-id=2950&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial . ©2024, Schneider Electric.	35
Figura 8. – Hoja de datos VFD Schneider. Recorte extraído de «Ficha técnica del producto VARIATEUR DE VITESSE IP55 55KW 400V/480V». Recuperado de https://www.se.com/ar/es/product/ATV630D75M3/variador-de-velocidad-altivar-process-atv600-atv630-75kw-100-hp-200-240-v-ip00/ . ©2024, Schneider Electric.	36

Figura 9. – Selector de productos Weg para VFD. Recuperado de https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-EI%C3%A9ctricos/Motores-IEC-para-%C3%81reas-Clasificadas/Seguridad-Aumentada-Ex-ec/c/EU_MT_LV_IEC_NONSPARKING/list. © 2024 WEG. 37

Figura 10. – Celdas ABB. Extraído de catálogo « SafeRing/SafePlus 12-24kV Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus». Recuperado de https://library.e.abb.com/public/bb38f74c9b404b4b89745cde2a4b0dba/1VDD006104_Catalogue_SR-SP_12-24kV_EN_07-2022.pdf. ©2022 ABB. 44

Figura 11. – Características eléctricas de celdas ABB. Extraído de catálogo «SafeRing/SafePlus 12-24kV Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus». Recuperado de https://library.e.abb.com/public/bb38f74c9b404b4b89745cde2a4b0dba/1VDD006104_Catalogue_SR-SP_12-24kV_EN_07-2022.pdf. ©2022 ABB. 45

Figura 12. – Celdas Schneider. Extraído de catálogo «SM6 Solución modular Catálogo 2022 Celdas aislamiento aire hasta 36kV». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ESMKT01228K22&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%C3%A1logo+SM6+2022_ESMKT01228K22.pdf. ©2020 Schneider Electric. 46

Figura 13. – Celda Siemens. Extraído de «8DJH 24 – blue GIS Load-break switchgear for the secondary distribution level». Recuperado de <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:987a7b36-5617->

490a-97d9-1912d138fe00/8DJH24-blue-GIS-Catalog-HA-40.6-EN.pdf. ©

Siemens 2023. 49

Figura 14. – Curva característica fusibles Fusarc CF 3,6 kV a 36 kV.

Edición propia, extraído de catálogo «Fusibles De 3.6 a 36 kV Distribución Media Tensión». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=CAT-Fusibles&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Fusibles+AC0479ES_052020-OK.pdf

©2020 Schneider Electric. 52

Figura 15. – Distancias recomendadas de celdas. extraído de catálogo

«SM6 Solución modular Catálogo 2022 Celdas aislamiento aire hasta 36kV». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ESMKT01228K22&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%20A1logo+SM6+2022_ESMKT01228K22.pdf

©2020 Schneider Electric..... 54

Figura 16. – Modelado de sala de tableros. Elaboración propia utilizando

el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH. ... 56

Figura 17. – Disposición de luminarias sala de tableros. Elaboración

propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH..... 56

Figura 18. – Modelado de sala de tableros con iluminación normal.

Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH. 57

Figura 19. – Curvas isolux iluminación normal en sala de tableros.

Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH. 58

Figura 20. – Resultados iluminación normal en sala de tableros. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	58
Figura 21. – Modelado de sala de transformador en DIALux. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	59
Figura 22. – Curvas isolux de iluminación normal en sala del transformador. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	60
Figura 23. – Resultados de iluminación normal en la sala del transformador. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	60
Figura 24. – Disposición de luminarias de emergencia en la sala de tableros. Editado en base a elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	64
Figura 25. – Curvas isolux de iluminación de emergencia en sala de tableros. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	65
Figura 26. – Modelado sala de tableros iluminación de emergencia. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	66
Figura 27. – Resultados de la sala de tableros con iluminación de emergencia. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.	66

Figura 28. – Iluminación en la sala de tableros ante la falla de una luminaria. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH..... 68

Figura 29. – Disposición luminarias de emergencia en sala del transformador. Editado en base a elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH. 69

Figura 30. – Curvas isolux iluminación de emergencia en sala de transformador. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH..... 70

Figura 31. – Modelado de sala del transformador iluminación de emergencia. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH..... 70

Figura 32. – Resultados de sala del transformador iluminación de emergencia. Recortes de elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH..... 71

Figura 33. – Iluminación en sala del transformador ante falla de una luminaria. Edición y recortes de elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH. 72

Figura 34. – Curvas isolux del contorno de la pileta. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH..... 74

Figura 35. – Resultados del contorno de la pileta. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH..... 75

Figura 36. – Potencia disipada total en el CCM. Recorte de elaboración propia utilizando el software ProClima Web (proclima.se.com/project). © 2024 Schneider Electric. 78

Figura 37. – Compensación gráfica a factor de potencia 0,95..... 84

Figura 38. – Compensación gráfica a factor de potencia 0,98..... 85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. – Normas de clasificación de áreas explosivas.	25
Tabla 2. – Grupos y clases de temperatura de gases explosivos. Elaboración propia, extraído de «Principles of Ex-Protection» [2].....	26
Tabla 3. – Clases de temperatura de áreas explosivas. Extraído de «Principles of Ex-Protection» [2]. Recuperado de https://www.heatingandprocess.com/wp-content/uploads/2020/06/CEAG-Principles-of-Explosion-Protection-Hazardous-Areas.pdf . © 2017 Eaton Corporation.....	27
Tabla 4. – Nivel de protección del equipo (EPL) de acuerdo a la zona explosiva. Extraído de «Guía para Atmósferas Explosivas» [1].....	28
Tabla 5. – Formas constructivas de motores.....	32
Tabla 6. – Comparación de costos de motores.....	33
Tabla 7. – Categorías de filtros CEM para variadores.....	34
Tabla 8. – Comparación de costos de VFDs.....	37
Tabla 9. – Comparación costos transformadores.....	39
Tabla 10. – Resumen de cálculo energético de transformadores.....	39
Tabla 11. – Resumen de cálculo de costo real de los transformadores..	40
Tabla 12. – Comparativa de seccionador fusible e interruptor.....	41
Tabla 13. – Selección de fusible ABB.....	46
Tabla 14. – Características eléctricas de celdas Schneider.....	47
Tabla 15. – Selección de fusible Schneider.....	48
Tabla 16. – Características eléctricas de celdas Siemens.....	50
Tabla 17. – Comparación de costos de celdas de MT.....	50
Tabla 18. – Características eléctricas del fusible de MT.....	51

Tabla 19. – Dimensiones estimadas de tableros.....	54
Tabla 20. – Requisitos de iluminación del CCM.....	55
Tabla 21. – Comparación costos iluminación normal CCM.....	61
Tabla 22. – Comparación costos iluminación de emergencia CCM.....	72
Tabla 23. – Comparación costos iluminación de la pileta.....	75
Tabla 24. – Comparación costos equipos de aire.....	79
Tabla 25. – Extractores de tableros.....	80
Tabla 26. – Planilla de cargas TB.....	82
Tabla 27. – Planilla de cargas TSA.....	82
Tabla 28. – Planilla de cargas TE.....	83
Tabla 29. – Planilla de cargas TE compensado.....	86
Tabla 30. – Verificación corriente admisible.....	89
Tabla 31. – Verificación de caída de tensión.....	90
Tabla 32. – Verificación corrientes de cortocircuito.....	91
Tabla 33. – Dimensionamiento ancho de bandejas portacables.....	93
Tabla 34. – Dimensionamiento ancho bandejas portacables TB.....	94
Tabla 35. – Verificación de peso soportado por bandejas.....	95
Tabla 36. – Costo total del proyecto.....	98

INTRODUCCIÓN

El agua es una utilidad de suma importancia para diversas plantas de procesos industriales. Y según las necesidades específicas de cada planta, puede resultar crítico disponer de este recurso en condiciones específicas, tales como composición, continuidad o presión.

El presente proyecto surge de la necesidad de proveer agua con una presión mínima determinada a una industria petroquímica. Previo a la realización de la obra en la que está enmarcado este proyecto, la planta depende de la presión brindada por el proveedor en el punto en que la canalización ingresa al predio. Pero debido a cuestiones de infraestructura externas a la planta industrial, la presión resulta insuficiente ante aumentos en la demanda de agua.

Por esta razón, se inicia una obra cuyo elemento principal es una nueva pileta para reservorio de agua cruda. Esta pileta, junto con el sistema nuevo de bombeo, garantiza que se puedan cubrir las necesidades del proceso productivo independientemente de la presión de suministro.

El sistema de bombeo a diseñar incluye tres bombas, de las cuales una es redundante. Esto significa que son dimensionadas de forma tal que se pueda mantener funcionalidad plena con sólo dos bombas en servicio. Esto se debe, por un lado, al criterio de la planta de tener un grado de confiabilidad elevado. Por otro lado, la redundancia permite realizar mantenimiento a equipos de forma individual sin interrumpir el proceso productivo.

El presente proyecto abarca, en primer lugar, la selección del equipamiento directamente relacionado al sistema de bombeo. En segundo

lugar, para dar soporte y correcta funcionalidad al sistema la obra requiere la creación de un centro de control de motores que también es desarrollado.

Objetivos

El objetivo central del proyecto es diseñar un sistema de bombeo capaz de abastecer a la planta con agua a la presión necesaria. Al mismo tiempo, se tienen como objetivos diseñar la instalación eléctrica vinculada al sistema mencionado, necesaria para su operación, seguridad e iluminación adecuada. Esto incluye tanto a equipamientos y canalizaciones como dimensionamiento del espacio que los contiene.

Alcances

A continuación se detallan los alcances. No se incluirán en él aspectos pertenecientes a disciplinas ajenas a la eléctrica tal como la mecánica, instrumentación o piping.

- Elegir los sistemas de bombeo en base a las características requeridas, que consiste de tres motores a acoplar a bombas y sus variadores de frecuencia correspondientes.
- Diseñar un centro de control de motores, seleccionar un transformador y celdas de media tensión adecuadas.
- Confeccionar unifilares y planos.
- Dimensionar cables, bandejas y tableros vinculados a las bombas, desde las mismas hasta el centro control de motores.
- Diseñar la iluminación y climatización de la sala, así como también la iluminación de la pileta y demás servicios auxiliares.
- Diseñar la puesta a tierra.
- Confeccionar un análisis de costos.

CAPÍTULO 1 – ASPECTOS GENERALES

Este capítulo tiene por objetivo describir el contexto en el que se sitúa el proyecto y aspectos preexistentes a tener en cuenta. Esto abarca, en primer lugar, la descripción general del sistema. En segundo lugar, la ubicación de la planta y el área específica que se ve afectada por el proyecto. Y en tercer lugar se indica la clasificación de área explosiva, la cual es un condicionante para la instalación eléctrica a diseñar.

1.1. Descripción general del sistema

En esta sección se describen las distintas partes del sistema a diseñar y cada una de sus funciones. El propósito es brindar una visión global del sistema que dé contexto a los capítulos posteriores donde se describen sus partes.

Previo a la ejecución de este proyecto, toda el agua que es utilizada por la planta ingresa en un solo punto y es dirigida hacia un tanque cerrado que debería, idealmente, mantener su nivel constante. Este proyecto surge debido a que, dada la magnitud de esta industria y su consumo de agua, la red de suministro en ocasiones no es capaz de cubrir la demanda, resultando en faltas de presión momentáneas en el proceso.

Por esta razón, la función principal del sistema a diseñar es garantizar que el tanque anteriormente mencionado proporcione una presión de agua determinada. Esta presión es necesaria para el proceso productivo y debe mantenerse constante independientemente de la presión de la red. Para lograr este objetivo, se define que el sistema debe seguir el esquema mostrado en la Figura 1.

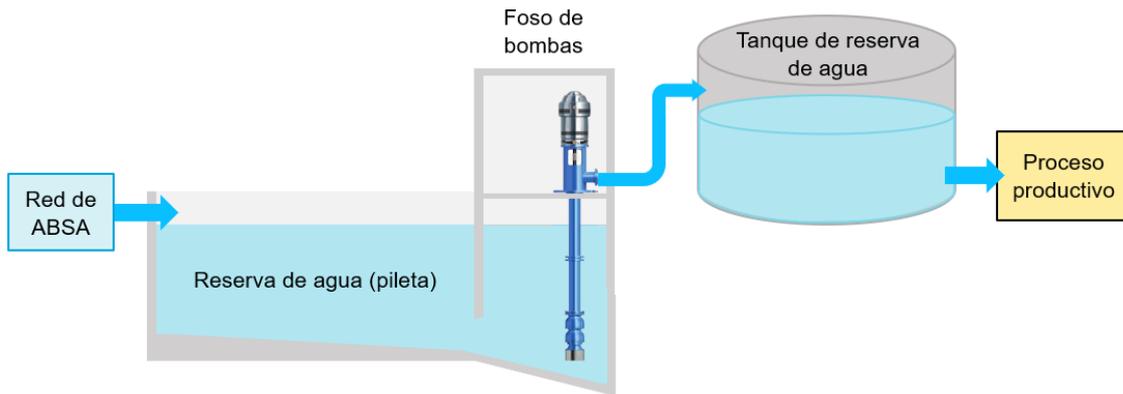


Figura 1. – Esquema básico del sistema.

Para que el tanque mantenga un nivel constante, el agua que ingresa a él debe ser igual a la que egresa en todo momento. Para lograrlo, es necesario que las bombas en el foso de bombas estén accionadas por variadores de frecuencia que permitan regular su velocidad de bombeo. Esto se debe a que la demanda del proceso es variable y en consecuencia el caudal suministrado también debe serlo.

El reservorio de agua o pileta representado en el esquema, al igual que el foso de bombas, no es preexistente. Tiene por finalidad almacenar agua para suplir las variaciones del suministro que puedan surgir.

El enfoque de este proyecto es el diseño de los aspectos eléctricos que involucra el nuevo sistema. Los cálculos civiles y mecánicos, que incluyen cálculo de estructuras, hidráulicos y de selección de bombas, no están desarrollados en el presente documento. Tampoco se desarrolla la automatización del sistema, que involucra instrumentación y control.

A lo largo de este escrito se puede encontrar a menudo que se exponen valores o definiciones previo a su desarrollo y eventual cálculo. Esto se debe a que la gran cantidad de variables y su dependencia entre sí vuelve imposible una

resolución lineal. Durante el proceso de su diseño se realizan iteraciones hasta obtener resultados adecuados y compatibles entre sí.

1.2. Descripción de la localización

La industria dentro la que se realiza este proyecto es de tipo química, y se ubica en el polo petroquímico de la localidad de Ingeniero White, partido de Bahía Blanca. La Figura 2 muestra la ubicación de la localidad de Ingeniero White.

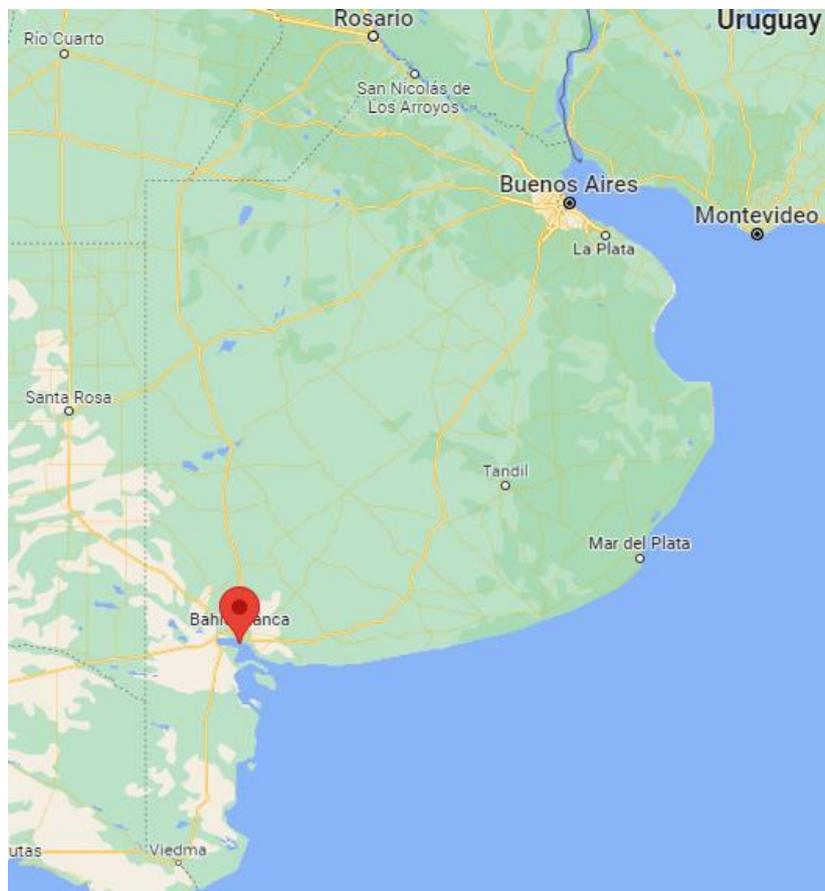


Figura 2. – Ubicación de la localidad de Ingeniero White. Extraído de Google Maps. © 2024 Google.

La pileta que será la parte central de este proyecto se localizará en un área del terreno que se encuentra libre. La ubicación tanto de la pileta como de la alimentación a las bombas es una definición brindada por parte de la empresa.

1.3. Planos de planta

Además de la ubicación de los elementos mencionados en los párrafos anteriores, para el diseño del sistema se deben tener en cuenta sus dimensiones y distancias. También se debe tomar en consideración la distribución de las bandejas porta cables preexistentes. Esto último se desarrolla en detalle en el CAPÍTULO 9.

El plano de planta del área que se ve afectada por el presente proyecto se muestra en la Figura 3. Se muestra la pileta proyectada, el área designada para el Centro Control de Motores (en adelante CCM) y la estación transformadora (E.T.), desde donde se canaliza la alimentación del CCM.

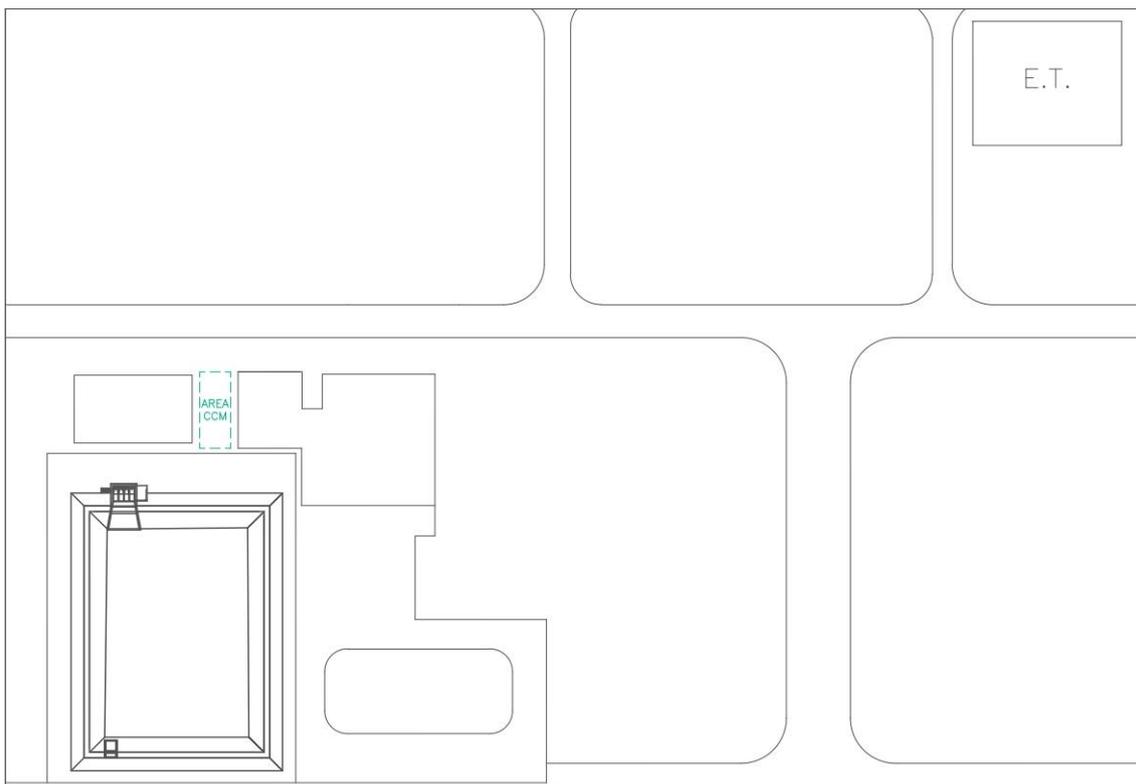


Figura 3. – Plano en planta de pileta y CCM.

Para mayor detalle, la Figura 4 muestra en específico la zona de la pileta. Esta tiene una superficie de 2.500 m² y será capaz de almacenar un volumen de 4.000 m³ de agua cruda.

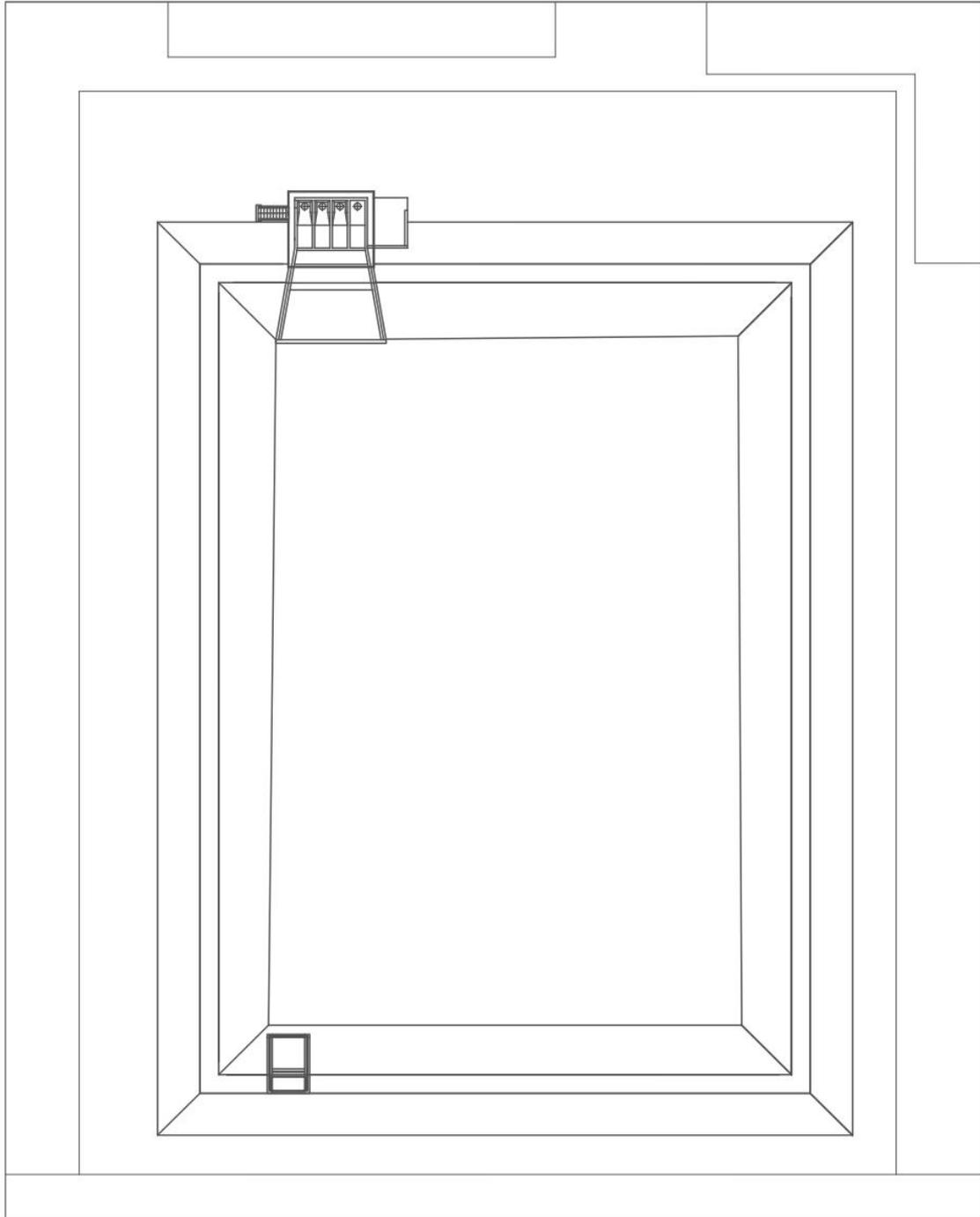


Figura 4. – Plano en planta zona de la pileta.

1.4. Clasificación de zona explosiva

Debido a la presencia de una atmósfera con posible presencia de gases explosivos en la zona donde se llevará a cabo el proyecto, resulta necesario definir su clasificación específica. Esta clasificación permitirá que la instalación y sus equipos puedan ser seleccionados adecuadamente y minimizar los riesgos de explosión, en concordancia con criterios normalizados.

La información proporcionada por la empresa es que la zona de la pileta tiene categoría de área explosiva Clase 1 División 2. El CCM incorpora extractores que mantienen la sala a presión positiva, de forma que no se considera área explosiva.

La clasificación aplicable a la zona exterior está expresada de acuerdo a la norma NFPA 496, de origen norteamericano. Esa categoría es equivalente a según la norma IEC/CENELEC 60079-10-1 como Zona 2 (Tabla 1). Esta norma es equivalente a las normas nacionales AEA 60079-10-1 y a la IRAM 60079-10-1.

Tabla 1. – Normas de clasificación de áreas explosivas. Extraído de «Guía para Atmosferas Explosivas» [1]. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h46/h03/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076341-brochure-spanish-web.pdf>. © 2024 WEG.

Normas		Mezclas inflamables	Presencia Continua ⁽¹⁾	Presencia en condición normal	Presencia en condición anormal
IEC / CENELEC	IEC / EN 60079-10-1	Gases / Vapores	Zona 0	Zona 1	Zona 2
	IEC / EN 60079-10-2	Polvos combustibles o fibras inflamables	Zona 20	Zona 21	Zona 22
ATEX	Directive 99/92/EC	Gases / Vapores	Zona 0	Zona 1	Zona 2
		Polvos combustibles o fibras inflamables	Zona 20	Zona 21	Zona 22
NEC 501	ANSI/NFPA 70 National Electrical Code Article 501	Gases / Vapores	Clase I, División 1	Clase I, División 1	Clase I, División 2
NEC 505	ANSI/NFPA 70 National Electrical Code Article 505	Gases / Vapores	Clase I, Zona 0	Clase I, Zona 1	Clase I, Zona 2
NEC 502	ANSI/NFPA 70 National Electrical Code Article 502	Polvos combustibles o fibras inflamables	Clase II, División 1	Clase II, División 1	Clase II, División 2
NEC 506	ANSI/NFPA 70 National Electrical Code Article 506	Polvos combustibles o fibras inflamables	Zona 20	Zona 21	Zona 22
CEC Sec. 18	CSA C22.1 Canadian Electrical Code Section 18	Gases / Vapores	Clase I, Zona 0	Clase I, Zona 1	Clase I, Zona 2
	CSA C22.1 Canadian Electrical Code Section 18	Polvos combustibles o fibras inflamables	Clase II, División 1	Clase II, División 1	Clase II, División 2

La clasificación en ambas normativas significa que en esa zona pueden estar presentes gases o vapores altamente inflamables en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables. Sin embargo, también significa que la atmósfera normalmente no es peligrosa debido a que tales gases o vapores sólo se pueden encontrar en condiciones anormales de funcionamiento. Aquellos gases (o vapores) se encuentran en recintos confinados y solo pueden salir por accidente, rotura o un mal funcionamiento de un equipo.

Otra clasificación que debe ser tomada en cuenta para la selección de ciertos equipos eléctricos depende del gas o polvo explosivo presente. En el caso de esta zona, pueden estar presentes los gases etileno (ethylene) e hidrógeno (hydrogen). De acuerdo a la Tabla 2), pertenecen a los grupos IIB y IIC respectivamente. Tomando en cuenta que los equipos aptos para grupo IIC cubren los requisitos del grupo IIB, se concluye que la clasificación necesaria es IIC.

Tabla 2. – Grupos y clases de temperatura de gases explosivos. Elaboración propia, extraído de «Principles of Ex-Protection» [2]. Recuperado de <https://www.heatingandprocess.com/wp-content/uploads/2020/06/CEAG-Principles-of-Explosion-Protection-Hazardous-Areas.pdf>.

© 2017 Eaton Corporation.

Classification of gases and vapours in explosion groups and temperature classes					
	T1	T2	T3	T4	T5 T6
I	Methane				
	Acetone				
	Ethane				
	Ethylacetate	Ethyl-alcohol	Petrol		
	Ammonia	i-amyl- acetate	Diesel fuel	Acetal- deyde-	
II A	Benzol	n-butane	Aviation fuel	Ethyl- ether	
	Acetic acid	n-butyl- alcohol	Heating oils		
	Carbon oxide		n-Hexane		
	Methanol				
	Propane				
	Toluene				
II,B	Town gas (lamp gas)	<u>Ethylene</u>			
II C	<u>Hydrogen</u>	Acetylene			Carbon disulphide

Adicionalmente, los gases también determinan la clase de temperatura, que indica la máxima temperatura admisible en la superficie del equipo. Esto está ligado a la temperatura mínima a la que se puede producir la ignición del gas en cuestión. En la Tabla 3) se puede observar la temperatura máxima que corresponde a cada una de las clases.

Tabla 3. – Clases de temperatura de áreas explosivas. Extraído de «Principles of Explosion Protection» [2]. Recuperado de <https://www.heatingandprocess.com/wp-content/uploads/2020/06/CEAG-Principles-of-Explosion-Protection-Hazardous-Areas.pdf>.

© 2017 Eaton Corporation.

Temperature class	Maximum permissible surface temperature of the equipment in °C	Ignition temperatures of the flammable substances in °C
T 1	450	> 450
T 2	300	> 300 ≤ 450
T 3	200	> 200 ≤ 300
T 4	135	> 135 ≤ 200
T 5	100	> 100 ≤ 135
T 6	85	> 85 ≤ 100

Reuniendo la información de ambas figuras, se obtiene que:

- El hidrógeno pertenece a la clase T1, lo cual significa que la temperatura máxima admisible (maximum permissible temperature) es de 450 °C.
- El etano pertenece a la clase T2, a la que corresponde una temperatura máxima de 300 °C.

Se concluye que la clase que debe definir la elección de los equipos es entonces la T2, con la posibilidad de utilizar clases más exigentes (T3, T4, T5 o T6) dependiendo de la disponibilidad de equipos.

Por último, es necesario conocer el nivel de protección del equipo de acuerdo a su clasificación. En este sentido, se puede obtener de la Tabla 4) que esta zona (categoría Zona 2) debe tener el nivel de protección Gc o en su defecto un nivel superior (Gb o Ga).

Tabla 4. – Nivel de protección del equipo (EPL) de acuerdo a la zona explosiva. Extraído de «Guía para Atmósferas Explosivas» [1]. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h46/h03/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076341-brochure-spanish-web.pdf>. © 2024 WEG.

Grupo del equipo	Categoría del Equipo (ATEX Directive 2014/34/EU)	Zona	Nivel de protección del equipo	Atmósfera	Nivel de protección	Uso
I (Minas)	M1	-	Ma	Metano (Grisú)	Muy alto	Es capaz de permanecer en operación ante la presencia de atmósfera Explosiva.
	M2	-	Mb		Alto	Debe ser desenergizado ante la presencia de atmósfera explosiva.
II (Otros)	1	0	Ga	G - Gases, Vapores D - Polvo	Muy alto	Zonas 0, 1 y 2
		20	Da			Zonas 20, 21 y 22
	2	1	Gb		Alto	Zonas 1 y 2
		21	Db			Zonas 21 y 22
	3	2	Gc		Mejorado	Zona 2
		22	Dc			Zona 22

Con toda la información mencionada en esta sección es posible determinar la identificación que deben tener los equipos. En ella se indica para qué tipo de área explosiva es apto. A continuación se muestra la identificación preferida de acuerdo a IECEx y de acuerdo a ATEX.

En la Figura 5 se muestra la forma de identificación de acuerdo a la norma IECEx. Allí se detalla el significado de cada una de las letras y números. Además, se resaltan en amarillo las opciones preferidas¹ para esta aplicación específica. Se concluye que la identificación buscada es Ex ec IIB T2 Gc.

¹ Se utiliza la expresión “preferida” dado que, como se menciona en párrafos anteriores, siempre es posible utilizar un equipo con seguridad superior a la mínima requerida. Si bien no sería conveniente (principalmente por cuestiones económicas), podría ser necesario en caso de que los fabricantes no ofrezcan equipos con la clasificación buscada.

Marcación IECEx (Global)

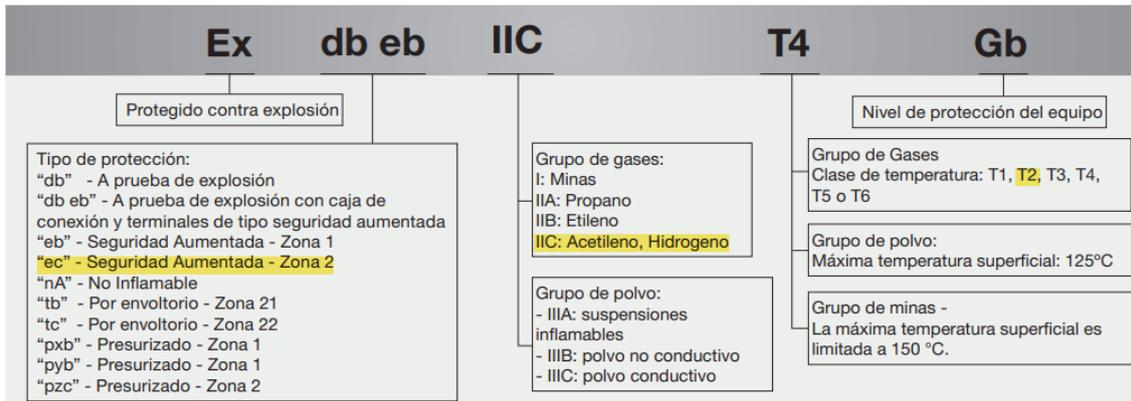


Figura 5. – Marcación IECEx. Elaboración propia, extraído de «Guía para Atmósferas Explosivas» [1]. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h46/h03/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076341-brochure-spanish-web.pdf>. © 2024 WEG.

De igual manera, se analiza la identificación preferida de acuerdo a ATEX en la Figura 6. Se concluye que los equipos con marcación ATEX deben indicar II 3 G Ex ec IIB T2 Gc.

