

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**



**Informe de práctica de especialidad para optar por el título de: Licenciatura en
Mantenimiento Industrial**

**Rediseño del sistema eléctrico y automatización de la planta potabilizadora de agua de
Liberia de 225 kVA del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.**

REALIZADO POR:

William Andrés Brenes González (2016067661)

San Carlos, Alajuela



Carrera evaluada y acreditada por:

Canadian Engineering Accreditation Board Bureau Canadien d'Accréditation des
Programmes d'Ingénierie

Dedicatoria

No existen personas en el mundo que merezcan más dedicatoria que mis padres, William Brenes Esquivel y Damaris González Vargas, ya que sin ellos jamás hubiera podido llegar a ser quien soy.

A mi hermana, Jessica Brenes González, por estar siempre para mí, ser ese apoyo incondicional.

Agradecimiento

Inicialmente, agradecerle a Dios por permitirme levantarme todos los días para tratar de mejorar día con día y por todas las bendiciones que tengo en la vida.

De nuevo a mis padres, por ser ese apoyo incondicional día con día y ser mi motor.

A mi familia, ya que cada uno de mis abuelos, tíos y primos mostraban de alguna manera su apoyo.

A mis compañeros y amigos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por ser parte importante de la experiencia universitaria.

A Ing. Juan José Herrera, mi asesor industrial, por abrirme las puertas en Electro Beyco S.A. para desarrollar el proyecto final de graduación.

Al personal de Electro Beyco S.A., por estar siempre ayudándome durante el desarrollo del proyecto.

Al Ing. Carlos Portugués por abrirme las puertas del AyA específicamente de la planta potabilizadora de Liberia para desarrollar el proyecto final de graduación.

Resumen

El presente proyecto nace debido a que la Planta Potabilizadora de Liberia tiene una instalación eléctrica con aproximadamente 50 años de antigüedad, la cual claramente se encuentra obsoleta, generando que la planta potabilizadora por lapsos no suministre el recurso hídrico hacia el tanque principal para el abastecimiento de agua a la población, generando racionamientos o desabastecimiento del recurso.

Asimismo, el sistema eléctrico actual está incumpliendo con la ley vigente, basada en la norma Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad (NEC, 2014), a la vez, se pone en riesgo vidas humanas por la inseguridad del sistema actual. Tomando en consideración lo anterior, una modernización del sistema eléctrico permitiría una red más eficiente, consecuentemente, se podrá monitorear el uso de la energía con un método más eficaz.

El rediseño de la instalación eléctrica de la planta inició por el sistema de media tensión, concentrando toda la alimentación al transformador tipo pedestal 225 kVA, el cual transforma el voltaje de 34,5 kV a 480/277V, donde se distribuirá la potencia a los diferentes tableros y a un transformador tipo seco monofásico de 75 KVA para las cargas generales de la planta.

Palabras clave: instalación eléctrica, abastecimiento, racionamientos, desabastecimiento, media tensión.

Abstract

The current project was created due to the fifty-year old electrical installation that Planta Potabilizadora de Liberia has, which clearly remains obsolete. This generates for time that the water treatment plant does not supply the water resource to the main tank for the sourcing of water to the population, causing rationing or shortages of the resource.

Furthermore, the current electricity system is in breach of the existing law, based on the Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad (NEC, 2014); at the same time, human lives are in danger due to the insecurity of the current system. Taking that into consideration, a modernization of the electrical system would allow a more efficient network, consequently it will be possible to manage the use of energy with a more effective method.

The redesign of the electrical installation of the plant started by the medium voltage system, concentrating all the power to the pedestal transformer 225 kVA, which transforms the voltage from 34,5 kV to 480/277V, where the power will be distributed to the different panels and to a single-phase dry type transformer of 75 KVA for the general electrical loads of the plant.

Keywords: electrical installation, sourcing, rationing, shortages, medium voltage.

Tabla de contenido

1. Capítulo 1. Datos generales	12
1.1. Hoja de información	12
1.2. Carta de aceptación	13
1.3. Reseña de la empresa	14
1.3.1. Misión/Visión	14
1.3.2. Descripción del proceso productivo	15
2. Capítulo 2. Planteamiento del problema	17
2.1. Introducción	17
2.2. Definición del problema	18
2.3. Estrategia de solución	19
2.4. Objetivos	20
2.4.1. Objetivo general	20
2.4.2. Objetivos específicos	20
2.5. Justificación	21
2.6. Antecedentes	24
2.7. Viabilidad	24
2.8. Metodología a seguir	26
2.9. Alcance	27
2.10. Limitaciones del proyecto	28
2.11. Cronograma	29
3. Capítulo 3. Marco teórico	30
3.1. Disposiciones de las Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos	30
3.1.1. Suministro a media tensión	30
3.1.2. Valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución (baja tensión, secundario)	31
3.2. Planos eléctricos	31
3.3. Instalación eléctrica	32
3.4. Tablero eléctrico	33
3.4.1. Tablero general	33
3.4.2. Panel de control industrial (ICP, Industrial Control Panels)	33

3.4.2.1. STANDARD FOR SAFETY Industrial Control Panels (UL 508a)	34
3.5. Grupo electrógeno	34
3.6. Monitor de voltaje o relé de voltaje	35
3.7. Enrutador VPN celular industrial con puertos ethernet.	35
4. Capítulo 4. Datos de partida para el diseño	37
4.1. Entorno físico del diseño	37
4.2. Estado actual del sistema	38
4.3. Preferencias del cliente	42
5. Capítulo 5. Diseño de los paneles de control industrial	44
5.1. Diseño del panel de automatización y control del ICP2 y 3 (ICP1)	44
5.2. Diseño del panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 1 y 2 de 93,21 kW (125 HP) (ICP2) (ICP3)	51
5.2.1. Selección del variador de frecuencia	52
5.2.2. Selección del interruptor automático	53
5.2.3. Dimensionamiento de los conductores dentro del panel	54
5.2.4. Selección de los portafusibles y fusibles	55
5.2.5. Circuito de control del variador de frecuencia del ICP2 y 3	56
5.2.6. Selección del sistema de ventilación forzada	59
5.2.7. Filtro de armónicos y sinusoidal	60
5.2.7.1. Selección del filtro de armónicos	61
5.2.7.2. Selección del filtro sinusoidal	62
5.2.8. Medidor de potencia	63
5.3. Diseño del panel para control de las dosificadoras de sulfato. (ICP 4)	64
5.3.1. Selección de los variadores de frecuencia del ICP3	64
5.3.1.1. Selección del variador de frecuencia 1 y 2	64
5.3.1.2. Selección del variador de frecuencia 3	65
5.3.2. Distribución del circuito control del ICP4	66
5.3.3. Selección de los portafusibles y fusibles	67
5.3.4. Selección de los interruptores automáticos	67
5.3.5. Dimensionamiento de los conductores dentro del panel	68
5.3.6. Circuito de control de los variadores de frecuencia	72

5.3.7.	Selección del sistema de ventilación forzada	74
5.3.8.	Sistema de control del ICP4	75
5.4.	Diseño del panel de automatización para agitadores de sulfato (ICP5).	75
5.4.1.	Selección de los variadores de frecuencia	76
5.4.2.	Distribución del circuito de control del ICP5	77
5.4.3.	Selección de los portafusibles y fusibles	78
5.4.4.	Selección de los interruptores automáticos	79
5.4.5.	Dimensionamiento de los conductores dentro panel	80
5.4.6.	Circuito de control de los variadores de frecuencia	82
5.4.7.	Selección del sistema de ventilación forzada	83
5.4.8.	Sistema de control del ICP5	84
5.5.	Clasificación de corriente de cortocircuito para paneles de control industrial	86
6.	Capítulo 6. Integración de la interfaz humano-máquina (HMI)	89
6.1	Pantalla de inicio	90
6.2.	Pantalla de ingreso de usuarios	90
6.3.	Pantalla de menú principal	91
6.4.	Pantalla con el esquema operativo del centro de bombeo	93
6.5.	Pantalla con el esquema operativo de la planta sulfatadora	94
6.6.	Pantalla con el resumen de producción de la planta potabilizadora	96
6.7.	Pantalla con el consumo energético de la planta potabilizadora	96
6.9.	Pantalla de ajustes	99
6.10.	Pantalla de alarmas	101
7.	Capítulo 7. Diseño del sistema de eléctrico e iluminación de la Planta Potabilizadora de Liberia	103
7.1.	Datos generales del sistema	103
7.2.	Tablero de la planta sulfatadora (TP3)	105
7.2.1.	Tomacorrientes generales	106
7.2.2.	Circuito de iluminación de la planta sulfatadora	110
7.2.3.	Circuito de potencia panel para control de las dosificadoras de sulfato	115
7.2.4.	Circuito de potencia panel de automatización para agitadores de sulfato	116
7.2.4.	Cálculo de la salida especial	117

7.2.5. Cálculo del circuito de iluminación del túnel	118
7.2.6. Cálculo del circuito de potencia de aires acondicionados	119
7.2.7. Cálculo del circuito del teclé	120
7.2.8. Circuito para la cocina eléctrica	121
7.2.9. Supresor de transitorios monofásico tipo 2	122
7.2.10. Selección de ductos	122
7.2.11. Tabla resumen del tablero de la planta sulfatadora (TP3)	123
7.2.12. Factor de demanda del tablero de la planta sulfatadora (TP3)	123
7.2.13. Selección de la capacidad en barras del tablero de la planta sulfatadora	125
7.2.14. Selección del subalimentador del tablero de la planta sulfatadora (TB3)	126
7.2.15. Selección de la protección del circuito	128
7.2.16. Ducto del subalimentador del tablero TB3	129
7.3. Tablero del cuarto de bombeo (TB2)	129
7.4. Selección del transformador seco monofásico	130
7.5. Tablero I-line (TP0)	131
7.5.1. Circuito del panel de automatización y control del ICP2 y 3	132
7.5.2. Circuito del panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 1 y 2 de 93 kW (125 HP)	133
7.5.3. Circuito eléctrico del transformador tipo seco monofásico	134
7.5.4. Circuito del supresor de transitorios trifásico tipo 2	135
7.5.5. Tabla resumen del tablero I-line (TP0)	136
7.5.6. Selección de la capacidad en barras del tablero I-line (TP0)	136
7.5.7. Selección del subalimentador del tablero I-line (TP0)	137
7.5.8. Selección de la protección del tablero TP0	138
7.5.9. Selección de la transferencia automática	138
7.6. Selección del transformador tipo pedestal trifásico	138
7.7. Selección del conductor alimentador principal.	140
7.8. Grupo de electrógeno	141
7.9. Estudio de iluminación	141
8. Capítulo 8. Estimación de la corriente de cortocircuito del diseño eléctrico propuesto	147

9.	Capítulo 9. Conclusiones	149
10.	Capítulo 10. Recomendaciones	150
11.	Bibliografía	151
12.	Anexos	154
13.	Apéndice	184

Índice de figuras

Figura 1-1. Carta de aceptación por parte de la empresa	13
Figura 1-2. Descripción del proceso productivo de la empresa Electro Beyco S.A.....	16
Figura 2-1. Debiera versus realidad.	18
Figura 3-1. Valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución aéreas.	30
Figura 3-2. Intervalos normales y tolerables del valor de baja tensión de servicio.....	31
Figura 3-3. Cuadro resumen de la aplicación de las diferentes normas.....	34
Figura 3-4. Topología de un enrutador VPN celular industrial con puertos ethernet.....	36
Figura 4-1. Ubicación de la Planta Potabilizadora de Liberia.....	37
Figura 4-2. Ubicación exacta de Planta Potabilizadora de Liberia.	37
Figura 4-3. Transformadores instalados.....	38
Figura 4-4. Sistema de control y potencia del sistema de bombeo de la Planta Potabilizadora de Liberia.....	39
Figura 4-5. Sistema de control y potencia del sistema de bombeo de la Planta Potabilizadora de Liberia.....	39
Figura 4-6. Planta sulfatadora de agua de la Planta Potabilizadora de Liberia.	40
Figura 4-7. Panel de control de las bombas dosificadoras de sulfato.	41
Figura 4-8. Panel de control de los motores agitadores de sulfato.....	41
Figura 4-9. Tablero eléctrico de la planta sulfatadora de la Planta Potabilizadora de Liberia.	42
Figura 5-1. Panel de automatización y control del ICP2 y 3.	44
Figura 5-2. Diagrama de conexión del transformador de control (TR) y el dispositivo de protección de sobretensiones de control (TVSS2).	47
Figura 5-3. Circuito de control con UPS.....	49
Figura 5-4. Esquema de conexión de potencia del ICP2 y ICP3.....	52
Figura 5-5. Panel de arranque con variador de frecuencia 93.2125 kW (125 HP).....	53
Figura 5-6. Circuito de control del variador de frecuencia del ICP2 y 3.....	56
Figura 5-7. Luz de fallo del variador, contactos secos de los filtros y arranque manual del variador de frecuencia.	57
Figura 5-8. Cálculo de la selección de ventiladores.....	59
Figura 5-9. Tabla 10-3 y 10-2 de la IEEE-519.	60
Figura 5-10. Distorsión armónica después del filtro de armónicos.....	61
Figura 5-11. Tabla de selección del MATRIX AP.....	62
Figura 5-12. Tabla de selección de SINEWAVE GUARDIAN.	63
Figura 5-13. Panel para control de las dosificadoras de sulfato.....	64
Figura 5-14. Diagrama del circuito de control del ICP4.....	66
Figura 5-15. Diagrama de control del VFD1.	72
Figura 5-16. Luz de fallo y arranque manual del variador de frecuencia.	73
Figura 5-17. Cálculo de la selección del ventilador del ICP4.	74
Figura 5-18. Panel para el control de los agitadores de sulfato.....	76
Figura 5-19. Diagrama del circuito de control del ICP5.....	78
Figura 5-20. Circuito de control del variador de frecuencia.....	82
Figura 5-21. Cálculo de la selección del ventilador del ICP5.	83
Figura 5-22. Cuarto de agitadores de sulfato.....	85
Figura 5-23. Determinar el SCCR del cuadro de control.....	87
Figura 6-1. Datos de la planta potabilizadora.	90
Figura 6-2. Acceso a la HMI.....	91