Marcación ATEX (Europea)

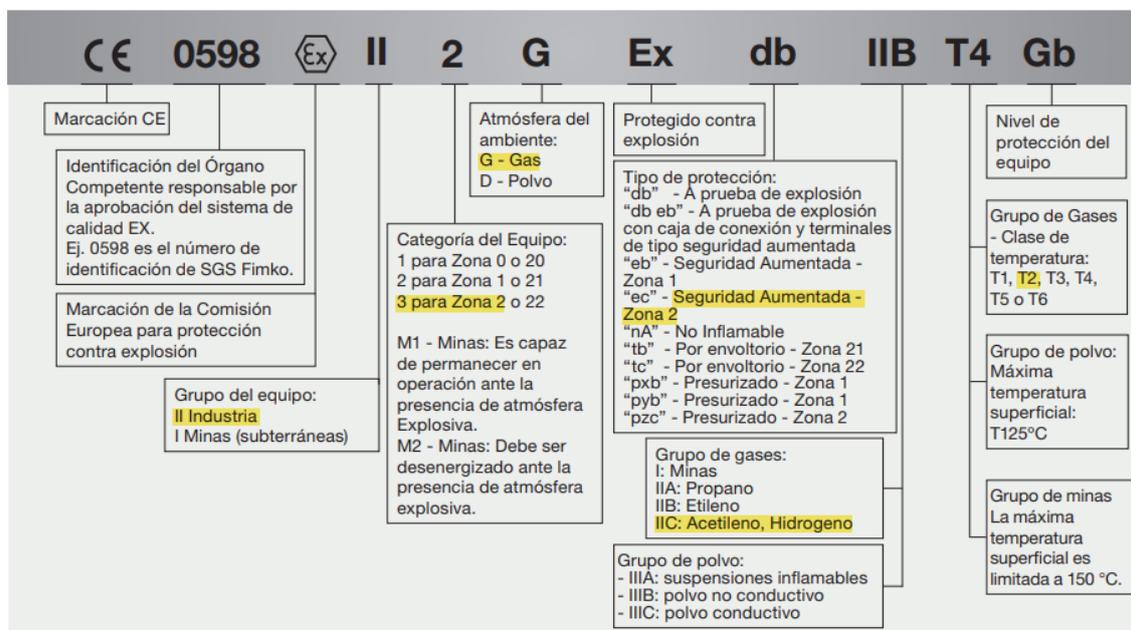


Figura 6. – Marcación ATEX. Elaboración propia, extraído de «Guía para Atmósferas Explosivas» [1]. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h46/h03/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076341-brochure-spanish-web.pdf>. © 2024 WEG.

CAPÍTULO 2 – SELECCIÓN DE MOTORES

En este capítulo se desarrolla la selección de los motores de las bombas que integran el proceso. La selección de las bombas que tienen por función la succión del agua destinada al proceso no se encuentra entre los alcances del presente proyecto. Esto se debe a que las mismas fueron seleccionadas previamente por el área mecánica. Aún así, se mostrarán sus características ya que las mismas influyen directamente en la elección de motores.

A continuación se describe el proceso de selección de los tres motores que accionan las bombas. En primer lugar, se detallan las características con las que deben cumplir estos motores para esta aplicación específica:

- De acuerdo al nivel de tensión suministrado por el CCM, los motores deben estar diseñados para 380 V (tensión compuesta), a 50Hz.
- Deben ser aptos para ser utilizados con variador de frecuencia.
- Se reitera que los equipos deben ser aptos para el área explosiva indicada en la sección 1.4.
- Eficiencia IE3 y aislamiento clase F, ambos sugeridos por la empresa.
- La altura sobre el nivel del mar de instalación no supera los 1000 metros y la temperatura ambiente máxima es inferior a 40 °C.

Los requerimientos restantes surgen a partir de las características de las bombas y por lo tanto se encuentran indicados en la sección siguiente (1).

En la categoría de motores de baja tensión, los proveedores admitidos por la empresa para la cual se realiza el proyecto son Siemens y Weg. En este capítulo se analizan las tres opciones. La elección final se realiza en función del análisis de costos.

2.1. Bombas sumergibles

Como se indica al comienzo de este capítulo, la elección de las tres bombas de succión de agua de proceso fue realizada previamente por el área mecánica. Por lo tanto, en esta sección simplemente se extraen los datos relevantes para la elección de los motores que las accionan.

Las bombas pertenecen a la marca Flowserve. Se destacan las características que condicionan la elección de los motores:

- Potencia nominal del motor requerida (driver power rating): 55 kW o 73.8 hp.
- Velocidad nominal: 1481 RPM. Esto implica que se requerirá un motor cuya velocidad sincrónica sea 1500 RPM. Se obtiene el número de polos mediante la Ecuación (1).

$$p = \frac{120 f}{n} = \frac{120 \cdot 50 \text{ Hz}}{1500 \text{ rpm}} = 4 \text{ polos} \quad (1)$$

Donde:

- p = número de polos del motor
 - f = frecuencia (50 Hz)
 - n = velocidad sincrónica del motor
- El acoplamiento del eje al motor se logra mediante brida en la parte superior de la bomba. Considerando que la bomba es de eje vertical, se concluye que la forma constructiva del motor debe ser V1, V15 o V18 (Tabla 5).

Tabla 5. – Formas constructivas de motores. Extraído de «Guía práctica de capacitación técnico/comercial». Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hb1/hee/WEG-guia-practica-de-capacitacion-tecnico-comercial-50026117-brochure-spanish-web.pdf>. © 2024 WEG.

Forma Constructiva	Configuración																	
	Referencia	B3R(E)	B3L(D)	B3T	B5R(E)	B5L(D)	B5T	B35R(E)	B35L(D)	B35T	B14R(E)							
Detalles	Carcasa	Con patas	Con patas	Sin patas	Sin patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Sin patas	Sin patas							
	Punta del eje	A la izquierda	A la derecha	A la izquierda	A la derecha	A la izquierda	A la derecha	A la izquierda	A la derecha	A la izquierda	A la izquierda							
	Fijación	Base o carriles	Base o carriles	Brida FF	Brida FF	Base o brida FF	Base o brida FF	Base o brida FF	Base o brida FF	Brida FC	Brida FC							
Forma Constructiva	Configuración																	
	Referencia	B14L(D)	B14T	B34R(E)	B34L(D)	B34T	V5	V5R(E)	V5T	V6	V6R(E)	V6T	V1	V3				
Detalles	Carcasa	Sin patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Sin patas	Sin patas	Sin patas	Sin patas					
	Punta del eje	A la derecha	A la izquierda	A la izquierda	A la derecha	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba					
	Fijación	Brida FC	Base o brida FC	Base o brida FC	Base o brida FC	Pared	Pared	Pared	Pared	Brida FF	Brida FF	Brida FF	Brida FF					
Forma Constructiva	Configuración																	
	Referencia	V15	V15R(E)	V15T	V36	V36R(E)	V36T	V18	V19	B6	B6R(E)	B6T	B7	B7R(E)	B7T	B8	B8R(E)	B8T
Detalles	Carcasa	Con patas	Con patas	Con patas	Sin patas	Sin patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas	Con patas
	Punta del eje	Abajo	Abajo	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Para frente	Para frente	Para frente	Para frente	Para frente	Para frente	Para frente	Para frente	Para frente	Para frente
	Fijación	Pared o brida FF	Pared o brida FF	Pared o brida FF	Brida C	Brida C	Brida C	Brida C	Pared	Pared	Pared	Pared	Pared	Pared	Pared	Pared	Pared	Techo

Una vez enunciadas las características que debe reunir, se analizan las tres opciones de marcas en las secciones siguientes.

2.2. Motores Siemens

Mediante la herramienta Drives Technology Configurator² de la página web de Siemens, se elige un motor que cumpla con los requisitos mencionados. Se selecciona un motor tipo 1CV3252B de la línea SIMOTICS. Su hoja de datos y dibujo dimensional se encuentran en el Anexo 1.

² Link: <https://mall.industry.siemens.com/spice/jom/jom/>

2.3. Motores Weg

Mediante la herramienta Selección de Motores Eléctricos³ de la página web de Weg, se elige un motor que cumpla con los requisitos mencionados, de la línea W22Xec Premium Efficiency. Su hoja de datos y dibujo dimensional se encuentran en el Anexo 2.

2.4. Elección

En la Tabla 6) se muestra el costo de las dos opciones de fabricantes mencionadas. Weg resulta ser la que ofrece un menor costo, por lo que es la elegida.

Tabla 6. – Comparación de costos de motores.

Fabricante	Costo unitario [USD]
Siemens	\$10.500,00
Weg	\$ 9.379,08

³Link: https://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp

CAPÍTULO 3 – VARIADORES DE FRECUENCIA

Para tener un control del caudal de las bombas se regula su velocidad mediante variadores de frecuencia (VFD), uno por cada motor. En esta sección se desarrolla la elección de los VFD analizando tres opciones de proveedores, Schneider Weg y Siemens. A continuación se enumeran las características buscadas en los equipos:

- Tensión nominal V_n : 380V
- Frecuencia de la red f : 50 Hz
- Potencia nominal P_n : 55 kW, que corresponde a la potencia nominal de cada uno de los motores.
- No se considera un uso de sobrecarga normal (light overload) ni de trabajo pesado (heavy-duty).
- Filtro CEM (de Compatibilidad Electromagnética): De acuerdo a la Tabla 7) extraída de catálogos, según su nivel de tensión (voltage) y la instalación en el ámbito industrial indicada como 2nd environment (industry), el filtro debe ser categoría C3,.

Tabla 7. – Categorías de filtros CEM para variadores.

Category	C1	C2	C3	C4
Environment	1 st environment (business, commercial and residential environments)		2 nd environment (industry)	
Voltage/ Current	< 1000 V		> 1000 V or > 400 A	
EMC- knowledge	No request		PDS installed and commissioned only by a professional.	

- Índice de protección IP: Se busca que sea IP54 o superior para aumentar la vida útil del equipo. Junto a los saltos bruscos de tensión, el polvo y la humedad son los factores principales en el deterioro prematuro de los variadores, por lo que es conveniente evitar su ingreso.

3.1. Variadores de frecuencia Schneider

Schneider ofrece, para la potencia requerida, las líneas ATV600 y ATV900. Se elige la primera por estar diseñada para manejo de fluidos y gases. Luego, mediante el selector de productos de Schneider, se obtiene que para la potencia y clasificación IP requeridas, el variador adecuado es el de código ATV650D55N4.

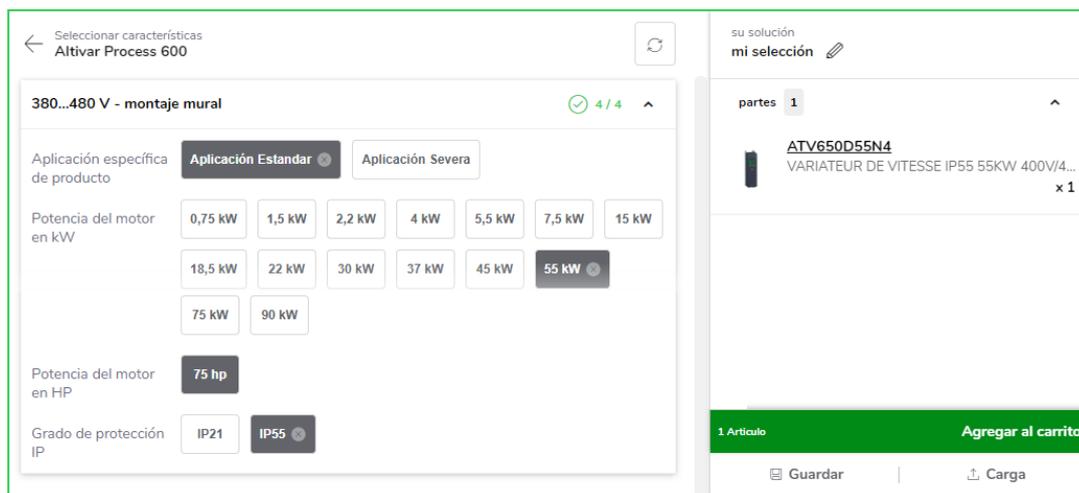


Figura 7. – Selector de productos Schneider para VFD. Extraído de «Selector de productos». Recuperado de <https://www.se.com/ar/es/work/support/product-selector/?parent-subcategory-id=2950&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial>. ©2024, Schneider Electric.

La hoja de datos del variador elegido (reducida) se encuentra en la Figura 8.

Ficha técnica del producto

Especificaciones



VARIATEUR DE VITESSE IP55 55KW 400V/480V

ATV650D55N4

Principal

Gama de producto	Altivar Process ATV600
Tipo de Producto o Componente	Variador de velocidad
Variante	Version estandar
Destino del producto	Motores asíncronos Motores síncronos
Filtro EMC	Integrado con 150 m motor cable max conforme a EN/IEC 61800-3 categoría C3
Grado de protección IP	IP55 conforme a IEC 60529 IP55 conforme a IEC 61800-5-1
[Us] Tensión de alimentación	380...480 V
Tipo de refrigeración	Convenc forzada
Frecuencia de alimentación	50...60 Hz - 5...5 % 380...480 V - 15...10 %
Potencia del motor en kW	45,0 kW (carga pesada) 55,0 kW (carga normal)

Figura 8. – Hoja de datos VFD Schneider. Recorte extraído de «Ficha técnica del producto

VARIATEUR DE VITESSE IP55 55KW 400V/480V». Recuperado de

<https://www.se.com/ar/es/product/ATV630D75M3/variador-de-velocidad-altivar-process-atv600-atv630-75kw-100-hp-200-240-v-ip00/>. ©2024, Schneider Electric.

3.2. Variadores de frecuencia Weg

Para analizar las opciones de la marca Weg, se utiliza su selector de productos, como se muestra en la Figura 9. Se concluye que el variador requerido es el correspondiente al código CFW110105T4O55DSYZ.

CFW11 IP55



Figura 9. – Selector de productos Weg para VFD. Recuperado de

https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-IEC-para-%C3%81reas-Clasificadas/Seguridad-Aumentada-Ex-ec/c/EU_MT_LV_IEC_NONSPARKING/list. © 2024 WEG.

3.3. Elección

En la Tabla 8) se muestra el costo de las tres opciones de fabricantes mencionadas. En la comparativa se incluye el fabricante Siemens que si bien no ofrece variadores con filtro CEM para la potencia requerida, resulta de utilidad como valor de referencia.

Tabla 8. – Comparación de costos de VFDs.

Fabricante	Costo unitario [USD]
Schneider	\$ 14.310,80
Weg	\$ 8.540
Siemens	\$15.494,70

Se concluye que Weg es el que ofrece el menor costo, por lo que es la opción elegida. En el Anexo 3 se detallan las demás características del equipo.

CAPÍTULO 4 – TRANSFORMADOR

En este capítulo se selecciona el transformador que abastece al CCM. Su tensión nominal en el primario debe ser 13,2 kV y 380 V en su secundario. Su potencia, por otro lado, se calcula en función de las cargas proyectadas mas una reserva para posibles necesidades futuras.

El cálculo de cargas se desarrolla en la sección 8. De la planilla se desprende que el CCM demanda una potencia simultánea máxima de 201,48 kVA. Para este análisis se consideran 3 motores en simultáneo y no se contempla la disminución de demanda debida al banco de capacitores, previendo que su tablero pudiera estar ocasionalmente fuera de servicio. Proyectando adicionalmente una reserva del 30% se alcanzan 294,38 kVA, cuya potencia comercial inmediata superior es 315 kVA.

Por último, se debe elegir el medio aislante del equipo. Las opciones más comúnmente utilizadas son en aceite y encapsulados en resina (también llamados secos). Se elige la segunda opción dado que reduce considerablemente los gastos. Los transformadores en aceite implican un costo mayor, principalmente por el costo propio del equipo y, adicionalmente, por la necesidad que surge de construir un foso de recogida capaz de contener el aceite en caso de derrame.

Además, un transformador en aceite requeriría un costo asociado a un mantenimiento mas complejo. Periódicamente se le debe realizar análisis del aceite, cambio de desecante en caso de tenerlo, y eventualmente puede requerir reparación de fugas. En la Tabla 9) se compara el precio de lista de

transformadores de distintos fabricantes, y se comprueba la diferencia mencionada.

Tabla 9. – Comparación costos transformadores.

Medio aislante	Fabricante	Costo [USD]
Aceite	Mayo	\$ 32.171,95
	TTE (Tubos Trans Electric)	\$ 24.500,00
Resina epoxi	Vasile	\$ 20.000,00
	TMC	\$ 13.450,00

Si bien el transformador TMC tiene el menor costo inicial, es pertinente analizar también el costo asociado a las pérdidas energéticas que genera a lo largo de su vida útil. Este análisis no es aplicable a la selección de los equipos analizados en capítulos anteriores dado que fueron seleccionados con igual eficiencia. Se calcula su costo real en el Anexo 15. En la Tabla 10) se muestran los datos y resultados del análisis energético de cada fabricante. Si bien las opciones en aceite (Mayo y TTE) ya se han descartado, se incluyen en el análisis para reafirmar el argumento ya enunciado sobre su costo.

Tabla 10. – Resumen de cálculo energético de transformadores.

Fabricante	Precio de lista [USD]	P_{Fe}	P_{Cc}	Pérdidas de energía anuales
Mayo	\$ 32.171,95	850 W	4.250 W	21.652,85 kWh
TTE	\$ 24.500,00	850 W	4.250 W	21.652,85 kWh
Vasile	\$ 20.000,00	980 W	4.000 W	21.955,95 kWh
TMC	\$ 13.450,00	1.020 W	4.500 W	23.977,74 kWh

En la Tabla 11) se muestra la comparación en términos monetarios, donde se calcula el costo real de los equipos. Todos los valores están expresados en dólares.

Tabla 11. – Resumen de cálculo de costo real de los transformadores.

Fabricante	Precio de lista [USD]	5% en repuestos [USD]	Costo de pérdidas energéticas [USD]	Costo real [USD]
Mayo	\$ 32.171,95	\$ 1.608,60	\$ 16.974,77	\$ 50.755,32
TTE	\$ 24.500,00	\$ 1.225,00	\$ 16.974,77	\$ 42.699,77
Vasile	\$ 20.000,00	\$ 1.000,00	\$ 17.212,39	\$ 38.212,39
TMC	\$ 13.450,00	\$ 672,50	\$ 18.797,38	\$ 32.919,88

Se concluye que el transformador TMC resulta el más económico debido a que su costo inicial notablemente menor prevalece sobre su costo de funcionamiento. Se muestra la hoja de datos del equipo en el Anexo 4.

CAPÍTULO 5 – CELDAS DE MEDIA TENSION

En este capítulo se describe la selección de celdas de media tensión destinadas a alimentar el CCM. Los fabricantes a tener en cuenta son ABB, Schneider y Siemens.

La tensión nominal de las celdas debe ser igual o mayor a la tensión de red, que es de 13,2 kV. De acuerdo a la Tabla 6.3-a de la AEA 95401, los equipos de ese nivel de tensión deben poder soportar:

- Una tensión de impulso de onda de 1,2/50 μ s (llamada impulse withstand voltage) de 95 kV.
- Una tensión resistida de frecuencia industrial (llamada power frequency withstand voltage) de 38 kV.

En cuanto a su tecnología, se elige que las celdas tengan aislamiento en SF6 en vez de vacío por sus ventajas de ser mas compactas (y por lo tanto ocupar un espacio mucho menor), su baja necesidad de mantenimiento y mayor vida útil. Por otro lado, se necesitan dos celdas para la instalación, una de entrada a la barra, llamada acometida, y otra que alimente al transformador, es decir de salida. Para esta última existen dos opciones, que son interruptor o seccionador fusible. Se listan las características de ambas en la Tabla 12).

Tabla 12. – Comparativa de seccionador fusible e interruptor.

Seccionador fusible	Interruptor
Menor costo	Mayor costo
Luego de actuar se debe reemplazar su fusible.	Permite alrededor de 10.000 cortes a corriente nominal.

Simplicidad de diseño y utilización.	La necesidad de adicionar una protección (tipo Sepam) añade complejidad al sistema, lo cual demanda personal calificado para su mantenimiento, especialmente en caso de falla.
--------------------------------------	--

Luego de analizar las ventajas de cada opción, se decide priorizar la disminución del costo. Si bien el interruptor ofrece monitoreo de una mayor variedad de variables, como protecciones de frecuencia o de secuencia negativa, se considera que tendrían poca relevancia para este sistema específico. En este caso las celdas de media tensión sólo protegen el transformador, mientras que los variadores de frecuencia, sus respectivos motores⁴ y los servicios auxiliares están resguardados por las protecciones del lado de baja tensión. Por estas razones se elige utilizar un seccionador fusible.

Por otro lado, para una correcta selección de celdas se deben conocer los parámetros eléctricos que le deben ser exigidos. En primer lugar, se dispone del dato de 200 kA de corriente de cortocircuito en bornes de salida de la estación transformadora que alimenta al CCM. Si bien el cable que vaya desde la estación transformadora hasta el CCM es una impedancia que disminuye la corriente de cortocircuito en las celdas, a priori el dato brindado como referencia válida, al ser mas exigente que las condiciones reales. El valor de 200 kA está referido a 380 V, por lo que se convierte a 13,2 kV en la Ecuación (2).

⁴ Adicionalmente, los motores son resguardados por las protecciones de los variadores de frecuencia.

$$I_{kkMT} = \frac{200kA \times 380V}{13.200V} = 5,76kA \quad (2)$$

Se concluye que el poder de corte mínimo que debe tener el seccionador fusible es de 5,76 kA.

Por otro lado, se debe determinar la corriente nominal mínima de las celdas y de los fusibles. Para ello se considera la carga total del transformador con el fin de que ante futuras ampliaciones el cable no sea un limitante. Se calcula la corriente en la Ecuación (3).

$$I_{nTransf} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot V_L} = \frac{315kVA}{\sqrt{3} \cdot 13.200V} = 13,78A \quad (3)$$

Para el fusible, adicionalmente, ese valor debe ser afectado por un factor de seguridad, para garantizar que sea capaz de soportar la intensidad ante eventuales sobrecargas [3]. Esto se calcula mediante la Ecuación (4)

$$I_{nFusible} > 1,4 \cdot I_{nTransf} = 1,4 \cdot 13,78A = 19,29A \quad (4)$$

Otra característica importante al elegir un fusible es la intensidad de fusión (I_f), que a 0,1 segundos debe de ser mayor a 12 veces la corriente nominal del transformador [3]. Se calcula en la Ecuación (5).

$$I_f(0,1s) > 12 \cdot I_{nTransf} = 12 \cdot 13,78A = 165,33A \quad (5)$$

Se toman los valores calculados como requerimientos mínimos. En adelante los fusibles se eligen siguiendo las recomendaciones del fabricante, siempre que sean de características iguales o superiores a las indicadas en esta sección.

5.1. Celdas ABB

Del fabricante ABB se elige la línea de celdas SafePlus. Se elige el módulo C para la acometida (cable switch module) y la celda F para la salida (switch-fuse module) (Figura 10).

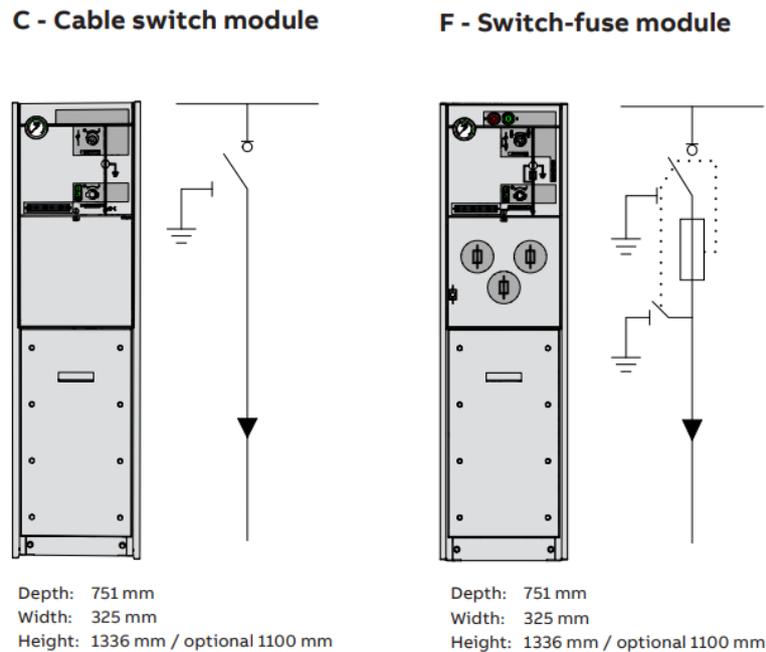


Figura 10. – Celdas ABB. Extraído de catálogo « SafeRing/SafePlus 12-24kV Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus». Recuperado de https://library.e.abb.com/public/bb38f74c9b404b4b89745cde2a4b0dba/1VDD006104_Catalogue_SR-SP_12-24kV_EN_07-2022.pdf. ©2022 ABB.

Las dimensiones indicadas en la figura son profundidad (depth) de 751 mm, ancho (width) de 325 mm y altura (height) de 1336 mm con opción a 1100 mm.

Como se puede ver en la Figura 11, el único parámetro que es posible elegir es la tensión nominal del equipo. Su tensión de servicio está proyectada para 13,2 kV, por lo que se necesitan celdas de 17,5 kV nominales (rated voltage), que es su inmediato superior. Las corrientes nominales (rated normal

current) de 630A para la celda C y 200A para la celda F son superiores a la requerida de 19,29A.

Technical data				
Switch disconnecter				
Rated voltage	kV	12	17.5	24
Power frequency withstand voltage	kV	28 ¹⁾	38	50
Impulse withstand voltage	kV	95	95	125
Rated normal current	A	630	630	630
Breaking capacities:				
- active load	A	630	630	630
- closed loop	A	650	650	650
- off load cable charging	A	140	140	140
- earth-fault	A	205	160	160
- earth-fault cable charging	A	117	91	91
Making capacity	kA	62.5	52.5	52.5
Short time current 3 sec.	kA	25	21	21
Number of mechanical operations	1000 close / open manual			
Electrical and mechanical classes	E3, C2, M1			
Earthing switch				
Rated voltage	kV	12	17.5	24
Power frequency withstand voltage	kV	28 ¹⁾	38	50
Impulse withstand voltage	kV	95	95	125
Making capacity	kA	62.5	50	50
Short time current 3 sec.	kA	25	21	21
Number of mechanical operations	1000 close / open manual			
Electrical and mechanical classes	E2, M0			

1) GOST version is available with 42kV power frequency withstand voltage

Technical data				
Switch-fuse-disconnector				
Rated voltage	kV	12	17.5	24
Power frequency withstand voltage	kV	28 ²⁾	38	50
Impulse withstand voltage	kV	95	95	125
Rated normal current	A	200	200	200
Breaking capacities:				
- off load transformer	A	20	20	20
Making capacity	kA	¹⁾	¹⁾	¹⁾
Number of mechanical operations	1000 close / open manual			
Electrical and mechanical classes	E3, M1			
Earthing switch downstream				
Rated voltage	kV	12	17.5	24
Power frequency withstand voltage	kV	28 ²⁾	38	50
Impulse withstand voltage	kV	95	95	125
Making capacity	kA	12.5	12.5	12.5
Short time current 1 sec.	kA	5	5	5
Number of mechanical operations	1000 close / open manual			
Electrical and mechanical classes	E2, M0			

1) Limited by high-voltage fuse-links

2) GOST version is available with 42kV power frequency withstand voltage

Figura 11. – Características eléctricas de celdas ABB. Extraído de catálogo

«SafeRing/SafePlus 12-24kV Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus». Recuperado de https://library.e.abb.com/public/bb38f74c9b404b4b89745cde2a4b0dba/1VDD006104_Catalogue_SR-SP_12-24kV_EN_07-2022.pdf. ©2022 ABB.

A continuación se elige el fusible para la celda F con ayuda de la Tabla 13), diseñada para tal fin. Se concluye que para un transformador de potencia 315 kVA nominales (transformer rating) se requiere un fusible (fuse-link) de 25A y 17,5 kV de tensión nominal (rated voltage).

Tabla 13. – Selección de fusible ABB. Extraído de catálogo «SafeRing/SafePlus 12-24kV Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus». Recuperado de https://library.e.abb.com/public/bb38f74c9b404b4b89745cde2a4b0dba/1VDD006104_Catalogue_SR-SP_12-24kV_EN_07-2022.pdf. ©2022 ABB.

100%	Transformer rating (kVA)														Fuse-link rated voltage			
U _n (kV)	25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600		
3	10	20	25	31.5	40	50	50	63	100	125	160	160						
3.3	10	20	25	25	31.5	40	50	63	80	100	160	160	160					
4.15	10	16	20	25	25	31.5	40	50	63	80	100	160	160					
5	10	16	20	20	25	31.5	31.5	50	50	63	100	100	125	160	160			7.2 kV
5.5	6.3	10	16	20	25	25	31.5	40	50	63	80	100	100	160	160			
6	6.3	10	16	25	25	25	40	40	50	50	80	100	125	160	160			
6.6	6.3	10	16	20	20	25	25	31.5	40	50	63	80	100	100	160			
10	4 ²	10	10	16	16	20	20	25	31.5	31.5	50	50	50	63	100	125		
11	2.5 ²	6.3	10	10	16	20	20	25	25	31.5	40	50	50	63	80	100		12 kV
12	2.5 ²	6.3	10	10	16	16	20	20	25	31.5	40	50	50	63	80	100		
13.8	2.5 ²	6.3	10	10	10	16	20	20	25	25	31.5	40	40	50	63	80		
15	2.5 ²	6.3	10	10	10	16	16	20	20	25	31.5	40	40	50	63	80		17.5 kV
17.5	2 ^{1.2}	5 ²	6.3	10	10	10	16	16	20	25	25	31.5	31.5	40	50	63		
20	2 ^{1.2}	4 ²	6.3	10	10	10	16	16	20	20	25	31.5	31.5	40	50	63		
22	2 ^{1.2}	2.5 ²	6.3	6.3	10	10	10	16	20	20	25	25	25	31.5	40	50		24 kV
24	2 ^{1.2}	2.5 ²	6.3	6.3	10	10	10	16	16	20	20	25	25	31.5	40	50		

5.2. Celdas Schneider

Del fabricante Schneider se elige la línea SM6. Se elige el módulo IM para la acometida y la celda QM para la salida (Figura 12).

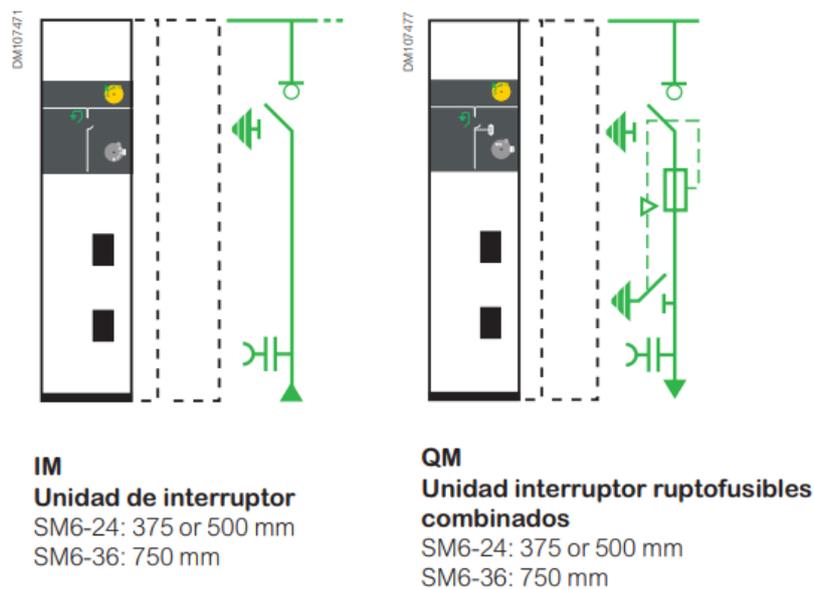


Figura 12. – Celdas Schneider. Extraído de catálogo «SM6 Solución modular Catálogo 2022

Celdas aislamiento aire hasta 36kV». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ESMKT01228K22&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%20C3%A1logo+SM6+2022_ESMKT01228K22.pdf. ©2020 Schneider Electric.

Los parámetros a elegir son los ilustrados en la Tabla 14). Se elige la opción de 400 A de intensidad asignada, recordando que se necesita que sea al menos 19,29 A. Por otro lado, se elige la menor intensidad de corta duración y poder de corte debido a que la corriente de cortocircuito calculada anteriormente es muy inferior, 1,44 kA. Por otro lado, se elige la menor tensión de aislamiento ya que no se esperan sobretensiones significativas.

Tabla 14. – Características eléctricas de celdas Schneider. Edición propia, extraído de catálogo «SM6 Solución modular Catálogo 2022 Celdas aislamiento aire hasta 36kV». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ESMKT01228K22&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%C3%A1logo+SM6+2022_ESMKT01228K22.pdf. ©2020 Schneider Electric.

Tensión nominal	Ur	kV	7.2	12	17.5	24	36
Nivel de aislamiento							
Aislamiento	Ud	50/60 Hz, 1 min (kV rms)	20	28	38	50	70
Aislamiento	Ud	50/60 Hz, 1 min (kV rms)	23	32	45	60	80
Aislamiento	Up	1.2/50 μ s (kV pico)	60	75	95	125	170
Aislamiento	Up	1.2/50 μ s (kV pico)	70	85	110	145	195
Poder de corte							
Desconexión de cargas del transformador	A		16				
Desconexión de cargas de cables	A		31.5				50
Intensidad asignada	Ir	A	400 - 630 - 1250				630-1250
Intensidad de corta duración admisible	Ik/tk ⁽¹⁾	kA/1 s	25	630 - 1250			1250
			20 ⁽²⁾	630 - 1250			
			16	630 - 1250			
			12.5	400 - 630 - 1250			630-1250
Poder de cierre (50 Hz)	Ima	kA	62.5	630	NA		
			50	630			
			40	630			
			31.25	400 - 630			630
Poder de corte máximo (Isc)							
Unidades IM, IMC, IMB, IMM	A		630 - 800 ⁽³⁾				630
NSM cables, NSM embarrados	A		630 - 800 ⁽³⁾				NA
QM, QMC, QMB	kA		25	20		20	
PM	kA		25		20		
CVM	kA		6.3	NA			
CVM con fusibles	kA		25	NA			

A continuación se elige el fusible para la celda QM con ayuda de la Tabla 15). Se concluye que se requiere un fusible de 31,5 A y 17,5 kV. Se elige la línea Fusarc CF que está fabricada conforme a normas IEC.

Tabla 15. – Selección de fusible Schneider. Extraído de catálogo «SM6 Solución modular Catálogo 2022 Celdas aislamiento aire hasta 36kV». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ESMKT01228K22&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%20C3%A1logo+SM6+2022_ESMKT01228K22.pdf. ©2020 Schneider Electric.

Tipo de fusible	Tensión de servicio (kV)	Potencia del transformador (kVA)													Tensión asignada (kV)				
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000		1250	1600	2000	2500
Solefuse (norma UTE NFC 13.100. 64.210)																			
5.5	6.3	16	31.5	31.5	63	63	63	63	63	63									7.2
10	6.3	6.3	16	16	31.5	31.5	31.5	63	63	63	63								7.2
15	6.3	6.3	16	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63						24
20	6.3	6.3	6.3	6.3	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63					24
Solefuse (caso general, norma UTE NFC 13.200)																			
3.3	16	16	31.5	31.5	31.5	63	63	100	100										7.2
5.5	6.3	16	16	31.5	31.5	63	63	63	80	80	100	125							7.2
6.6	6.3	16	16	16	31.5	31.5	43	43	63	80	100	125	125						7.2
10	6.3	6.3	16	16	16	31.5	31.5	31.5	43	43	63	80	80	100					12
13.8	6.3	6.3	6.3	16	16	16	16	31.5	31.5	31.5	43	63	63	80					17.5
15	6.3	6.3	16	16	16	16	16	31.5	31.5	31.5	43	43	63	80					17.5
20	6.3	6.3	6.3	6.3	16	16	16	16	16	31.5	31.5	31.5	43	43	63				24
22	6.3	6.3	6.3	6.3	16	16	16	16	16	16	31.5	31.5	31.5	43	43	63			24
Fusarc CF and SIBA (1) (caso general para celdas QM, QMB y QMC conforma a IEC 62271-105)																			
3.3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	125	160 ⁽¹⁾	200 ⁽¹⁾							7.2
5	10	16	31.5	40	40	50	63	80	80	100	125	125	160 ⁽¹⁾	160 ⁽¹⁾					7.2
5.5	10	16	31.5	31.5	40	50	50	63	80	100	125	125	160 ⁽¹⁾	160 ⁽¹⁾					7.2
6	10	16	25	31.5	40	50	50	63	80	80	125	125	160 ⁽¹⁾	160 ⁽¹⁾					7.2
6.6	10	16	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160 ⁽¹⁾					7.2
10	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100	100	125 ⁽¹⁾	200 ⁽¹⁾			12
11	6.3	10	16	20	25	25	31.5	40	50	50	63	80	100	100	125 ⁽¹⁾	160 ⁽¹⁾			12
13.8	6.3	10	16	16	20	25	31.5	31.5	40	50	50	63	80	80	100 ⁽¹⁾	125 ⁽¹⁾	125 ⁽¹⁾		17.5
15	6.3	10	10	16	16	20	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100 ⁽¹⁾	125 ⁽¹⁾	125 ⁽¹⁾		17.5
20	6.3	6.3	10	10	16	16	25	25	31.5	40	40	50	50	63	80	100 ⁽¹⁾	125 ⁽¹⁾		24
22	6.3	6.3	10	10	10	16	20	25	25	25	31.5	40	40	50	50	80	80	100 ⁽¹⁾	24

5.3. Celdas Siemens

Del fabricante Siemens se elige la línea 8DJH 24 – blue GIS. Si bien esta línea usa aire como medio aislante, se incluye entre las opciones debido a que Siemens no ofrece opciones en SF6 para media tensión. Se elige el módulo R (Ring-Main Feeder, alimentador principal para anillo) para la acometida y la celda T (Transformer Feeder, alimentador del transformador) para la salida. Estos módulos se ofrecen por separado o como celda combinada RT (Figura 13). Se elige el módulo combinado para obtener un menor costo y mayor simplicidad de montaje.

RT 1 ring-main feeder, 1 transformer feeder

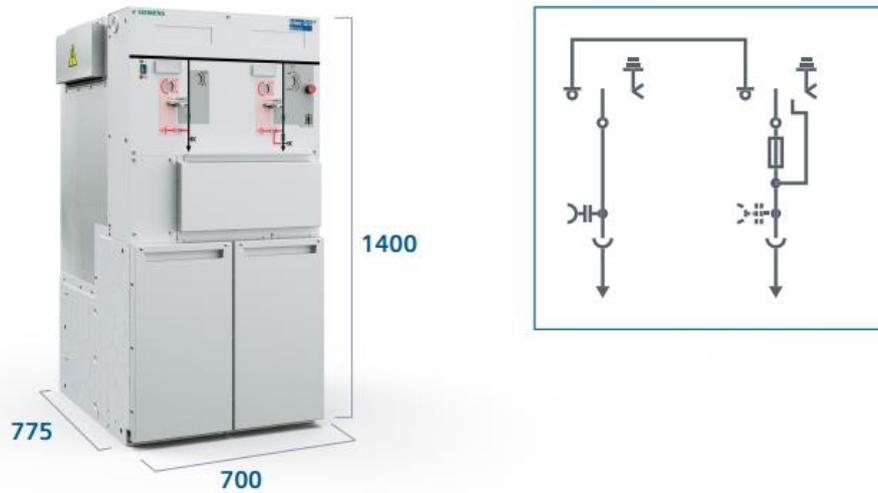


Figura 13. – Celda Siemens. Extraído de «8DJH 24 – blue GIS Load-break switchgear for the secondary distribution level». Recuperado de <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:987a7b36-5617-490a-97d9-1912d138fe00/8DJH24-blue-GIS-Catalog-HA-40.6-EN.pdf>.

© Siemens 2023.

Los parámetros eléctricos a elegir son los ilustrados en la Tabla 16). Si bien se encuentra la opción de 15 kV de tensión nominal U_r , la cual es la mas cercana a 13,2 kV, se puede observar que su tensión resistida de frecuencia industrial (U_d) es inferior a la requerida por norma, 38 kV. Por lo tanto se elige nuevamente una tensión de 17,5 kV. Además, se comprueba en la figura que su corriente nominal I_r de 630 A es superior a la mínima requerida de 19,29 A.

Tabla 16. – Características eléctricas de celdas Siemens. Elaboración propia, extraído de «8DJH 24 – blue GIS Load-break switchgear for the secondary distribution level». Recuperado de <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uid:987a7b36-5617-490a-97d9-1912d138fe00/8DJH24-blue-GIS-Catalog-HA-40.6-EN.pdf>. © Siemens 2023.

Common technical data					
Rated voltage U_r		kV	15	17.5	24
Rated short-duration power-frequency withstand voltage U_d		kV	36	38	50
Rated lightning impulse withstand voltage U_p		kV	95	95	125
Rated frequency f_r		Hz	50		
Rated continuous current I_r – busbar		A	630		
Rated continuous current I_r – feeders		up to A	630		
Rated peak withstand current I_p		up to kA	52.5		
Rated short-time withstand current I_k (up to 3 s)		up to kA	21		
Insulating medium			Clean Air		
GWP (Global Warming Potential)			< 1		
Rated filling level		kPa	190		
Panel widths		mm	350 / 450 / 550 / 840		
Panel depths	Standard	mm	775		
	Option with base and rear pressure relief duct	mm	890		
Panel height (without LV compartment)	Standard	mm	1400		
	Option	mm	1200		
	Option with base and rear pressure relief duct	mm	1700		
Ambient air temperature range	Standard	°C	–25 to + 55		
	Option	°C	–40 to +70		
Internal arc classification (option)		up to	IAC A FLR 21 kA 1 s, IAC A FL 21 kA 1 s		
Partition class			PM		
Loss of service continuity			LSC 2		
Degree of protection			Primary part IP65		
	Standard		Switchgear enclosure IP2X		
	Option		Switchgear enclosure IP3X		
Expected service life (under normal service conditions)			> 40 years		
Classification			IEC 62271-1/-100/-102/-103/-105/-200		

5.4. Elección y verificación

En la Tabla 17) se compara el costo de las tres opciones de fabricantes mencionadas. Schneider resulta ser la que ofrece un menor costo, por lo que es la elegida.

Tabla 17. – Comparación de costos de celdas de MT.

Fabricante	Costo [USD]
ABB	\$ 15.000
Schneider	\$ 9.600
Siemens	\$ 15.000

A continuación se verifican las características del fusible calculadas al comienzo del capítulo.

En la Tabla 18) se observa que la corriente máxima que puede cortar el fusible es 40 kA. Esto es el poder de corte mencionado anteriormente, y cumple con ser mayor a 1,44 kA.

Tabla 18. – Características eléctricas del fusible de MT. Edición propia, extraído de catálogo «Fusibles De 3.6 a 36 kV Distribución Media Tensión». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=CAT-Fusibles&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Fusibles+AC0479ES_052020-OK.pdf. ©2020 Schneider Electric.

Referencia	Tensión asignada (kV)	Tensión de servicio (kV)	Corriente asignada (A)	Capacidad máx. de corte I ₁ (kA)	Capacidad min. de corte I ₃ (A)
51006522M0	17,5	10/17,5	10	40	39
51006523M0			16		50
51006524M0			25		91
51006525M0			31,5		106
51006526M0			40		150
51311008M0			4		20
51006527M0			6,3		36
51006528M0			10		39
51006529M0			16		50
51006530M0			20		62
51006531M0			25		91
51006532M0			31,5		106
51006533M0			40		150
51006534M0			50		180
51006535M0			63		265
51006536M0			80		330
51006537M0			100		450

Por otro lado, se debe verificar que la intensidad de fusión a 0,1 segundos sea mayor a 165,33 A. En la Figura 14 se verifica gráficamente que el fusible de 31,5 A de corriente nominal lo cumple.

También se comprueba la razón por la que el fabricante no recomienda el fusible de 20 A: Si bien soportaría la corriente del transformador en régimen estacionario (19,29 A con sobrecarga), podría fundirse durante su conexión, que conlleva un pico de corriente transitorio. De esta forma queda verificado que la elección del fusible es correcta. Se muestran las demás características de interés de las celdas seleccionadas en el Anexo 5.

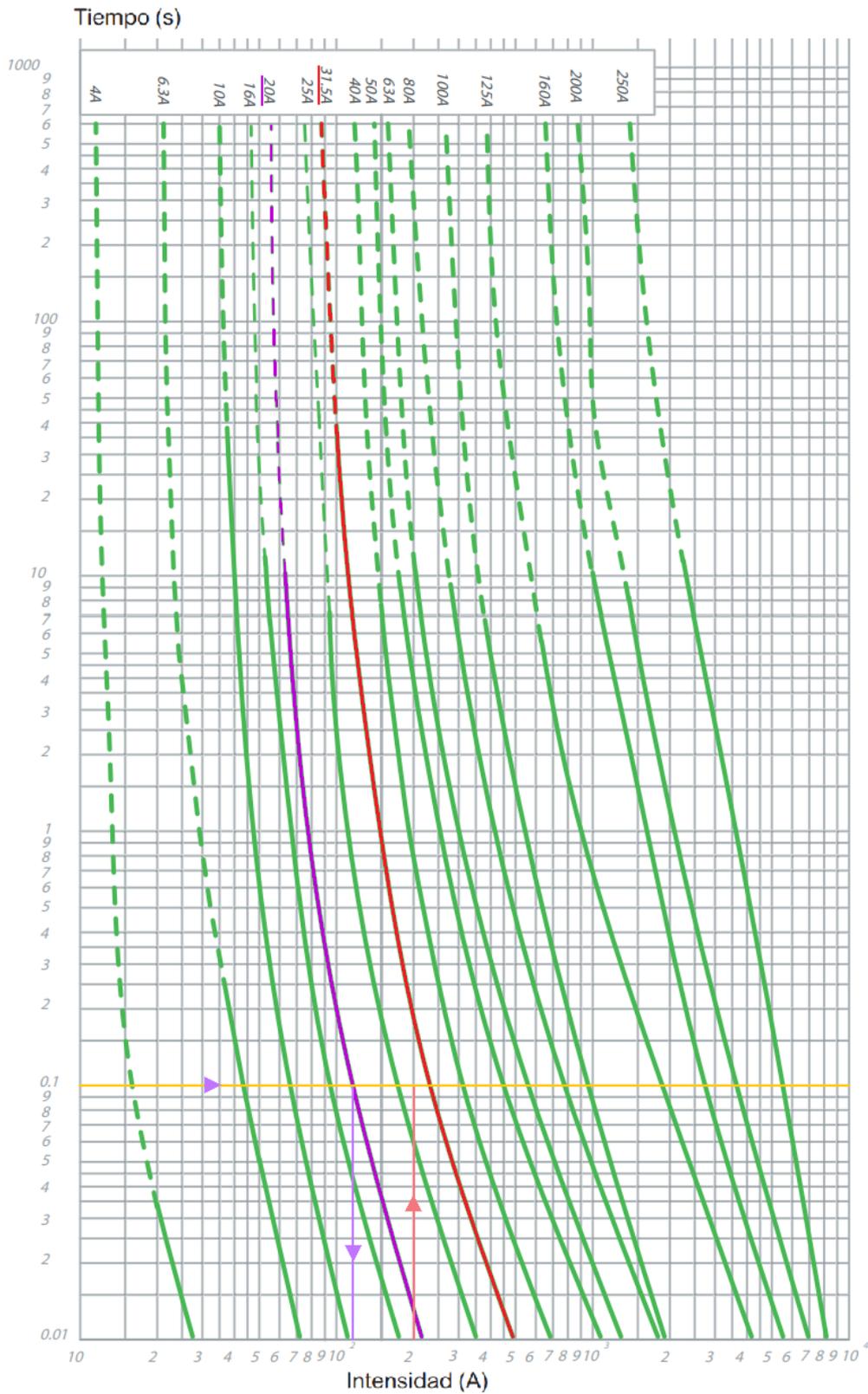


Figura 14. – Curva característica fusibles Fusarc CF 3,6 kV a 36 kV. Edición propia, extraído de catálogo «Fusibles De 3.6 a 36 kV Distribución Media Tensión». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=CAT-Fusibles&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Fusibles+AC0479ES_052020-OK.pdf. ©2020 Schneider Electric.

CAPÍTULO 6 – DISEÑO DE ILUMINACIÓN

En el presente capítulo se diseña la iluminación del contorno de la pileta y del Centro de Control de Motores, el cual además debe ser diseñado. Todos los cálculos lumínicos se realizan mediante el software DiaLUX.

A diferencia de los equipos anteriores, en este capítulo no se parte de la elección de modelos o marcas específicas. En cambio, se les solicita a los proveedores cotización de artefactos con determinadas características. Esto implica que el cálculo se realice con una luminaria que reúna los parámetros objetivo sin ser necesariamente el modelo exacto que se utilice finalmente.

6.1. Dimensionamiento del CCM

Previo al cálculo lumínico del CCM se debe dimensionar el espacio y elegir la ubicación de sus componentes. Para el diseño se toman requerimientos mínimos normativos y recomendaciones adicionales. En primer lugar se mencionan los requerimientos mínimos a tener en cuenta:

- De acuerdo a la AEA 95401, punto 7.3.1, los pasillos frente a las celdas⁵ deben tener al menos 80 cm de ancho (considerando las puertas abiertas) si no tienen otro equipo de maniobra en frente y 100 cm si lo tienen.
- El catálogo de las celdas seleccionadas recomienda que entre el tren de celdas y las paredes haya como mínimo el espacio ilustrado en la Figura 15.

⁵ Resulta necesario recordar que el término celda hace referencia a apartamento de media o alta tensión, y el término tablero hace referencia a baja tensión.

Instalación de un cuadro de distribución con clasificación IAC: A-FLR con evacuación de gases por la parte inferior



Figura 15. – Distancias recomendadas de celdas. extraído de catálogo «SM6 Solución modular

Catálogo 2022 Celdas aislamiento aire hasta 36kV». Recuperado de

https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ESMKT01228K22&p_

enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%C3%A1logo+SM6+2022_ESMKT01228K22.pdf.

©2020 Schneider Electric.

Luego, tomando tableros similares, se determinan dimensiones aproximadas, expresadas en la Tabla 19). Se evalúa esta similitud de acuerdo a la función y los artefactos que contienen los tableros.

Tabla 19. – Dimensiones estimadas de tableros.

	Alto	Ancho	Profundidad
TE	1.200 mm	750 mm	300 mm
TB	1.800 mm	2.250 mm	600 mm
TSA	600 mm	600 mm	150 mm
TCFP	900 mm	600 mm	300 mm

Para el dimensionamiento de la sala de transformador, se mantiene el ancho de la sala de tableros y se estima un mínimo de 1 metro de distancia a las paredes para permitir una circulación eficiente. En el Anexo 6 se muestra el plano resultante. La altura de ambas salas es de 4 metros.

6.2. Iluminación normal Centro de Control de Motores

En esta sección se describe el diseño de la iluminación general del CCM, que funciona en condiciones normales. Sus requisitos vienen dados, por un lado, por la empresa donde se realizará el proyecto, y por otro, por el Decreto N° 351 de la Ley N° 19.587. A efectos del Decreto se considera que el CCM es el interior de una subestación transformadora, y que en ella se realizan tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos. En la Tabla 20) se comparan los valores requeridos. En ella se menciona la uniformidad media, que se define como el coeficiente igual a la iluminancia mínima dividida por la iluminancia media

Tabla 20. – Requisitos de iluminación del CCM.

	Iluminación media	Plano de trabajo	Uniformidad media
Decreto N° 351	100 lux	0,8 m	1/2
Empresa	300 lux	0 m	1/3

Para el diseño se toman los requisitos más exigentes, que son 300 lux de iluminación media con un plano de trabajo a nivel del suelo y una uniformidad media de 0,5 con un plano de trabajo a una distancia de 0,8 m del suelo.

6.2.1. Sala de tableros

A continuación, se modela la sala de tableros mediante el software DIALux, inicialmente sin su iluminación (Figura 16). Los objetos rectangulares que se observan son tableros y celdas.

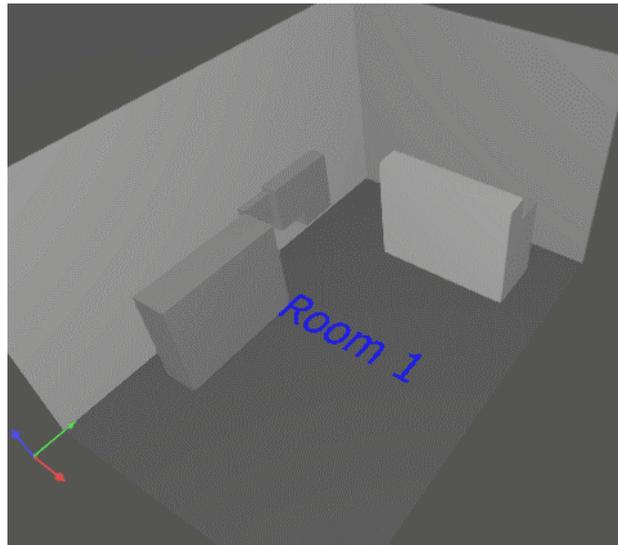


Figura 16. – Modelado de sala de tableros. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Mediante el software se simulan distintas disposiciones de luminarias y se concluye que la óptima es la ilustrada en la Figura 17. Los criterios para la elección de esta ubicación son los enunciados anteriormente en la Tabla 20).

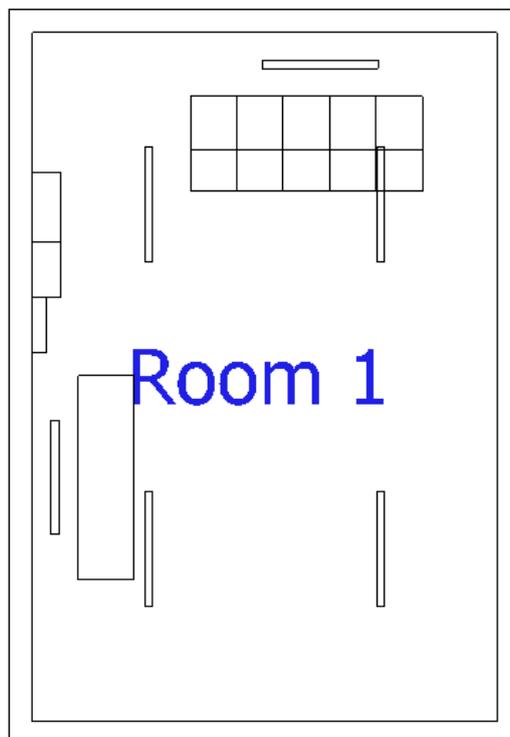


Figura 17. – Disposición de luminarias sala de tableros. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Las luminarias a utilizar son artefactos de 50W con tecnología LED, rectangulares de aproximadamente 1,5m de largo. Se calcula colocarlas a una altura de 3,5 metros. En la Figura 18 se muestra la simulación de la sala iluminada.

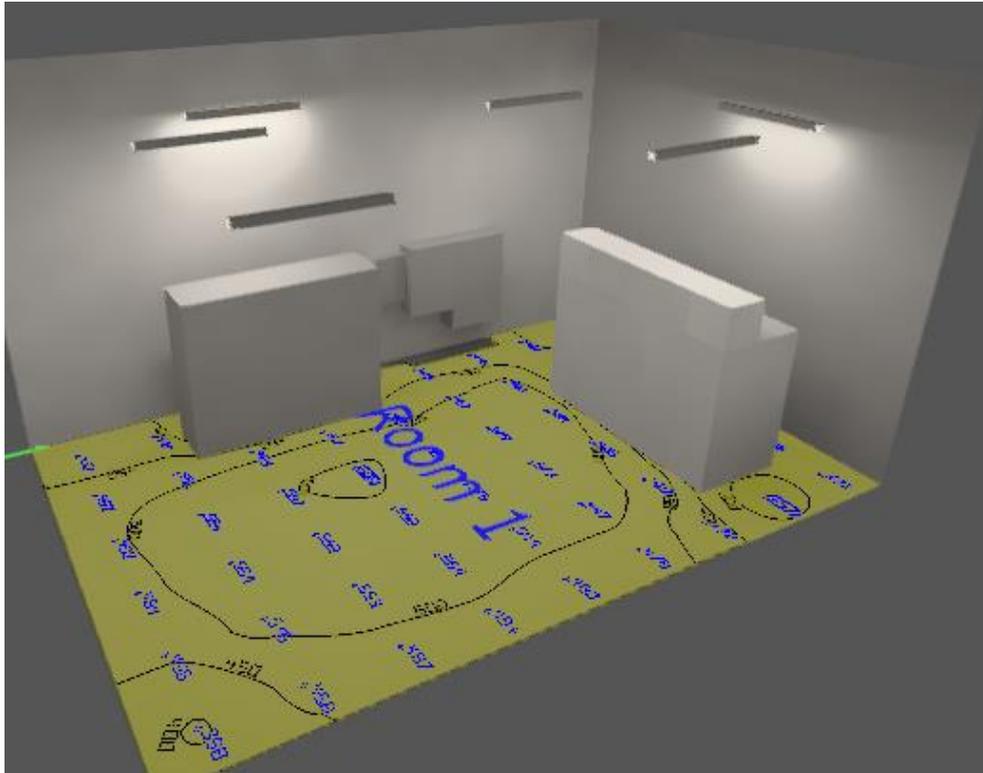


Figura 18. – Modelado de sala de tableros con iluminación normal. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Los resultados arrojados por el software se ilustran en la Figura 19 y en la Figura 20. Las curvas isolux están referidas al nivel del suelo.

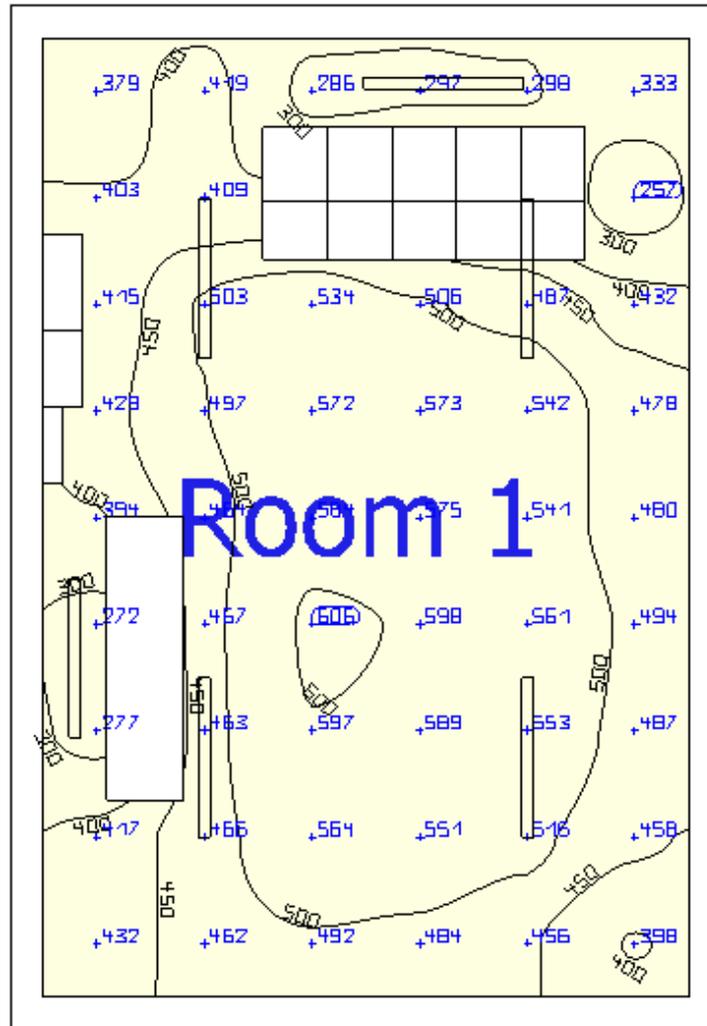


Figura 19. – Curvas isolux iluminación normal en sala de tableros. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

466 lx 0.55			562 lx 0.73		
Calculation surface (Horizontal illuminance)			Calculation surface (Horizontal illuminance)		
	Actual	Target		Actual	Target
Average	466 lx	-	Average	562 lx	-
Min	257 lx	-	Min	409 lx	-
Max	606 lx	-	Max	715 lx	-
Min/average	0.55	-	Min/average	0.73	-
Min/max	0.42	-	Min/max	0.57	-
Parameter			Parameter		
Height	0.000 m		Height	0.800 m	

Figura 20. – Resultados iluminación normal en sala de tableros. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Estos resultados superan los valores requeridos. Se tienen 466 lux de iluminancia media (average) con un requisito de 300 lux considerando el plano de trabajo a nivel del suelo (Height 0.000 m). Además, se tiene una uniformidad media (min/average) de 0,73 con un requisito de 0,5 con un plano de trabajo a 0,8 m del suelo (Height 0.800 m). Al recalcular con menor cantidad de luminarias, se obtiene que los valores obtenidos son demasiado cercanos a los mínimos requeridos, dejando un margen de error escaso. Por esta razón se mantiene la disposición mostrada.

6.2.2. Sala del transformador

A continuación se diseña la iluminación de la sala del transformador utilizando las mismas luminarias a una altura de 4 metros. Siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la sala de tableros, se modela el espacio como se muestra en la Figura 21.

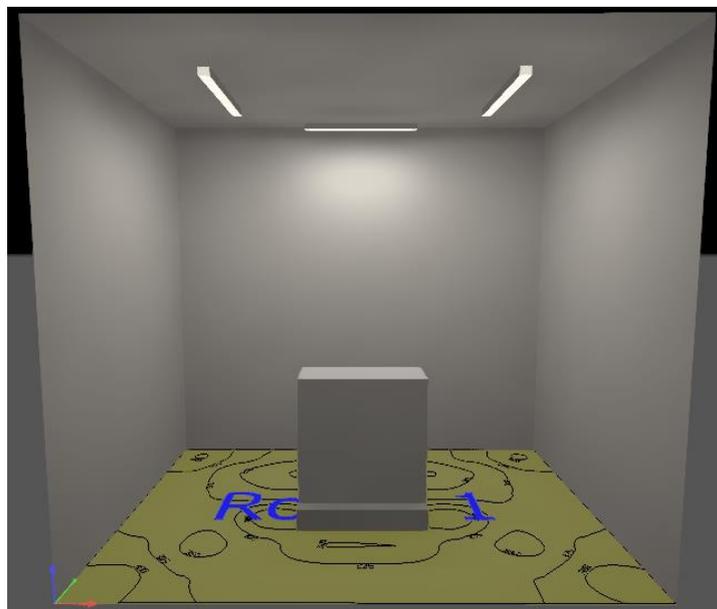


Figura 21. – Modelado de sala de transformador en DIALux. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Los resultados arrojados por el software se ilustran en la Figura 22 y en la Figura 23. Las curvas isolux están referidas al nivel del suelo.

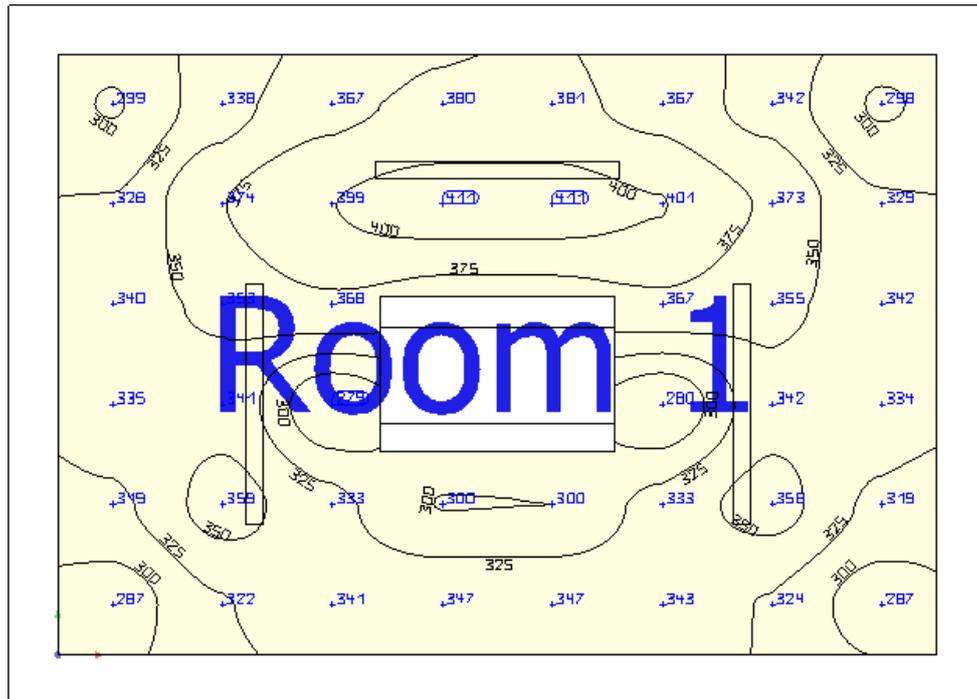


Figura 22. – Curvas isolux de iluminación normal en sala del transformador. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

342 lx 0.82			455 lx 0.76		
Calculation surface (Horizontal illuminance)			Calculation surface (Horizontal illuminance)		
	Actual	Target		Actual	Target
Average	342 lx	-	Average	455 lx	-
Min	279 lx	-	Min	348 lx	-
Max	411 lx	-	Max	556 lx	-
Min/average	0.82	-	Min/average	0.76	-
Min/max	0.68	-	Min/max	0.63	-
Parameter			Parameter		
Height	0.000 m		Height	0.800 m	

Figura 23. – Resultados de iluminación normal en la sala del transformador. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Se comprueba que la iluminación alcanza los valores requeridos. Se tienen 342 lux de iluminancia media con un requisito de 300 lux considerando el

plano de trabajo a nivel del suelo. Además, se tiene una uniformidad media de 0,76 con un requisito de 0,5 con un plano de trabajo a 0,8 m del suelo.

6.2.3. Elección

En la Tabla 21) se comparan las cotizaciones de las tres opciones de proveedores. El Proveedor 2 resulta ser el que ofrece un menor costo, por lo que es el elegido.

Tabla 21. – Comparación costos iluminación normal CCM.

Proveedor	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Proveedor 1	\$ 50,71	\$ 456,41
Proveedor 2	\$ 50,54	\$ 454,82
Proveedor 3	\$ 59,51	\$ 535,59

6.3. Iluminación de emergencia Centro de Control de Motores

Se describen debajo las normativas a tener en cuenta para su diseño:

- La ley N° 19.587, Anexo I, artículo 76 enuncia respecto a la iluminación de emergencia que “Este sistema suministrará una iluminancia no menor de 30 luxes a 80 cm. del suelo (...)”.
- De acuerdo a la AEA 95401 7.9.8, la iluminancia media de emergencia de un centro de transformación de MT a BT debe ser de 30 Lux.
- La norma AEA 90364 Parte 7 Sección 718 ítem 718.556.2.1.2 indica que en lugares y locales de pública concurrencia:
 - El nivel de iluminación de emergencia mínima es el establecido por la ley N° 19.587.

- En caso de que la luminaria de seguridad esté a una altura inferior a 2,25m, debe ser alimentada con MBTS.
- Donde estén situados los equipos de protección contra incendios, la iluminancia mínima a la altura de la zona de trabajo debe ser de 5 lux.
- La iluminación de evacuación⁶ tiene un modo de operación permanente con un tiempo de conmutación de 0,5 segundos como máximo, y debe proporcionar una iluminancia mínima en la ruta de evacuación de 1 lux durante una hora, y la uniformidad extrema⁷ a lo largo de la ruta debe ser al menos 1/40.
- La iluminación ambiente tiene los mismos requisitos que la iluminación de evacuación, con la única diferencia en su nivel de iluminancia. La misma debe ser una iluminancia horizontal mínima de 0,5 lux en todo el espacio, desde el suelo hasta 1m.
- En las zonas de alto riesgo se debe proporcionar una iluminancia horizontal mínima de 30 lux a 80 cm del suelo, y la uniformidad extrema en el eje de la ruta debe ser mayor a 1/10.
- De acuerdo a la empresa, las luminarias de emergencia:
 - Tienen que mantenerse encendidas por al menos una hora.

⁶ Iluminación de evacuación: Iluminación de emergencia necesaria para reconocer y transitar las rutas de evacuación.

⁷ Uniformidad extrema: coeficiente que es igual a la iluminancia mínima de un local dividida por la iluminancia máxima

- Deben proporcionar una iluminancia mínima de 5 lux, y en caso de falla de cualquier luminaria, se deben mantener al menos 2 lux.

Reuniendo los criterios más exigentes mencionados, se concluye que se deben cumplir como mínimo los siguientes requisitos:

- La conmutación debe producirse en 0,5 segundos como máximo.
- Las luminarias deben permanecer encendidas por al menos 1 hora. Para este proyecto se decide utilizar luminarias con baterías integradas para evitar la necesidad de un generador de emergencia o configuraciones de mayor complejidad.
- La iluminancia media debe ser de 30 lux a 80 cm del suelo.
- A nivel del suelo, la iluminancia horizontal mínima en toda la habitación debe ser de 5 lux, y en caso de falla de cualquier luminaria, se deben mantener al menos 2 lux. Además, debe ser de al menos 0,5 lux hasta 1 metro de altura.
- Donde estén situados los equipos de protección contra incendios, la iluminancia mínima a la altura de la zona de trabajo debe ser de 5 lux. Al desconocer la ubicación de tales equipos, se verifica para todo el espacio.
- La uniformidad extrema a 80 cm del suelo debe ser mayor a 1/10.

6.3.1. Sala de tableros

Mediante el software DIALux se simulan distintas disposiciones para la sala de tableros y se concluye que la óptima es la ilustrada en la Figura 24. Los criterios para esta elección son los enunciados en la sección anterior (6.3).

En la figura se ilustran las luminarias de emergencia en color verde para diferenciarlas de las luminarias de uso general. Esto, desde luego, no representa en absoluto el color real de los equipos ni de la luz que emiten.

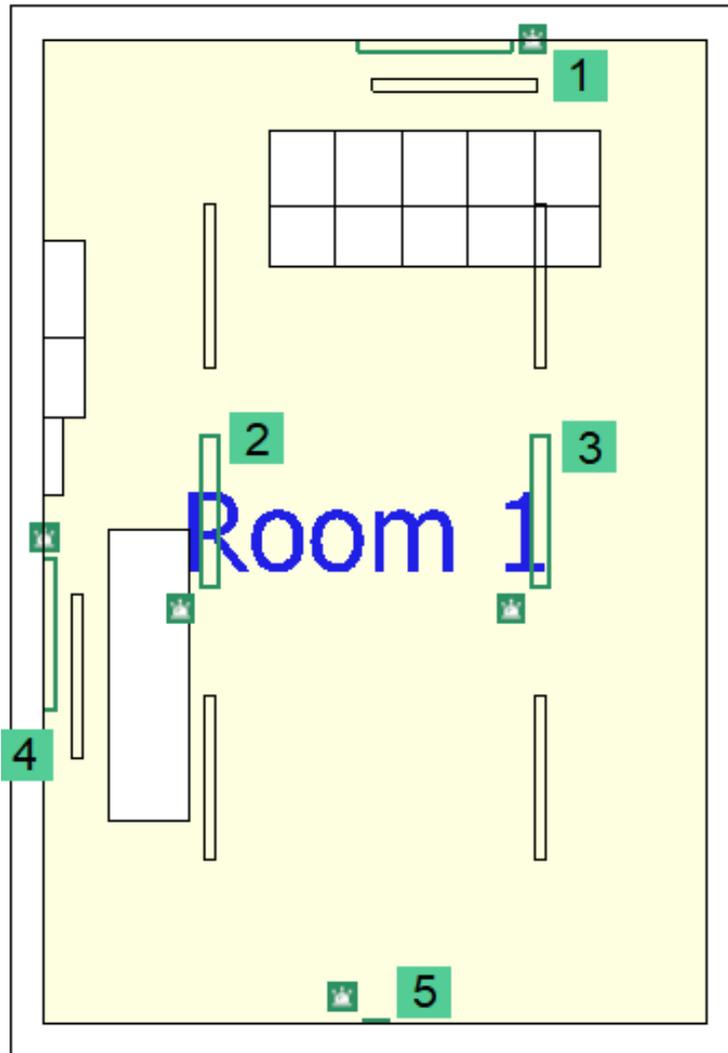


Figura 24. – Disposición de luminarias de emergencia en la sala de tableros. Editado en base a elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022

DIAL GmbH.