Figura 6-3. Menú principal.	92
Figura 6-4. Zoom en el menú principal.	92
Figura 6-5. Esquema operativo del centro de bombeo.	93
Figura 6-6. Zoom en el esquema operativo del centro de bombeo.	94
Figura 6-7. Esquema operativo de la planta sulfatadora de las bombas dosificadoras de sulfato.	95
Figura 6-8. Esquema operativo de los agitadores de sulfato.	96
Figura 6-9. Barra de menús.	97
Figura 6-10. Medidor de energía principal.	98
Figura 6-11. Medidor de energía de dosificadoras de sulfato.	99
Figura 6-12. Ajustes del centro de bombeo.	100
Figura 6-13. Ajustes de la planta sulfatadora.	100
Figura 6-14. Alarmas históricas.	101
Figura 6-15. Alarma actual.	102
Figura 7-1. Diagrama unifilar de la planta potabilizadora.	104
Figura 7-7-2. Diagrama unifilar el tablero de la planta sulfatadora.	105
Figura 7-3. Detalle 3 de la figura B.310.15(B)(2)(2).	128
Figura 7-4. Estudio de iluminación del primer piso de la planta sulfatadora.	143
Figura 7-5. Estudio de iluminación del segundo piso de la planta sulfatadora.	143
Figura 7-6. Estudio de iluminación del centro de bombeo.	145
Figura 8-1. Resultados de cortocircuito de los tableros y ICP de la planta potabilizadora de Liberia.	147

Índice de tablas

Tabla 5-1. Corrientes de cortocircuito.	88
Tabla 7-1. Circuitos del tablero de la planta sulfatadora (TP3).	106
Tabla 7-2. Receptáculos por aposento de la planta sulfatadora.	107
Tabla 7-3. Iluminarias por sección de la planta sulfatadora.	110
Tabla 7-4. Iluminarias de emergencia por sección de la planta sulfatadora.	113
Tabla 7-5. Tabla resumen del tablero de la planta sulfatadora. TP3.	123
Tabla 7-6. Factor de demanda del tablero de la planta sulfatadora (TB3)	125
Tabla 7-7. Circuitos del tablero I-line (TP0)	132
Tabla 7-8. Tabla resumen del tablero I-line (TP0).	136
Tabla 7-9. Cantidad de lux requerida e instalada en cada recinto de la planta sulfatadora. ..	142
Tabla 7-10. Cantidad de lux requerida e instalada en cada recinto del centro de bombeo. ...	145
Tabla 7-11. Cantidad de lux de emergencia instalada en cada recinto de la planta potabilizadora.	146
Tabla 8-1. Capacidad de corriente de cortocircuito de los diferentes tableros y ICP de la planta potabilizadora de Liberia.	148

1. Capítulo 1. Datos generales

1.1. Hoja de información

Información del estudiante:

Nombre completo: William Andrés Brenes González

Número de cédula: 2-0763-0235

Número de carné: 2016067661

Edad: 23 años

Números de teléfono: 8642-2098

Correos electrónicos: wili.bg@hotmail.com / wbrenes@estudiantec.cr

Dirección exacta de domicilio en tiempo lectivo: 150 metros norte de la Farmacia Fischel de Cartago.

Dirección exacta de domicilio en tiempo no lectivo: 150 metros sur del Colono de Aguas Zarcas, San Carlos, Alajuela.

Información de la empresa

Nombre: Electro Beyco S.A.

Actividad principal: Proporciona soluciones de control industrial, automatización y bombeo, además tienen venta de equipos electromecánicos.

Dirección: Barrio El Jardín, Ciudad Quesada, San Carlos, Alajuela

Contacto: info@electrobeyco.com

Teléfono: (+506) 2460-0775

1.2. Carta de aceptación



Figura 1-1. Carta de aceptación por parte de la empresa

1.3. Reseña de la empresa

Electro Beyco es una empresa familiar fundada en 1979, enfocada en la venta y distribución de materiales eléctricos. Con el paso de los años, se amplía el alcance a soluciones completas de control industrial, automatización y bombeo. Así es como nace Electro Beyco enfocado en materiales y soluciones electromecánicas.

En el año de 1996, Electro Beyco S.A. inicia el proceso de cambios importantes para la empresa que iniciaría una revolución e innovación constante que se mantiene hasta el día de hoy, donde se busca brindar materiales y soluciones mecánicas. Siempre enfocado en la lucha de convertirse en una de las más grandes empresas de la región Huetar Norte en esta área.

En el año 2021, luego de 40 años de crecer junto a la región Norte, Electro Beyco S.A. cuenta con 37 personas como capital humano altamente calificado en el desempeño de las diferentes actividades, con el fin de satisfacer los sectores, tales como: la agroindustria, generación y distribución, manufactura, construcción, turismo, integración y automatización de procesos. En beneficio de la finca moderna, la industria, el hogar, la ganadería y el desarrollo en la zona norte.

1.3.1. Misión/Visión

Misión: “Somos facilitadores de soluciones para todos nuestros clientes, caracterizados por la calidad en nuestros productos y un excelente servicio al cliente”

Visión: “Ser la mejor empresa de materiales y soluciones electromecánicas de Costa Rica, innovadores en las soluciones brindadas y con los mejores rendimientos

1.3.2. Descripción del proceso productivo

El departamento de automatización y servicios de Electro Beyco S.A. se desarrolla principalmente en la confección de cuartos de control de motores, sistemas SCADA, sistemas contra incendios, puesta en marcha de los paneles de control industrial y demás actividades.

Para el desarrollo de los paneles de control industrial, se sigue la siguiente metodología. Lo primero que se realiza es visitar la empresa que desea adquirir un panel para analizar las especificaciones que debe tener o se realiza una lectura de los requisitos que vienen dentro del cartel de licitación enviada ya sea por un ente privado o público.

Lo segundo que se realiza es un prediseño del proyecto a realizar, para, de esta manera, hacer un cálculo del costo que tiene la realización del proyecto y así realizar la conformación de la oferta al cliente. Cuando ya la licitación es aprobada, se realiza una revisión del prediseño realizado, se revisan los cálculos realizados, según la normativa UL508A, y, además, se seleccionan todos los artefactos que conlleva la construcción de un panel de control industrial.

El siguiente paso es realizar la confección de planos del panel, cuando los planos son terminados, se pasan a los técnicos encargados de la construcción de los paneles y, por último, cuando ya se tiene todo armado, el ingeniero a cargo se encarga de realizar la programación del PLC, variadores de frecuencia y el HMI del panel. El proceso productivo se puede ejemplificar de una manera reducida en el siguiente diagrama.

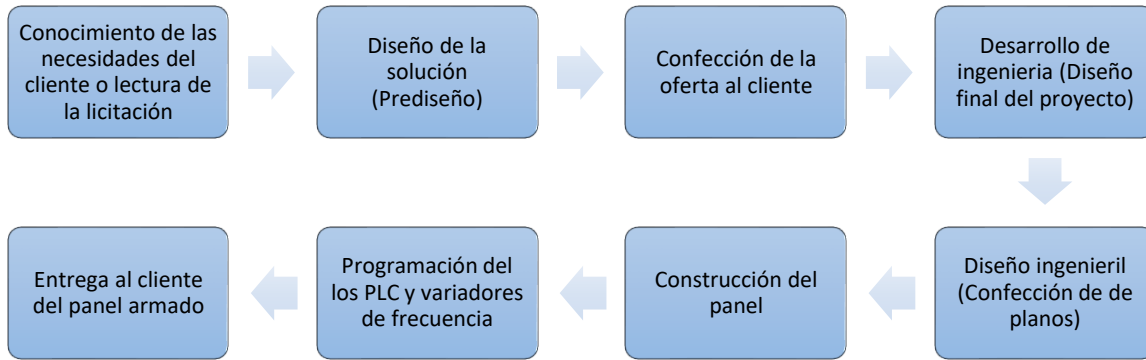


Figura 1-2. Descripción del proceso productivo de la empresa Electro Beyco S.A.

Fuente: Electro Beyco S.A. Microsoft Word.

2. Capítulo 2. Planteamiento del problema

2.1. Introducción

Con el rediseño eléctrico de la Planta Potabilizadora de Liberia, se aspira a disminuir los racionamientos de agua parte del Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA), ocasionados por la falta de disponibilidad de los equipos de la planta potabilizadora, ya que recurrentemente se deben estar realizando paros para el mantenimiento de esta.

La estación de bombeo se ubica en el cantón de Liberia, Guanacaste. En el distrito de Liberia, se encuentran diferentes urbanizaciones que se van a beneficiar con dicha construcción, además, en Liberia, existen diferentes centros académicos, centros religiosos, comercios. Según datos del Programa Integral de Abastecimiento de Agua Para Guanacaste – Pacífico Norte, el acueducto de Liberia abastece a 87 565 de habitantes en Liberia, Guanacaste (Secretaría Técnica del CAN, 2018)

Para el desarrollo de este proyecto, se deben cubrir las siguientes actividades:

1. Diseñar los paneles de control industrial de la planta potabilizadora bajo la norma Industrial Controls Panels (UL 508a) y el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014).
2. Integrar un sistema de monitoreo de las variables de caudal, tensión y amperaje en una interfaz humano-máquina en el panel de control industrial 1 (ICP1).
3. Diseñar el sistema de eléctrico e iluminación de la Planta Potabilizadora de Liberia bajo el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014).
4. Estimar la corriente de cortocircuito de diseño eléctrico propuesto.

2.2. Definición del problema

El sistema eléctrico y control de la Planta Potabilizadora fue creado en el año 1980, desde entonces, el AyA del sector de Liberia se ha visto obligado a instalar equipos eléctricos para satisfacer la demanda de agua potable, en relación con el aumento poblacional, sin un diseño eléctrico establecido, lo que ha provocado que los equipos tengan discontinuidades en su producción, generando, a su vez, racionamiento del recurso hídrico o hasta el desabastecimiento del recurso.

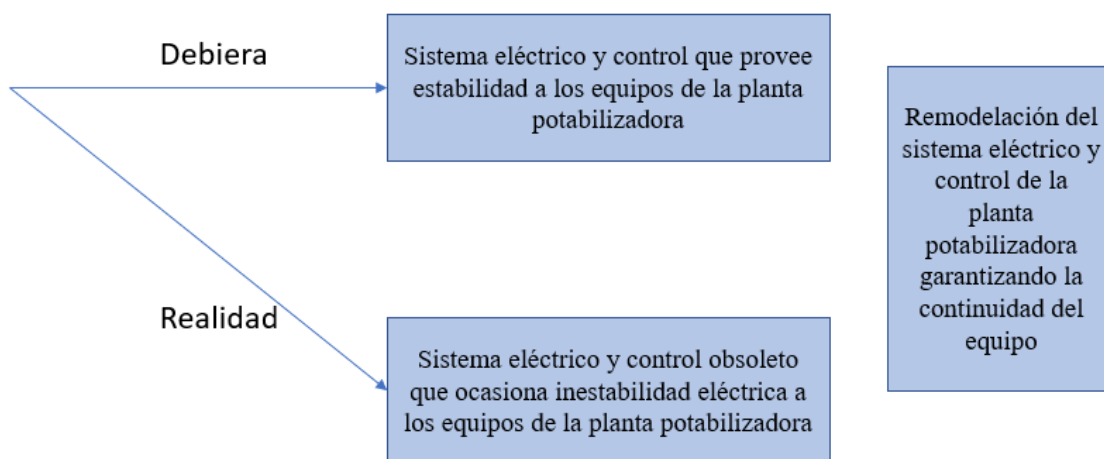


Figura 2-1. Debiera versus realidad.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Power Point.

Ahora bien, la problemática presente en la estación de Acueductos y Alcantarillados, Liberia, se hace visible en el Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste-Pacífico Norte, el cual busca la mejora de la capacidad técnica de la gestión y suministro de agua en la Planta Potabilizadora de Liberia (Secretaría Técnica del CAN, 2018), por lo cual un rediseño en la estación de bombeo mejoraría la capacidad de suministro de agua a los habitantes, ya que se disminuirían los racionamientos originados por problemas eléctricos dentro de la planta. Además, cabe destacar que, dentro del programa supracitado, se hace mención de la necesidad de realizar cambios en la Planta Potabilizadora de Liberia, pues,

actualmente, se tiene una infraestructura obsoleta, generando problemas para el abastecimiento del recurso hídrico desde el año 2010.

Los razonamientos de agua potable en la región pacífica perjudican a la población, generando situaciones complejas en aspectos como sanidad y calidad de vida. La falta del recurso hídrico constante puede generar situaciones como centros de salud y centros educativos con cierres paulatinos o totales. Desde un punto de vista comercial, puede generar que las empresas presenten inconvenientes para realizar la entrega de sus productos, ocasionando pérdidas económicas para estas (Secretaría Técnica del CAN, 2018).