Las luminarias número 1, 2, 3 y 4 son artefactos de tubo led colocadas a 3,5 metros de altura. Las luminarias 1 y 4 están fijadas a la pared, mientras que 2 y 3 están suspendidas del techo a la misma altura que los plafones de uso general, permitiendo que, en caso de resultar conveniente al instalador, los 6

sean montados sobre dos rieles. Por otro lado, la luminaria 5, que es la señalización de salida, está colocada a 2,3 m de altura, justo por encima de la puerta. En la Figura 25 se muestran las curvas isolux referidas a nivel del piso, y en la Figura 26 se encuentra la simulación de la sala iluminada.

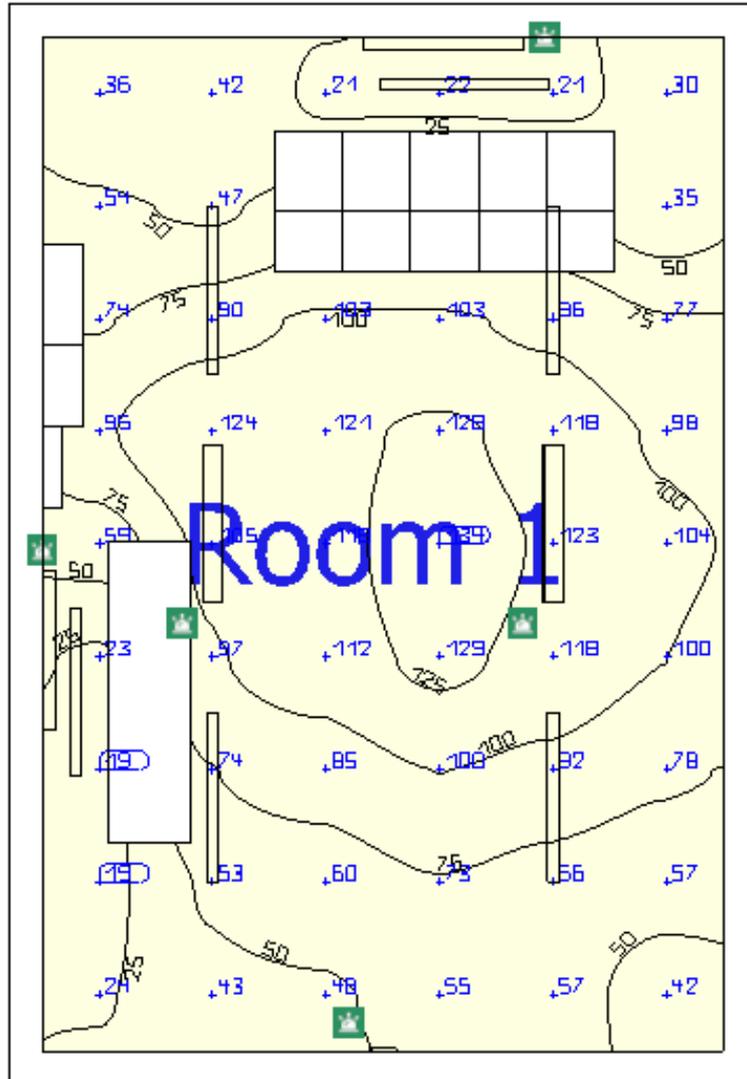


Figura 25. – Curvas isolux de iluminación de emergencia en sala de tableros. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

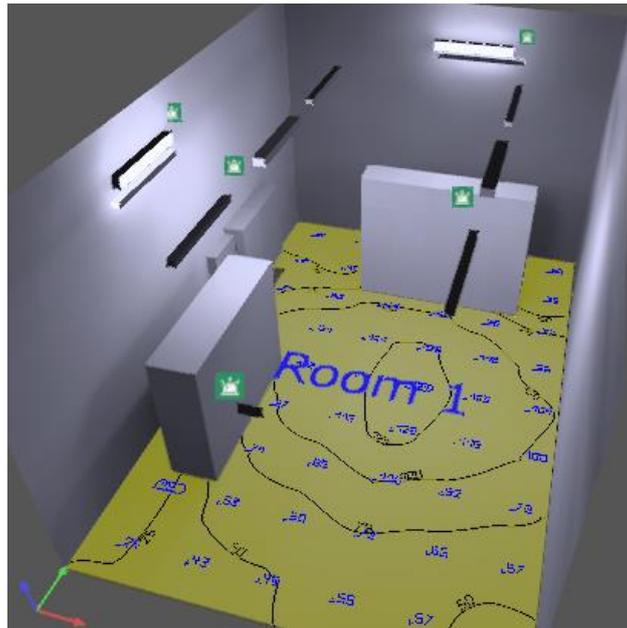


Figura 26. – Modelado sala de tableros iluminación de emergencia. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

En la Figura 27 se muestran los resultados de la simulación a nivel del suelo, a 80 cm y 1 m del suelo. En la misma se puede observar que se alcanzan los requisitos de al menos 30 lux promedio a 80 cm del piso (se tienen 94,7 lux).

Además, se muestra que la iluminancia horizontal mínima a nivel del suelo es 19 lux, lo cual es mayor a 5 lux. También se puede observar que la uniformidad extrema a 80 cm del suelo es 0,13, lo cual es mayor que el requisito de 0,10.

74.5 lx 0.26			94.7 lx 0.27			101 lx 0.29		
Calculation surface (Horizontal illuminance)			Calculation surface (Horizontal illuminance)			Calculation surface (Horizontal illuminance)		
	Actual	Target		Actual	Target		Actual	Target
Average	74.5 lx	-	Average	94.7 lx	-	Average	101 lx	-
Min	19.0 lx	-	Min	25.5 lx	-	Min	28.8 lx	-
Max	134 lx	-	Max	197 lx	-	Max	212 lx	-
Min/average	0.26	-	Min/average	0.27	-	Min/average	0.29	-
Min/max	0.14	-	Min/max	0.13	-	Min/max	0.14	-
Parameter			Parameter			Parameter		
Height	0.000 m		Height	0.800 m		Height	1.000 m	

Figura 27. – Resultados de la sala de tableros con iluminación de emergencia. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Por otro lado, debe comprobarse que la iluminancia horizontal hasta 1 m de altura sea como mínimo 0,5 lux. Para este tipo de sala donde los objetos no varían entre el suelo y 1 m de altura, existen solo dos alturas significativas para encontrar puntos de iluminancia mínima dentro de ese rango.

La primera es a nivel del suelo, donde las luminarias están más alejadas. Como ya se dijo, de acuerdo al software la iluminancia mínima a esta altura es de 19 lux. El segundo plano significativo es a 1 m de altura, donde la uniformidad es mínima debido al ángulo de apertura de las luminarias. Allí, la iluminancia mínima es de 28,8 lux, que también es mayor a 0,5.

Resta comprobar que la iluminancia horizontal sea mayor a 2 lux en todos los puntos a nivel del suelo ante la falla de cualquier luminaria.

Se muestran los resultados de esta comprobación en la Figura 28, donde la numeración de cada resultado indica el número de la luminaria faltante. Se puede observar que el caso de menor iluminancia mínima es el de la falla de la luminaria 1. La iluminancia mínima para este caso es de 2,62 lux, que es mayor a 2 lux.

<p>64.5 lx 0.041</p> <p>Calculation surface (Horizontal illuminance)</p> <p>1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Actual</th> <th>Target</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Average</td> <td>64.5 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>2.62 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>127 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/average</td> <td>0.041</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/max</td> <td>0.021</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parameter</p> <p>Height 0.000 m</p>		Actual	Target	Average	64.5 lx	-	Min	2.62 lx	-	Max	127 lx	-	Min/average	0.041	-	Min/max	0.021	-	<p>47.9 lx 0.31</p> <p>Calculation surface (Horizontal illuminance)</p> <p>2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Actual</th> <th>Target</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Average</td> <td>47.9 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>15.0 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>93.6 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/average</td> <td>0.31</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/max</td> <td>0.16</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parameter</p> <p>Height 0.000 m</p>		Actual	Target	Average	47.9 lx	-	Min	15.0 lx	-	Max	93.6 lx	-	Min/average	0.31	-	Min/max	0.16	-
	Actual	Target																																			
Average	64.5 lx	-																																			
Min	2.62 lx	-																																			
Max	127 lx	-																																			
Min/average	0.041	-																																			
Min/max	0.021	-																																			
	Actual	Target																																			
Average	47.9 lx	-																																			
Min	15.0 lx	-																																			
Max	93.6 lx	-																																			
Min/average	0.31	-																																			
Min/max	0.16	-																																			
<p>46.7 lx 0.17</p> <p>Calculation surface (Horizontal illuminance)</p> <p>3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Actual</th> <th>Target</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Average</td> <td>46.7 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>8.11 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>100 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/average</td> <td>0.17</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/max</td> <td>0.081</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parameter</p> <p>Height 0.000 m</p>		Actual	Target	Average	46.7 lx	-	Min	8.11 lx	-	Max	100 lx	-	Min/average	0.17	-	Min/max	0.081	-	<p>61.1 lx 0.061</p> <p>Calculation surface (Horizontal illuminance)</p> <p>4</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Actual</th> <th>Target</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Average</td> <td>61.1 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>3.72 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>114 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/average</td> <td>0.061</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/max</td> <td>0.033</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parameter</p> <p>Height 0.000 m</p>		Actual	Target	Average	61.1 lx	-	Min	3.72 lx	-	Max	114 lx	-	Min/average	0.061	-	Min/max	0.033	-
	Actual	Target																																			
Average	46.7 lx	-																																			
Min	8.11 lx	-																																			
Max	100 lx	-																																			
Min/average	0.17	-																																			
Min/max	0.081	-																																			
	Actual	Target																																			
Average	61.1 lx	-																																			
Min	3.72 lx	-																																			
Max	114 lx	-																																			
Min/average	0.061	-																																			
Min/max	0.033	-																																			
<p>73.2 lx 0.24</p> <p>Calculation surface (Horizontal illuminance)</p> <p>5</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Actual</th> <th>Target</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Average</td> <td>73.2 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>17.5 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>135 lx</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/average</td> <td>0.24</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Min/max</td> <td>0.13</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Parameter</p> <p>Height 0.000 m</p>			Actual	Target	Average	73.2 lx	-	Min	17.5 lx	-	Max	135 lx	-	Min/average	0.24	-	Min/max	0.13	-																		
	Actual	Target																																			
Average	73.2 lx	-																																			
Min	17.5 lx	-																																			
Max	135 lx	-																																			
Min/average	0.24	-																																			
Min/max	0.13	-																																			

Figura 28. – Iluminación en la sala de tableros ante la falla de una luminaria. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Se concluye que la disposición elegida cumple con los requisitos mencionados.

6.3.2. Sala del transformador

Utilizando las mismas luminarias que para la sala de tableros, se simulan distintas disposiciones y se concluye que la óptima es la expuesta en la Figura

29. Nuevamente, se ilustran las luminarias de emergencia en verde para diferenciarlas de las luminarias de uso general.

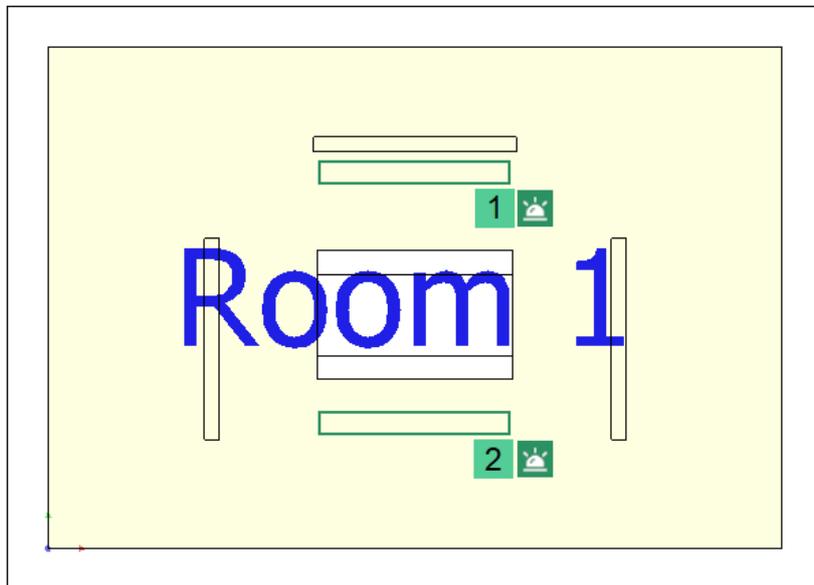


Figura 29. – Disposición luminarias de emergencia en sala del transformador. Editado en base a elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022

DIAL GmbH.

Ambas luminarias están fijadas al techo. En la Figura 30 se muestran las curvas isolux referidas a nivel del piso, y en la Figura 31 se puede observar la simulación de la sala iluminada.

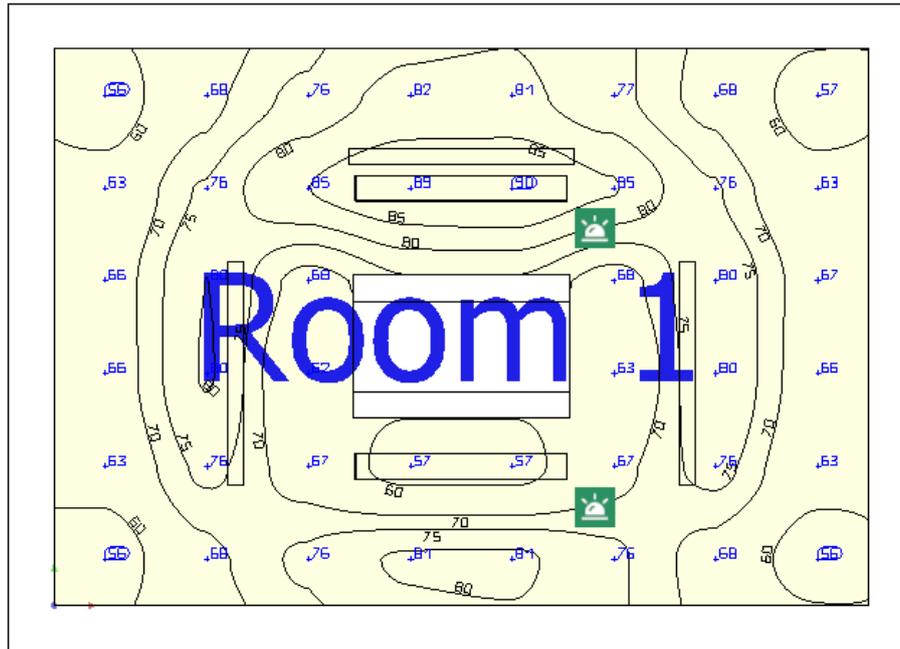


Figura 30. – Curvas isolux iluminación de emergencia en sala de transformador. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

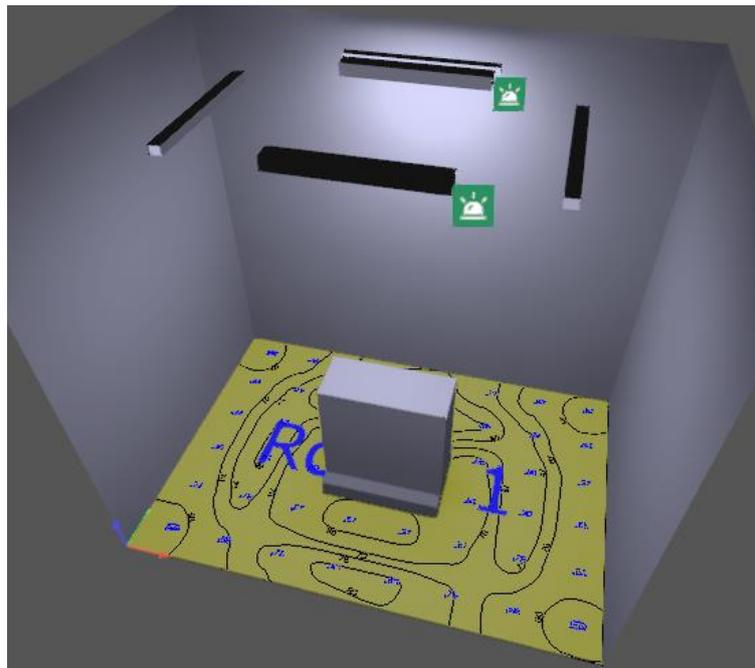


Figura 31. – Modelado de sala del transformador iluminación de emergencia. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

En la Figura 32 se muestran los resultados de la simulación a nivel del suelo, a 80 cm y 1 m del suelo. En la misma se puede observar que se alcanzan los requisitos de al menos 30 lux promedio a 80 cm del suelo (se tienen 99,6 lux).

71.0 lx 0.79			99.6 lx 0.67			108 lx 0.64		
Calculation surface (Horizontal illuminance)			Calculation surface (Horizontal illuminance)			Calculation surface (Horizontal illuminance)		
	Actual	Target		Actual	Target		Actual	Target
Average	71.0 lx	-	Average	99.6 lx	-	Average	108 lx	-
Min	56.1 lx	-	Min	66.9 lx	-	Min	69.1 lx	-
Max	89.7 lx	-	Max	131 lx	-	Max	145 lx	-
Min/average	0.79	-	Min/average	0.67	-	Min/average	0.64	-
Min/max	0.63	-	Min/max	0.51	-	Min/max	0.48	-
Parameter			Parameter			Parameter		
Height	0.000 m		Height	0.800 m		Height	1.000 m	

Figura 32. – Resultados de sala del transformador iluminación de emergencia. Recortes de elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Además, se muestra que la iluminancia horizontal mínima a nivel del suelo es 56,1 lux, lo cual es mayor a 5 lux. También se puede observar que la uniformidad extrema a 80 cm del suelo es 0,51, lo cual es mayor que el requisito de 0,10.

Por otro lado, debe comprobarse que la iluminancia horizontal hasta 1 m de altura sea como mínimo 0,5 lux. Nuevamente, se evalúa este parámetro a nivel del suelo y a 1 metro de altura. Los resultados obtenidos son 56,1 lux y 69,1 lux respectivamente, lo cual cumple con el requisito.

Resta comprobar que la iluminancia horizontal sea mayor a 2 lux en todos los puntos a nivel del suelo ante la falla de cualquier luminaria. Se muestran los resultados de esta comprobación en la Figura 33, donde la numeración de cada resultado indica el número de la luminaria faltante. Se puede observar que el caso de menor iluminancia mínima es el de la falla de la luminaria 2. La iluminancia mínima para este caso es de 6,31 lux, que es mayor a 2 lux.

36.6 lx 0.58			34.4 lx 0.18		
1 Calculation surface (Horizontal illuminance)			2 Calculation surface (Horizontal illuminance)		
	Actual	Target		Actual	Target
Average	36.6 lx	-	Average	34.4 lx	-
Min	21.3 lx	-	Min	6.31 lx	-
Max	51.0 lx	-	Max	51.3 lx	-
Min/average	0.58	-	Min/average	0.18	-
Min/max	0.42	-	Min/max	0.12	-
Parameter			Parameter		
Height	0.000 m		Height	0.000 m	

Figura 33. – Iluminación en sala del transformador ante falla de una luminaria. Edición y recortes de elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Se comprueba que la disposición elegida cumple con los requisitos mencionados.

6.3.3. Elección

En la Tabla 22) se comparan las cotizaciones de las tres opciones de proveedores. El Proveedor 2 resulta ser el que ofrece un menor costo, por lo que es el elegido.

Tabla 22. – Comparación costos iluminación de emergencia CCM.

Proveedor	Costo unitario tubo LED [USD]	Costo unitario señal salida [USD]	Costo total [USD]
Proveedor 1	\$ 88,31	\$ 55,79	\$ 673,99
Proveedor 2	\$ 62,62	\$ 41,91	\$ 480,26
Proveedor 3	-	\$ 46,75	-

6.4. Iluminación del contorno de la pileta

En esta sección se describe el diseño de la iluminación del contorno de la pileta destinada a almacenamiento de agua. De acuerdo la norma IRAM-

AADL-2018-J, en zonas de tanques al aire libre fuera de áreas de proceso, la iluminancia horizontal requerida es de 10 Lux. Por otro lado, la uniformidad media debe ser al menos 0,25.

Las dimensiones del espacio a iluminar son de 65 metros de ancho por 87 metros de largo. No se contempla el área cubierta por la pileta, sino su contorno donde ocasionalmente puede haber tránsito de personal.

Luego de simular diferentes disposiciones de luminarias y diferentes artefactos, se concluye que la opción óptima es de 10 proyectores de no menos de 20.000 lúmenes ubicados a lo largo del perímetro, a una altura de 10 metros y a un ángulo de inclinación de 45° respecto a la horizontal. Los proyectores ubicados en las esquinas se encuentran a 45° de los lados y los ubicados sobre los laterales se colocan con una apertura de 160° entre sí. Los artefactos deben cumplir con la clasificación de área explosiva descrita en la sección 1.4

Mediante el software Dialux se simula la disposición descrita anteriormente con los artefactos 6525/2224-5501-6015-331 de la marca Stahl, que si bien no son necesariamente los artefactos a utilizar, al cumplir con las características requeridas resultan útiles para la simulación. Los resultados arrojados por el software se muestran en la Figura 34 y en la Figura 35.

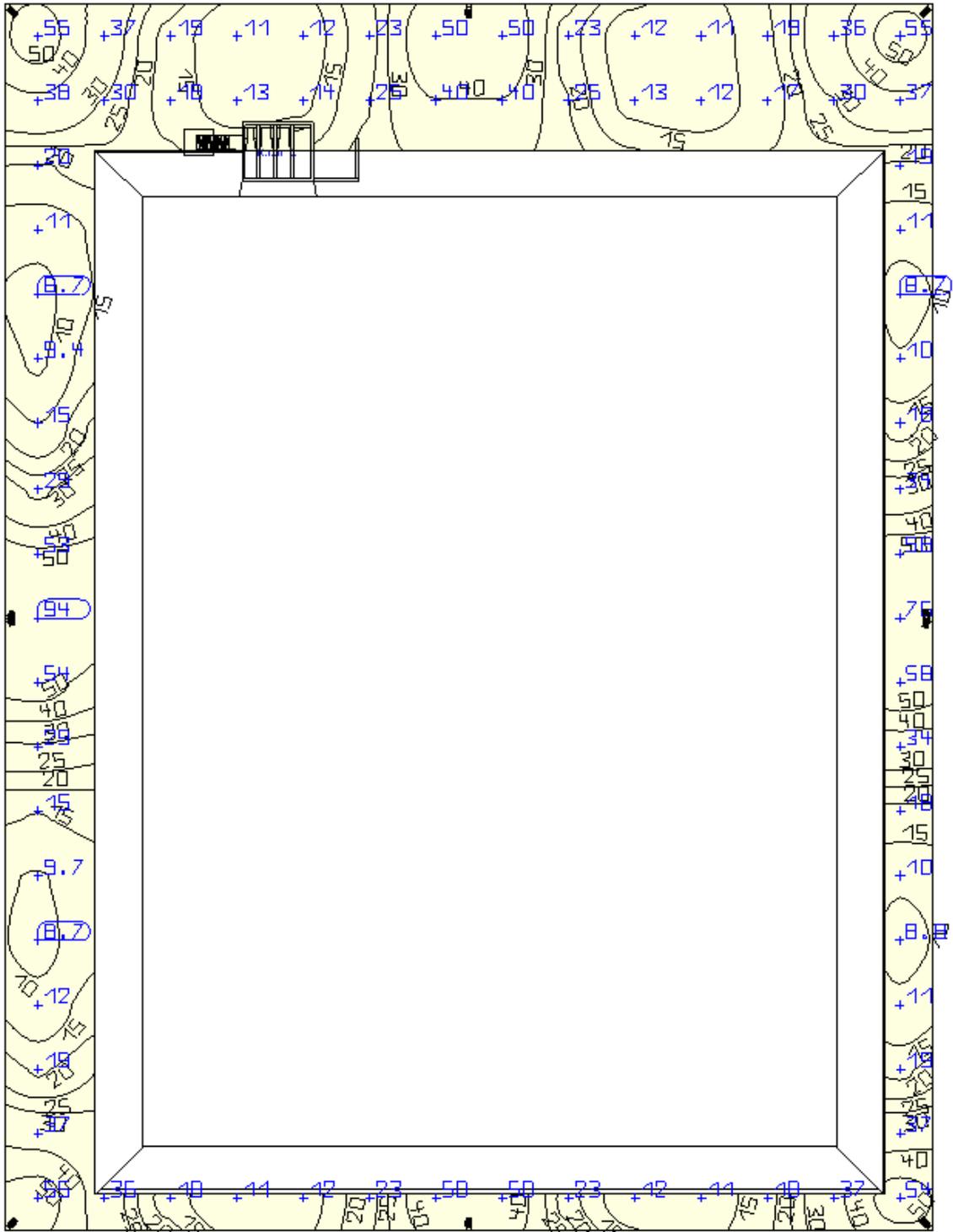


Figura 34. – Curvas isolux del contorno de la pileta. Elaboración propia utilizando el programa

DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

↓	27.4 lx	0.32	
Calculation surface (Horizontal illuminance)			
	Actual	Target	
Average	27.4 lx	-	
Min	8.67 lx	-	
Max	93.6 lx	-	
Min/average	0.32	-	
Min/max	0.093	-	
Parameter			
Height	0.660 m		

Figura 35. – Resultados del contorno de la pileta. Elaboración propia utilizando el programa DIALux evo Versión 5.10.1.58862. ©2006 – 2022 DIAL GmbH.

Estos resultados alcanzan los valores requeridos. Se tienen 27,4 lux de iluminancia media con un requisito de 10 lux y una uniformidad media de 0,32 con un requisito de 0,25.

En la Tabla 23) se comparan las cotizaciones de las dos opciones de proveedores. Ambos ofrecen proyectores de la línea EXPRL de la marca Delga, cuya hoja de datos se encuentra en el Anexo 7. El Proveedor 1 resulta ser el que ofrece un menor costo, por lo que es el elegido.

Tabla 23. – Comparación costos iluminación de la pileta.

Marca	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Proveedor 1	\$ 1.154,95	\$11.549,50
Proveedor 2	\$ 1.438,64	\$ 14.386,40

CAPÍTULO 7 CÁLCULO DE CLIMATIZACIÓN

En este capítulo se describe el diseño del sistema de climatización del CCM. Este cálculo resulta necesario debido a la gran cantidad de calor disipado por los equipos allí. En las secciones siguientes se detalla la estimación de ese calor disipado, la selección del equipo de aire acondicionado y de los extractores a colocar en los tableros.

7.1. Estimación del calor total disipado

En esta sección se calcula el calor disipado por los equipos mediante el software Proclima⁸ de Schneider Electric. Dado que es un programa pensado para diseñar la climatización de tableros y envolventes similares, en esta sección se utiliza solo el paso número 4, llamado “Potencia disipada”, que es el que resulta de utilidad.

Para los interruptores automáticos, termomagnéticas, diferenciales, entre otros, el programa asigna una potencia disipada estimada de acuerdo al equipo y sus características. Para la mayoría de la aparamenta, se toma ese valor sugerido. Sin embargo, algunos equipos tienen especificado su calor disipado en su hoja de datos. En estos casos se ignora la sugerencia del software y se ingresa la información mas precisa de forma manual, en el ítem “Otras fuentes de calor”. Esto sucede con los variadores de frecuencia, para los cuales su fabricante indica 1.270W en servicio normal.

Para el caso de las celdas de 13,2 kV, el fabricante ofrece información sólo al 100% y al 30% de carga. En la Ecuación (6) se verifica que el factor de

⁸ Programa online, página web: <https://proclima.se.com/project>

carga es inferior al 30%, por lo que se toma el valor de ese estado, al ser el más cercano.

$$\text{Factor de carga} = \frac{I_{nTransf}}{I_{nCelda}} = \frac{13,78 A}{400 A} = 3,4\% \quad (6)$$

El error cometido se considera aceptable dado que es preferible dimensionar en exceso que en defecto. Adicionalmente, la potencia estimada por celda es de 24 W, la cual se considera poco significativa en comparación con otros equipos.

Por último, se debe estimar el calor disipado por el transformador. Sus pérdidas energéticas ocurren en dos partes. En primer lugar en el núcleo, donde esa potencia es constante e invariable siempre que el primario esté conectado, y para este caso es 1.020W. A esta potencia se le deben sumar las pérdidas en los bobinados, es decir en el cobre. Esas pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente en los devanados [4]. La potencia disipada se calcula en el Anexo 15, donde se obtienen 1.872,55 W, resultando en un total de 2.892,55 W.

En la Figura 36 se obtiene como resultado final una potencia disipada total de 7458,21 W. En la Ecuación (7) se convierte a unidades de toneladas de refrigeración, utilizada por fabricantes para indicar la capacidad de refrigeración de equipos. Se obtiene un requerimiento mínimo de 2,12 TR.

$$C_R = 7.458,21 kW \cdot \frac{1 TR}{3.517 kW} = 2,12 TR \quad (7)$$

Potencia disipada

< Volver

Validar y pasar a la siguiente pantalla >

Introducir la potencia disipada por el equipo eléctrico

Elija uno de los dos métodos para introducir los datos térmicos

Potencia conocida

Potencia a partir del material

Potencia a partir de lecturas de temperatura

Cálculo potencia a partir material

Potencia disipada (W): Coeficiente simultaneidad:

↑ ↓

Guardar Cambios

Descartar Cambios

Conceptos	Cantidad	potencia disipada W
▼ Interruptores		
▶ Interruptores		
▼ Magnetotérmicos hasta 125 A sobre carril DIN		
10 A	6	
16 A	5	
20 A	1	
25 A	1	
32 A	2	
40 A	1	
80 A	1	
▼ Automático en caja moldeada fija		
100 A 3P	1	
125 A 4P	4	
400 A 4P	3	
▼ Disyuntores - motor, magnetotérmico		
Aparatos hasta 25 A	9	
▼ Contactores		
▼ Sin térmico		
4 KW	2	
7,5 KW	1	
15 KW	1	
22 KW	1	
▼ Fusibles		
▼ Fusibles NH		
16 Tamaño 00	12	
▼ Señalizadores		
Pulsadores y pilotos luminosos (lámparas de 2.6 W)	12	
▼ Otras fuentes de calor		
Variadores de frecuencia	3	1,270.00
Celdas SM6	5	24.00
Transformador	1	2,892.55



Figura 36. – Potencia disipada total en el CCM. Recorte de elaboración propia utilizando el software ProClima Web (proclima.se.com/project). © 2024 Schneider Electric.

Se concluye que el equipo de climatización debe tener una capacidad de al menos 3 toneladas de refrigeración. No se considera una reserva mas allá de

la adición de la cuarta bomba. Esto se debe a que, en caso de que por una reforma aumente el calor disipado en la sala, resultaría relativamente sencillo agregar otro equipo de refrigeración.

Además, se solicita a los proveedores que los equipos a presupuestar sean de tecnología inverter, dada su mayor eficiencia energética con respecto a los de tipo on-off. En la Tabla 24) se comparan los precios de distintos fabricantes.

Tabla 24. – Comparación costos equipos de aire.

Fabricante	Costo [USD]
Carrier	\$ 3.582,00
York	\$ 6.198,35

Se concluye que el equipo Carrier es el de menor costo, por lo que es el elegido.

7.2. Extractores de tableros

Para garantizar que los componentes de los tableros se mantengan dentro de temperaturas aceptables, refrigerar el aire de la sala no es suficiente. Además, es necesario colocar extractores que faciliten la circulación del aire evitando que el calor se concentre dentro del tablero.

Nuevamente se utiliza el software Proclima. Las variables consideradas para el cálculo son 35°C de temperatura máxima aceptable dentro del tablero, instalación a 5 metros de altura sobre el nivel del mar (suponiendo su instalación en la zona del parque industrial de Bahía Blanca). Se define que el aire acondicionado tenga su temperatura máxima objetivo en 25°C, por lo que se estiman 26°C de temperatura máxima esperada en el exterior del tablero.

Con estas variables y otras ya predefinidas como dimensiones aproximadas de los tableros y posición dentro del CCM, el software indica una que los extractores deben tener como capacidad los caudales indicados en la Tabla 25). También se indican las características de los ventiladores propuestos para cada tablero.

Tabla 25. – Extractores de tableros.

Tablero	Caudal de aire requerido [m ³ /h]	Caudal de aire del extractor [m ³ /h]	Potencia del extractor [W]
TE	31,49	38	4,5
TB	1.259,1	1700	300
TSA	21,02	38	4,5
TCFP	22,21	38	4,5

Estos equipos son incluidos en la provisión de los tableros, razón por la cual no son presupuestados de forma aislada.

CAPÍTULO 8 – TABLEROS DE BAJA TENSIÓN

En este capítulo se muestra la totalidad de las cargas del CCM y las consideraciones para los tableros que lo conforman.

8.1. Listado de cargas

En el Anexo 15 se presenta la planilla de cargas completa y sus cálculos. A continuación se muestran los resultados de cada tablero.

El tablero TB abastece las bombas y contiene sus variadores de frecuencia en su interior. Para su dimensionamiento se debe incluir la reserva de espacio para el cuarto variador. Para los demás análisis se consideran 3 bombas dado que, en el caso de que se instale la cuarta, esa es la cantidad que trabajaría en simultáneo en la configuración n - 1. En la Ecuación (8) se detalla el cálculo de la potencia de cada una de las salidas.

$$P_T = P_n \cdot \eta_M \cdot \eta_{VFD} = 55kW \cdot 94,57\% \cdot 98\% = 59,34 kW \quad (8)$$

Donde:

P_T = Potencia total requerida para cada conjunto variador-bomba.

P_n = Potencia nominal del motor.

η_M = Rendimiento del motor con carga nominal.

η_{VFD} = Rendimiento del variador de frecuencia con carga nominal.

Su factor de potencia está determinado por el del variador de frecuencia, que a carga nominal es de 0,94. Por lo tanto, se tiene una corriente de 95,92 A por fase. En la Tabla 26) se presenta la planilla de cargas del tablero.

Tabla 26. – Planilla de cargas TB.

Circuito	Descripción	Corriente [A]			Potencia activa [kW]	Potencia aparente [kVA]
		R	S	T	59,34	63,13
TB-1	Bomba 1	95,92	95,92	95,92	59,34	63,13
TB-2	Bomba 2	95,92	95,92	95,92	59,34	63,13
TB-3	Bomba 3	95,92	95,92	95,92	59,34	63,13
Total		287,76	287,76	287,76	178,03	189,40

El tablero TSA abastece los servicios auxiliares del CCM. Entre ellos se encuentra la iluminación diseñada en el CAPÍTULO 6 y la climatización calculada en el CAPÍTULO 7. Se muestra la planilla de cargas en la Tabla 27). Los planos de la instalación se encuentran en el Anexo 8 y en el Anexo 9.

Tabla 27. – Planilla de cargas TSA.

Circuito	Descripción	Fase	Corriente [A]			Potencia activa [kW]	Potencia aparente [kVA]
			R	S	T	0,45	0,50
TSA-1	Iluminación general CCM	R	2,27	0,00	0,00	0,45	0,50
TSA-2	Iluminación de emergencia	S	0,00	0,35	0,00	0,07	0,08
TSA-3	Iluminación pileta	T	0,00	0,00	10,61	2,10	2,33
TSA-4	Reserva	S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TSA-5	Aire acondicionado Sala Tableros	RST	9,00	9,00	9,00	5,33	5,92
TSA-6	Coolers tableros	R	1,43	0,00	0,00	0,31	0,31
TSA-7	Extractores CCM	S	0,00	5,35	0,00	1,00	1,18
TSA-8	Tomas de servicio	R	8,56	0,00	0,00	1,60	1,88
TSA-9	Reserva	RST	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Se reúne la alimentación de ambos tableros en el Tablero de Entrada, detallado en la Tabla 28).