2.3. Estrategia de solución

Para iniciar con la estrategia de solución al problema, se comenzó por realizar una visita a Planta Potabilizadora de Liberia para analizar el estado actual de la estación. Después de realizar la visita al lugar, se concluye que el sistema eléctrico y control realmente se encuentra en mal estado. Debido a ello, se procede a realizar un diseño de los paneles de control industrial para los diferentes motores que se encuentran ubicados en la planta. La planta cuenta con dos bombas de 93,21 kilovatios cada una (125 HP), dos bombas de 0,37 kilovatios (0,5 HP) y 5 bombas de 0,75 kilovatios (1 HP). Consecuentemente, se diseñó una interfaz humano-máquina (HMI) para la visualización de las diferentes variables de la planta potabilizadora. En seguida, se realizó el diseño eléctrico e iluminación de la planta potabilizadora, de acuerdo con los carteles de licitación del AyA y el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014) y, por último, se realizó un análisis de corriente de cortocircuito del rediseño realizado para verificar que todos los elementos seleccionados tienen la capacidad de resistir las corrientes de cortocircuito generadas en la planta.

2.4.Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Diseñar el sistema eléctrico y automatización de la Planta Potabilizadora de Liberia de 225 kVA, con el fin de modernizar el sistema y garantizar la operatividad de la estación para cumplir con el Código Eléctrico Nacional.

2.4.2. Objetivos específicos

1. Diseñar los paneles de control industrial de la estación de bombeo bajo la norma Industrial Control Panels (UL 508a) y el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014).

Entregable: selección de equipos (PLC, guardamotores, protecciones y demás equipos) y representación gráfica del panel de control industrial (software EPLAN).

Panel 1: Panel de control para las dos bombas de 93,2 kW (125hp) cada una.

Panel 2: Panel de arranque de la bomba 1 de 93,2 kW.

Panel 3: Panel de arranque de la bomba 2 de 93,2 kW.

Panel 4: Panel de control para las tres bombas dosificadoras de sulfato.

Panel 5: Panel de control para los cuatro agitadores de sulfato.

2. Integrar un sistema de monitoreo variables mediante una interfaz humano-máquina (HMI) capaz de controlar la presión de descarga de las bombas de manera estable.

Entregable: visualización de una interfaz gráfica humano-máquina (HMI) para el panel de control de las bombas de 93,21 kW (125hp) cada una.

3. Diseñar el sistema de eléctrico e iluminación de la Planta Potabilizadora de Liberia bajo el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014) y la INTE/ISO 8955-1:2016.

Entregable: selección de equipos (transformador de pedestal en aceite, transformador seco, cableado y demás equipos) y representación gráfica del sistema de potencia

4. Estimar la corriente de cortocircuito en los tableros y paneles de control industrial del diseño eléctrico propuesto basado en la norma IEC 60909, verificando la capacidad de cortocircuito de los elementos seleccionados

Entregable: corriente simétrica de cortocircuito en cada uno de los puntos de la estación de bombeo.

2.5. Justificación

El abastecimiento de agua potable de manera regular es interés político, social y económico, ya que es una necesidad para el AyA suministrar el servicio de agua potable de manera constante y de la mejor calidad posible (Estado de la Nación, 2018).

La disponibilidad del recurso hídrico es una deficiencia actual y una situación compleja en la cual intervienen una serie de factores, que van más allá del incremento de la población, los cuales demandan más este recurso para uso humano, también para llevar a cabo diferentes actividades económicas (Secretaría Técnica del CAN, 2018).

Si bien es cierto, la población del Liberia ya no aumenta en los porcentajes que se acrecentaba tiempos pasados (Estado de la Nación, 2018), dicho porcentaje sí afecta la disponibilidad de recurso hídrico constante para población, es por ello por lo que el AyA, en ciertas horas del día y principalmente en época seca, realiza razonamientos del recurso hídrico para controlar los niveles de agua en los tanques de agua, ocasionados por una poca disponibilidad de sus equipos.

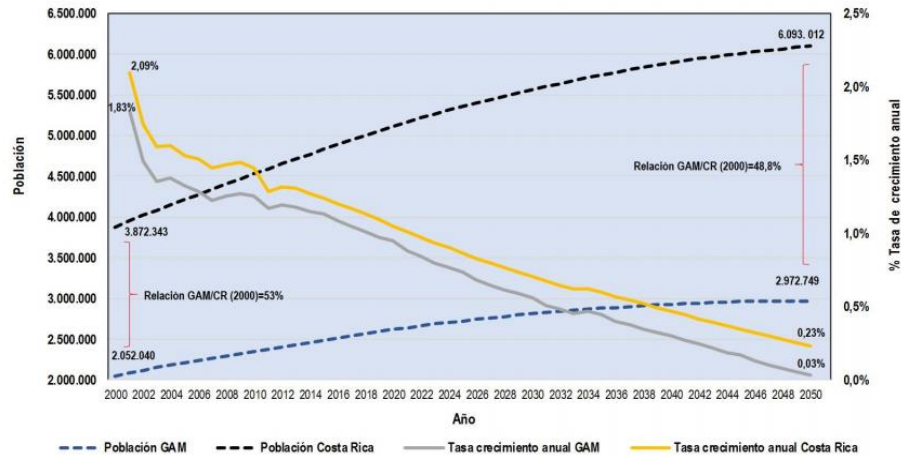


Figura 2-2. Grafico del aumento poblacional en Costa Rica.

Fuente: (Estado de la Nación 2018).

Como se muestra en la figura 2-2, la tasa de crecimiento anual de población es decreciente, pero también se nota que la población del Liberia está aumentando, es por ello que el AyA necesita realizar inversiones para aumentar sus reservas de agua potable año con año, como lo cita el Plan de Inversión 2019-2055 del AyA, donde se menciona que se deben realizar inversiones públicas para mejorar el recurso hídrico del AyA.

Además, al inicio de la administración del presidente Luis Guillermo Solís Rivera, se pronosticaba la presencia del fenómeno ENOS, el cual perjudicó al país durante el año 2014-2016. Por lo cual, el país enfrentó una de las mayores sequías, donde la disminución de lluvias promedio alcanzó valores de hasta un 70 % y en lugares críticos como en Liberia alcanzó valores de hasta un 85 % menos de precipitaciones. Dicha condición dejaba en evidencia la falta de inversión en recurso hídrico. Es por esto que se dio un estado de emergencia, según Decreto Ejecutivo N° 38642-MP-MAG, hasta en 125 comunidades, lo que se buscaba en dicho decreto era el abastecimiento de recurso hídrico por cisternas, pero, además, se busca soluciones sostenibles a largo plazo (Secretaría Técnica del CAN, 2018).

Según datos del Organización Mundial de Salud, una persona necesita 100 litros de agua por día (Rodríguez, 2003), pero dicho dato es corregido por el Instituto Nacional de Estadística del Estado Español, el cual menciona que una persona necesita 137 litros de agua por día (Instituto Nacional de Estadística, 2019). En la guía práctica para el uso eficiente de agua de Costa Rica se cita que, en el país, el consumo de agua por persona es de 200 litros por persona (Ministerio de Ambiente, Energía, Telecomunicaciones, s.f.). Analizando los datos anteriores, para realizar los cálculos respectivos para el diseño de estaciones de bombeo, se toma como base el consumo de agua que provee la guía práctica para el uso eficiente de agua de Costa Rica.

Analizando el gráfico 2-2 y tomando en cuenta los datos del consumo de agua por persona, para el AyA, es vital realizar rediseños de las estaciones de bombeo para cumplir con las nuevas demandas de consumo. También, en la resolución 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas, se cita que el agua es un derecho humano (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2010), por lo cual para el AyA es fundamental mantener el recurso hídrico de manera constante.

Además, dando respuesta a los sistemas tradicionales de operación de las estaciones, se han creado herramientas tecnológicas para garantizar un nivel de servicio para los usuarios para lograr un uso eficiente de los recursos disponibles. Sin embargo, los sistemas actuales carecen de una visión integral y múltiples deficiencias de funcionamiento del sistema a largo plazo (López, Prasad y Paechter, 2008).

Es por ello que, en la actualidad, se diseñan estaciones de bombeo como lo proponen López, Prasad y Paechter (2008), en los cuales se utiliza un modelo dinámico para determinar la mejor programación de bombeos, con el fin de minimizar el costo del consumo de energía

eléctrica y el de mantenimiento de los equipos de bombeo (López, Prasad y Paechter, 2008), además, se busca seguir con la metodología que tiene Salgarriaga et al. (2010), en donde se priorizan acciones de mantenimiento, buscando minimizar el posible impacto a los usuarios y el índice de agua no contabilizada.

2.6. Antecedentes

La planta potabilizadora de Liberia anteriormente no contaba con planos de ningún tipo, ya sean arquitectónicos, eléctricos o mecánicos, por lo cual para iniciar con el proyecto se realizaron los planos de la Planta Potabilizadora en tres dimensiones de la planta potabilizadora.

2.7. Viabilidad

Para la realización de este proyecto, se cuenta con el respaldo de la empresa Electro Beyco S.A., específicamente con el departamento de automatización y servicios, el cual se encarga de realizar los diferentes proyectos de automatización de procesos, para solventar cualquier contratiempo, la empresa cuenta con personal calificado para guiar y aconsejar durante el tiempo en que se desarrolle el proyecto.

Además, se cuenta con el apoyo por parte del AyA para la toma de datos necesarios, con el fin de realizar el proyecto. El AyA aportará la información necesaria para realizar el cálculo de cortocircuito de la estación de bombeo.

De igual forma, para hacer el proyecto, se toma en consideración el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014) y Standard for Safety Industrial Control Panels (UL 508a) por parte de empresa, el cual funciona de guía para los cálculos y diseño del sistema eléctrico de la estación de bombeo. Además, se cuenta con una base de datos suscritas por medio del sistema

de bibliotecas del Instituto Tecnológico de Costa Rica y con la asignación de un tutor académico de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.

2.8. Metodología a seguir

Tabla 1-1. Metodología por seguir en el desarrollo del proyecto.

Objetivo planteado	Actividad por realizar	Forma de análisis de datos
Objetivo 1: Diseñar los paneles de control industrial de la estación de bombeo bajo la norma Industrial Control Panels (UL 508a) y el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014).	Lectura del cartel de licitación del Instituto de Acueductos y Alcantarillados. Cálculos necesarios para el diseño de los paneles de control industrial. Representación gráfica de sistema de potencia diseñado.	Estudio de datos obtenidos
Objetivo 2: Integrar un sistema de monitoreo de las variables de caudal, tensión y amperaje en una interfaz humano-máquina en el panel de control industrial 1 (ICP1)	Diseño de una interfaz gráfica humano-máquina (HMI) para el panel de control de las bombas de 93,2125 kW (125hp) cada una.	Estudio de datos obtenidos
Objetivo 3: Diseñar el sistema de eléctrico e iluminación de la Planta Potabilizadora de Liberia bajo el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014).	Cálculos necesarios para el diseño eléctrico e iluminación de la planta potabilizadora de agua Representación gráfica del diseño eléctrico e iluminación de la planta potabilizadora de agua.	Estudio de datos obtenidos
Objetivo 4: Realizar un análisis de cortocircuito del diseño eléctrico propuesto	Corriente simétrica de cortocircuito en cada uno de los puntos de la estación de bombeo.	Estudio de datos obtenidos

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Word.

2.9. Alcance

Para el diseño de la Planta Potabilizadora de Liberia, se cuenta con la información suministrada por el AyA, la cual cita que están instaladas 2 bombas de 93,21 kW cada una (125 Hp) dos bombas de 0,37 kilovatios (0,5 HP) y 5 bombas de 0,74 kilovatios (1 HP), además, menciona que se debe colocar un transformador entre 200 y 300 kVA, dicha potencia deber ser analizada y verificada una vez realizado el rediseño del sistema de eléctrico de la estación.

Al finalizar este proyecto, se espera generar la siguiente información:

- Selección de equipos de los cinco paneles de control industrial: controlador lógico programable, guardamotores, protecciones, cableado, variadores de frecuencia y demás equipos de los paneles de control industrial.
- Planos eléctricos de los paneles de control industrial (software EPLAN).
- Diseño de los paneles de control industrial.
- Visualización de la interfaz humano-máquina.
- Diseño del sistema eléctrico de la estación de bombeo.
- Selección de equipos del sistema de potencia de la estación de bombeo: transformador de pedestal en aceite, transformador seco, filtros armónicos y senoidales, cableado y demás equipos del sistema de potencia.
- Planos eléctricos de la estación de bombeo.
- Corriente de cortocircuito en cada uno de los tableros y los paneles de control industrial.

2.10. Limitaciones del proyecto

Una de las limitantes es que la Planta Potabilizadora de Liberia todavía no está en proceso de rediseño, por lo cual la integración de la HMI quedará en una visualización.

Otra limitante es que es la obtención de la corriente de cortocircuito por parte de la compañía eléctrica, ya que tiene un alto valor económico la adquisición de dicho valor, por lo cual se obtuvo mediante una llamada telefónica por parte de un miembro del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

2.11. Cronograma

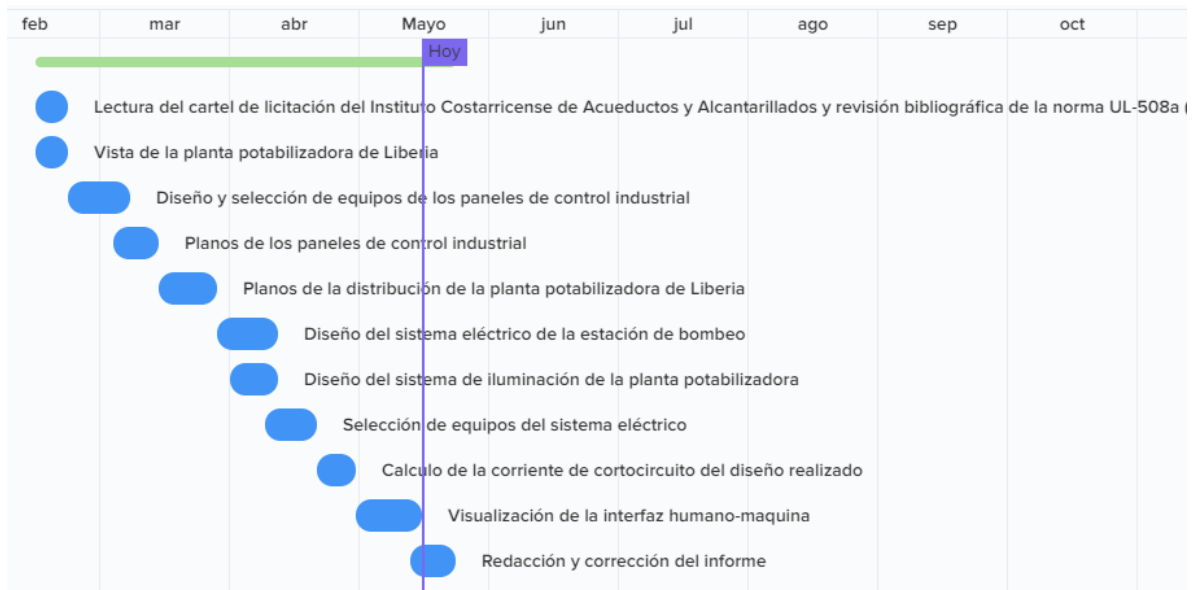


Figura 1-2. Cronograma de actividades.

Fuente: Elaboración propia. Click Up.

3. Capítulo 3. Marco teórico

Se introducirán los temas relativos a este proyecto y sobre los cuales sientan los fundamentos teóricos para realizar el estudio e investigación pertinentes.

3.1. Disposiciones de las Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

La entidad estatal encargada de fijar tarifas de los diferentes servicios públicos es la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), además, facilita las normativas para una correcta conexión a la red nacional. Aunque la ARESEP no es una empresa encargada de distribuir la energía eléctrica, es el ente responsable de establecer las tarifas eléctricas y normativas para la empresa suministradora y abonados, bajo la norma “Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión” (AR-NT-SUCAL). Mediante esta norma, se establecen requisitos para garantizar la calidad de la energía y las principales variables físicas, como lo son: tensión eléctrica, límites de variación de tensión y valores tolerables, distorsiones y demás.

3.1.1. Suministro a media tensión

Los valores de tensiones nominales establecidas en AR-NT-SUCAL para redes de distribución de media tensión se establecen en la siguiente tabla.

Sistema Tensión	Entre líneas activas (Volt)	Entre líneas activas y neutro (Volt)
Trifásico 4 conductores	4160	2400
	13200	7620
	13800	7970
	24940	14400
	34500	19920
	69000	39840

Figura 3-1. Valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución aéreas.

Fuente: (ARESEP, 2015)

En redes de distribución generales de media tensión, debe estar comprendida entre en los intervalos normales (± 5 % de los valores nominales) y tolerable (± 5 % de los valores nominales) (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

3.1.2. Valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución (baja tensión, secundario)

La ARESEP establece los valores de tensiones en el secundario del transformador a baja tensión.

Sistema – V_s (Volt)	Intervalo			
	Normal (Volt)		Tolerable (Volt)	
	V_{\min}	V_{\max}	V_{\min}	V_{\max}
Monofásico bifilar 120	114	126	110	127
Monofásico trifilar 120/240	114/228	126/252	110/220	127/254
Bifásico trifilar 120/208	114/197	126/218	110/191	127/220
Trifásico 120/208, conexión estrella	114/197	126/218	110/191	127/220
Trifásico 277/480, conexión estrella	263/456	291/504	254/440	293/508
Trifásico 240, conexión delta	228	252	220	254
Trifásico 480, conexión delta	456	504	440	508

Figura 3-2. Intervalos normales y tolerables del valor de baja tensión de servicio.

Fuente: (ARESEP, 2015)

En condiciones de operación normales, por cada periodo de 7 días consecutivos (1 Semana), el 95 % de los valores eficaces de voltaje promediados en diez minutos deben ubicarse en un intervalo normal (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

3.2. Planos eléctricos

Como parte de los entregables del proyecto se debe dar un consecutivo de planos, tanto del diseño de potencia de la estación como del diseño de los paneles de control industrial (5 paneles de control industrial). Los planos eléctricos son una manera de representar el diseño realizado, de esta manera, se facilitarán los procesos de montaje de los equipos, además,

aportará la información, la cual será consultada durante el proceso de la instalación de equipos.

El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), en el “Reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos, telecomunicaciones y de otros en edificios”, establece los procedimientos para la presentación de los planos eléctricos ante el ente mencionado. El CFIA define planos eléctricos de la siguiente manera: “Se entiende por planos eléctricos todos aquellos que contienen la información relativa a los proyectos eléctricos que están respaldados por los cálculos necesarios” (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2004).

3.3. Instalación eléctrica

En la actualidad, la mayoría de los equipos para estaciones de bombeo requieren de potencia eléctrica para su funcionamiento. Debido a esto, es necesaria la implementación de una sucesión de componentes para la distribución de la energía eléctrica, pero que se realice de una manera segura para las personas que van a hacer uso de estas y de los equipos.

El CFIA es el ente encargado de supervisar que el reglamento mencionado se cumpla a cabalidad. Además, en Costa Rica se optó por utilizar el NEC, Código Eléctrico Nacional (NFPA 70) como ley para el diseño eléctrico (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2004). En la Guía para Instalaciones Eléctricas del ICE, se expresa que una instalación eléctrica está integrada por cuatro principales elementos:

- Acometida eléctrica.
- Pararrayos (Supresores de transientes).
- Instalación de puesta a tierra.

- Instalación eléctrica del inmueble.

3.4.Tablero eléctrico

3.4.1. Tablero general

De acuerdo con Rodríguez (2012), “son los tableros principales de las instalaciones. En ellos estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación interior en forma conjunta o fraccionada”.

En el caso del rediseño de la estación de bombeo, se hará uso de un tablero de este tipo para realizar la distribución eléctrica a lo interno del inmueble. Este tablero será alimentado ya sea por el transformador tipo pedestal o el grupo electrógeno (en caso emergencia) y transmitirá la potencia eléctrica a los tres paneles de control industrial (ICP) y al transformador tipo seco.

3.4.2. Panel de control industrial (ICP, Industrial Control Panels)

Según National Electrical Manufacturers Association [NEMA] (2001), “un panel de control industrial es un conjunto montado en el piso, de una o más secciones verticales cerradas que típicamente tienen un bus de alimentación común horizontal y que contiene principalmente unidades combinadas de control de motores”.

Para el rediseño de la estación de bombeo se diseñaron cinco ICP para el control de los diferentes grupos de motores que se encuentran en la estación:

1. Panel de automatización y control del ICP2 y 3.
2. Panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 1 de 93,21 kW (125 HP).
3. Panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 2 de 93,21 kW (125 HP).

4. Panel para control de las dosificadoras de sulfato.
5. Panel de automatización para agitadores de sulfato.

3.4.2.1. STANDARD FOR SAFETY Industrial Control Panels (UL 508a)

Para el diseño de los ICP, se aplicó la UL 508A, la cual es un estándar para la construcción de paneles de control industrial. Esta norma cita las pautas para la construcción de paneles sobre diversos temas, incluyendo la selección de componentes y los métodos de cableado (Siemens, 2014).

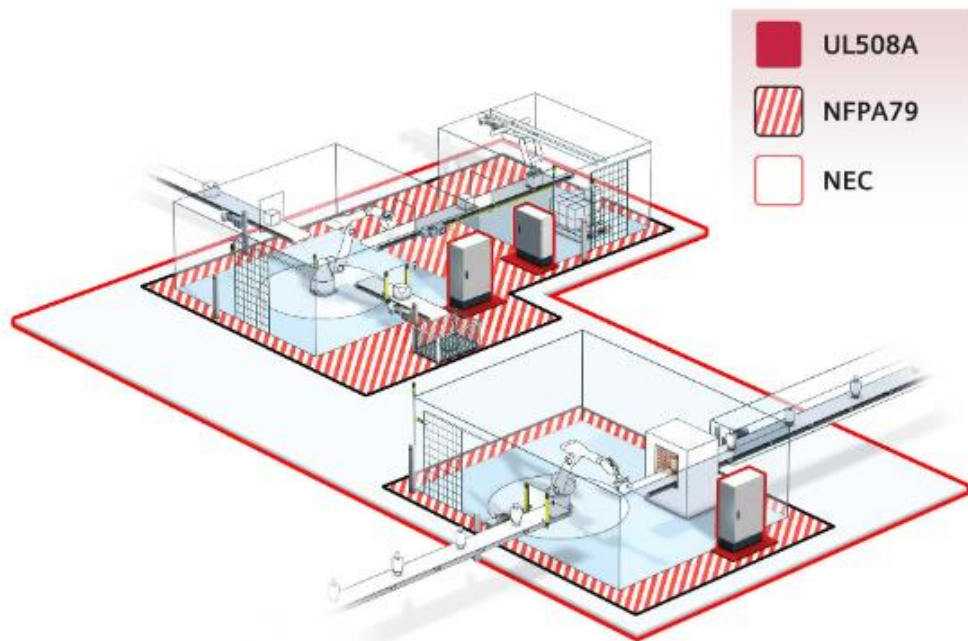


Figura 3-3. Cuadro resumen de la aplicación de las diferentes normas.

Fuente: Paneles de control y equipamiento eléctrico de máquinas industriales para Norteamérica, año 2014

3.5. Grupo electrógeno

Un grupo electrógeno (planta de emergencia) es el respaldo de esta la estación de bombeo ante una desconexión a red eléctrica. Un grupo electrógeno es una máquina rotativa, la cual acciona un generador eléctrico, mediante un motor de combustión y dicha potencia se transfiere al tablero principal (Rojas, 2018).

Actualmente, la estación de bombeo cuenta con un grupo electrógeno, la cual tiene una capacidad de entrega de 590 amperios a 480 voltios, el grupo electrógeno solo supe de potencia eléctrica las bombas de 93,21 kW (125 HP), por lo cual en el rediseño de la estación de bombeo el grupo electrógeno deberá tener la capacidad de cubrir de energía eléctrica a toda la estación de bombeo

3.6. Monitor de voltaje o relé de voltaje

Los relés de monitoreo de voltaje de Eaton son relés de protección de estado sólido que operan automáticamente cuando se pierde una o más fases de la alimentación trifásica, o cuando se invierte la secuencia de fases. Estos relés monitorean el voltaje trifásico y responden a condiciones anormales o de sobrecarga, a un umbral de voltaje mínimo preseleccionado y a un porcentaje preseleccionado de desbalance de fases para proteger los equipos contra condiciones de falla de voltaje (Eaton, 2021).

3.7. Enrutador VPN celular industrial con puertos ethernet.

Un enrutador VPN celular industrial permite garantizar un acceso remoto seguro a aplicaciones distribuidas. Están diseñados para enviar información a la nube, proporcionando transmisión de datos de dispositivos industriales conectados en la red (Novus, 2021). Este elemento se instaló en el panel de automatización y control del ICP2 y 3, para enviar señales a lo exterior de la planta potabilizadora.



Figura 3-4. Topología de un enrutador VPN celular industrial con puertos ethernet.

Fuente: Router VPN Industrial

4. Capítulo 4. Datos de partida para el diseño

4.1. Entorno físico del diseño

La Planta Potabilizadora de Liberia se ubica en el Barrio Tierra Blanca de Liberia, a una altura de 144 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 35 grados centígrados (Weather Spark, s.f.).

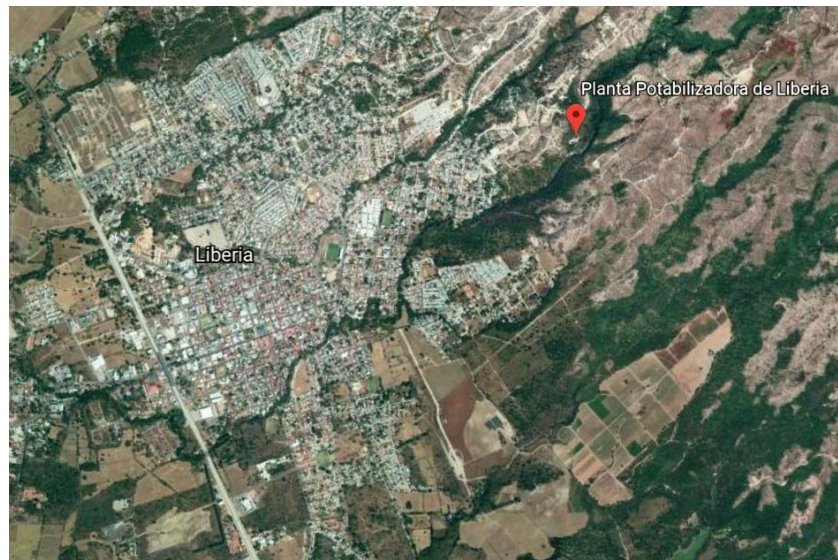


Figura 4-1. Ubicación de la Planta Potabilizadora de Liberia.