Tabla 28. – Planilla de cargas TE.

Tablero	Corriente [A]			Potencia activa [kW]			Potencia aparente [kVA]		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
TB	287,76	287,76	287,76	59,34	59,34	59,34	63,13	63,13	63,13
TSA	21,04	14,66	19,58	4,14	2,85	3,88	4,63	3,22	4,31
Total	308,73	302,32	307,30	63,49	62,19	63,22	67,73	66,33	67,42

8.2. Consideraciones respecto a los tableros

Su diseño tiene en consideración las cargas a alimentar, los cortocircuitos calculados y las canalizaciones ya elegidas. Adicionalmente, de acuerdo a la AEA 95401 sección 7.2.6, los gabinetes deben tener un índice de protección IP2X como mínimo. El requisito que se decide adoptar es IP54 para minimizar el ingreso de polvo y suciedad. Por otro lado, se solicita a quienes cotizan los tableros considerar un 30% de espacio de reserva.

8.3. Tablero de corrección del factor de potencia

En esta sección se analiza la compensación del factor de potencia del CCM. De acuerdo al Régimen tarifario y normas de aplicación del cuadro tarifario emitido por OCEBA, las grandes demandas deben tener en todo momento un factor de potencia superior a 0,95. Según el mismo organismo, califican como grandes demandas aquellos cuya demanda máxima promedio de quince minutos consecutivos es de cien kilovatios (100 kW) o más.

Las cargas a compensar presentan una gran variabilidad, especialmente de los motores cuyo consumo depende de la velocidad que le imponga el

variador según la necesidad. Por esta razón, se elige una compensación que realice la conexión de capacitores (llamados pasos) de forma automática.

La selección de los pasos se lleva a cabo de manera gráfica, y se muestra en la Figura 37. Allí se muestra la curva de carga previa a la compensación, y el área donde las cargas tienen un factor de potencia igual o mayor a 0,95. Adicionalmente se grafica cómo la conexión progresiva de capacitores ante variaciones de la carga mantiene el factor de potencia resultante dentro de los límites requeridos.

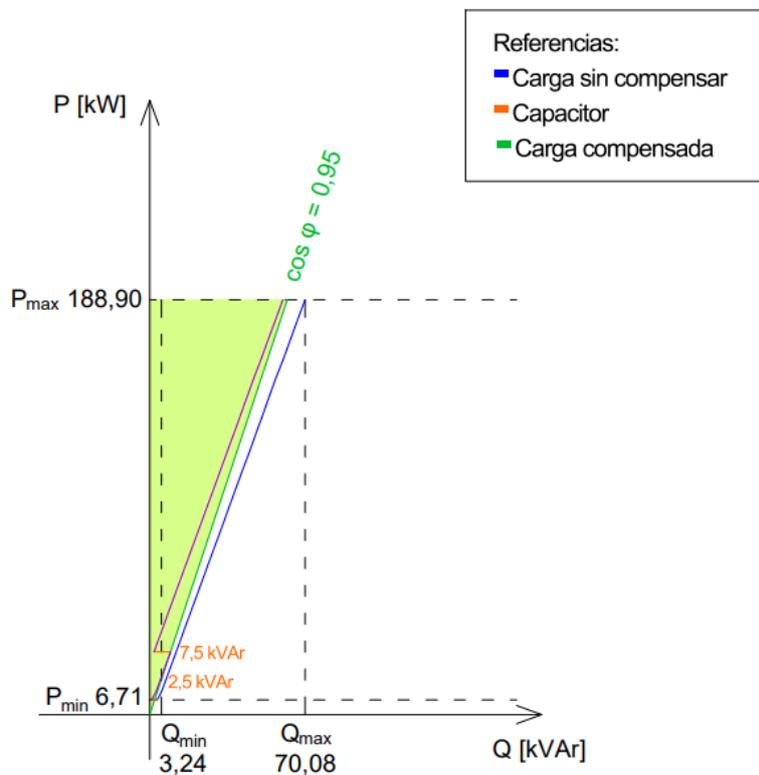


Figura 37. – Compensación gráfica a factor de potencia 0,95.

La curva de cargas se obtiene calculando la potencia total demandada ante un aumento progresivo de las cargas. El cálculo de sus puntos se desarrolla en el Anexo 15.

Se comprueba que dos pasos, uno de 2,5 kVAr y otro de 7,5 kVAr, son suficientes para alcanzar el factor de potencia 0,95. Sin embargo, se decide aumentar el factor de potencia objetivo a 0,98. La finalidad es, por un lado, tener una reserva para futuras ampliaciones y para la posibilidad de falla o rotura de alguno de los capacitores.

Por otro lado, no se compensa solo por razones normativas. Un factor de potencia mayor trae como beneficio la disminución de la corriente en las líneas, lo cual permite reducir la sección de los conductores, pérdidas por efecto Joule y caídas de tensión. La compensación resultante se grafica en la Figura 38.

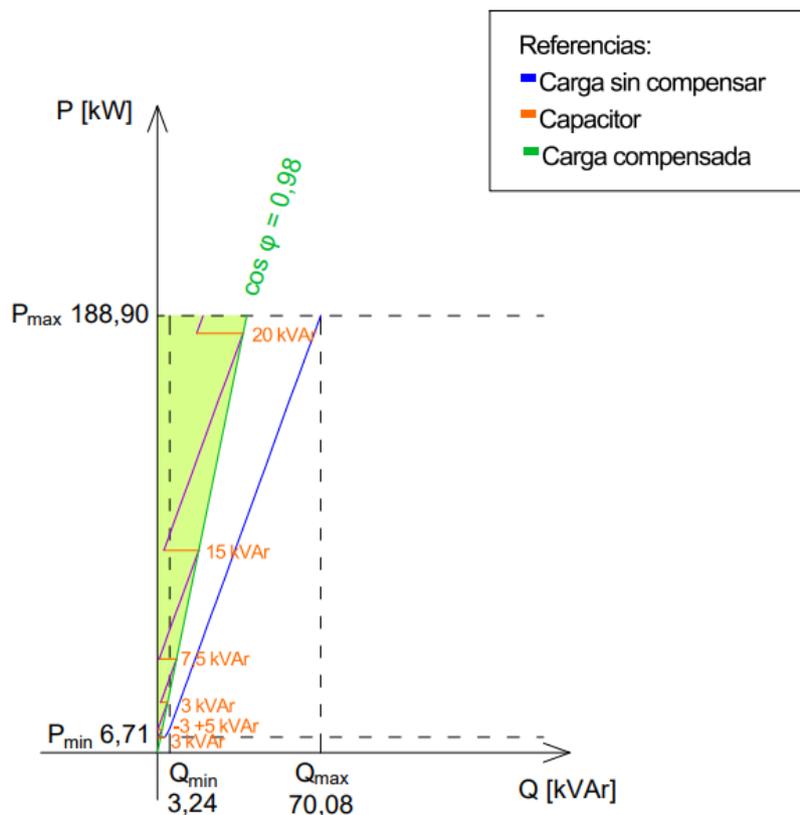


Figura 38. – Compensación gráfica a factor de potencia 0,98.

Se obtiene que para compensar a 0,98 se necesitan 5 pasos: de 3 kVAr, 5 kVAr 7,5 kVAr, 15 kVAr y 20 kVAr respectivamente. En la Tabla 29) se presenta

la planilla de cargas del tablero TE con corrección del factor de potencia presente.

Tabla 29. – Planilla de cargas TE compensado.

	Descripción	Corriente [A]			Pot activa [kW]	Pot aparente [kVA]
		R	S	T		
TB1	Tablero de Bombas	287,76	287,76	287,76	178,03	189,40
TSA	Tablero de Servicios Auxiliares	21,04	14,66	19,58	10,86	12,16
TCFP	Tablero de Corrección del Factor de Potencia	76,73	76,73	76,73	0,00	50,50
Total		291,01	284,89	289,72	188,90	189,91

En el Anexo 10 se muestra el diagrama unifilar del CCM completo. Incluye las celdas IM y QM (ya descriptas en el CAPÍTULO 5) y los tableros.

CAPÍTULO 9 – CANALIZACIONES

En este capítulo se desarrollan las canalizaciones eléctricas requeridas para el sistema, esto incluye la selección y verificación de cables y bandejas portacables. Los cables a seleccionar deben ser aptos para instalación a la intemperie, y ser de tipo subterráneo para garantizar una buena resistencia mecánica ante los esfuerzos a los que puedan estar sometidos en la bandeja.

Por otro lado, se eligen cables no propagadores del incendio de clasificación $C_{ca-s1b,d1,a}$, que son los indicados por el fabricante para zonas explosivas. Se decide utilizarlos aún para los requeridos en áreas no explosivas para evitar costos asociados a la compra de cables distintos en pequeñas cantidades. Con estas características, se consideran las siguientes líneas de cables de la marca Prysmian:

- AFUMEX CLASS 1000 V - RZ1-K para cables de baja tensión en general.
- AFUMEX CLASS VARINET RZ1C4OZ1-K VFD 1 kV (Anexo 11) para los motores de las bombas, dado que son los recomendados para variadores de frecuencia.
- HEPRZ1 AL AFUMEX para cables de 13,2 kV.

La selección de sus secciones se realiza según corriente admisible y luego se verifica por caída de tensión y corriente de cortocircuito.

9.1. Verificación de corriente admisible

Para la verificación por corriente admisible se consideran los amperajes indicados en el catálogo de cables Prysmian. Estos valores deben ser afectados

por coeficientes de corrección. Se utilizan los indicados por la norma AEA [6], que se enumeran a continuación.

- c_1 : Factor de reducción por agrupamiento. Mas específicamente, se aplican los coeficientes aplicables a una sola capa sobre una bandeja escalera.
- c_2 : Factor de reducción en área explosiva. Aplicado a todos los cables que en algún punto de su recorrido no estén dentro del CCM.
- c_3 : Factor de corrección por temperatura ambiente distinta de 40°C . Se supone que los cables que en algún punto estén a la intemperie tendrán una temperatura ambiente de 40°C y que los que estén totalmente en el interior estarán expuestos a 25°C como máximo gracias al equipo de climatización.
- c_4 : Factor de reducción por exposición al sol. Aplicado a todos los cables que en algún punto estén a la intemperie.

En la Tabla 30) se muestran los parámetros de cálculo y los resultados. En el caso de los interruptores automáticos de caja moldeada, se aclara corriente nominal y de regulación. Esta última es la utilizada para dimensionamiento.

El cable de media tensión que va desde la estación transformadora aguas arriba hacia el CCM tiene una protección cuya regulación es indistinta a los efectos de dimensionamiento del cable. Esto se debe a que su sección mínima comercial disponible es mucho mayor a la que necesita la carga del CCM, y en consecuencia, también su corriente admisible.

Tabla 30. – Verificación corriente admisible.

Destino	Sección	Corriente admisible nominal [A]	Factores de corrección				Corriente admisible corregida [A]	Prot. aguas arriba [A]	Corriente de carga [A]
			C1	C2	C3	C4			
Celda IM	3x(1x50) +1x16	180	0,87	0,85	1	0,85	113,14	Reg.	13,78
Transf	3x(1x50) +1x16	180	0,87	1	1	1	156,60	31,5	13,78
TE	3x(1x185) +1x95	602	0,79	1	1,14	1	542,16	-	478,59
TB	3x(1x120) +1x70	455	0,78	1	1,14	1	404,59	400 (R:320)	287,76
TB-1	3x70	223	0,79	0,85	1	0,85	127,28	125 (R:100)	95,92
TB-2	3x70	223	0,79	0,85	1	0,85	127,28	125 (R:100)	95,92
TB-3	3x70	223	0,79	0,85	1	0,85	127,28	125 (R:100)	95,92
TSA	4x10	68	0,78	1	1,14	1	60,47	40	21,04
TSA-1	2x2,5	33	0,78	1	1,14	1	29,34	10	2,27
TSA-2	2x2,5	33	0,78	1	1,14	1	29,34	10	0,35
TSA-3	2x4	45	0,78	0,85	1	0,85	25,36	16	10,61
TSA-5	2x4	38	0,78	0,85	1,14	1	28,72	20	9,00
TSA-6	2x2,5	33	0,78	1	1,14	1	29,34	10	1,43
TSA-7	2x4	45	0,78	1	1,14	1	40,01	16	5,35
TSA-8	2x2,5	33	0,78	1	1,14	1	29,34	16	8,56
TCFP	3x25/16	116	0,78	1	1,14	1	103,15	80	76,73

9.2. Verificación de caída de tensión

La caída de tensión admisible en la instalación es de 6% para circuitos de iluminación y 8% para otros usos. No se analiza la caída de tensión durante el arranque debido a que los variadores de frecuencia hacen que el motor tome carga de forma gradual. De esta forma el efecto transitorio pierde relevancia en este análisis. En la Tabla 31) se comprueba que todas las caídas de tensión están dentro de los valores aceptables.

Tabla 31. – Verificación de caída de tensión.

Salida	Resistencia cable [Ω /km]	Reactancia cable [Ω /km]	Longitud [m]	Caída de tensión		Máximo admisible
				Local	Acumulada	
Celda IM	0,84700	0,15800	258,00	0,0396%	0,0396%	5%
Transf	0,84700	0,15800	12,30	0,0019%	0,0415%	5%
TE	0,12800	0,14928	13,70	0,5137%	0,5137%	-
TB	0,20480	0,15132	10,20	0,3266%	0,8403%	-
TB-1	0,34816	0,07100	56,00	0,8606%	1,7009%	8%
TB-2	0,34816	0,07100	56,00	0,8606%	1,7009%	8%
TB-3	0,34816	0,07100	56,00	0,8606%	1,7009%	8%
TSA	2,44480	0,08000	8,30	0,1779%	0,6916%	-
TSA-1	10,21440	0,09570	17,80	0,1703%	0,8619%	6%
TSA-2	10,21440	0,09570	16,90	0,0251%	0,7167%	6%
TSA-3	6,33600	0,08940	37,40	1,0380%	1,7296%	6%
TSA-5	6,33600	0,08940	15,00	0,3532%	1,0448%	8%
TSA-6	10,21440	0,09570	9,30	0,0617%	0,7533%	8%
TSA-7	6,33600	0,08940	6,90	0,0914%	0,7830%	8%
TSA-8	10,21440	0,09570	21,40	0,7288%	1,4204%	8%
TCFP	0,99840	0,07500	7,70	0,0202%	0,5339%	-

9.3. Verificación de corriente de cortocircuito

En la Tabla 32) se verifican los conductores por cortocircuito. No se considera el aporte de motores debido a que los variadores no permiten la circulación de corriente en sentido inverso.

Tabla 32. – Verificación corrientes de cortocircuito.

Identif.	Resistencia [Ω]		Reactancia [Ω]		Corriente de cc. máxima [A]	Sección mínima adm [mm ²]	Sección cable [mm ²]
	Local	Acum.	Local	Acum.			
Red	0,30495	0,30495	1,18829	1,18829	-	-	-
ET- IM	0,14423	0,44917	0,04917	1,22906	11.097,57	12,47	50
Fusible	0,51000	0,50017	-	1,22906	-	-	-
QM - Transf.	0,00688	0,50705	0,00194	1,23100	10.563,06	11,87	50
Transf	0,01965	0,02007	0,04340	0,04442	8.741,15	-	-
TE	0,00137	0,02144	0,00205	0,04647	8.279,22	5,79	185
Int.	-	0,02144	0,00030	0,04677	-	-	-
TB	0,00163	0,02307	0,00154	0,04801	7.867,87	5,50	120
Int.	-	0,02307	0,00030	0,04831	-	-	-
TB-1	0,00280	0,02587	0,00820	0,05651	6.831,00	4,78	70
TB-2	0,00280	0,02587	0,00820	0,05651	6.831,00	4,78	70
TB-3	0,00280	0,02587	0,00820	0,05651	6.831,00	4,78	70
TSA	0,01585	0,03729	0,00066	0,04743	6.173,72	4,32	10
TSA-1	0,14204	0,17933	0,00170	0,04913	1.838,62	1,29	2,5
TSA-2	0,13486	0,17215	0,00162	0,04905	1.909,93	1,34	2,5
TSA-3	0,18513	0,22242	0,00334	0,05077	1.498,51	1,05	4
TSA-5	0,07425	0,11154	0,00134	0,04877	2.811,14	1,97	4
TSA-6	0,07421	0,11150	0,00089	0,04832	2.815,90	1,97	2,5
TSA-7	0,03416	0,07144	0,00062	0,04805	4.014,83	2,81	4

TSA-8	0,17077	0,20806	0,00205	0,04948	1.598,56	1,12	2,5
TCFP	0,00601	0,02744	0,00058	0,04704	7.316,39	5,12	25

9.4. Bandejas portacables

Para la selección de bandejas portacables se eligen bandejas escalera, que son aptas para instalación a la intemperie. Además de canalizar los conductores ya mencionados, las bandejas contienen una división de 50 mm de ancho para cables de datos y un cable desnudo de puesta a tierra con una sección igual a la mitad de la mayor sección utilizada [6], que en este caso es 95 mm².

Para el dimensionamiento también se debe tener en cuenta el espacio libre horizontal para reserva. Se pone como parámetro 30% del total (sin tener en cuenta la división para datos) o el espacio que ocuparía agregar un cable más correspondiente a la mayor sección utilizada. Entre los dos criterios prevalece el que tenga por resultado el espacio mayor.

A diferencia de otros capítulos, en este análisis se considera la presencia de los alimentadores de las 4 bombas ya que, si bien no funcionan en simultáneo en ninguna circunstancia, sí ocuparían espacio en la misma bandeja llegado el momento de la ampliación.

En la Tabla 33) se detallan los resultados parciales y totales del cálculo del ancho de las bandejas. Se dividen en secciones comprendidas entre dos puntos, correspondientes a los indicados en el Anexo 12. Los tramos 2-3, 3-4, 4-5 y 5-6 se calculan individualmente para obtener un análisis completo. Sin embargo, se elige utilizar el mismo ancho para todos ellos debido a que de no

ser así, por su proximidad su montaje resultaría difícil. Por otro lado, se incluye también el análisis de las bandejas que acometen a cada tablero y bomba.

Tabla 33. – Dimensionamiento ancho de bandejas portacables.

Recorrido o destino	Total ocupado [mm]	30% reserva [mm]	Espacio cable de mayor sección [mm]	División datos [mm]	Total [mm]	Bandeja seleccionada [mm]
MT exterior	85,1	36,5	78,6	-	163,70	300
MT CCM	163,7	70,2	78,6	-	242,30	300
1-2	162,4	69,6	128,0	-	290,40	300
2-3	256,6	110,0	128,0	50	434,60	600
3-4	368,7	158,0	106,5	50	576,71	
4-5	224,5	96,2	106,5	50	381,00	
5-6	164,5	70,5	106,5	50	321,00	
6-7	336,2	144,1	75	50	530,29	600
2-8	105	45,0	27	-	150,00	150
TE	358,9	153,8	128	-	512,71	600
TCFP	106,2	45,5	50	-	156,20	300
TSA	214	91,7	50	-	305,71	450
TB	440,9	189,0	106,5	50	679,86	-
TB-1,2,3	87,6	37,5	75	50	212,60	300

Se puede observar que en la acometida al tablero TB el espacio requerido supera el ancho máximo disponible, que es de 600mm. Se decide hacer dos acometidas separadas, una que contenga los alimentadores de las

bombas y la división de datos y otra con los demás conductores. En la Tabla 34) se detalla el cálculo del ancho necesario para estas bandejas.

Tabla 34. – Dimensionamiento ancho bandejas portacables TB.

Recorrido	Total ocupado [mm]	30% reserva [mm]	Espacio cable de mayor sección [mm]	División datos [mm]	Total [mm]	Bandeja seleccionada [mm]
TBa	300	128,6	75	50	478,57	600
TBb	140,9	60,4	106,5	-	247,4	300

Por otro lado, se debe verificar que en ningún punto los cables superen el alto de la bandeja. En las bandejas de baja tensión, los cables se disponen en una sola capa y el cable de mayor diámetro exterior es de 25,6 mm. La bandeja de mínima altura, que es de ala de 65 mm de los cuales 44 mm son altura útil, resulta suficiente. En la bandeja de media tensión, los cables son de 26,2 mm de diámetro y están dispuestos en tresbolillo, resultando en una altura de 48,89 mm. Resulta necesario utilizar bandeja de ala de 90mm, que tiene 70 mm de altura útil.

Luego, se debe comprobar que el ancho de las bandejas permita tender los cables respetando su radio de curvatura mínimo en los puntos donde deban ser doblados. En el Anexo 13 se verifican los casos que podrían presentar problemas, que son los cables de al menos 50 mm² en curvas de 90°.

Por último se verifica el peso soportado por las bandejas. En la Tabla 35) se indica para cada tramo el peso al que está sometido y la carga de trabajo admisible. Este último valor está determinado para el fabricante según el ala de la bandeja y está definido para una distancia entre apoyos de 1,5 metros.

Tabla 35. – Verificación de peso soportado por bandejas.

Recorrido o destino	Peso soportado [kg/m]	Carga de trabajo admisible [kg/m]
MT exterior	1,019	440
MT CCM	1,809	440
1-2	7,499	310
2-3	8,528	310
3-4	8,753	310
4-5	6,637	310
5-6	5,919	310
6-7	13,366	310
2-8	1,662	310
TE	13,859	310
TCFP	2,462	310
TSA	2,85	310
TBa	5,526	310
TBb	12,296	310
TB-1,2,3	4,066	310

CAPÍTULO 10 – PUESTA A TIERRA

La vinculación de todas las partes metálicas del Centro Control de Motores y del neutro del secundario del transformador a tierra se lleva a cabo mediante una malla. Su dimensionamiento mediante el programa Mathcad se encuentra desarrollado en el Anexo 14. A continuación se mencionan las consideraciones particulares de este proyecto.

De acuerdo a la información brindada por la empresa, el suelo en la planta tiene una resistividad promedio de $5,146 \Omega\text{m}$. La superficie de la malla debe extenderse 1 metro más allá del perímetro del CCM en cada lado. Se recubre todo su área con una capa superficial de grava de 15 cm de espesor, de la cual se estima una resistividad aproximada de $3.500 \Omega\text{m}$.

La corriente de cortocircuito supuesta para el cálculo es la correspondiente a la corriente de cortocircuito eficaz en bornes de salida del transformador, 4,616 kA. De los cálculos e iteraciones de variables se obtiene:

- Profundidad de la malla: 0,6 m. Corresponde al mínimo establecido por la AEA [7].
- No resulta necesaria la utilización de jabalinas, dado que se obtienen resultados satisfactorios sin ellas.
- Resistencia de la malla: $0,257 \Omega$. Cumple con el requisito establecido por la AEA [7] que indica 1Ω como máximo cuando la puesta a tierra de protección esté vinculada a la puesta a tierra de servicio.
- De acuerdo a la verificación térmica, la sección del conductor debe ser como mínimo $12,206 \text{ mm}^2$.

-
- Tensión de contacto calculada: 257 V
 - Tensión de contacto máxima admisible: 791,3 V
 - Tensión de paso calculada: 227,79V
 - Tensión de paso máxima admisible: 2694,27 V

Se concluye que la malla de puesta a tierra calculada cumple con los requisitos.

CAPÍTULO 11 – ANÁLISIS DE COSTOS

En la Tabla 36) se listan los equipamientos presupuestados para el presente proyecto, y el costo total.

Tabla 36. – Costo total del proyecto.

Equipo	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Motores	3	\$ 9.379,08	\$ 28.137,24
VFDs	3	\$ 8.540,00	\$ 25.620,00
Celdas	Conjunto	\$ 9.600,00	\$ 9.600,00
Transformador	1	\$ 13.450,00	\$ 13.450,00
Proyectores	6	\$ 1.924,92	\$ 11.549,50
Artef. estanco con tubos LED	9	\$ 50,54	\$ 454,82
Artef. de emergencia	7	\$ 62,62	\$ 438,35
Señalización de emergencia	1	\$ 41,91	\$ 41,91
Equipo de aire acondicionado	1	\$ 3.582,00	\$ 3.582,00
Total [USD]			\$ 92.873,83

CAPÍTULO 12 – CONCLUSIONES

Se consideran cumplidos los objetivos propuestos para el presente proyecto. Los motores y variadores de frecuencia seleccionados cumplen la función de regular el caudal bombeado, siendo independientes unos de otros. En caso de que el proceso productivo requiriera la adición de una cuarta bomba, la instalación diseñada permite hacerlo sin necesidad de sufrir demás modificaciones.

Adicionalmente, en caso de requerir en un futuro suministro eléctrico para cualquier otro equipo de la planta, el transformador cuenta con una reserva superior al 30% de su potencia nominal. Incluyendo una cuarta bomba, se tiene una potencia instalada de 201,48 kVA y una potencia nominal del transformador de 315 kVA.

Por otro lado, los servicios auxiliares ya proyectados garantizan una iluminación adecuada de acuerdo a las normativas vigentes y una climatización capaz de mantener la temperatura dentro de los márgenes propuestos. El costo total del equipamiento es de 92.873,83 USD.

Las tareas adicionales que complementarían al sistema son la instrumentación y automatización del sistema, las cuales no se encuentran dentro de los alcances de este proyecto. Adicionalmente, cabría la posibilidad de agregar un transformador y tres celdas de media tensión para lograr una redundancia del suministro eléctrico mediante una configuración de barra partida, en caso de que la empresa así lo solicitara. Esto aumentaría la confiabilidad del sistema. El presente proyecto contempla el espacio libre para la

adición de dichas celdas, lo cual facilitaría esta modificación en caso de ser necesaria en un futuro.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de datos motor Siemens

Extraído de la herramienta «Drives Technology Configurator».

Recuperado de <https://mall.industry.siemens.com/spice/jom/jom/>. © Siemens AG
2022.

Data sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors SIMOTICS

Hoja de datos de motores de jaula de ardilla trifásicos



Motor type / Tipo de motor : 1CV3252B

SIMOTICS XP - 250 M - IM V1 - 4p

Client order no. / Número de pedido del cliente	Item-No. / número de ítem	Offer no. / Número de oferta
Order no. / N°. de pedido Siemens	Consignment no. / Número de envío	Project / Proyecto

Remarks / Nota

Electrical data / Datos eléctricos

II 3G Ex ec IIC T3 Gc

U	Δ / Y	f	P	P	I	n	M	η ³⁾			$\cos\phi$ ³⁾			I_A/I_N	M_A/M_N	M_K/M_N	IE-CL	
[V]		[Hz]	[kW]	[hp]	[A]	[1/min]	[Nm]	4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4	I_A/I_N	T_A/T_N	T_B/T_N		
DOL duty (S1) / Alimentación por red (S1) - 155(F) to 130(B)																		
400	Δ	50	55.00	-/-	96.00	1482	355.0	94.6	95.1	95.0	0.87	0.84	0.76	6.8	2.5	2.9	IE3	
Converter duty (S9) / Alimentación por convertidor (S9) - 155(F) to 130(B)																		
49	Δ	5	3.15		61	141	213				0.83							Voltage source converter, general. third-party converter
205	Δ	25	23		81	736	298				0.86							
380	Δ	50	41.5		78	1486	267				0.85							
380	Δ	100	32.5		66	2975	104				0.84							
IM V1 / IM 3011			FS 250 M		IP55		IEC/EN 60034		IEC, DIN, ISO, VDE, EN									

Environmental conditions / Condiciones ambientales : -20 °C - +40 °C / 1000 m

Locked rotor time (hot / cold) / locked rotor time (hot / cold) : 34.9 s | 55 s

Mechanical data / Datos mecánicos

Sound level (SPL / SWL) at 50Hz/60Hz Nivel sonoro (LpA / LwA) a 50Hz/60Hz	66 / 79 dB(A) ^{2) 3)}	68 / 82 dB(A) ^{2) 3)}	External earthing terminal Borne de tierra externa	Yes (standard) Sí (estándar)
Moment of inertia Momento de inercia	0.8500 kg m ²		Vibration severity grade Nivel de intensidad de vibración	A
Bearing DE NDE Tamaño de rodamiento LA LB			Thermal class Clase de temperatura	F
bearing lifetime / La vida útil de los cojinetes			Duty type Tipo de servicio	S1
L _{10mh} F _{rad} min for coupling operation 50 60Hz ¹⁾	20000 h	16000 h	Direction of rotation Sentido de giro	bidirectional ambas direcciones
L _{10mh} F _{rad} min con transmisión por acoplamiento 50 60Hz ¹⁾			Frame material Material de la carcasa	cast iron fundición gris
Lubricants Lubricante	Unirex N3		Net weight of the motor (IM B3) Peso neto del motor (IM B3)	420 kg
Regreasing device Dispositivo de relubricación	No		Coating (paint finish) Pintura	Standard paint finish C2 Pintura normal C2
Grease nipple Boquilla de engrase	-		Color, paint shade Color	RAL7030
Type of bearing Tipo de rodamientos	Locating bearing NDE Rodamiento fijo en LCA/NDE		Motor protection Protección del motor	(B) 3 PTC thermistors - for tripping (2 terminals) (B) 3 termistores PTC, para desconexión (2 bornes)
Condensate drainage holes Agujeros drenaje de condensado	Yes (standard) Sí (estándar)		Method of cooling Método de refrigeración	IC411 - self ventilated, surface cooled IC411 - ventilación propia, refrigeración superficial

Terminal box / Caja de bornes

Terminal box position Posición de la caja de conexiones	top arriba	Max. cross-sectional area Sección de conductor, máx.	120 mm ²
Material of terminal box Material de la caja de bornes	cast iron Fundición gris	Cable diameter from ... to ... Diámetro de cable de... a...	34 mm - 42 mm
Type of terminal box Tipo	TB1 N01	Cable entry Entrada de cable	2xM63x1,5-2xM20x1,5
Contact screw thread Rosca del tornillo de contacto	M10		

Notes:

I_A/I_N = locked rotor current / current nominal 1) L10mh according to DIN ISO 281 10|2010 3) Value is valid only for DOL operation with motor design IC411
 M_A/M_N = locked rotor torque / torque nominal 2) at rated power / at full load
 M_K/M_N = break down torque / nominal torque

responsible dep. DI MC LVM	technical reference	created by DT Configurator	approved by	Technical data are subject to change! There may be discrepancies between calculated and rating plate values.	Link documents		
	document type datasheet			document status released			
	title 1MB1533-2CB29-0GB4-Z B43+B60+B61+B91+D37+M4B+Q02			document number			
© Siemens AG 2022				rev. 929	creation date 2022-11-21	language en/es	Page 1/2

Data sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors SIMOTICS

Hoja de datos de motores de jaula de ardilla trifásicos



Motor type / Tipo de motor : 1CV3252B

SIMOTICS XP - 250 M - IM V1 - 4p

Special design / Versiones especiales

B43	Version for converter operation with operating data on voltage-source DC link converter <i>Versión para alimentación por convertidor con datos operativos para convertidor indirecto tipo fuente de tensión</i>	B91	Documentation Package "Advanced" <i>Paquete de documentación "Advanced"</i>
		D37	IECEX-certification <i>Certificación IECEX</i>
B60	Document electrical datasheet <i>Documentación hoja con datos eléctricos</i>	M4B	400 VD for 50 Hz <i>400 VD a 50 Hz</i>
B61	Document order dimension drawing <i>Documentación croquis acotado del pedido</i>	Q02	Anti-condensation heating for 230 V (2 terminals) <i>Calefacción anticondensaciones para 230 V (2 bornes)</i>

Additional information: / Información adicional:

Space heaters Resistencias Calefactoras

Technical data: 1-phase, 230 V 92W
Tensión de entrada:

Notes:

responsible dep. DI MC LVM	technical reference	created by DT Configurator	approved by	Technical data are subject to change! There may be discrepancies between calculated and rating plate values.	Link documents
SIEMENS	document type datasheet	document status released			
	title 1MB1533-2CB29-0GB4-Z	document number			
© Siemens AG 2022	B43+B60+B61+B91+D37+M4B+Q02	rev. 929	creation date 2022-11-21		language en/es

Efficiency documentation for 50/60Hz three-phase Squirrel-Cage-Motors SIMOTICS

Efficiency documentation for 50/60Hz three-phase Squirrel-Cage-Motors SIMOTICS



Motor type: 1CV3252B

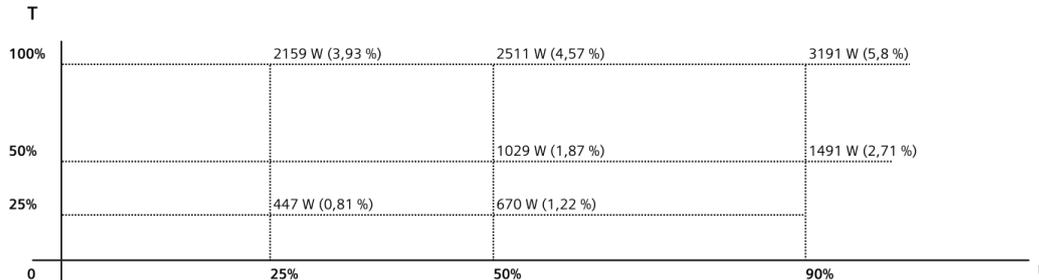
Client order no.	Item-No.	Offer no.
Order no.	Consignment no.	Project

Remarks

General data / Datos generales ¹						
U _N [V]	D/Y	f _N [Hz]	P _N [kW]	I _N [A]	n _N [1/min]	T _N [Nm]
400	Δ	50	55.00	96	1482	355.0

Power losses acc. to. COMMISSION REGULATION (EU) 2019/1781 / Potencia disipada según el REGLAMENTO (UE) 2019/1781 DE LA COMISIÓN				
Operating point Punto de operación	Losses P _L [W] Pérdidas	Relative losses P _L /P _N [%] Relative losses	Efficiency [%] Rendimiento	Voltage [V] tensión
P1 (90/100)	3191	5.8	93.9	362
P2 (50/100)	2511	4.57	91.6	205
P3 (25/100)	2159	3.93	86.4	108
P4 (90/50)	1491	2.71	94.3	354
P5 (50/50)	1029	1.87	93	199
P6 (50/25)	670	1.22	91.1	196
P7 (25/25)	447	0.81	88.5	100

Map of losses - relative losses P_L/P_N [%] / Map of losses - relative losses P_L/P_N [%]



Notes:

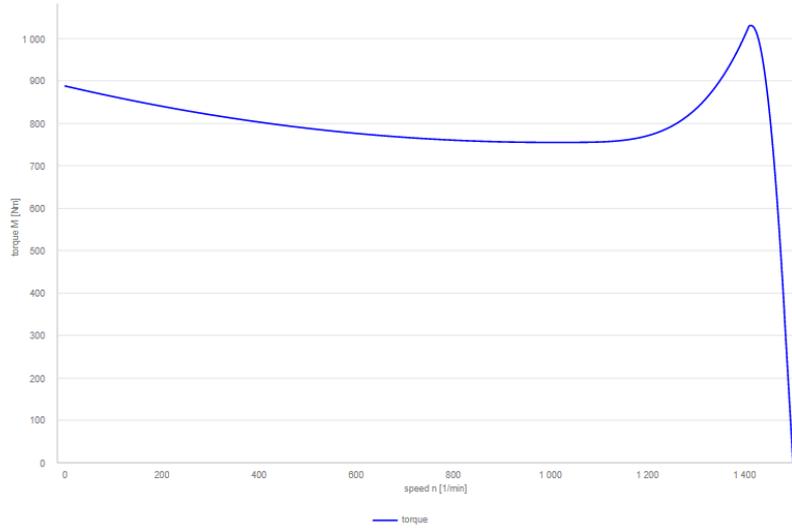
T as relative T: T/T_N [%]