Fuente: Google Earth



Figura 4-2. Ubicación exacta de Planta Potabilizadora de Liberia.

Fuente Google Earth

4.2.Estado actual del sistema

La Planta Potabilizadora de Liberia cuenta actualmente con una acometida trifásica aérea, la cual abastece a un banco de tres transformadores monofásicos (100 kVA cada uno), además, se colocó un transformador tipo seco monofásico para las cargas generales (65 kVA) (figura 4-3).



Figura 4-3. Transformadores instalados.

Fuente: Elaboración propia.

La potencia trifásica llega a una transferencia automática, ya que la Planta Potabilizadora de Liberia cuenta con un grupo de electrógeno para el sistema de bombeo ante una eventualidad. El sistema de bombeo cuenta con un sistema de control antiguo, el cual actualmente está fuera de funcionamiento. El sistema de control y potencia se instaló, con el fin de mantener una presión constante en el sistema, así como para controlar automáticamente las bombas.



Figura 4-4. Sistema de control y potencia del sistema de bombeo de la Planta Potabilizadora de Liberia.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-5. Sistema de control y potencia del sistema de bombeo de la Planta Potabilizadora de Liberia.

Fuente: Elaboración propia.

La planta de potabilización cuenta con una planta sulfatadora de agua, ya que el recurso hídrico es tratado antes de ser abastecido a la población, esto debido a que dicha agua es tomada directamente del cauce de un río, por lo cual, normalmente, lleva consigo una serie de elementos contaminantes, como es el caso de hojas, pequeñas piedras, etc. (figura 4-6).

Consecuentemente, se hace necesario verter sulfato al agua de la Planta Potabilizadora de Liberia, con el fin de precipitar los elementos contaminantes y potabilizar el agua para consumo humano.



Figura 4-6. Planta sulfatadora de agua de la Planta Potabilizadora de Liberia.

Fuente: Elaboración propia.

La planta sulfatadora tiene consigo dos grupos de motores, uno de los grupos para dosificar sulfato al agua y el otro grupo para agitar el agua con sulfato en las pilas de agua que se encuentran en la segunda planta sulfatadora.



Figura 4-7. Panel de control de las bombas dosificadoras de sulfato.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-8. Panel de control de los motores agitadores de sulfato.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en las figuras 4-7 y 4-8, los paneles de control de motores se encuentran desactualizados, así como el sistema eléctrico de Planta Potabilizadora de Liberia, por lo cual se han realizado conexiones irrespetando el Código eléctrico Nacional (NEC, 2014), ya que se han realizado conexiones de manera incorrecta.



Figura 4-9. Tablero eléctrico de la planta sulfatadora de la Planta Potabilizadora de Liberia.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Preferencias del cliente

El presente proyecto surge con la idea de llevar a cabo una modernización del sistema eléctrico, así como la automatización de la planta potabilizadora de Liberia. Como se observa en las figuras anteriores, se denota un sistema eléctrico desactualizado y con una serie de errores que deben ser subsanados. Esto se da, ya que, desde su creación

(alrededor de los años 80), la Planta Potabilizadora de Liberia no recibe una modernización en el sistema eléctrico.

Por aspectos técnicos del AyA y de Electro Beyco, se selecciona la marca Schneider Electric, esto por cumplimiento de la marca con las especificaciones solicitadas por AyA dentro de las licitaciones.

5. Capítulo 5. Diseño de los paneles de control industrial

Para el diseño de todos los paneles de control industrial, se aplicó la norma Standard for Industrial Control Panels (UL 508a), la cual emite una serie de criterios a seguir en la construcción de paneles de control industrial.

5.1. Diseño del panel de automatización y control del ICP2 y 3 (ICP1)

La función principal de ICP1 es controlar los variadores de frecuencia para mantener una presión constante en el sistema y, a su vez, sincronizar de manera automática la alternancia de las bombas cada veinticuatro horas.

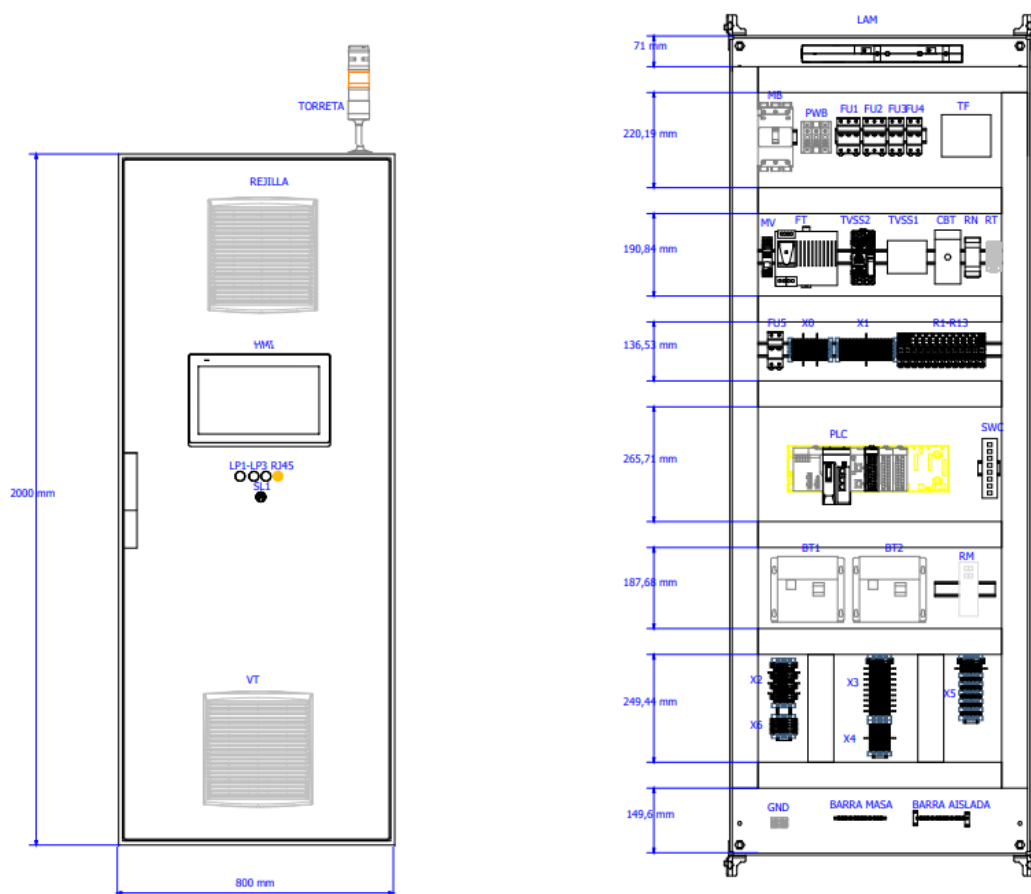


Figura 5-1. Panel de automatización y control del ICP2 y 3.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

El ICP1 cuenta con una serie de equipos (figura 5-1), donde se observa un disyuntor principal, un *powerblock*, un portafusibles, un transformador de control, un monitor de voltaje, una fuente de 24 VDC, un dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de potencia y otro dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de control del ICP, un módulo de control de batería, un relé de nivel, un termostato, unas borneras, un réles de 24 VDC, PLC, un conmutador Ethernet TCP/IP, unas baterías, un enrutador VPN, una barra de tierra masa, una barra de tierra aislada, HMI, un ventilador, unas luces piloto, un selector y una torreta.

Dentro del ICP1, se manejan tres tipos de colores de chaqueta: negro para la potencia a 480 VAC, rojo para circuito de control a 120 VAC y azul para circuito de control 24 VDC.

En la elección del disyuntor principal (MB), se analizó el amperaje máximo del ICP1, el cual es de 2,065 amperios. Es por esto que se seleccionó el disyuntor de menor amperaje disponible en el mercado de tres polos, el cual es de 20 amperios, similar al modelo BDL36020. Además, partiendo del hecho que la corriente máxima es de 2,065 amperios, se utilizó un conductor calibre 12 AWG para realizar el conexionado (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**).

El portafusible FU1 (figura 5-1) protege el cableado que dirige al dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de potencia del ICP, dichos fusibles se seleccionaron de 20 amperios, ya que estos fusibles se eligen para proteger el cableado. El conductor trae consigo el dispositivo es un THHN 12 AWG que posee una capacidad máxima de transmisión de corriente de 20 amperios (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**).

El portafusible FU2 (figura 5-1) protege el monitor de voltaje ICP, en el cual, por experiencia de Electro Beyco, se colocan fusibles de 10 amperios. El monitor de voltaje tiene como función primordial analizar el voltaje que se dispone en el sitio y, si no se encuentra entre los valores prestablecidos, cierra sus contactos, enviando una señal al ICP2 y ICP3 para no encender las bombas y, además, envía otra señal al PLC.

Los portafusibles FU3 y FU4 (figura 5-1) protegen el primario y secundario respectivamente del transformador de control (TR), estos fusibles se definen respecto a la tabla 42.2 de la UL508a (**Anexo 2. Dimensionamiento de la protección de sobretensión del primario y secundario del transformador de control.**)

$$FU3: \frac{750}{480} * 5 = 7,81A$$

El fusible FU3 se eligió con una capacidad de 6 amperios, ya que la UL508a no permite redondear hacia el inmediato superior.

$$FU4: \frac{750}{120} * 1,67 = 10,43A$$

El fusible FU4 se seleccionó de 6 amperios, pues dicho fusible también protege al dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de control, el cual tiene una capacidad de 6 amperios (figura 5-2).

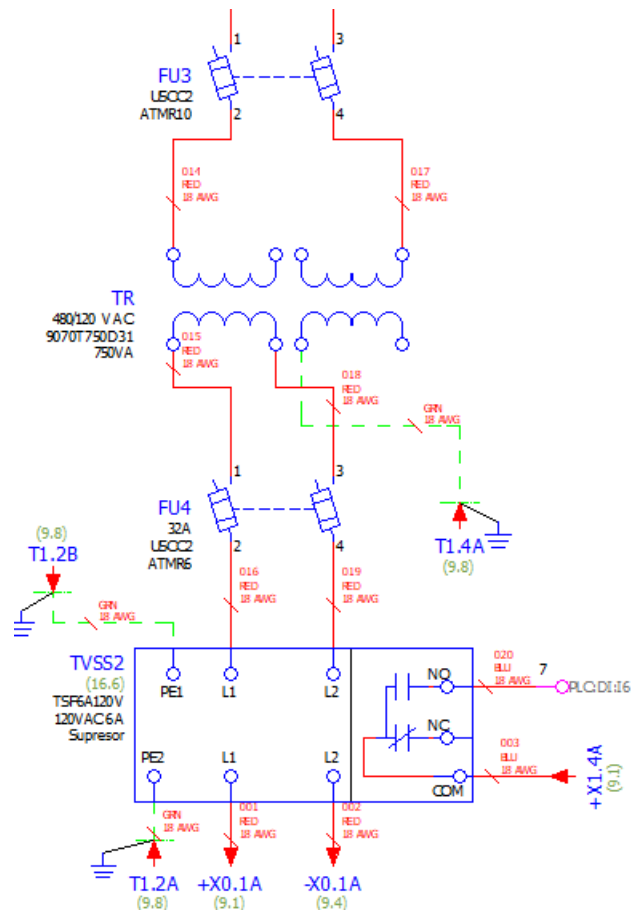


Figura 5-2. Diagrama de conexión del transformador de control (TR) y el dispositivo de protección de sobretensiones de control (TVSS2).

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

El portafusibles FU5 (figura 5-1) deshabilita los 24 voltios de corriente directa en panel, ya que dicho panel cuenta con 2 baterías, por lo que, después del controlador (CBT), se coloca un portafusibles para desconectar los 24 voltios dentro del panel.

Dentro del ICP1, se colocó un monitor de voltaje, el cual nos permite monitorear la red trifásica, tanto si se tiene una sobretensión o mínima tensión, como si la secuencia de fases no es la correcta, una pérdida de fase o un desequilibrio entre las fases. Si algunas de las características antes mencionadas se llegan activar, se envía una señal al PLC y a los variadores de frecuencia, para que se detenga su operación hasta diagnosticar el problema

dentro de la red trifásica. La señal es enviada a los variadores de frecuencia de dos maneras una de ellas es vía ethernet y con cableado, esto debido a que si el arranque de los variadores frecuencia está en módulo automática la señal es detectada vía ethernet y, si está en módulo manual, lo detecta mediante un contacto de relé que se encuentra colocado en el arranque manual.

El panel de control industrial 1 cuenta con UPS (baterías), las cuales funcionan ante una eventualidad de la pérdida de potencia eléctrica. En la figura 5-3, se observa la manera de realizar el cableado de estas. Para este diseño, como se observa en figura 5-3, se necesitan tres elementos fundamentales, una fuente de 24 voltios, que convierte 120 voltios a 24 voltios (FT) (figura 5-1), el módulo de control de batería y las baterías. La función del controlador de batería es suplir de potencia las baterías cuando la red eléctrica esté en perfecto estado, pero, cuando ocurre el siniestro, hace la transformación y las baterías emiten la potencia que tienen almacenada para el funcionamiento interno del ICP. En la figura 5-3, se denota un 1 y un 2, en el punto 1 de instalada la potencia eléctrica y en el punto 2 se envía la potencia eléctrica las bornera de 24 voltios en corriente directa colocadas dentro del panel.

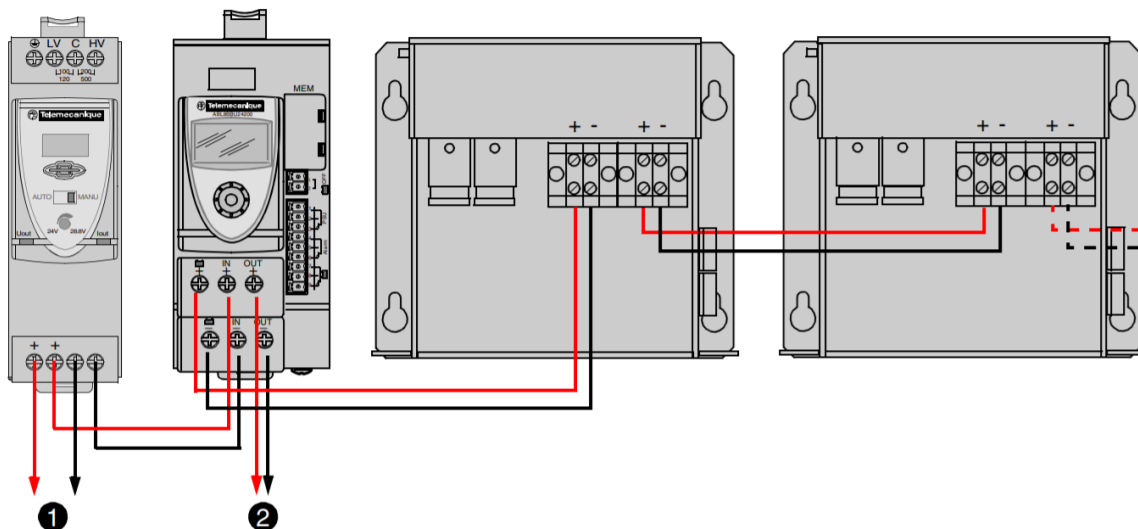


Figura 5-3. Circuito de control con UPS.

Fuente: Schneider Electric

Para la automatización del sistema de bombeo, se instaló dentro del diseño del ICP1, un controlador lógico programable “Modicon 580”, que cumple con los estándares establecidos por el AyA. Una de las funciones del PLC dentro ICP1 es recibir señales analógicas. Entre los sensores instalados en una planta potabilizadora de agua del AyA es un sensor analógico de presión de cachera, pero, además, el AyA exige que se instalen previstas de entradas analógicas del PLC conectadas a borneras. También, se colocan previstas para entradas y salidas digitales.

Dentro de los carteles de licitación del AyA, se cita que los paneles de automatización de plantas potabilizadoras se coloquen enrutador VPN celular industrial con puertos ethernet, es por esto que, dentro del ICP, se colocó un enrutador VPN de la marca “Robustel” (RM) (figura 5-1), el cual nos permite enviar las señales captadas del PLC a un centro de control remoto externo a la planta potabilizadora de Liberia, con este elemento, se pueden visualizar datos de manera remota, además, permite enviar alertas en forma de SMS o correos electrónicos ante una eventualidad.

Para evitar el funcionamiento en seco de las bombas, se instauró un relé de nivel, el cual cierra sus contactos secos, en caso de que el tanque de agua no posea recurso hídrico, enviado una señal al PLC y, además, encendiendo una luz piloto en la puerta del ICP1. Se envía una señal cableada por ethernet a los paneles, donde se encuentran los variadores de frecuencia para que dichos elementos no enciendan ante esta eventualidad.

En las ofertas el AyA, se exige dentro de los paneles de automatización la instalación de una barra de tierra aislada, para conectar los equipos sensibles dentro del ICP, como lo es el PLC, fuente de 24 VDC, interfaz humano-máquina (HMI).

En parte inferior del gabinete, existen una bornera llamada X4 (figura 5-1), en ellas se realiza la interconexión del ICP1 y los paneles donde se encuentran ubicados los variadores de frecuencia. En dichas borneras, se dispone de un espacio para la conexión de 24 voltios en corriente directa que es enviada a los dos variadores de frecuencia, debido a que los gabinetes que alojan VFD no disponen de una fuente que les supla de 24 voltios en corriente directa.

En la puerta del ICP1, se pueden observar varios elementos (figura 5-1), la LP1 se enciende cuando el PLC detecta una falla de comunicación entre ICP1 y alguno de los elementos que controla el ICP, la LP2 se enciende cuando el monitor de voltaje detecta alguna de las características antes mencionadas, la LP3 se enciende cuando el relé de nivel detecta alguna de las fallas anteriormente mencionadas, SL1 permite seleccionar un control del ICP1, de manera remota o local. Además, se colocó una HMI de la marca Schneider del catálogo “HMIST6700” (Pantalla táctil de 15 pulgadas), donde se podrán visualizar las principales variables de interés del AyA, como lo es el consumo de corriente, potencia, caudal, entre otras.

Cuando se realizó el cálculo de carga térmica dentro del ICP con el software ProClima de Schneider, este emite la no necesidad de colocar un ventilador dentro del diseño, pero se decidió colocar un ventilador para mantener un diseño uniforme dentro del cuarto de control, debido a que los paneles donde se ubican variadores de frecuencia sí se deben colocar ventiladores, es por esto que se colocó una rejilla en la parte inferior del panel y un ventilador extrayendo la temperatura en la parte superior del panel.

Para finalizar el diseño del ICP1, se colocó una torreta en la parte superior del panel, para que se active en caso de que ocurra una eventualidad en la planta potabilizadora de agua.

5.2. Diseño del panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 1 y 2 de 93,21 kW (125 HP) (ICP2) (ICP3)

El diseño del ICP2 y 3 se desarrolló en manera conjunta, debido a que ambos cuentan con las mismas características físicas, eléctricas y mecánicas. ICP2 y 3 desarrollan la función de controlar las bombas de 93,21 kW cada una (125 Hp) (**Anexo 41. Dato de placa de las bombas del cuarto de bombeo**).

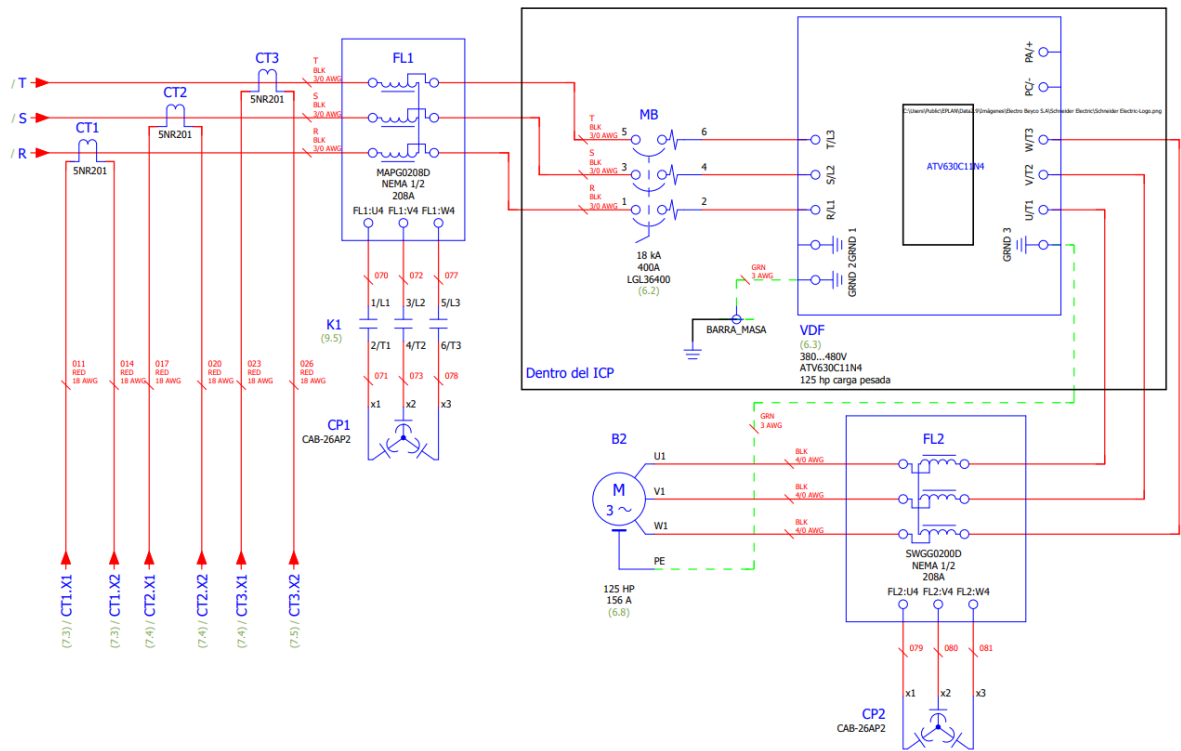


Figura 5-4. Esquema de conexión de potencia del ICP2 y ICP3.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

5.2.1. Selección del variador de frecuencia

La selección del variador de frecuencia se realizó con respecto a las exigencias del AyA, donde indica que se debe elegir un variador de frecuencia con capacidad de carga pesada (HD), lo que implica que la capacidad de sobrecarga sea al 150 % superior del par nominal del motor, durante un tiempo 60 segundos en modo de trabajo pesado cada 10 minutos.

Con lo anterior, se puede concluir la necesidad de sobredimensionar la elección del variador de frecuencia, así, para un motor de 125 HP, se debe instalar un variador de frecuencia con una capacidad de demanda de 150 HP, de esta manera, se cumple con la exigencia del variador de frecuencia de carga pesada. Por ello, se seleccionó el variador de frecuencia marca Schneider Electric del catálogo ATV630C11N4. **Anexo 25. Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600**

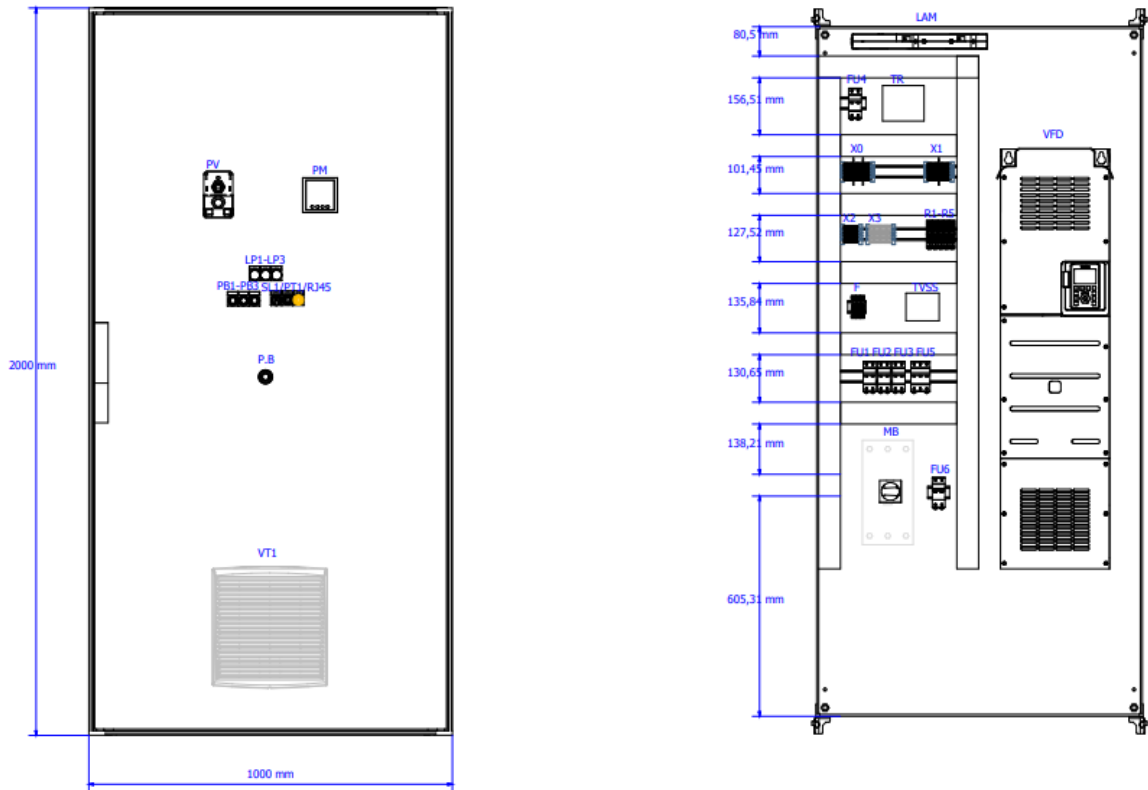


Figura 5-5. Panel de arranque con variador de frecuencia 93.2125 kW (125 HP).

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

5.2.2. Selección del interruptor automático

El documento “Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600” (**Anexo 25. Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600**), de la marca Schneider Electric, da la recomendación de selección del interruptor automático para cada uno de los variadores de frecuencia de la gama ATV600, además, el documento hace referencia a la clasificación de corrientes de cortocircuito probadas con cada interruptor automáticos. Tomando en consideración la información anteriormente citada, se seleccionó un interruptor de 400 amperios, del catálogo “LGL36400” de la marca Schneider Electric (MB) (figura 5-5), además, con un disyuntor de marco LGL, se provee una clasificación de corriente de cortocircuito de 35 000 amperios.