-1: at 40 degrees Celsius and 1000 meters

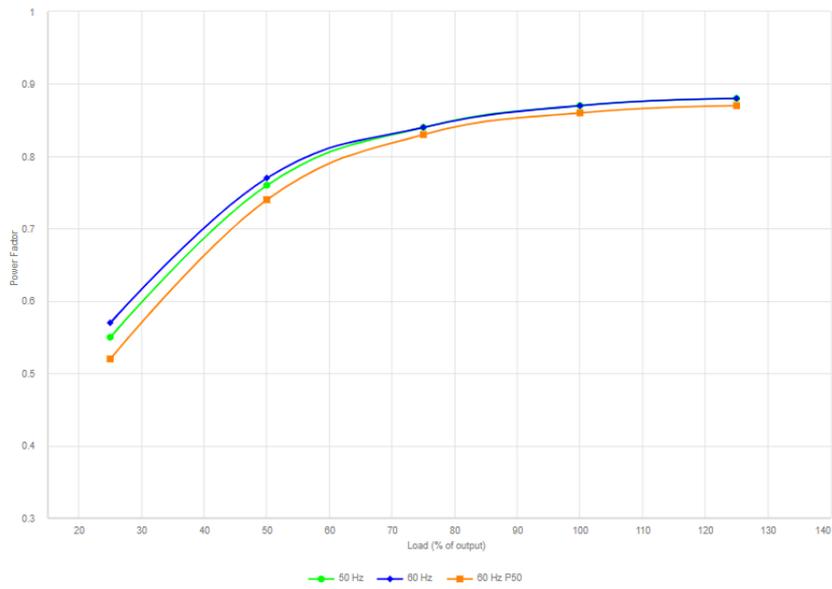
n as relative n: n/n_N [%]

responsible dep. DI MC LVM	technical reference	created by DT Configurator	approved by	Link documents
SIEMENS	document type datasheet	document status released		
	title 1MB1533-2CB29-0GB4-Z B43+B60+B61+B91+D37+M4B+Q02	document number		
© Siemens AG 2022	rev. 740	creation date 2022-11-21	language en/es	Page 1/1

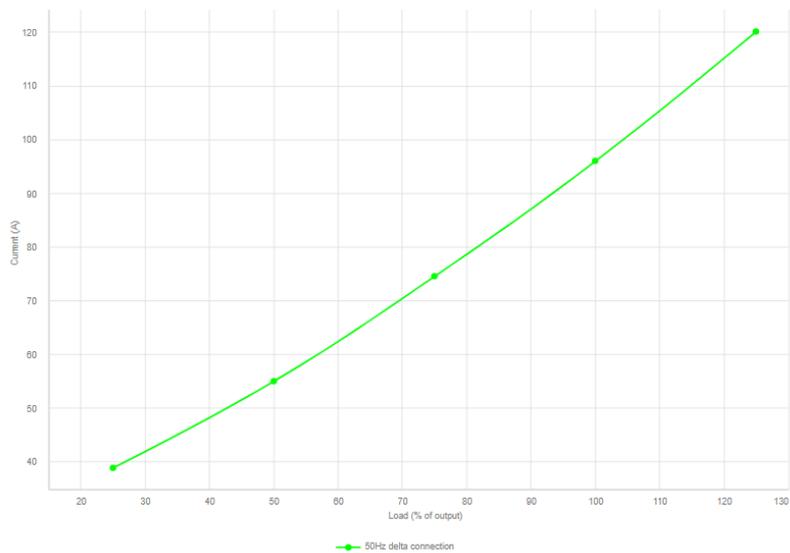
Torque-Speed-Curves

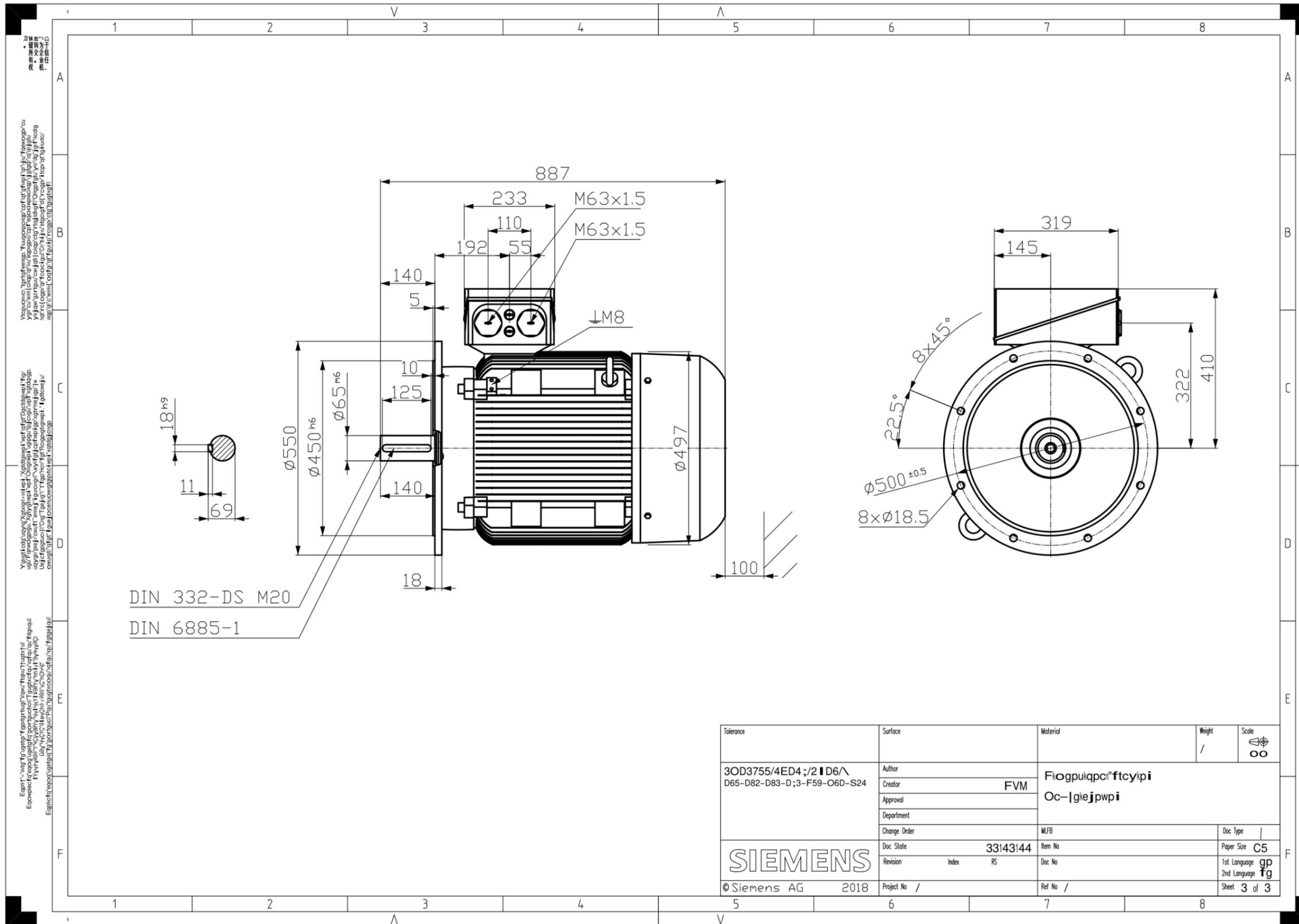


Power Factor



Current (A)





Anexo 2. Hoja de datos motor Weg

Recuperado de <https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Motores-EI%C3%A9ctricos/Motores-IEC-para-%C3%81reas-Clasificadas/A-Prueba-de-Polvo/W22Xec---Seguridad-Aumentada-Ex-ec-DIP-Ex-tc/W22Xec-IE3-55-kW-4P-250S-M-3F-380-400-415-660-690-460-V-50-Hz-IC411---TEFC---B3T/p/12861412>. © 2022 WEG.

	-	Nr.: -																																																				
		Fecha: 21-NOV-2022																																																				
<h2 style="margin: 0;">HOJA DE DATOS</h2> <h3 style="margin: 0;">Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula</h3>																																																						
Cliente : Agustina Pagani Línea del producto : W22Xec Premium Efficiency - IE3 (Ex ec IIC T3 Gc/Ex tc IIIB T125°C Dc)																																																						
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30%;">Carcasa</td><td>: 250S/M</td></tr> <tr><td>Potencia</td><td>: 55 kW</td></tr> <tr><td>Frecuencia</td><td>: 50 Hz</td></tr> <tr><td>Polos</td><td>: 4</td></tr> <tr><td>Rotación nominal</td><td>: 1482 rpm</td></tr> <tr><td>Deslizamiento</td><td>: 1,20 %</td></tr> <tr><td>Voltaje nominal</td><td>: 220/380 V</td></tr> <tr><td>Corriente nominal</td><td>: 179/104 A</td></tr> <tr><td>Corriente de arranque</td><td>: 1380/800 A</td></tr> <tr><td>Ip/In</td><td>: 7,7</td></tr> <tr><td>Corriente en vacío</td><td>: 70,9/41,1 A</td></tr> <tr><td>Par nominal</td><td>: 355 Nm</td></tr> <tr><td>Par de arranque</td><td>: 270 %</td></tr> <tr><td>Par máxima</td><td>: 300 %</td></tr> <tr><td>Categoría</td><td>: ---</td></tr> <tr><td>Clase de aislación</td><td>: F</td></tr> <tr><td>Elevación de temperatura</td><td>: 80 K</td></tr> <tr><td>Tiempo de rotor bloqueado</td><td>: 16 s (caliente)</td></tr> <tr><td>Factor de servicio</td><td>: 1,00</td></tr> <tr><td>Régimen de servicio</td><td>: S1</td></tr> <tr><td>Temperatura ambiente</td><td>: -20°C - +40°C</td></tr> <tr><td>Altitud</td><td>: 1000 m</td></tr> <tr><td>Protección</td><td>: IP55</td></tr> <tr><td>Masa aproximada</td><td>: 500 kg</td></tr> <tr><td>Momento de inercia</td><td>: 1,0498 kgm²</td></tr> <tr><td>Nivel de ruido</td><td>: 64 dB(A)</td></tr> </table>			Carcasa	: 250S/M	Potencia	: 55 kW	Frecuencia	: 50 Hz	Polos	: 4	Rotación nominal	: 1482 rpm	Deslizamiento	: 1,20 %	Voltaje nominal	: 220/380 V	Corriente nominal	: 179/104 A	Corriente de arranque	: 1380/800 A	Ip/In	: 7,7	Corriente en vacío	: 70,9/41,1 A	Par nominal	: 355 Nm	Par de arranque	: 270 %	Par máxima	: 300 %	Categoría	: ---	Clase de aislación	: F	Elevación de temperatura	: 80 K	Tiempo de rotor bloqueado	: 16 s (caliente)	Factor de servicio	: 1,00	Régimen de servicio	: S1	Temperatura ambiente	: -20°C - +40°C	Altitud	: 1000 m	Protección	: IP55	Masa aproximada	: 500 kg	Momento de inercia	: 1,0498 kgm ²	Nivel de ruido	: 64 dB(A)
Carcasa	: 250S/M																																																					
Potencia	: 55 kW																																																					
Frecuencia	: 50 Hz																																																					
Polos	: 4																																																					
Rotación nominal	: 1482 rpm																																																					
Deslizamiento	: 1,20 %																																																					
Voltaje nominal	: 220/380 V																																																					
Corriente nominal	: 179/104 A																																																					
Corriente de arranque	: 1380/800 A																																																					
Ip/In	: 7,7																																																					
Corriente en vacío	: 70,9/41,1 A																																																					
Par nominal	: 355 Nm																																																					
Par de arranque	: 270 %																																																					
Par máxima	: 300 %																																																					
Categoría	: ---																																																					
Clase de aislación	: F																																																					
Elevación de temperatura	: 80 K																																																					
Tiempo de rotor bloqueado	: 16 s (caliente)																																																					
Factor de servicio	: 1,00																																																					
Régimen de servicio	: S1																																																					
Temperatura ambiente	: -20°C - +40°C																																																					
Altitud	: 1000 m																																																					
Protección	: IP55																																																					
Masa aproximada	: 500 kg																																																					
Momento de inercia	: 1,0498 kgm ²																																																					
Nivel de ruido	: 64 dB(A)																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;"></th> <th style="width: 20%;">Delantero</th> <th style="width: 20%;">Trasero</th> <th style="width: 20%;">Carga</th> <th style="width: 20%;">Factor de potencia</th> <th style="width: 20%;">Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rodamiento</td> <td>6314 C3</td> <td>6314 C3</td> <td>100%</td> <td>0,85</td> <td>94,6</td> </tr> <tr> <td>Intervalo de lubricación</td> <td>14000 h</td> <td>14000 h</td> <td>75%</td> <td>0,80</td> <td>94,6</td> </tr> <tr> <td>Cantidad de grasa</td> <td>27 g</td> <td>27 g</td> <td>50%</td> <td>0,69</td> <td>94,3</td> </tr> </tbody> </table>				Delantero	Trasero	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)	Rodamiento	6314 C3	6314 C3	100%	0,85	94,6	Intervalo de lubricación	14000 h	14000 h	75%	0,80	94,6	Cantidad de grasa	27 g	27 g	50%	0,69	94,3																												
	Delantero	Trasero	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)																																																	
Rodamiento	6314 C3	6314 C3	100%	0,85	94,6																																																	
Intervalo de lubricación	14000 h	14000 h	75%	0,80	94,6																																																	
Cantidad de grasa	27 g	27 g	50%	0,69	94,3																																																	
Observaciones:																																																						
Rendimiento de acuerdo con el método indirecto de IEC 60034-1:2007 con pérdidas aleatorias de la carga determinadas de las medidas.																																																						
Ejecutante		Verificado																																																				
-		-																																																				

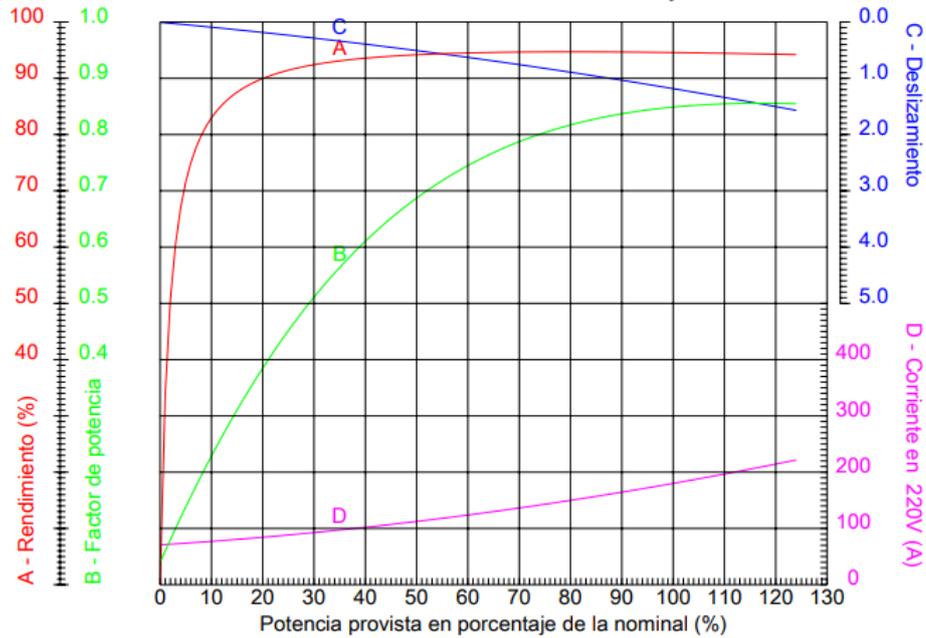


Nr.: -

Fecha: 21-NOV-2022

CURVAS CARACTERÍSTICAS EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA

Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula



Cliente	: Agustina Pagani
Línea del producto	: W22Xec Premium Efficiency - IE3 (Ex ec IIC T3 Gc/Ex tc IIIB T125°C Dc)

Carcasa	: 250S/M	Ip/In	: 7,7
Potencia	: 55 kW	Régimen de servicio	: S1
Frecuencia	: 50 Hz	Factor de servicio	: 1,00
Rotación nominal	: 1482 rpm	Categoría	: ---
Voltaje nominal	: 220/380 V	Par de arranque	: 270 %
Corriente nominal	: 179/104 A	Par máxima	: 300 %
Clase de aislación	: F		

Observaciones:

Ejecutante	Verificado
-	-

Anexo 3. Hoja de datos variador de frecuencia Weg

Recuperado de <https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Drives/Convertidores-de-Frecuencia/Drives-para-Sistemas-Industriales/Convertidor-de-Frecuencia-CFW11/CONVERTIDOR-CFW110105T4OYZ/p/11220384>. © 2022 WEG.

HOJA DE DATOS

Convertidores de Frecuencia



Características principales



Referencia : EUCFW110105T4O55YZ
Codigo del producto : 14538842
Linea de producto : CFW11

Datos básicos

Tensión nominal de entrada : 380-480 V
Tensión mínima/máxima de entrada :
Número de fases :
De entrada :
De salida : 3

Rango de tensiones de alimentación	380-480 V	
Régimen de sobrecarga	Normal (ND)	Pesada (HD)
Corriente nominal	105 A	88 A
Corriente de sobrecarga 60 s	115A	132A
Corriente de sobrecarga 3 s	157A	176A

Motor aplicable máximo

Voltaje/frecuencia	Potencia (HP / kW) [1]	
	Sobrecarga Normal (ND)	Sobrecarga Pesada (HD)
380V / 50Hz	75 / 55	60 / 45
380V / 60Hz	75 / 55	60 / 45
400V / 50Hz	75 / 55	60 / 45
400V / 60Hz	75 / 55	60 / 45
440V / 50Hz	75 / 55	60 / 45
440V / 60Hz	75 / 55	60 / 45
460V / 60Hz	75 / 55	75 / 55
480V / 60Hz	75 / 55	75 / 55

Frenado reostático [2] : Estándar sin frenado reostático
Alimentación de la electrónica : Interna
Parada de Seguridad : Sí
Filtro RFI interno [3] : Con filtro (categoría C3)
Filtro externo : No disponible
Inductor do Link : Sí
Tarjeta e memoria : Incluso en el producto
Puerta USB : Estándar en el producto
Frecuencia de la red : 50/60Hz
Rango de Frecuencia de la red (mínima-máxima) : 48-62 Hz
Desbalanceo de fase : Menor o igual a 3% da la tensión de línea nominal de entrada
Tensiones transientes y sobretensiones : Categoría III
Corriente nominal de entrada monofásica :
- Sobrecarga (ND) :
- Sobrecarga (HD) :
Corriente nominal de entrada trifásica :
- Sobrecarga (ND) : 105A
- Sobrecarga (HD) : 88A
Factor de potencia típico de entrada : 0,94
Factor desplazamiento típico : 0,98
Rendimiento típico en condiciones nominales : $\geq 98\%$
Numero máximo de interrupciones en la energización por hora : 60
Alimentación da potencia en corriente continua :
Frecuencia de conmutación estándar :
- Sobrecarga ND : 2,5 kHz
- Sobrecarga HD : 2,5 kHz
Frecuencia de conmutacion seleccionable : 1,25; 2; 2,5 y 5 kHz
Reloj tiempo real : Sí, en la HMI
Función Copy : Sí, por HMI/MMF
Potencia disipada:

Tipo de montaje	Sobrecarga		Sobrecarga (*)	
	ND	HD	ND	HD
En superficie	1270 W	1020 W	No aplicable	No aplicable
En brida	200 W	190 W	No aplicable	No aplicable

Fuente disponible para el usuario

Tensión de salida : 24 Vcc
Capacidad máxima : 500 mA

01/11/2023

Las informaciones contenidas son valores referencia. Sujetas a cambios sin previo aviso.

Pagina 1 / 4

HOJA DE DATOS

Convertidores de Frecuencia



Datos de control/rendimiento

Alimentación	: Fuente de alimentación conmutada
Métodos de Control - Motor de inducción	: V/f, VVW, Vectorial y motor PM
Interfaz encoder	: Solamente con accesorio en el 'Slot 2'
Frecuencia de salida del control [5]	: 0 a 300 Hz
Resolución de frecuencia	: Equivalente a 1 rpm
Control V/F	
- Regulación de velocidad	: 1% de la velocidad nominal
- Variación de velocidad	: 1:20
Control VVW	
- Regulación de velocidad	: 1% de la velocidad nominal
- Variación de velocidad	: 1:30
Control vectorial sensorless	
- Regulación de velocidad	: 0,5% de la velocidad nominal
- Variación de velocidad	: 1:100
Control vectorial con encoder	
- Regulación de velocidad	: 0,05% de la velocidad nominal
- Variación de velocidad	: Hasta 0 rpm

Entradas analógicas

Cantidad (estándar)	: 2
Niveles	: 0-10V, 0/4-20mA y -10-+10V
Impedancia	
- Impedancia para entrada de voltaje	: 400 kΩ
- Impedancia para entrada en corriente	: 500 Ω
Función	: Programable
Tensión máxima permitida	: ± 30 Vcc

Entradas digitales

Cantidad (estándar)	: 6
Activación	: Activo bajo y alto
Máximo nivel bajo	: 3 V
Nivel alto mínimo	: 18 V
Corriente de entrada	: 11 mA
Corriente máxima de entrada	: 13,5 mA
Función	: Programable
Tensión máxima permitida	: 30 Vcc

Salidas analógicas

Cantidad (estándar)	: 2
Niveles	: 0 a 10V, 0 a 20mA y 4 a 20mA
RL para salida en tensión	: 10 kΩ
RL para salida de corriente	: 500 Ω
Función	: Programable

Salidas digitales

Cantidad (estándar)	: 3 relés NA/NF
Tensión máxima	: 240 Vca
Corriente máxima	: 1 A
Función	: Programable

Comunicación

- Modbus-RTU (con accesorio: RS485-01; RS485-05; CAN/RS485-01; RS232-01 o RS232-05)
- Modbus/TCP (con accesorio: MODBUSTCP-05)
- Profibus DP (con accesorio: PROFDP-05)
- Profibus DPV1 (con accesorio: PROFIBUS DP-01)
- Profinet (con accesorio: PROFINETIO-05)
- CANopen (con accesorio: CAN/RS485-01 o CAN-01)
- DeviceNet (con accesorio: DEVICENET-05; CAN/RS485-01 o CAN-01)
- EtherNet/IP (con accesorio: ETHERNET/IP-05 o ETHERNETIP-2P-05)
- EtherCAT (con accesorio: ETHERCAT-01)
- BACnet (con accesorio: RS485-01 o CAN/RS485-01)

Protecciones disponibles

- Sobrecorriente/Cortocircuito en la salida
- Falta de fase
- Sub/Sobretensión en la potencia
- Sobretemperatura
- Sobrecarga del motor
- Sobrecarga en los módulos IGBT
- Falla / Alarma externo
- Sobrecarga en la resistencia de frenado
- Falta en la CPU o memoria
- Cortocircuito fase-tierra en la salida

Interfaz de operación (HMI)

Disponibilidad	: Incluido en el producto
Instalación HMI	: Local
Cantidad de teclas HMI	: 9

01/11/2023

Las informaciones contenidas son valores referencia. Sujetas a cambios sin previo aviso.

Página 2 / 4

HOJA DE DATOS

Convertidores de Frecuencia



Interfaz de operación (HMI)

Display	: LCD Gráfico
Exactitud de la indicación de corriente	: 5% de la corriente nominal
Resolución de velocidad	: 1 rpm
Grado de protección de la HMI estándar	: IP56
Tipo de batería de la HMI	: CR2032
Esperanza de vida de la batería	: 10 años
Tipo de la HMI remota	: Extraíble del convertidor
Marco de la HMI remota	: Accesorio
Grado de protección de la HMI remota	: IP56

Condiciones ambientales

Grado de protección	: IP55
Grado de contaminación	: 2 (EN50178 y UL508C)
Temperatura	
- Mínima	: -10 °C
- Nominal [4]	: 40 °C
Factor de reducción de corriente [5]	: 2 % por °C de 40 a 50 °C
Humedad relativa (sin condensación)	
- Mínima	: 5%
- Máxima	: 90%
Altitud	
- Condiciones nominales	: 1000 m (3281 ft)
- Máxima permitida para operación (con factor de reducción)	: 4000 m (13123 ft)
Factor de reducción del corriente[6]	
- De corriente (para altitudes superiores a la nominal)	: 1% por cada 100 m arriba (0,3% por cada 100 pies arriba)
- De voltaje (para altitudes superiores a 2000 m / 6562 ft)	: 1,1% para cada 100 m arriba (0,3% por cada 100 pies arriba)

Políticas de sostenibilidad

RoHS	: Si
Conformal Coating	:

Dimensiones

Tamaño	: E
Altura	: 1000 mm / 39.4 in
Anchura	: 430 mm / 16.9 in
Profundidad	: 389 mm / 15.3 in
Peso	: 96 kg / 211.6 lb

Instalación mecánica

Posición de montaje	: En superficie o brida
Tomillo de fijación	: M8
Torque de apriete	: 20 N.m / 14.76 lb.ft
Permite montaje lado a lado	: No
Espacio mínimo alrededor del inversor	
- Superior	: 100 mm / 3.9 in
- Inferior	: 130 mm / 5.12 in
- Frontal	: 20 mm / 0.78 in
- Entre inversores (IP20)	: 40 mm / 1.57 in

Conexiones eléctricas

Calibres y pares de apriete:

	Calibre de cable recomendado a 75° C	Par de apriete recomendado
Potencia		
Frenado	No aplicable	
Aterramiento		
Control	0,5 a 1,5 mm ² (20 a 14 AWG)	0,5 N.m / 0.37 lb.ft

Especificaciones complementares

Corriente máxima de frenado	: No disponible
Resistencia mínima para el resistor de frenado	: No disponible
Fusible aR recomendado [6]	: FNH00-160K-A
Fusible aR recomendado [6]	: No aplicable
Interruptor recomendado [6]	: ACW125H-FMU125-3
Interruptor recomendado [6]	: No aplicable

Normas

Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - UL 508C - Equipo de conversión de energía. - UL 840 - Insulation coordination incluyendo clearances y falta de información para el equipo. - EN 61800-5-1 - Requisitos de seguridad eléctrica, térmica y energética. - EN 50178 - Equipo electrónico para instalaciones eléctricas - EN 60204-1 - Safety of machinery. Electrical equipment of machines. Part 1: General requirements. Nota: Para tener una máquina de acuerdo con esta norma, el fabricante de la máquina es responsable de instalar un dispositivo de parada de emergencia y desconexión de la red. - EN 60146 (IEC 146) - Convertidores de semiconductores.
-----------	---

01/11/2023

Las informaciones contenidas son valores referencia. Sujetas a cambios sin previo aviso.

Página 3 / 4

HOJA DE DATOS

Convertidores de Frecuencia



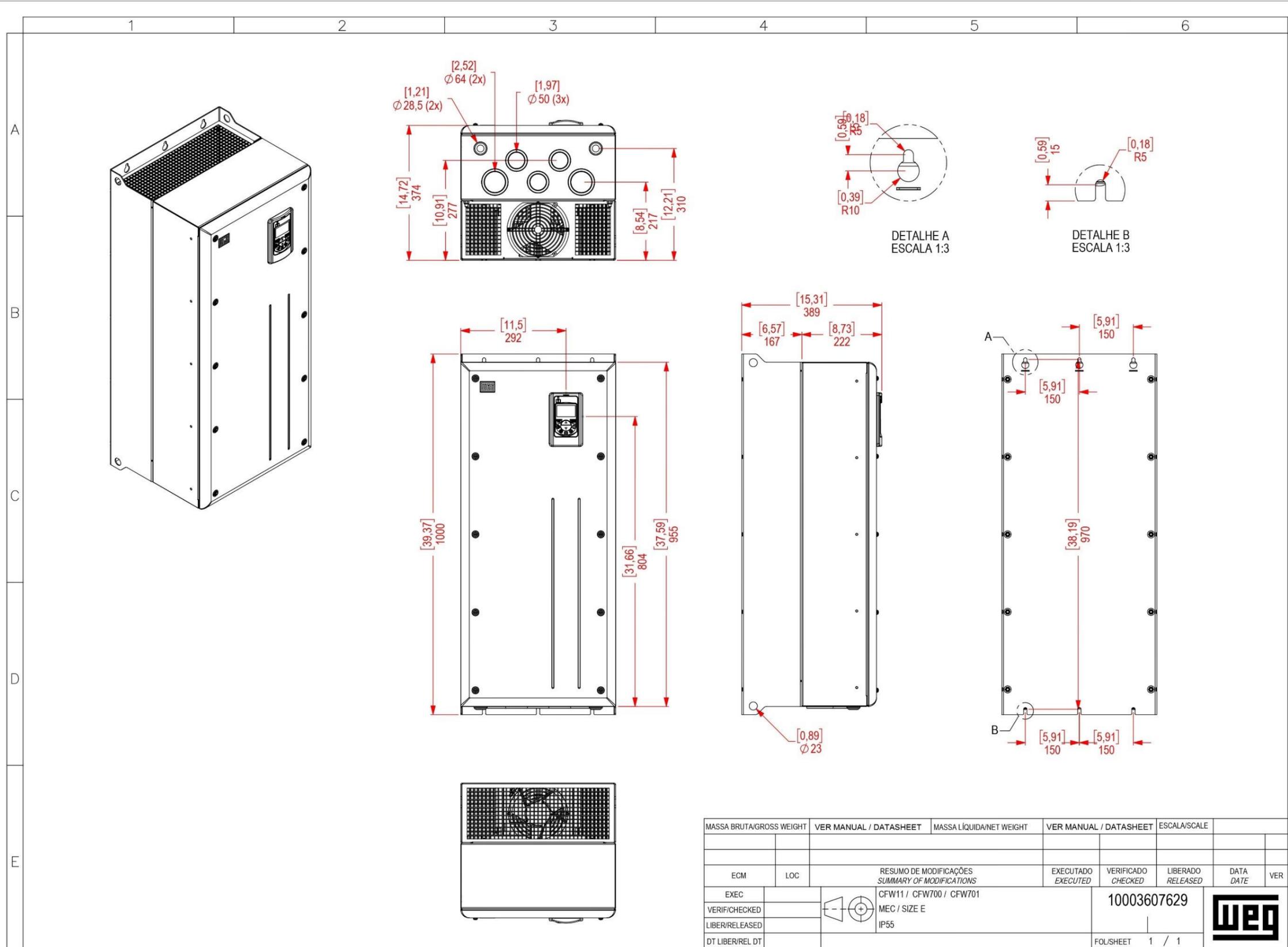
	- EN 61800-2 - Adjustable speed electrical power drive systems - Part 2: General requirements - Rating specifications for low voltage adjustable frequency AC power drive systems.
Compatibilidad electromagnética	<p>EN 61800-3 - Adjustable speed electrical power drive systems - Part 3: EMC product standard including specific test methods.</p> <p>- EN 55011 - Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment.</p> <p>- CISPR 11 - Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment</p> <p>- Eletromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement.</p> <p>- EN 61000-4-2 - Eletromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 2: Eletrostatic discharge immunity test.</p> <p>- EN 61000-4-3 - Eletromagnetic compatibility (EMC) - Part4: Testing and measurement techniques - Section 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test.</p> <p>- EN 61000-4-4 - Compatibilidad electromagnética (EMC) - Parte 4: Técnicas de ensayo y medición - Sección 4: Prueba de inmunidad eléctrica rápida por impulso / burst.</p> <p>- EN 61000-4-5 - Compatibilidad electromagnética (EMC) - Part4: Pruebas y medidas de medida - Sección 5: Surge immunity test.</p> <p>- EN 61000-4-6 - Compatibilidad electromagnética (EMC) - Part4: Pruebas y medidas de medida - Sección 6: Inmunidad a las perturbaciones provocadas por los campos de radio.</p>
Construcción mecánica	<p>- EN 60529 - Degrees de protección proporcionados por los acuerdos (IP code).</p> <p>- UL 50 - Enclosures for electric equipment.</p> <p>- EN 60529 e UL 50</p>

Certificaciones

Notas

- 1) Potencias orientativas de motores, válidas para motores WEG estándar de IV polos. El correcto dimensionamiento debe hacerse según la corriente nominal del motor utilizado, que debe ser menor o igual a la corriente nominal de salida del convertidor;
- 2) Resistor de frenado no está incluido;
- 3) Con categoría de nivel de emisión conducida;
- 4) Sin reducción de corriente y con espacios mínimos;
- 5) Para temperaturas superiores a la temperatura nominal y máxima (con reducción de corriente y con espacios mínimos);
- 6) Para altitudes arriba de la especificada;
- 7) Todas las imágenes son meramente ilustrativas;
- 8) Para obtener más información, consulte el manual de usuario del CFW-11 (tamaño E).

01/11/2023	Las informaciones contenidas son valores referencia. Sujetas a cambios sin previo aviso.	Pagina 4 / 4
------------	--	--------------



MASSA BRUTA/GROSS WEIGHT	VER MANUAL / DATASHEET	MASSA LÍQUIDA/NET WEIGHT	VER MANUAL / DATASHEET	ESCALA/SCALE		
ECM	LOC	RESUMO DE MODIFICAÇÕES SUMMARY OF MODIFICATIONS		EXECUTADO EXECUTED	VERIFICADO CHECKED	LIBERADO RELEASED
EXEC		CFW11 / CFW700 / CFW701				
VERIFICADO		MEC / SIZE E				10003607629
LIBERADO		IP55				
DT LIBER/REL DT				FOL/SHEET	1 / 1	

Propriedade da WEG. Proibida reprodução sem autorização prévia./ WEG's property. Forbidden reproduction without previous authorization.

Anexo 4. Hoja de datos transformador TMC

Extraído de «TRANSFORMADORES SECOS ENCAPSULADOS».

Recuperado de

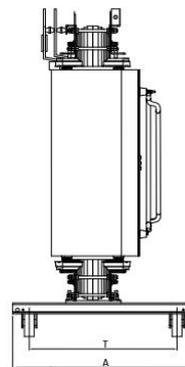
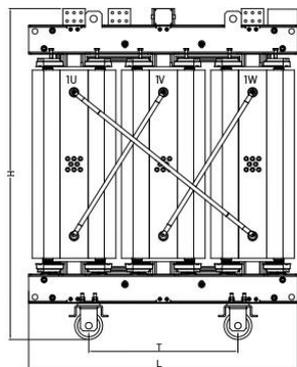
https://www.tmc sudamerica.com.ar/pdf/tmc_sudamerica_50Hz.pdf.

© 2017 - TRANSFORMERS MARKETING COMPANY
SUDAMÉRICA S.A.

Norma IEC 60076 - 11 Ucc 6% - 50 Hz

17,5 kV - 24 kV

Potencia [kVA]	Perdidas categoría	Po [W]	Pk 120° C [W]	Io [%]	LpA/LwA [dB (A)]	L [mm]	A [mm]	H [mm]	T [mm]	Peso [kg]
100	estandar	460	2050	1.9	47/59	1100	750	1250	520	700
	reducidas	340	2050	1.7	39/51	1200	750	1250	520	850
	alta eficiencia	280	1800	1.6	39/51	1250	750	1300	520	900
160	estandar	650	2800	1.7	54/62	1150	750	1250	520	750
	reducidas	480	2800	1.6	42/54	1250	750	1250	520	900
	alta eficiencia	400	2600	1.4	42/54	1300	750	1300	520	950
250	estandar	880	3800	1.5	52/65	1200	800	1350	520	950
	reducidas	650	3800	1.3	44/57	1250	800	1400	520	1000
	alta eficiencia	520	3400	1.2	44/57	1350	800	1450	520	1150
315	estandar	1020	4500	1.4	54/67	1200	800	1400	670	1050
	reducidas	780	4500	1.3	53/66	1300	800	1400	670	1150
	alta eficiencia	620	3900	1.1	51/64	1400	800	1500	670	1350
400	estandar	1200	5500	1.3	55/68	1300	850	1400	670	1200
	reducidas	940	5500	1.2	47/60	1350	850	1450	670	1300
	alta eficiencia	750	4500	1.0	47/60	1500	850	1600	670	1700
500	estandar	1400	6400	1.2	57/70	1300	850	1500	670	1350
	reducidas	1070	6400	1.1	56/69	1400	850	1500	670	1500
	alta eficiencia	900	5600	1.0	53/67	1500	850	1650	670	1900
630	estandar	1650	7600	1.1	56/70	1400	900	1600	670	1650
	reducidas	1250	7600	1.0	48/62	1450	900	1600	670	1750
	alta eficiencia	1100	7100	0.9	48/62	1500	900	1750	670	2000
800	estandar	2000	9400	1.1	58/72	1400	900	1750	670	1900
	reducidas	1500	9400	1.0	50/64	1500	900	1750	670	2150
	alta eficiencia	1300	8000	0.9	50/64	1600	900	1900	670	2450
1000	estandar	2300	11000	1.0	59/73	1450	1000	1800	820	2200
	reducidas	1800	11000	0.9	51/65	1550	1000	1800	820	2400
	alta eficiencia	1550	9000	0.8	51/65	1700	1000	1950	820	2900
1250	estandar	2800	13000	0.9	60/76	1550	1000	1950	820	2700
	reducidas	2100	13000	0.8	52/67	1650	1000	1950	820	3000
	alta eficiencia	1800	11000	0.8	52/67	1800	1000	2100	820	3500
1600	estandar	3100	16000	0.9	61/76	1700	1000	2050	820	3300
	reducidas	2400	16000	0.8	53/68	1700	1000	2100	820	3500
	alta eficiencia	2200	13000	0.7	53/68	1850	1000	2200	820	4100
2000	estandar	4000	18000	0.8	63/78	1800	1310	2200	1070	4100
	reducidas	3000	18000	0.7	55/70	1850	1310	2200	1070	4300
	alta eficiencia	2600	16000	0.7	55/70	1900	1310	2500	1070	5000
2500	estandar	5000	23000	0.8	65/81	2000	1310	2400	1070	5300
	reducidas	3600	23000	0.7	55/71	2050	1310	2450	1070	5600
	alta eficiencia	3100	19000	0.6	55/71	2050	1310	2550	1070	6200
3000	estandar	5770	26800	0.7	66/82	2100	1310	2400	1070	6300
	reducidas	4440	26800	0.7	64/80	2150	1310	2450	1070	6900
	alta eficiencia	3640	21300	0.6	62/78	2150	1310	2600	1070	7500
3150	estandar	6000	28000	0.7	67/85?	2100	1310	2400	1070	6300
	reducidas	4300	28000	0.7	58/74	2150	1310	2450	1070	6900
	alta eficiencia	3800	22000	0.6	58/74	2250	1310	2600	1070	7500



Anexo 5. Hoja de datos celdas Schneider

Extraído de catálogo «SM6 Solución modular Catálogo 2022 Celdas aislamiento aire hasta 36kV». Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=ESMKT01228K22&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%C3%A1logo+SM6+2022_ESMKT01228K22.pdf. © 2020 Schneider Electric.

Características generales

Características principales



Los valores indicados son válidos para una temperatura de funcionamiento de -5 °C a +40 °C, y para una altura de instalación máxima de 1000 metros.

Características eléctricas

Tensión nominal	Ur	kV	7.2	12	17.5	24	36
Nivel de aislamiento							
Aislamiento	Ud	50/60 Hz, 1 min (kV rms)	20	28	38	50	70
Aislamiento	Ud	50/60 Hz, 1 min (kV rms)	23	32	45	60	80
Aislamiento	Up	1.2/50 µs (kV pico)	60	75	95	125	170
Aislamiento	Up	1.2/50 µs (kV pico)	70	85	110	145	195
Poder de corte							
Desconexión de cargas del transformador	A		16				
Desconexión de cargas de cables	A		31.5		50		
Intensidad asignada	Ir	A	400		630 - 1250		630-1250
Intensidad de corta duración admisible	Ik/tk ⁽¹⁾	kA/1 s	25	630 - 1250		1250	
			20 ⁽²⁾	630 - 1250			
			16	630 - 1250			
			12.5	400 - 630 - 1250		630-1250	
Poder de cierre (50 Hz)	Ima	kA	62.5	630	NA		
			50	630			
			40	630			
			31.25	400 - 630		630	
Poder de corte máximo (Isc)							
Unidades	IM, IMC, IMB, IMM	A	630 - 800 ⁽³⁾		630		
NSM cables, NSM embarrados	A		630 - 800 ⁽³⁾		NA		
QM, QMC, QMB	kA		25	20		20	
PM	kA		25		20		
CVM	kA		6.3	NA			
CVM con fusibles	kA		25		NA		
Gama de interruptores automáticos con SF6							
DM1-A, DM1-D, DM1-W	kA	25	630-1250		1250		
			20		630-1250		
DM1-S, DM1-M	kA	25	630		NA		
DM1-Z	kA	25	1250		NA		
DM2	kA	20	630				
		25	630		1250		
Gama de interruptores automáticos en vacío							
DMV-A, DMV-D, DMV-S	kA	25	630-1250		NP		
DMVL-A	kA	20	630		NP		
DMVL-D	kA	25	630		NP		

NP: No disponible.

(1) Trifásico.

(2) In 20 kA / 3 s solo para SM6-24, consúltanos.

(3) In 800 A, consúltanos.

(4) N.P. para SM6-36.

Características generales

Características principales



Endurancia

Unidades		Endurancia mecánica	Endurancia eléctrica
IM, IMC, IMB, IMM, PM, QM ⁽¹⁾ , QMC ⁽¹⁾ , QMB ⁽¹⁾ , NSM cables, NSM embarrados		IEC 62271-103 1 000 maniobras clase M1	IEC 62271-103 100 cortes a Ir, p.f. = 0,7, clase E3
CVM	Seccionador	IEC 62271-102 1 000 maniobras	
	Contactador en vacío	IEC 60470 2 500 000 maniobras 250 000 con enclavamiento mecánico	IEC 60470 250 000 cortes a Ir
Gama de interruptores automáticos con SF6			
DM1-A, DM1-D, DM1-M, DM1-W, DM1-Z, DM1-S, DM2	Seccionador	IEC 62271-102 1 000 maniobras	
	Interruptor automático SF	IEC 62271-100 10 000 maniobras clase M2	IEC 62271-100 30 cortes a 12,5 kA para SM6-24 25 cortes a 25 kA para SM6-24 40 cortes a 16 kA para SM6-36 15 cortes a 25 kA para SM6-36 10 000 cortes a Ir, f.p. = 0,7, clase E2
	Secuencia de funcionamiento		A - 0,3 s - CA - 15 s - CA A - 0,3 s - CA - 3 mn A - 3 mn - CA - 3 mn - CA
Gama de interruptores automáticos en vacío			
DMV-A, DMV-D	Interruptor	IEC 62271-103 1 000 maniobras clase M1	IEC 62271-103 100 cortes a Ir, f.p. = 0,7, clase E3
	Interruptor automático Evolis	IEC 62271-100 10 000 maniobras clase M2	IEC 62271-100 100 cortes a 25kA para SM6-24 10 000 cortes a Ir, f.p. = 0,7, clase E2
DMVL-A, DMVL-D	Seccionador	IEC 62271-102 1 000 maniobras	
	Interruptor automático Evolis	IEC 62271-100 10 000 maniobras clase M2	IEC 62271-100 100 cortes a 16kA para SM6-24 100 cortes a 25kA para SM6-24 10 000 cortes a Ir, f.p. = 0,7, clase E2

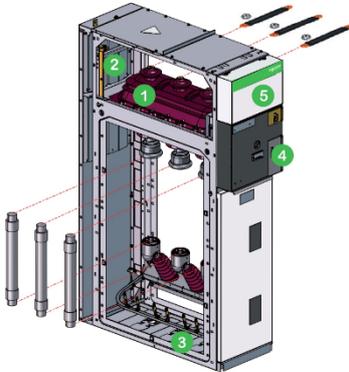
⁽¹⁾ Según recomendación IEC 62271-105, tres cortes a f.p. = 0,2.
800 A por debajo de 36 kV; 1400 A por debajo de 24 kV; 1730 A por debajo de 12 kV; 2600 A por debajo de 5,5 kV.

Resistencia a arco interno (conforme a IEC 62271-200)

SM6-24	Básico	• 12,5 kA 1 s, IAC: A-FL
	Avanzado	• 12,5 kA 1 s, IAC: A-FLR
		• 16 kA 1 s, IAC: A-FLR & IAC: A-FL • 20 kA 1 s, IAC: A-FLR & IAC: A-FL
SM6-36		• 16 kA 1 s, IAC: A-FL

Características generales

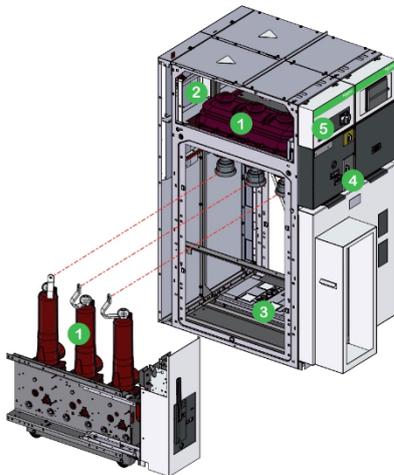
Descripción de las celdas prefabricadas



Celda interruptor o interruptor ruptofusible

- 1 Aparamenta** Interruptor en carga y seccionador de puesta a tierra en el interior de una celda llena de **SF6** que cumple los requisitos de "sistemas de sellado a presión".
- 2 Embarrados** Todos en el mismo plano horizontal, lo cual permite ampliaciones posteriores del cuadro de distribución y la conexión a equipos ya existentes.
- 3 Conexión** Accesible desde el frontal; conexión del interruptor en carga inferior y los bornes del seccionador de puesta a tierra (celdas IM) o los portafusibles inferiores (celdas PM y QM). Este compartimento está también equipado con un seccionador de puesta a tierra aguas abajo de los fusibles de MT para las unidades de protección.
- 4 Mando** Contiene los elementos que permiten maniobrar el interruptor en carga y el seccionador de puesta a tierra, además de señalar las maniobras correspondientes (corte positivo).
- 5 Baja tensión** Instalación de un bornero (con la opción de motorización), fusibles de BT y relés compactos. Si se necesita más espacio, se puede añadir un compartimento adicional en la parte superior.

Opciones: consultar el capítulo "Características de las unidades funcionales".



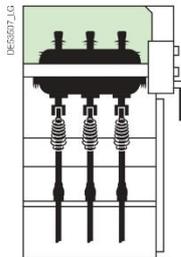
Celda interruptor automático con SF6

- 1 Aparamenta** Seccionador y seccionador de puesta a tierra en el interior de la celda llena de **SF6** y un interruptor automático en vacío que cumple con los requisitos de "sistemas de sellado a presión".
- 2 Embarrados** Todos en el mismo plano horizontal, lo cual permite ampliaciones posteriores del cuadro de distribución y la conexión a equipos ya existentes.
- 3 Conexión y aparatamiento** Hay dos opciones de interruptores automáticos.
 - SF1: combinado con un relé electrónico y sensores estándar (con o sin alimentación auxiliar).
 - SFset: conjunto autónomo equipado con un sistema de protección electrónico y sensores especiales (no se necesita alimentación auxiliar).
- 4 Mando** Contiene los elementos que permiten maniobrar el seccionador, seccionador de puesta a tierra y el interruptor automático, además de señalar las maniobras correspondientes.
- 5 Baja tensión** Instalación de relés compactos y cajas de bornes de prueba. Si se necesita más espacio, se puede añadir un compartimento adicional en la parte superior.

Opciones: consultar el capítulo "Características de las unidades funcionales".

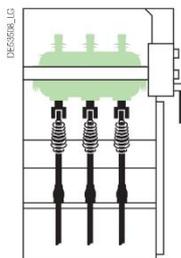
Características generales

Descripción de compartimentos y dispositivos



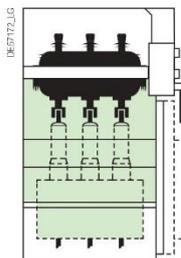
Compartimento de juego de barras

Los tres embarrados aislados se instalan en paralelo. La conexión se efectúa en las piezas superiores del compartimento mediante un deflector de campo con tornillos cautivos integrados.
Rango de 400 (solo para SM6-24) - 630 - 1250 A.

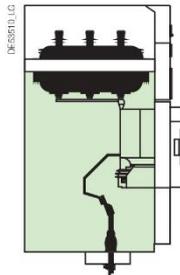


Compartimento de aparamenta

Este dispositivo separa el compartimento de juego de barras y el compartimento de conexión mediante la propia cuba que integra el interruptor, el seccionador y el seccionador de puesta a tierra.



Celda de interruptor automático en SF6 o vacío (disposición lateral)



Celda de interruptor automático en vacío (disposición frontal)

Compartimento de conexión

Los cables de red se conectan:

- A los bornes del interruptor.
- A los portafusibles inferiores.
- O a las piezas de conexión del interruptor automático.

Los cables pueden ser:

- Con extremos montados en frío para tipo seco.

Con el equipo básico, la sección transversal de cable máxima permitida es:

- 630 mm² o 2 x 400 mm² para unidades de entrada o salida de 1250 A.
- 240 mm² o 2 x 240 mm² para unidades de entrada o salida de 400 - 630 A.
- 95 mm² para celdas de interruptor ruptofusible.

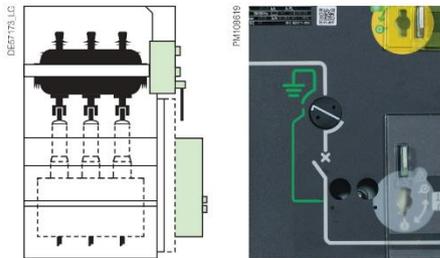
Ver el capítulo de características de las unidades funcionales en cuanto a la sección transversal permitida en cada unidad. El seccionador de puesta a tierra debe estar cerrado antes de acceder a la celda. La escasa profundidad de la celda facilita la conexión de todas las fases.

Un borne incorporado en el deflector de campo permite posicionar y asegurar el terminal del cable con una sola mano.

Características generales

Descripción de compartimentos y dispositivos

Cubierta con mando



Estas cubiertas contienen diversas funciones destinadas a:

- El interruptor y seccionador de puesta a tierra.
- El seccionador.
- El interruptor automático.
- El contactor y los indicadores de presencia de tensión.

Te es posible acceder a la cubierta con mando con los cables y embarrados energizados y sin aislar el centro de transformación.

También facilita la instalación de candados, cerraduras y accesorios de BT estándar (contactos auxiliares, unidades de control, motores, etc.).

Armario de control y supervisión de baja tensión para SM6-24

Permite equipar la celda con equipos de baja tensión como protección, control, señalización de estado y transmisión de datos.

Está disponible en tres versiones en función de su volumen: cubierta, cajón integrado y cajón BT.



A	B1	B2	C
Cubierta BT	Cajón integrado BT	Cajón integrado BT	Cajón BT
Altura (mm):			
1600	1690	1840	2050
Opción para baja tensión			
	90	240	450

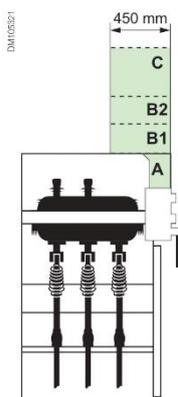
A - Cubierta BT: permite instalar una sección de baja tensión sumamente simple con botones de señalización, pulsadores o relés de protección.

B1 B - Cajón integrado BT: permite instalar la gran mayoría de las configuraciones de baja tensión. También admite Sepam serie 20 o serie 40.

B2 Cajón integrado BT (240 mm): permite instalar la gran mayoría de las configuraciones de baja tensión, así como la supervisión térmica y la protección VAMP 121.

C - Cajón BT: solo se utiliza con grandes accesorios de baja tensión o con aquellos cuya profundidad es mayor de 100 mm, o bien con equipos complejos, como Sepam serie 60 o serie 80, convertidores, unidades de control y supervisión, transformadores de regulación o transformadores secundarios duales.

En todos los casos el acceso a este volumen puede realizarse con la celda energizada.

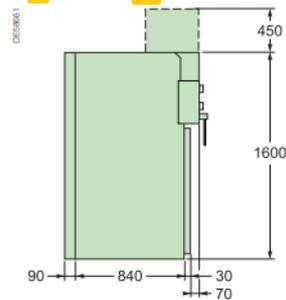


Instalación

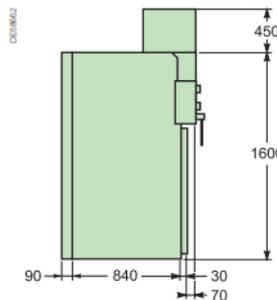
Dimensiones de las unidades para SM6-24

Para arco interno 12,5 kA/1 s, IAC: A-FLR 16
y 20 kA/1 s, IAC: A-FL/A-FLR

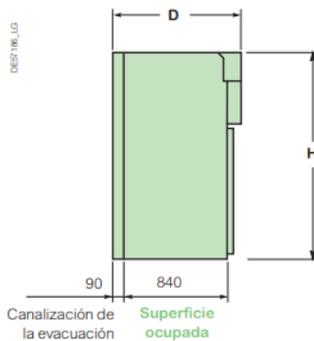
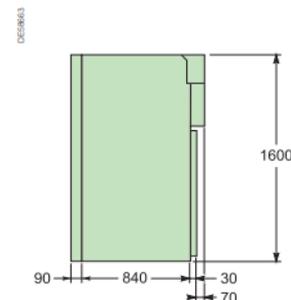
IM, IMB, PM, QM, QMB, SM, IMC, QMC, CM, CM2



NSM-cables, NSM-busbars, CVM



GBM, GAM2



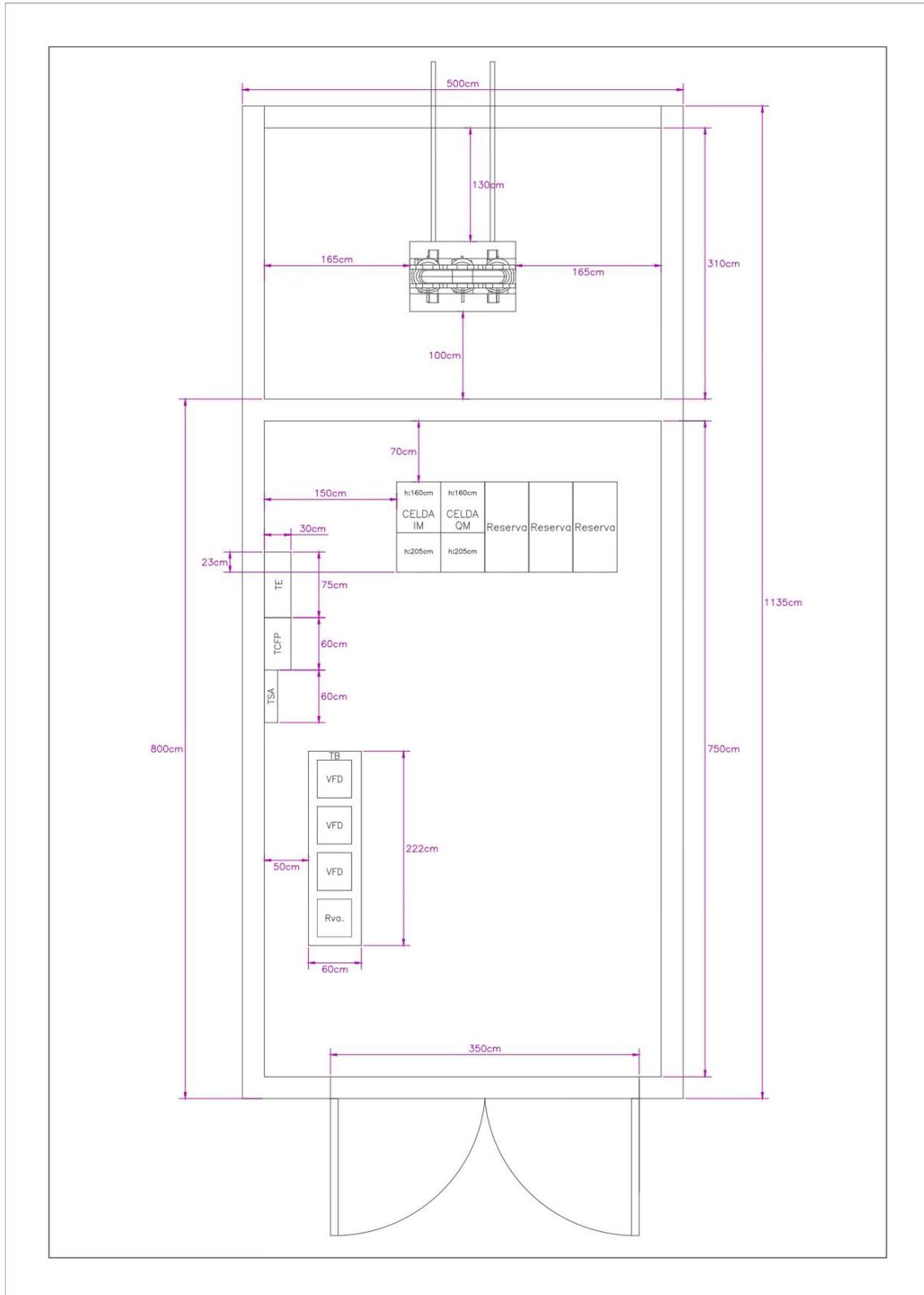
Para arco interno 12,5 kA/1 s, IAC: A-FLR 16
y 20 kA/1 s, IAC: A-FL/A-FLR

Dimensiones y pesos

Tipo de unidad	Altura H (mm)	Ancho (mm)	Profundidad D (mm)	Peso (kg)
IM, IMB	1600 ⁽¹⁾	375/500	1030	130/140
IMM	1600	750	1030	340
IMC	1600 ⁽¹⁾	500	1030	210
PM, QM, QMB	1600 ⁽¹⁾	375/500	1030	140/160
QMC	1600 ⁽¹⁾	625	1030	190
CVM	2050	750	1030	400
DM1-A, DM1-D, DM1-W, DM2, DMVL-A, DMVL-D, DM1-M	1600 ⁽¹⁾	750	1230	410
DM1-S	1600 ⁽¹⁾	750	1230	350
DMV-A, DMV-D	1695 ⁽¹⁾	625	1115	350
CM	1600 ⁽¹⁾	375	1030	200
CM2	1600 ⁽¹⁾	500	1030	220
GBC-A, GBC-B, GBC-C, GBC-D, GBC-2C	1600 ⁽¹⁾	750	1030	300
Cables NSM, embarrados NSM	2050	750	1030	270
GIM	1600	125	930	40
GEM ⁽²⁾	1600	125	930/1060 ⁽²⁾	40/45
GBM	1600	375	1030	130
GAM2	1600	375	1030	130
GAM	1600	500	1030	170
SM	1600 ⁽¹⁾	375/500 ⁽³⁾	1030	130/160
TM	1600	375	1030	210
DM1-A, DM1-D, DM1-W, DM1-Z (1250 A)	1600 ⁽¹⁾	750	1230	430

- Añadir a la altura 450 mm para los cajones de baja tensión para funciones de control/supervisión y protección. Para garantizar la uniformidad, todas las unidades (excepto GIM y GEM) pueden equiparse con cajones de baja tensión.
- En función de la configuración del embarrado en la unidad VM6, pueden utilizarse dos tipos de unidades de ampliación:
 - Para ampliar la unidad VM6 DM12 o DM23, utiliza una unidad de ampliación de 1060 mm de profundidad.
 - Para el resto de unidades VM6, es necesaria una profundidad de 920 mm.
- Para la unidad de 1250 A.

Anexo 6. Dimensiones CCM



Anexo 7. Hoja de datos proyectores EXPRL 2203

Extraído de «EXPRL - ILUMINACIÓN PARA ÁREAS CLASIFICADAS».

2024 © DELGA S.A.I.C. y F. - ILUMINACIÓN Áreas clasificadas.

EXPRL ILUMINACIÓN PARA ÁREAS CLASIFICADAS

Luminaria LED para atmósferas explosivas EXPRL

APLICACIONES

Diseñada para instalaciones eléctricas en áreas clasificadas tales como:

- Refinerías de petróleo, plantas químicas y petroquímicas.
- Estaciones de servicio de gas y combustibles líquidos.
- Plantas compresoras y procesadoras de gas.
- Cabinas de pinturas y/o manipuleo de solventes, laboratorios de ensayos, plantas farmacéuticas, etc.
- Celdas o galpones de acopio de cereales, donde existen atmósferas de polvo combustible en suspensión.
- Ambientes donde el polvo, la corrosión o humedad afectan a una luminaria convencional.



<p>GAS: Zona 1 y Zona 2 según IEC 60079-14 (Ed.5). Certificadas como: Ex d IIB + H2 T5/T6 Gb, según IEC 60079-0 (Ed. 6) y IEC 60079-1 (Ed. 7).</p>	<p>INTI 17.0031</p>
<p>POLVO: Zona 21 y Zona 22 IEC 60079-14 (Ed.5). Certificadas como: Ex tb IIIC T 95°C / T 80°C Db según IEC 60079-0 (Ed. 6) y 60079-31 (Ed. 1)</p>	
<p>GRADO DE PROTECCIÓN: IP66</p>	

CARACTERÍSTICAS

- Permite reducir el consumo eléctrico respecto de instalaciones convencionales.
- Disminuye gastos de mantenimiento gracias a su larga vida útil, mayor a 50.000 horas.
- Diseño concebido para lograr la mejor disipación y mayor rendimiento lumínico, con placas LED instaladas sobre el mismo cuerpo de la luminaria.
- Diseño compacto con driver incorporado que permite reducir espacios y costos.
- Diversas presentaciones de potencia, flujo lumínico y ángulo.
- Fácil disposición final, contribuyendo al cuidado del medio ambiente por estar contruidos con materiales no tóxicos.
- Provisión de partes y repuestos garantizada.

FABRICACIÓN

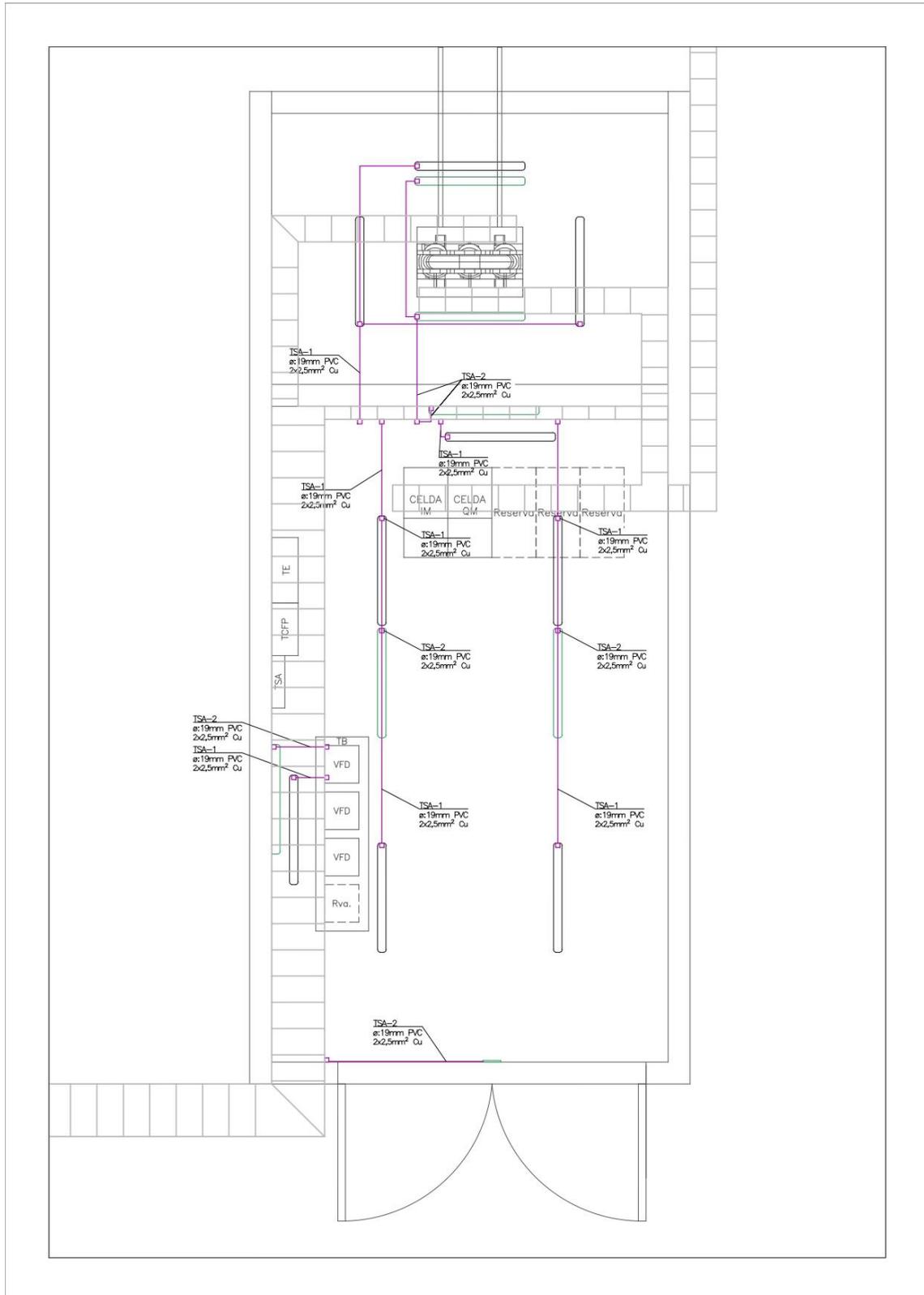
- Cuerpo de aleación de aluminio de bajo contenido de cobre.
- Vidrio plano templado.
- Fijaciones de hierro cincado electrolítico o acero inoxidable.
- Tornillos cabeza hexagonal de acero inoxidable.
- O´ ring - Grado de protección IP66.
- Dos accesos roscados M20, uno en el lateral derecho y otro en la parte posterior.
- Terminación en pintura esmalte sintético de secado rápido color RAL 7032.
- No incluye soporte.

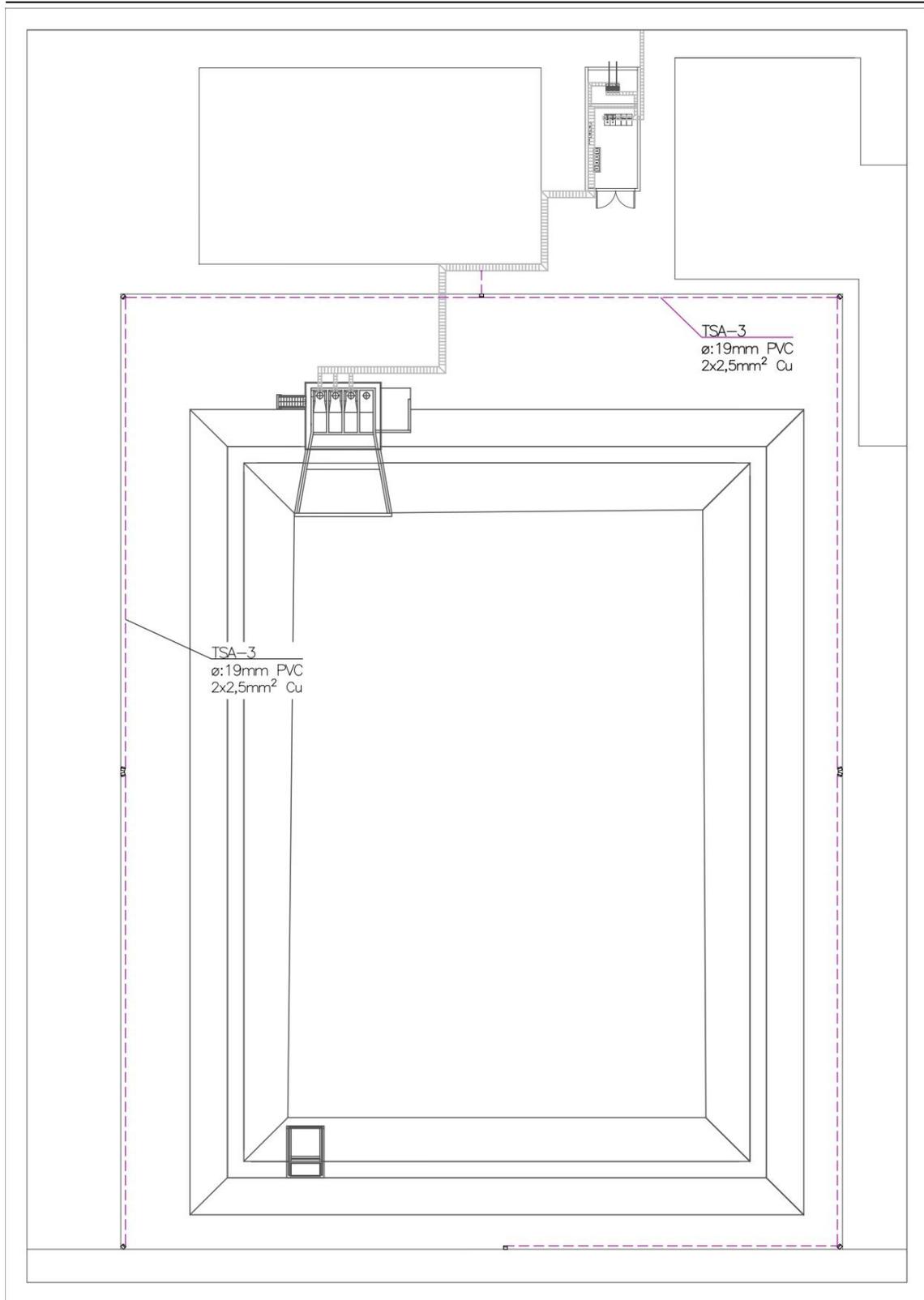
A pedido: pintura poliéster horneable
Opcional vidrio difuminado para reducir deslumbramiento.