5.2.3. Dimensionamiento de los conductores dentro del panel

En el artículo 430.122A del NEC 2014, la cual indica que el conductor del circuito que alimenta del variador de frecuencia debe tener una ampacidad no menor a 125 % de la corriente a plena carga del equipo. Además, el artículo 430.22 del NEC 2014 menciona que el conductor que alimenta un motor desde un rectificador de corriente no debe ser inferior al 125 % de la corriente a plena carga de la salida del rectificador.

Conociendo los datos de corriente de entrada y salida máximas del variador de frecuencia, se eligen los conductos de alimentación del variador de frecuencia y salida-alimentación del motor. La corriente máxima de entrada del variador en carga pesada es del VFD es de 143 amperios y la máxima corriente de salida es de 173 amperios (**Anexo 28. Características del variador de frecuencia ATV630C11N4**). Considerando que la temperatura máxima de Liberia es de 35 °C, se determinó la aplicación de un factor de corrección de temperatura de 0,94 @ 75°C, según la tabla 310.15(B)(2)(a) (**Anexo 19. Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30 C**).

$$\text{Ampacidad de entrada: } \frac{143 \times 1,25}{0,94} = 190,16 \text{ A}$$

De acuerdo con la tabla 28.1 de la UL508a, se dispuso un conductor #3/0 AWG, que soporta una ampacidad de 200 A @75°C (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**).

$$\text{Ampacidad de salida: } \frac{173 \times 1,25}{0,94} = 230 \text{ A}$$

Haciendo uso de la misma tabla anterior, se instaló un conductor #4/0 AWG, que sobrelleva una ampacidad de 230 A @ 75°C (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**).

Para el escogimiento del conductor de puesta a tierra, se aplicó la tabla 15.1 de la UL508a, la cual hace referencia a utilizar un conductor #3 AWG, cuando el ajuste del dispositivo automático de sobrecorriente no exceda los 400 A (**Anexo 5. Tamaño del conductor de puesta a tierra del equipo**).

5.2.4. Selección de los portafusibles y fusibles

Los portafusibles FU1, FU2, FU3 (figura 5-5) protegen el circuito de transformadores de corriente (donas de medición) que se dirigen a campo para realizar las respectivas mediciones, por lo cual, por recomendaciones recibidas por parte de Schneider Electric, se deben colocar fusibles de 1 amperio.

El portafusible FU4 (figura 5-5) resguarda el primario del transformador de control de 500 VA. Para la selección de los fusibles, se aplicó la tabla 42.2 de la UL508a (**Anexo 2. Dimensionamiento de la protección de sobreintensidad del primario y secundario del transformador de control.**), en la cual se debe aplicar un factor de 5 cuando la corriente en el primario no supere los 2A.

$$FU4: \frac{500}{480} \times 5 = 5,21 A$$

El fusible FU4 se seleccionó con una capacidad de 4 amperios, esto ya que en las notas de tabla 42.2, no se permite redondear hacia el inmediato superior cuando se seleccionan fusibles para el transformador de control.

El portafusible FU5 (figura 5-5) protege el cableado que se dirige al dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de potencia del ICP2. Los fusibles se seleccionaron de 20 amperios, estos ya se disponen para proteger el cableado del dispositivo

que tiene instalado un conductor #12 AWG, el cual tiene una ampacidad máxima de 20 amperios (Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A)

El portafusible FU6 (figura 5-6) protege el circuito de 24 voltios en corriente directa enviado desde el ICP1, este circuito es protegido con un fusible de 4 amperios, ya que, por experiencia de Electro Beyco, es la condición más idónea.

5.2.5. Circuito de control del variador de frecuencia del ICP2 y 3

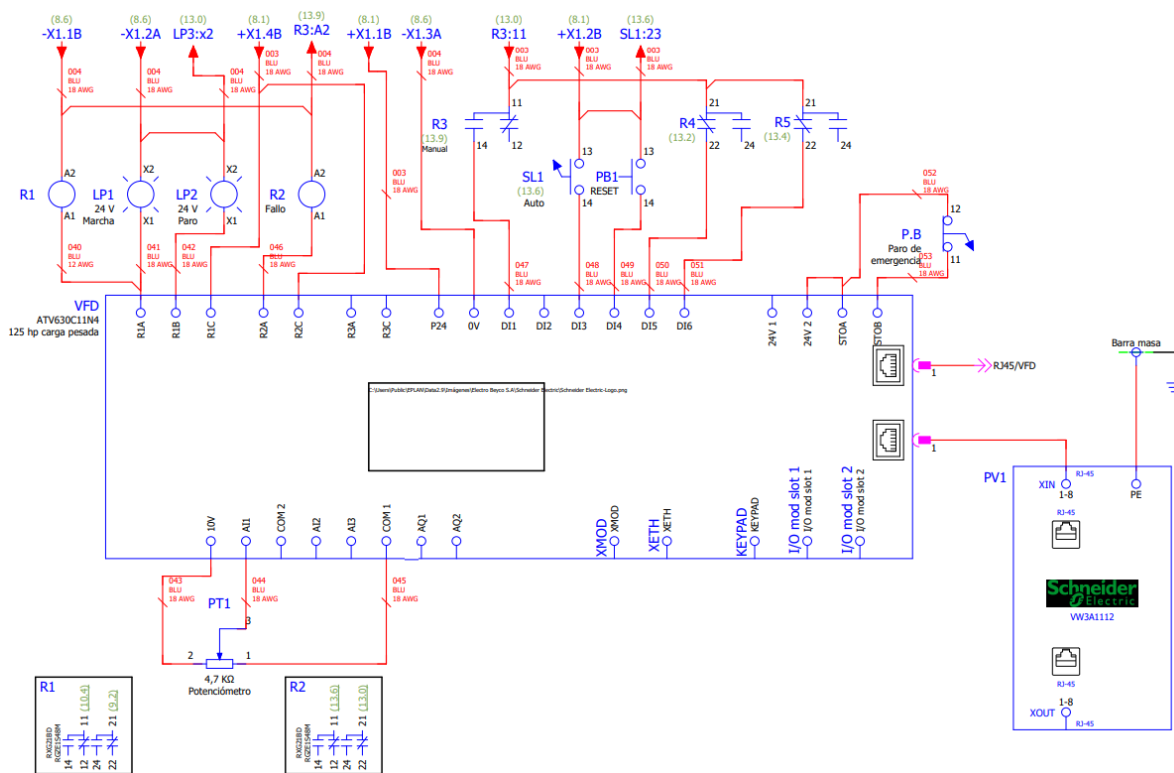


Figura 5-6. Circuito de control del variador de frecuencia del ICP2 y 3.

Fuente. Elaboración propia. EPLAN.

En este punto, se detallará puntualmente el sistema de control del variador de frecuencia, ya sea en modo manual o automático. Para iniciar, se colocó el relé 1 (R1) (figura 5-6), el cual cumple con la función de controlar el sistema de ventilación forzada del gabinete y, además, intervenir la bobina del K1 (figura 5-5), la bobina del contactor K1 se instaló con

el fin de desactivar los capacitores del filtro de armónicos cuando la bomba no se encuentre operando. Esto se realizó, pues es uno de los puntos que se citan en los carteles de licitación del AyA.

La luz piloto “LP1” es una indicación que se colocó en la puerta del gabinete (figura 5-5) para mostrar al operario que la bomba se encuentra operando, además, a luz piloto “LP2” tiene consigo la función inversa a la LP1, la cual indica que la bomba se encuentra apagada.

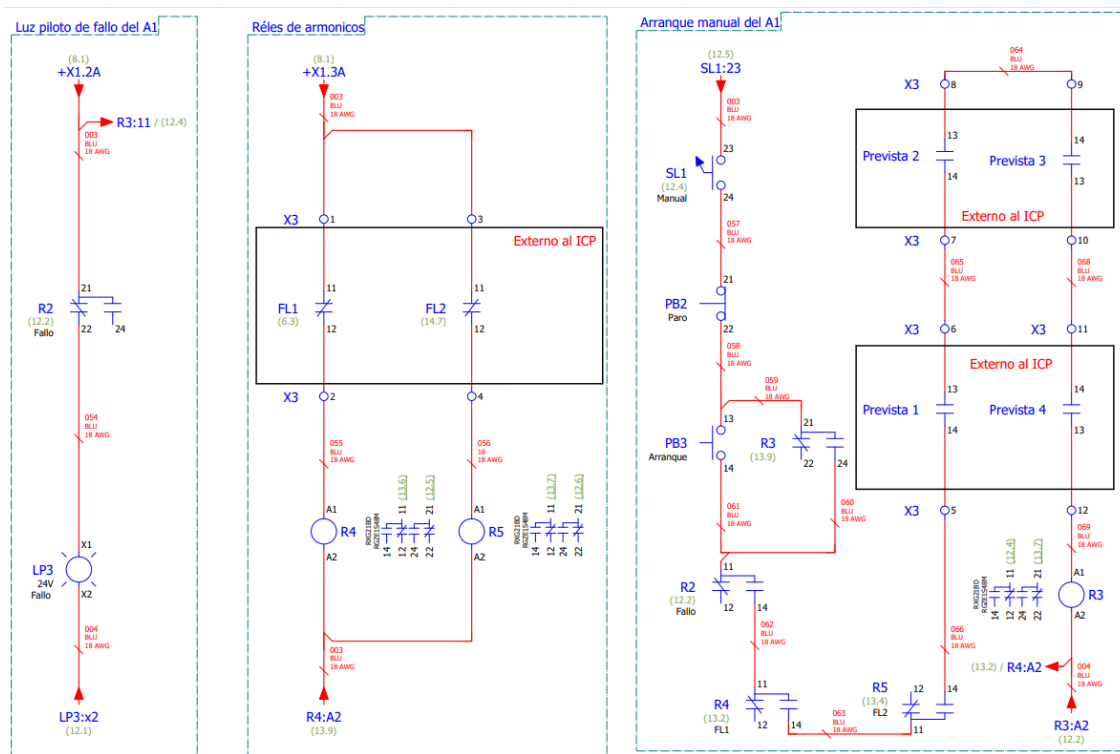


Figura 5-7. Luz de fallo del variador, contactos secos de los filtros y arranque manual del variador de frecuencia.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

El relé 2 (R2) (figura 5-6) se posicionó con la finalidad de encender la luz de fallo del panel (LP3) y, además, impide el arranque manual del VFD.

Cabe destacar que el variador de frecuencia se supe de 24 voltios de manera externa (no se utilizará la fuente interna del variador de frecuencia), por lo tanto, se debe colocar en

el punto P24 y 0V del VFD el 24 voltio y el 0 voltios, respectivamente. El contacto seco del relé 3 (R3) (ver figura 5-6) realiza en enclavamiento, en caso de que se desee realizar un arranque manual del variador de frecuencia.

El selector SL1 (figuras 5-6 y 5-7), se instaló con el fin de seleccionar un arranque manual o automático del variador de frecuencia. El pulsador PB1 (figura 5-6) se instaló con el fin de realizar un reinicio del variador de frecuencia ante una falla de este. Ya sea el filtro de armónicos o senoidal de fábrica se le debe instalar un interruptor o contacto seco normalmente cerrado, el cual se abrirá si el filtro supera una temperatura interna de 180 °C, generando que el filtro deje de operar. Por lo cual, se instaló un relé (R4-R5) (figura 5-7) a la salida de cada uno de los contactos secos de los filtros, con la finalidad de apagar el variador de frecuencia ante la apertura del contacto del filtro.

El paro de emergencia del panel de control industrial se instaló entre los puntos 24 V2, STOA y STOB (figura 5-6), generando que, si se presiona dicho botón, deshabilita la bomba hasta que se vuelva a presionar el botón.

Para regular la frecuencia de operatividad del variador de frecuencia, se puede realizar de dos métodos, para ellos, se instalaron en la puerta del gabinete un potenciómetro (PT1) y un *display* gráfico (PV1) (figura 5-6). En el *display gráfico*, además de controlar la frecuencia de operatividad de la máquina, permite visualizar la frecuencia de operación de este. Por último, en ICP2 y 3 se instaló un TCP/IP ETHERNET para recibir las señales enviadas por el PLC, que se encuentra ubicado en ICP1.

5.2.6. Selección del sistema de ventilación forzada

Para el cálculo de la demanda de caudal de aire necesario para mantener una temperatura entre 30 y 40 grados centígrados dentro del ICP, se utilizó el software ProClima de Schneider Electric, el cual da un criterio de diseño de la cantidad de metros cúbicos por hora se deben suministrar en el gabinete para mantener la temperatura antes citada.

CALCULOS

Potencia de autoconvección:	185,13 W
Total potencia disipada	2345,12 W
Potencia necesaria es :	2159,99 W
Potencia autoconvección (calefactoras)	426,53 W
Potencia disipada (calefactoras)	0,00 W
Potencia necesaria (calefactoras)	426,53 W
Superficie intercambio (m2)	6,60 m ²
Temperatura interior estabilizada	99,50 °C
Caudal de aire (m3/h)	1151,99 m ³ /h
Rendimiento (W/°C)	423,53 W

Figura 5-8. Cálculo de la selección de ventiladores.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la figura 5-8, el gabinete necesita 1151,99 metros cúbicos por hora, para cumplir con las temperaturas antes citadas, por lo que, para suplir el caudal de aire demandado, se colocaron tres ventiladores NSYCVF560M230PF, que entre los tres proporcionan un caudal de 1344 metros cúbicos por hora. Los ventiladores se colocaron de la siguiente manera, un ventilador inyectando aire al gabinete en la parte inferior y dos ventiladores extrayendo aire del gabinete (**Anexo 36. Ficha técnica del producto NSYCVF560M230PF**).