↓ CONFIGURACIONES

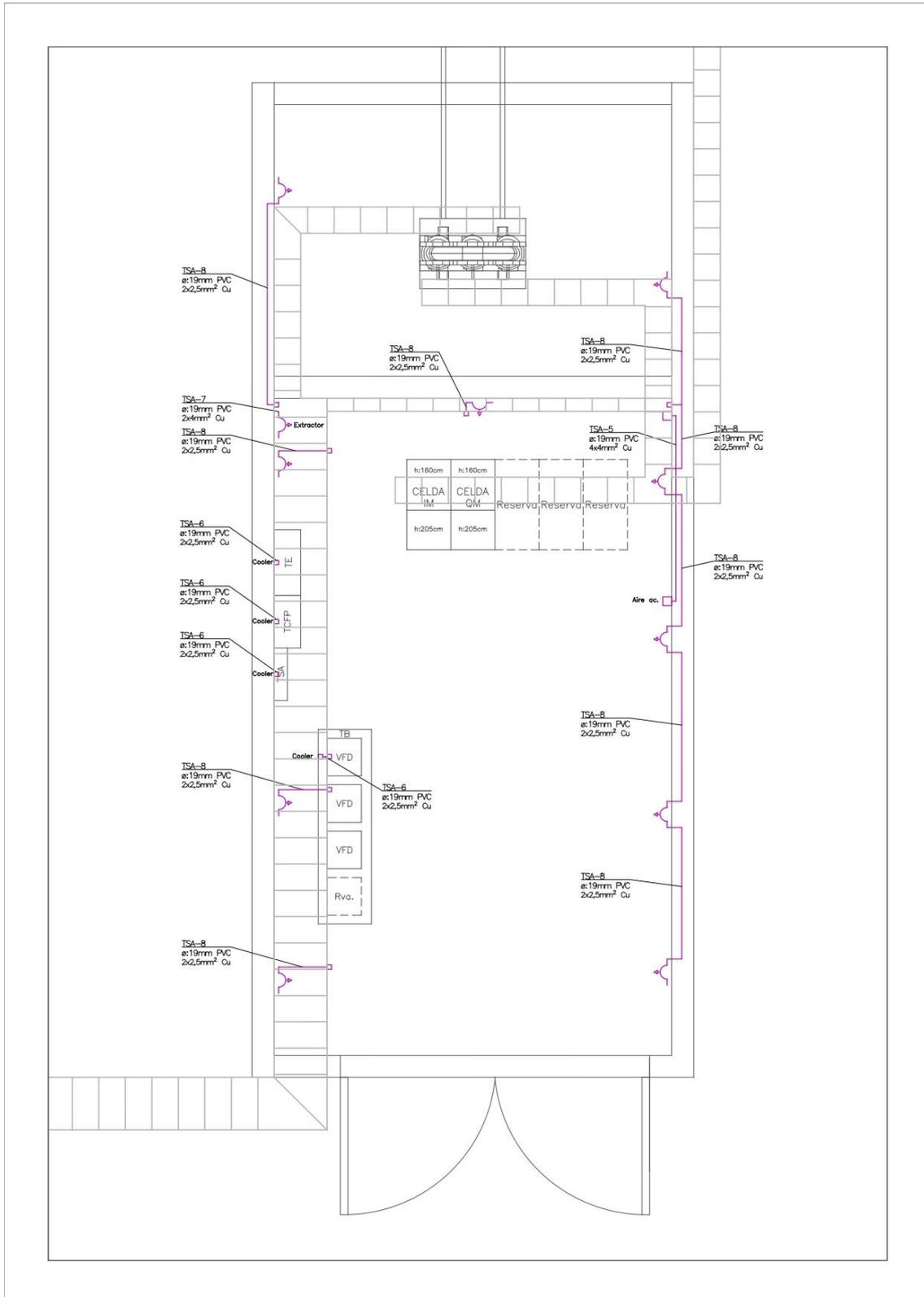
CÓDIGO	CONSUMO ELÉCTRICO	TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	FLUJO LUMINOSO	TEMPERATURA DE COLOR	VIDA ÚTIL	TEMP. CLASE		LENTES		PESO (KG)
						GRUPO II	GRUPO III	0°-180°	90°-270°	
EXPRL 2201	73 W	198-242 VCA	7355 lm	5000 K	>50.000 hs. a 40°C	T6	80°C	~ 120°	~ 120°	17,5
EXPRL 2202	140 W	198-242 VCA	11858 lm	5000 K		T6	80°C	~ 120°	~ 120°	
EXPRL 2203	210 W	198-242 VCA	20984 lm	5000 K		T5	95°C	~ 120°	~ 120°	

Anexo 8. Plano iluminación

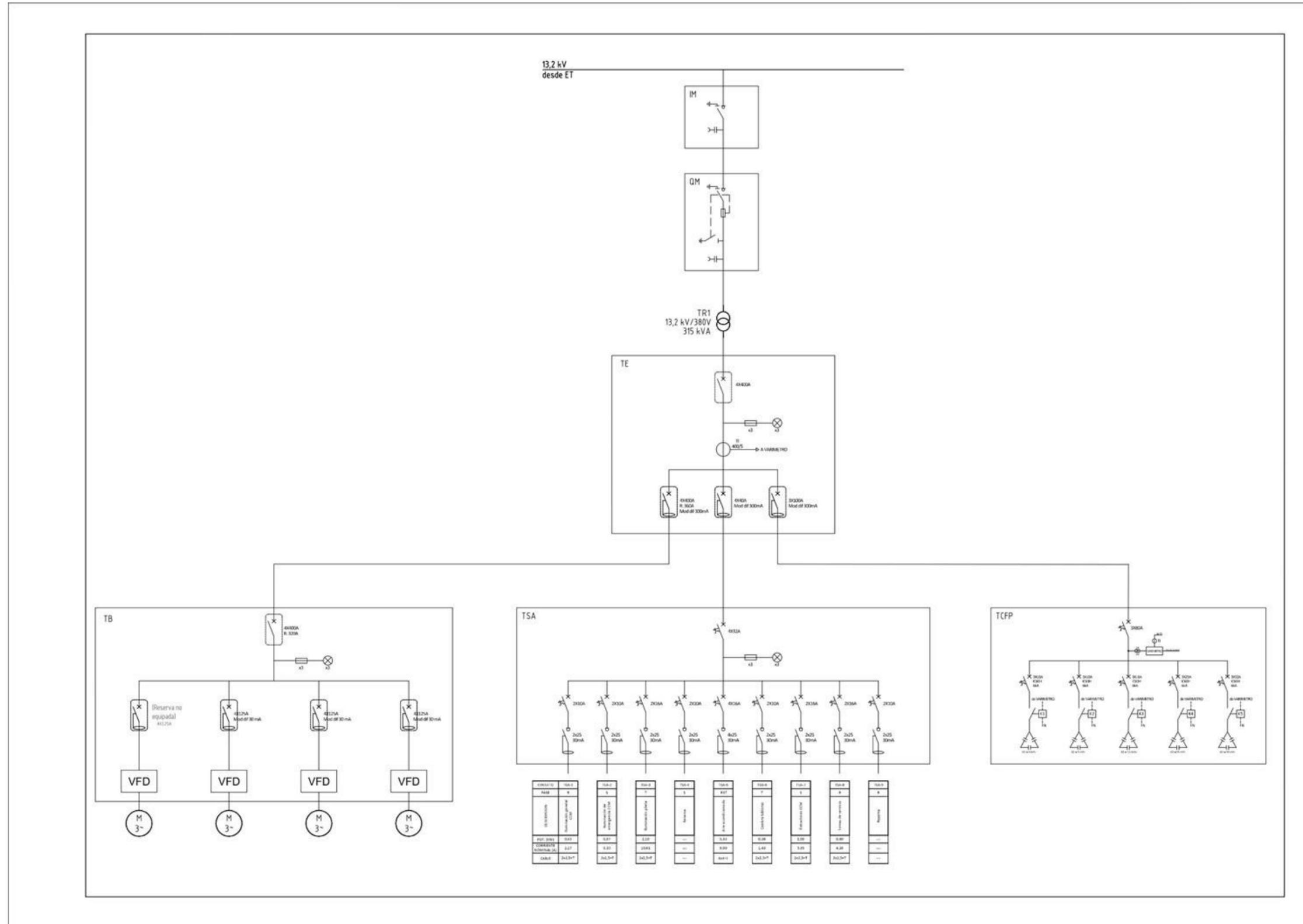




Anexo 9. Plano tomacorrientes



Anexo 10. Diagrama unifilar CCM



Anexo 11. Cables Prysmian línea Varinet

Extraído de «AFUMEX CLASS VARINET RZ1C4OZ1-K VFD 1 kV (AS)».

Recuperado de <https://es.prysmian.com/sites/es.prysmian.com/files/media/documents/Afumex-Class-Varinet-VFD-1kV-RC4OZ1-K-Cca-s1b-d1-a1-MAR23.pdf>

Afumex
Baja tensión

AFUMEX CLASS VARINET RZ1C4OZ1-K VFD 1 kV (AS)

Tensión asignada: 0,6/1 kV
 Norma diseño: IEC 60502-1; UNE 21123-4
 Designación genérica: RZ1C4OZ1-K (AS)









N° DoP 1009672

DESCÁRGATE la DoP
(declaración de prestaciones)
<https://es.prysmiangroup.com/dop>



No propagación de la llama
UNE-EN 60332-1-2
IEC 60332-1-2



No propagación de incendio
UNE-EN 50399
IEC 60332-3-24
IEC 60332-3-24



Libre de halógenos
UNE-EN 60754-2
IEC 60754-1
IEC 60754-2
IEC 60754-1



Baja emisión de gases tóxicos
UNE-EN 60754-2
NFC 20454; I1=1
DEF-STAN 02-713



Baja emisión de humos
UNE-EN 50399
IEC 61034-2



Baja opacidad de humos
UNE-EN 61034-2
IEC 61034-2



Baja emisión de gases corrosivos
UNE-EN 60754-2
IEC 60754-2
NFC 20453



Baja emisión de calor
UNE-EN 50399



Reducido Desprendimiento de gotas / partículas inflamadas
UNE-EN 50399



Resistencia a la absorción del agua



Resistencia al frío



Cable flexible



Resistencia a los rayos ultravioleta



Alta seguridad

- Temperatura de servicio: -15 °C, +90 °C. (Cable termoestable).
- Ensayo de tensión alterna durante 5 min: 3500 V.

- No propagación del incendio: UNE-EN 50399; UNE-EN 60332-3-24; IEC 60332-3-24.
- Libre de halógenos: UNE-EN 60754-2; UNE-EN 60754-1; IEC 60754-2; IEC 60754-1.
- Reducida emisión de gases tóxicos: UNE-EN 60754-2; NFC 20454; DEF STAN 02-713.
- Baja emisión de humos: UNE-EN 50399.
- Baja opacidad de humos: UNE-EN 61034-2; IEC 61034-2.
- Baja emisión de gases corrosivos: UNE-EN 60754-2; IEC 60754-2; NFC 20453.
- Baja emisión de calor: UNE-EN 50399.
- Reducido desprendimiento de gotas/partículas inflamadas: UNE-EN 50399.

Reacción al fuego

Prestaciones frente al fuego en la Unión Europea:

- Clase de reacción al fuego (CPR): C_{ca}-s1b,d1,a1.
- Requerimientos de fuego: EN 50575:2014 + A1:2016.
- Clasificación respecto al fuego: EN 13501-6.
- Aplicación de los resultados: CLC/TS 50576.
- Métodos de ensayo: UNE-EN 60332-1-2; EN 50399; EN 60754-2; EN 61034-2.

Normativa de fuego también aplicable a países que no pertenecen a la Unión Europea:

- No propagación de la llama: UNE-EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2.

Afumex

Baja tensión

AFUMEX CLASS VARINET RZ1C40Z1-K VFD 1 kV (AS)



Tensión asignada: 0,6/1 kV
 Norma diseño: IEC 60502-1; UNE 21123-4
 Designación genérica: RZ1C40Z1-K (AS)



Alta protección electromagnética

Gracias a su doble pantalla de trenza de cobre con cobertura del 60 % y de cinta de aluminio/poliéster con cobertura del 100 %, muy por encima de las versiones que se pueden encontrar en el mercado, nuestra gama de apantallados proporciona una alta inmunidad a las interferencias. Lo que supone una óptima calidad en la transmisión de las señales, así como mayor seguridad y vida útil para los equipos. Los cables con pantallas de trenza de cobre, con coberturas inferiores al 60%, incumplen la normativa.

Aplicaciones

- Cable de alta seguridad y fácil pelado para interconexión entre variadores de frecuencia y motores.
- Instalaciones interiores o receptoras (ITC-BT 20).
- Locales de pública concurrencia (ITC-BT 28).

Ver esquema de aplicación en apartado: 2.25.13.

Construcción

1. Conductor

Metal: cobre recocido.

Flexibilidad: flexible, clase 5, según UNE EN 60228.

Temperatura máxima en el conductor: 90 °C en servicio permanente, 250 °C en cortocircuito.

2. Aislamiento

Material: mezcla polietileno reticulado (XLPE).

Colores:

Conductor de protección: 1 conductor (formaciones 4G) o 3 conductores colocados simétricamente, color amarillo/verde.

Fases: marrón, negro y gris, según UNE 21089-1.

3. Cubierta interna

Material: mezcla LSOH libre de halógenos tipo DMZ-E. Color negro.

4. Pantalla

Material: trenza de hilos de cobre pulido. Cobertura mínima 60%. Cinta de aluminio/poliéster con sobreposición del 20%.

5. Cubierta externa

Material: mezcla LSOH libre de halógenos tipo DMZ-E.

Color: negro.

Afumex

Baja tensión

AFUMEX CLASS VARINET RZ1C40Z1-K VFD 1 kV (AS)



Tensión asignada: 0,6/1 kV
Norma diseño: IEC 60502-1; UNE 21123-4
Designación genérica: RZ1C40Z1-K (AS)



Datos técnicos

Número de conductores x sección (mm ²)	Diámetro exterior (D) (mm) (1)	Radio mínimo de curvatura	Peso (kg/km) (1)	Resistencia del conductor a 20 °C Ω/km (4)	Intensidad admisible al aire (2) (A)	Intensidad admisible enterrado (3) (A)	Caída de tensión (V/A km) (2) y (3)	
							cos φ = 1	cos φ = 0,8
4G6	17,5	175	493	3,30	49	44	6,87	5,59
4G10	19,8	198	687	1,91	68	58	4,06	3,34
3x16 + 3G6	24,4	244	952	1,21 / 1,1	91	75	2,56	2,13
3x25 + 3G6	26,6	266	1282	0,78 / 1,1	115	96	1,62	1,38
3x35 + 3G6	27,8	278	1555	0,554 / 1,1	143	117	1,17	1,01
3x50 + 3G6	31,7	317	2194	0,386 / 1,1	174	138	0,86	0,77
3x70 + 3G16	37,5	375	3029	0,272 / 0,40	223	170	0,6	0,56
3x95 + 3G16	39,4	394	3665	0,206 / 0,40	271	202	0,43	0,42
3x120 + 3G25	46,3	463	4828	0,161 / 0,26	314	230	0,34	0,35
3x150 + 3G25	48,7	487	5690	0,129 / 0,26	359	260	0,28	0,3
3x185 + 3G35	53,8	538	6991	0,106 / 0,185	409	291	0,22	0,26
3x240 + 3G50	59,9	599	9126	0,080 / 0,129	489	336	0,17	0,21

(1) Valores aproximados.

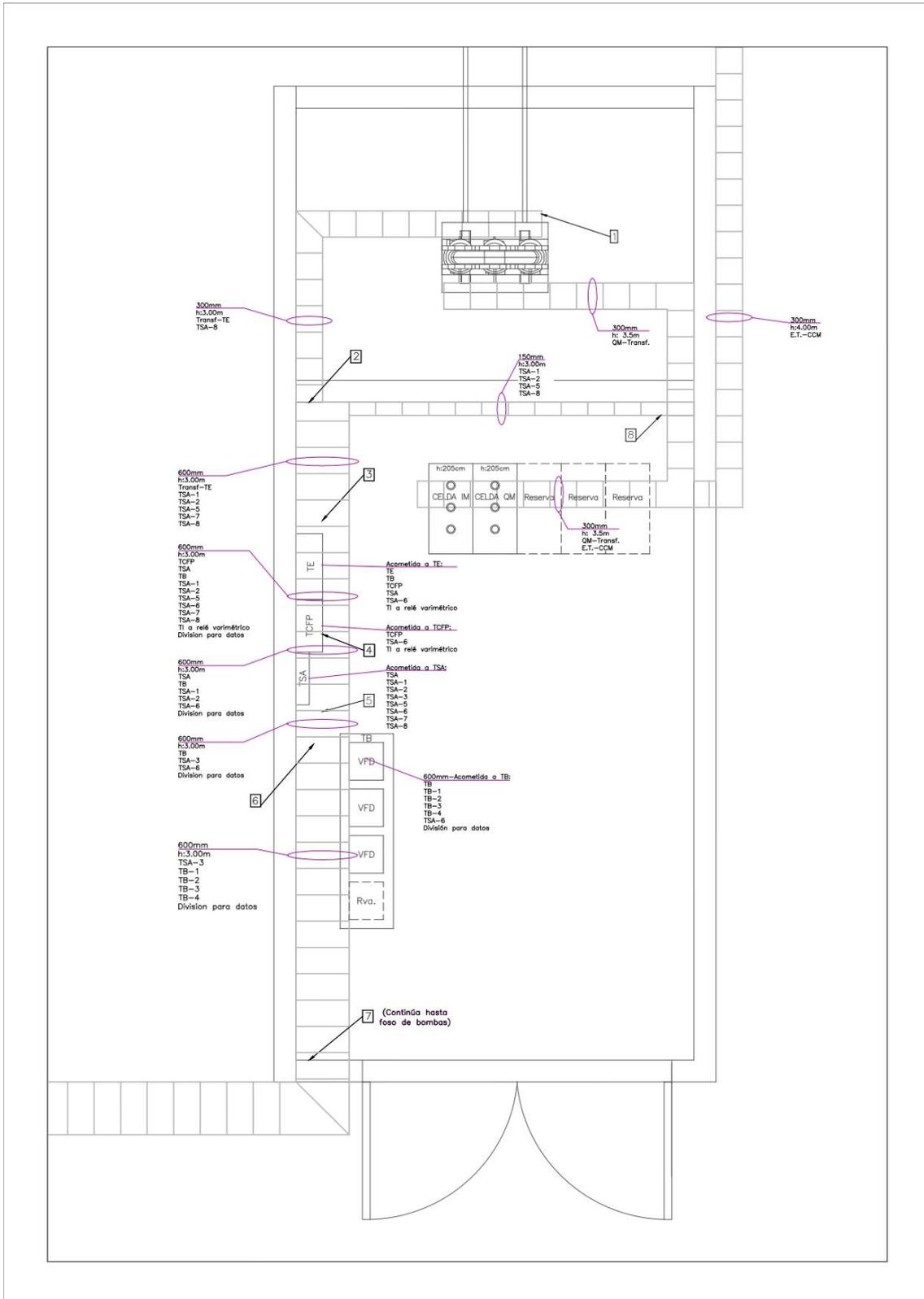
(2) Instalación en bandeja al aire (40 °C) → XLPE3 con instalación tipo E → columna 10b.

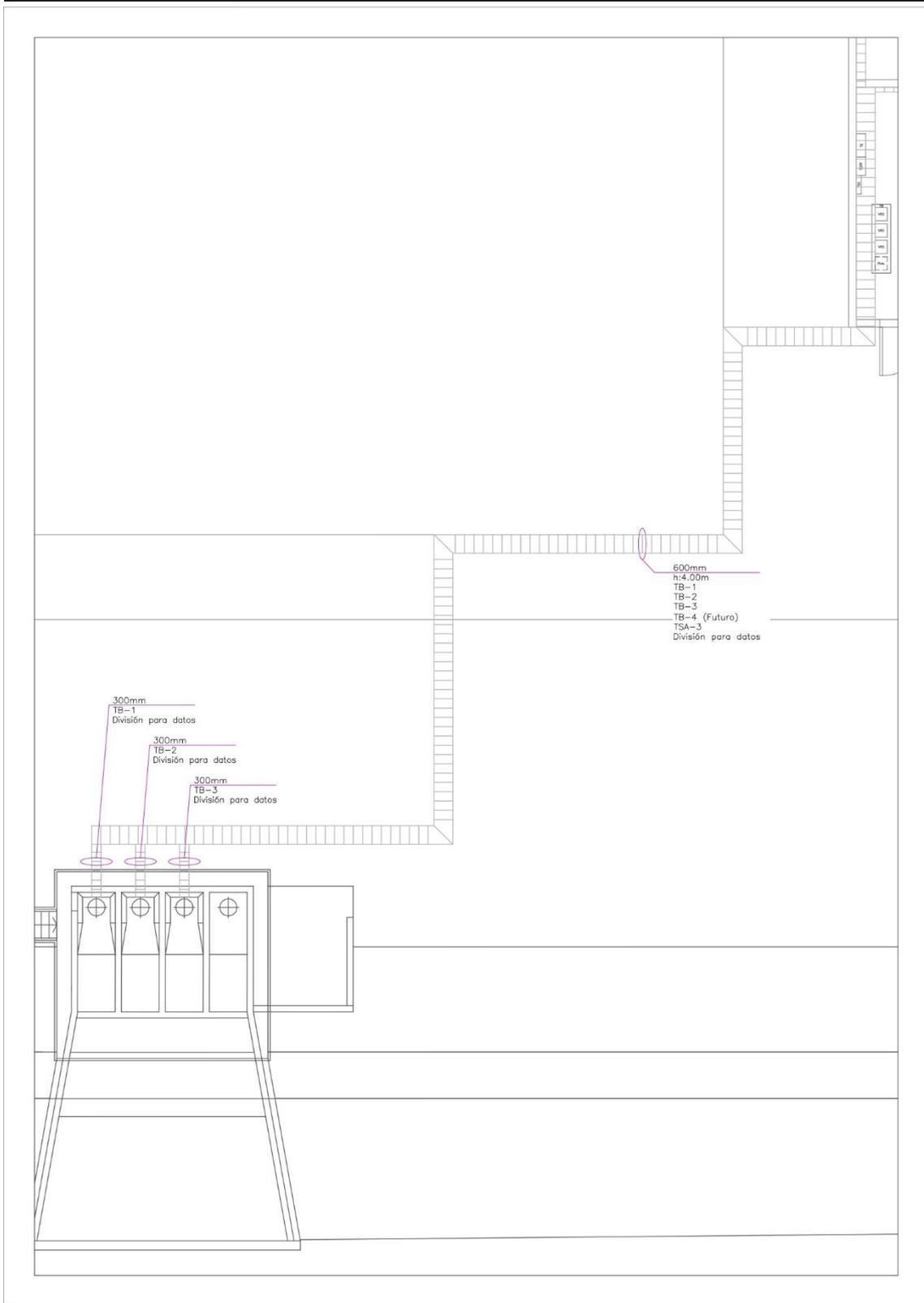
(3) Instalación enterrada directamente o bajo tubo con resistividad térmica del terreno estándar de 2,5 K.m/W.
→ XLPE3 con instalación tipo Método D1/D2 (Cu).

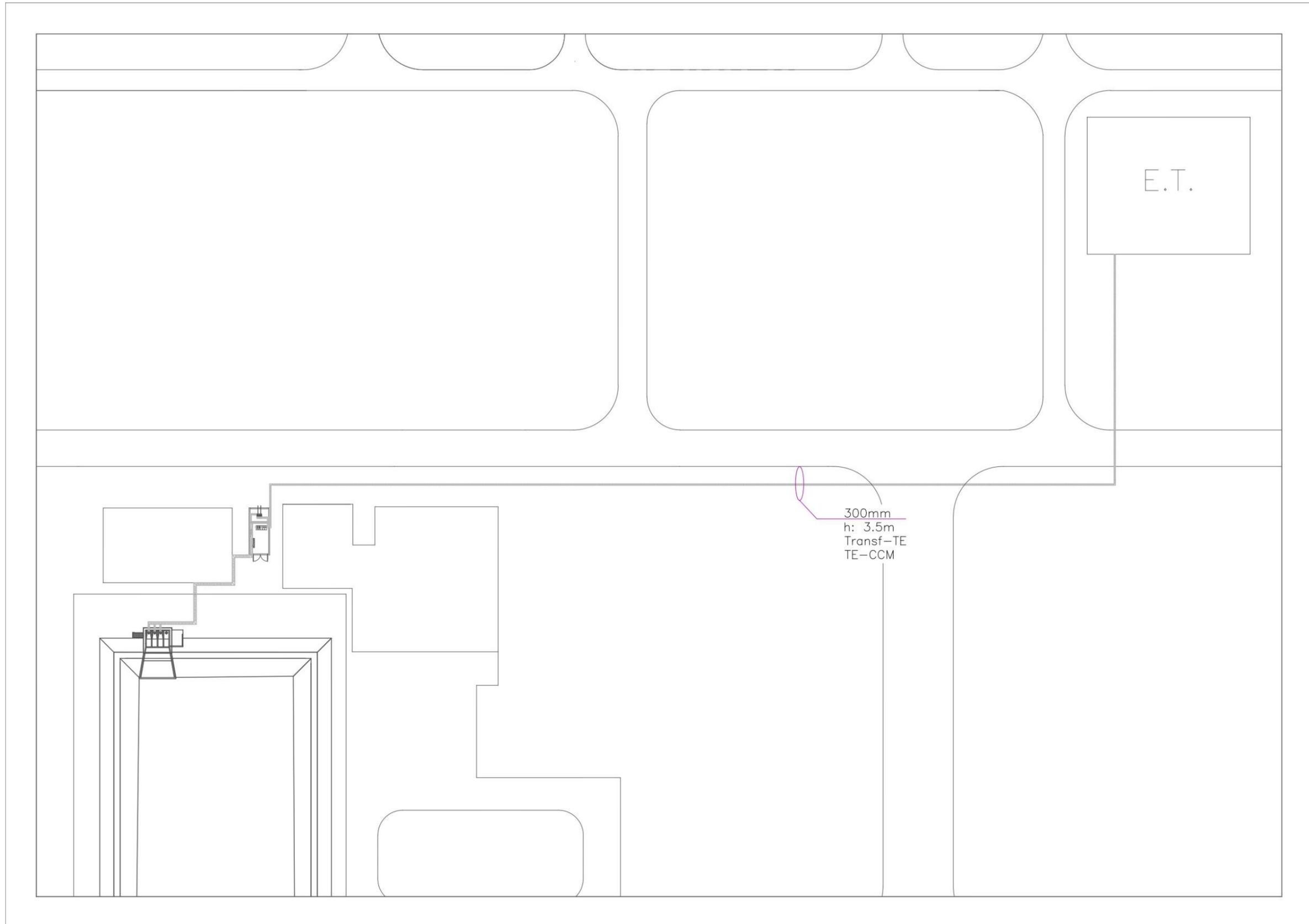
Según UNE-HD 60364-5-52 e IEC 60364-5-52.

(4) En las formaciones con 3 conductores de protección (amarillo/verde) figura la resistencia total de los 3 conductores en paralelo. Es decir, un tercio de la resistencia de cada conductor.

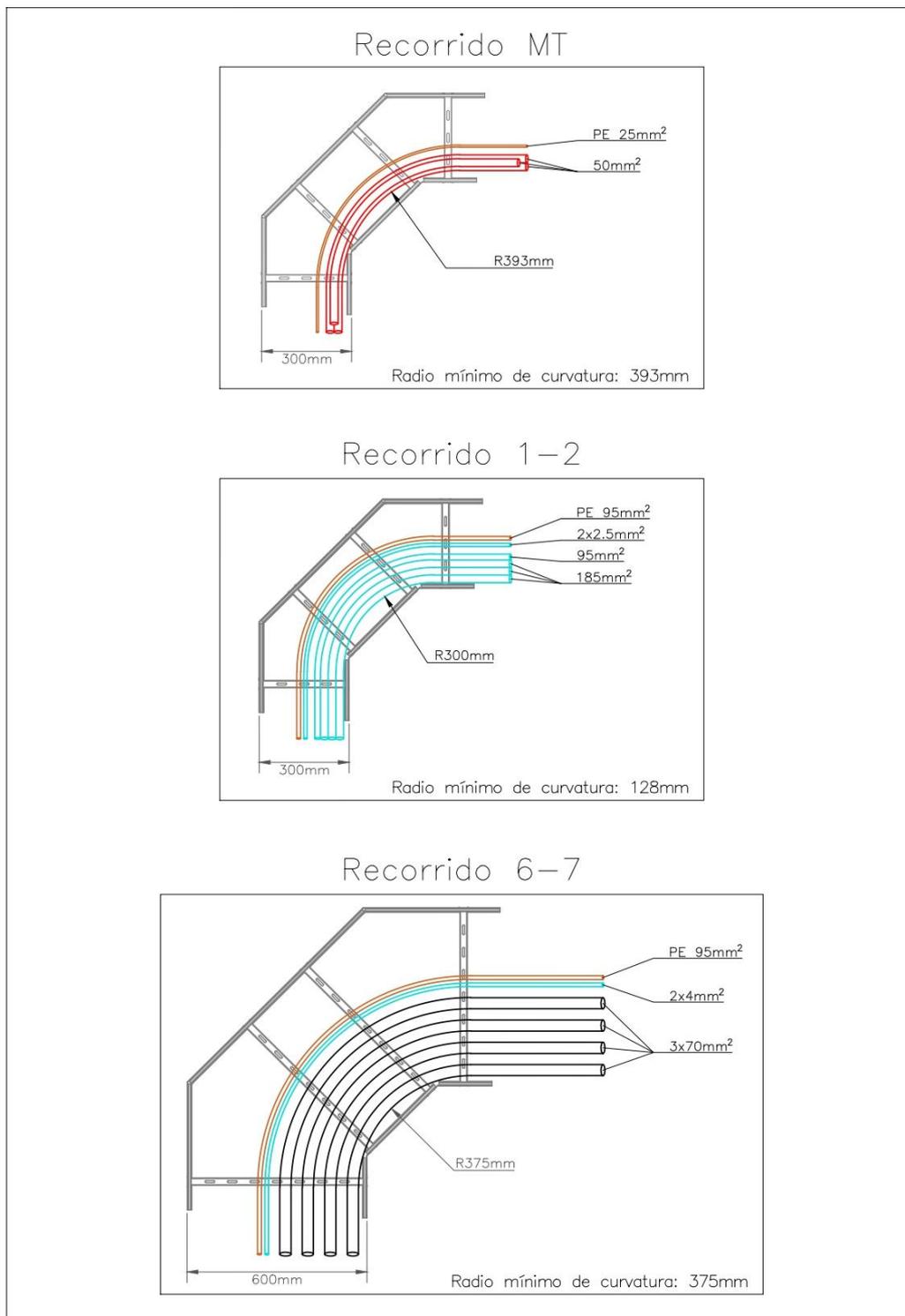
Anexo 12. Plano bandejas portacables BT







Anexo 13. Radios de curvatura admisibles



Anexo 14. Cálculo malla de puesta a tierra

Datos

Medidas del CCM

Longitud eje "x": $L_{Xccm} = 5 \text{ m}$

Longitud eje "y": $L_{Yccm} = 11,3 \text{ m}$

Medidas de la malla

Longitud eje "x": $L_x = L_{Xccm} + 2 \text{ m} = 7 \text{ m}$

Longitud eje "y": $L_y = L_{Yccm} + 2 \text{ m} = 13,3 \text{ m}$

$A = L_x \cdot L_y = 93,1 \text{ m}^2$

Cantidad de conductores por eje: $Q_x = 3$ $Q_y = 5$

Longitud total de la malla: $L_m = (L_x \cdot Q_x) + (L_y \cdot Q_y) = 87,5 \text{ m}$

$$K_1 = -0,05 \cdot \frac{L_x}{L_y} + 1,2 = 1,174$$

$$K_2 = 0,1 \cdot \frac{L_x}{L_y} + 4,68 = 4,733$$

Profundidad de la malla: $H = 0,6 \text{ m}$

Características eléctricas

Resistividad del suelo: $\rho_t = 5,146 \Omega \cdot \text{m}$

Resistividad de capa superficial: $\rho_s = 3.500 \Omega \cdot \text{m}$

Espesor de capa superficial: $h_s = 0,15 \text{ m}$

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \cdot \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_s}\right)}{2 \cdot \frac{h_s}{1 \text{ m}} + 0,09} = 0,77$$

Sección del conductor de malla: $S_c = 50 \text{ mm}^2$

Diámetro del conductor de la malla: $\phi_c = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = 0,008 \text{ m}$

Resistencia de la malla

$$R_m = \frac{\rho_t}{\pi \cdot L_m} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot L_m}{\sqrt{\phi_c \cdot H}} \right) + \frac{K_1 \cdot L_m}{\sqrt{A}} - K_2 \right) = 0,257 \Omega$$

Verificación térmica del sistema

Corriente de cortocircuito: $I_s = 4,616 \text{ kA}$

Tiempo de despeje del cortocircuito (mínimo impuesto por norma):

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

Temperatura de referencia: $T_0 = 293 \text{ K}$

Temperatura inicial del cobre: $T_G = 543 \text{ K}$

Coeficiente de temperatura: $\alpha = \frac{0,00393}{1 \text{ K}}$

Resistividad del cobre: $\rho_{Cu} = 1,7241 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$

Calor específico del cobre: $c = 380 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Peso específico del cobre: $g_{Cu} = 8.900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Sección mínima:

$$S_{\min} = \frac{I_s \sqrt{t}}{\sqrt{9,64 \cdot \left(\frac{c \cdot g_{Cu}}{\rho_{Cu} \cdot \alpha}\right) \cdot \left(\log(1 + \alpha \cdot (T_G - T_0))\right)}} = 12,206 \text{ mm}^2$$

Verificación de tensión de contacto

Distancia mínima entre conductores paralelos:

$$D = \min\left(\left(\frac{L_x}{Q_x}\right); \left(\frac{L_y}{Q_y}\right)\right) = 2,333 \text{ m}$$

Perímetro de la malla: $L_p = 2 \cdot L_x + 2 \cdot L_y = 40,6 \text{ m}$

$$n = \frac{2 \cdot L_m}{L_p} \cdot \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}} = 4,421$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\ln\left(\frac{D^2}{16 \cdot H \cdot \phi_c} + \frac{(D + 2 \cdot H)^2}{8 \cdot D \cdot \phi_c} - \frac{H}{4 \cdot \phi_c}\right) + \frac{(2 \cdot n)^{-\frac{2}{n}}}{\sqrt{1 + \frac{H}{1 \cdot m}}} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi(2n - 1)}\right) \right)$$

$$K_m = 0,729$$

$$K_i = 0,644 + (0,148 \cdot n) = 1,298$$

Tensión de contacto calculada: $E_m = \frac{\rho_t \cdot I_s \cdot K_m \cdot K_i}{L_m} = 257,006 \text{ V}$

Tensión de contacto máxima admisible:

$$V_{cadm} = 0,157 \frac{V \sqrt{s}}{\Omega m} \left(\frac{1000 \Omega m + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s}{\sqrt{t}} \right) = 791,318 \text{ V}$$

Verificación de tensión de paso

$$K_s = \frac{1m}{\pi} \left(\frac{1}{2 \cdot H} + \frac{1}{D + H} + \frac{1}{D} \cdot (1 - 0,5^{n-2}) \right) = 0,485$$

Longitud efectiva del conductor enterrado: $L_S = 0,75 \cdot L_m = 65,625 \text{ m}$

Tensión de paso calculada: $E_m = \frac{\rho_t \cdot I_S \cdot K_S \cdot K_i}{L_S} = 227,785 \text{ V}$

Tensión de paso admisible:

$$V_{padm} = 0,157 \frac{V\sqrt{s}}{\Omega m} \left(\frac{1000\Omega m + 6 \cdot C_S \cdot \rho_s}{\sqrt{t}} \right) = 2.694,273 \text{ V}$$

Bibliografía

- [1] Weg S.A. (2 de 12 de 2022). *Guía para Atmósferas Explosivas - Weg*.
- [2] *Principles of Ex-Protection - Crouse-Hinds*. (20 de 12 de 2022). Obtenido de Eaton: CEAG Products and Crouse-Hinds Series.
- [3] Schneider Electric SE. (2020). Fusibles De 3.6 a 36 kV Distribución Media Tensión. <https://www.se.com/ar/es/download/document/CAT-Fusibles/>
Accedido: 16/03/2024
- [4] Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas*. México, D.F.: McGRAW-HILL.
- [5] Norma UNE 20435 – “Guía para la elección de cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos extruidos para tensiones nominales de 1 a 30 kV”.
- [6] ASOCIACIÓN ELECTROTÉCNICA ARGENTINA. (Edición 2006). AEA 90364-7-771 Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles.
- [7] ASOCIACIÓN ELECTROTÉCNICA ARGENTINA. (Edición 2006). AEA 95401 Reglamentación sobre centros de transformación y suministro en media tensión.