5.2.7. Filtro de armónicos y sinusoidal

Los carteles de licitación de AyA citan explícitamente la necesidad de colocar un filtro de armónicos antes del variador de frecuencia y un filtro sinusoidal, después del variador de frecuencia. Se exige que la distorsión armónica total de la corriente THID y voltaje THVD en los terminales de entrada del filtro de armónicos no debe exceder los límites definidos en las tablas 10-3 y 10-2 de IEEE-519, respectivamente. Y, para la salida el filtro sinusoidal, se debe integrar la forma de onda resultante en un seno de onda de la tensión con aproximadamente 5 % de distorsión armónica total (típico). También se tienen que analizar que los filtros deben estar listados UL508A, por lo que se seleccionaron filtros de la marca MTE Corporation que cumplen con la UL508A.

Low-Voltage System Classification and Distortion Limits			
	Special Applications¹	General System	Dedicated System²
Notch Depth	10%	20%	50%
THD (voltage)	3%	5%	10%
Notch Area (A_{NI}) ³	16 400	22 800	36 500

NOTE: The Value AN for other than 480 V systems should be multiplied by V/480.
 1 Special applications include hospitals and airports.
 2 A dedicated system is exclusively dedicated to the converter load.
 3 In volt-microseconds at rated voltage and current.

Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69.000V)						
Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Where:
 I_{sc} = Maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = Maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

Figura 5-9. Tabla 10-3 y 10-2 de la IEEE-519.

Fuente: Imágenes Google.

Un variador de frecuencia se puede considerar como un sistema delicado, por lo cual la distorsión armónica no puede superar 10 %.

5.2.7.1. Selección del filtro de armónicos

La distorsión armónica generada por un variador de frecuencia puede rondar 60 %, como se observa en figura 5-10, la distorsión armónica es producto de la rectificación que está presente en la entrada de un variador de frecuencia. La corriente distorsionada conduce a una caída de tensión igualmente distorsionada, lo cual se traduce en voltaje de alimentación con armónicos. Es por esto la necesidad de colocar un filtro de armónicos antes del variador de frecuencia para que degrade la red eléctrica.

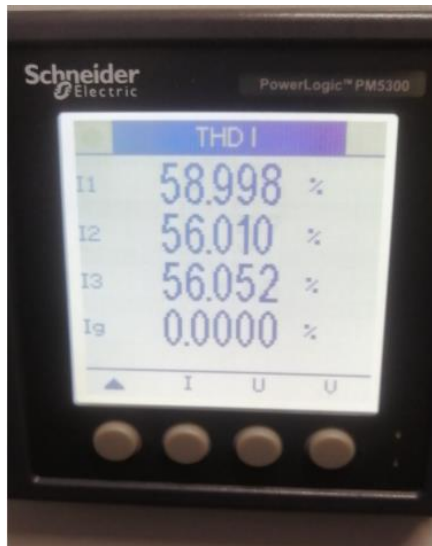


Figura 5-10. Distorsión armónica después del filtro de armónicos.

Fuente: Elaboración propia.

Para la selección del filtro de armónicos, se aplicó la tabla de selección de la marca MTE Corporation.

480V 60Hz																	
Motor [Ref Only]	Filter Amps Rating	MTE Part Number	Enclosure Type	Filter Dimensions (H x W x D)		Approx Weight		Ref Fig	Watts Loss	Capacitor/Capacitor Panel Assembly Dimensions (H x W x D)		Qty Req'd	Ref Fig	Available Options			
				Inches	Millimeters	Lbs	Kgs			Inches	Millimeters			002	009	012	013
125	165	MAPP0165D	OPEN	20.0 x 15.3 x 11.7	508 x 389 x 297	274	124	4	1,096	6.7 x 16.4 x 7.6	170 x 417 x 193	1	1	S	*	*	*
		MAPG0165D	NEMA 1/2	51.3 x 27.7 x 24.9	1303 x 704 x 632	438	199	7		Preinstalled in cabinet				S	S	S	S
		MAPW0165D	NEMA 3R	51.3 x 27.7 x 30.0	1303 x 704 x 762	451	205	7		Preinstalled in cabinet				S	S	S	S
150	208	MAPP0208D	OPEN	20.1 x 15.3 x 11.8	511 x 389 x 300	289	131	4	1,343	6.7 x 16.4 x 7.6	170 x 417 x 193	1	1	S	*	*	*
		MAPG0208D	NEMA 1/2	51.3 x 27.7 x 24.9	1303 x 704 x 632	454	206	7		Preinstalled in cabinet				S	S	S	S
		MAPW0208D	NEMA 3R	51.3 x 27.7 x 30.0	1303 x 704 x 762	467	212	7		Preinstalled in cabinet				S	S	S	S

Figura 5-11. Tabla de selección del MATRIX AP.

Fuente: MTE Corporation

Analizando la figura 5-11, se seleccionó el filtro MAPG0208D y se escogió para un motor de 150 HP, ya que el variador de frecuencia se seleccionó para trabajo pesado, el VFD está diseñado originalmente para un motor de 150 HP, por lo que se eligió un filtro de armónicos con una capacidad de 208 amperios. Dicho filtro reduce la distorsión armónica a un 8 % cuando se está operando a un 30 % de carga y a un 5 %, cuando se está trabajando a plena carga, por lo cual se está cumpliendo lo emitido por la IEEE-519.

5.2.7.2. Selección del filtro sinusoidal

Como se explicó anteriormente, la generación de armónicos en los variadores de frecuencia puede perjudicar grandemente los elementos que estén conectados a él, por lo cual, para proteger el motor, se diseñó instalado un filtro sinusoidal a la salida del variador de frecuencia, como el caso anterior para la selección del filtro, se aplicó la tabla selección de la marca MTE Corporation.

380 - 480V 75Hz														
Motor (Ref Only)		Filter Amps Rating	MTE Part Number	Enclosure Type	Filter Dimensions (H x W x D)		Approx Weight		Ref Fig	Watts Loss	Capacitor/Capacitor Panel Assembly Dimensions (H x W x D)		Qty Req'd	Ref Fig
380V KW	480V HP				Inches	Millimeters	Lbs	Kgs			Inches	Millimeters		
-	100	130	SWG0130D	OPEN	10.7 x 12.0 x 11.5	272 x 305 x 292	108	49	10	720	8.3 x 4.6	211 x 117	1	1
			SWG0130D	NEMA 1/2	33.9 x 17.8 x 20.9	861 x 452 x 531	182	83	6		Preinstalled in cabinet			
			SWG0130D	NEMA 3R	33.9 x 17.8 x 26.0	861 x 452 x 660	189	86			Preinstalled in cabinet			
75	125	160	SWG0160D	OPEN	14.5 x 15.3 x 11.3	368 x 389 x 287	160	73	10	595	6.7 x 16.4 x 7.6	170 x 417 x 193	1	2
			SWG0160D	NEMA 1/2	51.3 x 27.7 x 24.9	1303 x 704 x 632	327	148	6		Preinstalled in cabinet			
			SWG0160D	NEMA 3R	51.3 x 27.7 x 30.0	1303 x 704 x 762	340	154			Preinstalled in cabinet			
110	150	200	SWG0200D	OPEN	14.5 x 15.3 x 14.8	368 x 389 x 376	166	75	10	650	6.7 x 16.4 x 7.6	170 x 417 x 193	1	2
			SWG0200D	NEMA 1/2	51.3 x 27.7 x 24.9	1303 x 704 x 632	336	152	6		Preinstalled in cabinet			
			SWG0200D	NEMA 3R	51.3 x 27.7 x 30.0	1303 x 704 x 762	349	158			Preinstalled in cabinet			

Figura 5-12. Tabla de selección de SINEWAVE GUARDIAN.

Fuente: MTE Corporation

Analizando la figura 5-12, se seleccionó el filtro SWG0200D, este filtro se escogió para un motor de 150 HP, ya que el variador de frecuencia se escogió para trabajo pesado, el VFD está diseñado originalmente para un motor de 150 HP, por lo que se optó un filtro de armónicos con una capacidad de 200 amperios. Dicho filtro reduce la distorsión armónica a un 5 % máximo, por lo cual estaría dentro de los estándares del AyA.

5.2.8. Medidor de potencia

Para monitorear la potencia activa, reactiva y aparente, corriente, frecuencia, factor de potencia y la disposición armónica antes del filtro de armónicos, el ICP se diseñó instalando un medidor de potencia que toma sus datos antes del filtro de armónicos para asegurarse que las variables se encuentran dentro de los establecidos. Se diseñó pensando en colocar de medidor de potencia del catálogo METSEPM5340 de la marca Schneider Electric, el cual se conecta a la HMI colocado el ICP1 para observar los datos desde dicha pantalla.

5.3. Diseño del panel para control de las dosificadoras de sulfato. (ICP 4)

El diseño de dicho panel de control industrial se realizó contemplando que debe controlar 3 motores, el motor uno tiene una capacidad de 0,37 kW (1/2 hp), el motor dos posee una capacidad de 0,37 kW (1/2 hp) y el motor tres tiene consigo potencia 0,74 kW (1 hp).

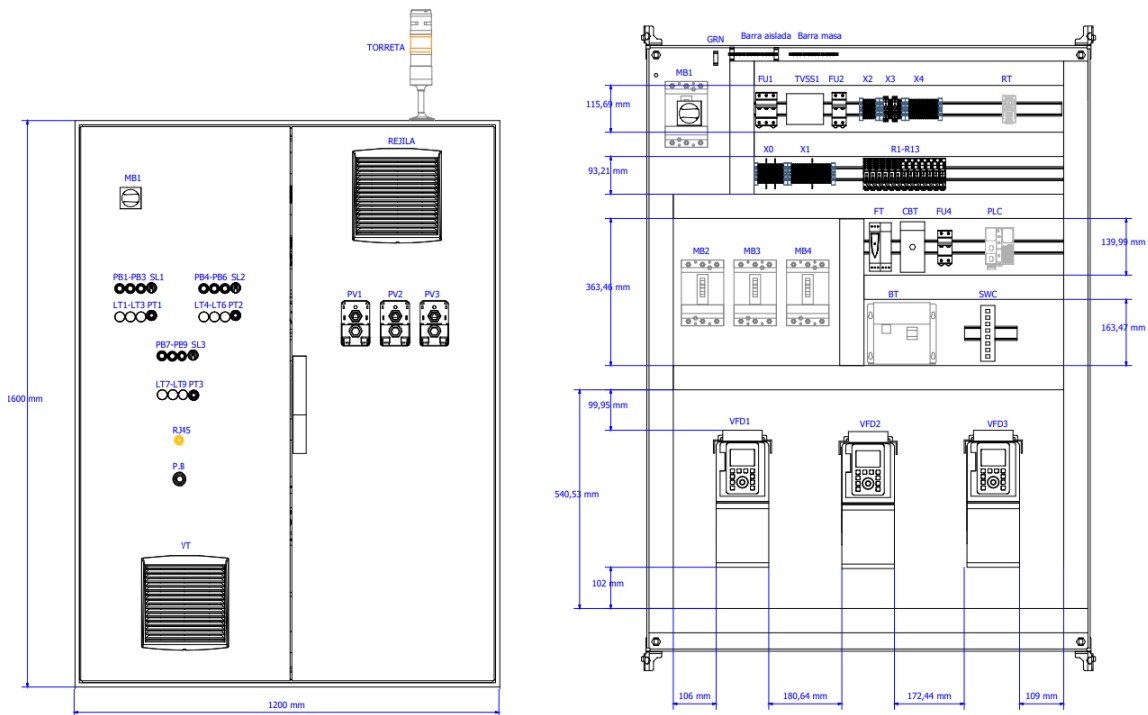


Figura 5-13. Panel para control de las dosificadoras de sulfato.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

5.3.1. Selección de los variadores de frecuencia del ICP3

5.3.1.1. Selección del variador de frecuencia 1 y 2

Los variadores de frecuencia 1 y 2 controlan dos motores de 0,5 HP respectivamente, por lo cual la selección de estos variadores de frecuencia se realizó de manera conjunta. Para entrar en contexto, los variadores de frecuencia se alimentarán de manera monofásica y entregarán potencia trifásica es por ello que se aplicó una fórmula para su selección, la cual

es emitida por el mismo fabricante de los variadores de frecuencia. Cabe destacar que el voltaje de entrada del variador de frecuencia es de 230 voltios. Estos variadores de frecuencia igual que, en el caso anterior, se seleccionaron como carga pesada (*heavy duty*). Según el dato de placa del motor, tiene un consumo de 2,2 A @ 230 voltios.

$$\text{Corriente nominal VFD: Corriente a plena carga del motor} \times \sqrt{3} \times 1,15$$

$$\text{Corriente nominal VFD: } 2,2 \times \sqrt{3} \times 1,15 = 4,38 \text{ A}$$

Por lo cual, el variador de frecuencia debe tener la capacidad de soportar una corriente de 4,38 amperios. Por lo cual, se seleccionó un variador de frecuencia de la marca Schneider Electric de catálogo ATV630U22M3, que tiene una capacidad de corriente de línea en carga pesada de 5,3 amperios (**Anexo 29. Características del variador de frecuencia ATV630U22M3**).

5.3.1.2. Selección del variador de frecuencia 3

Este variador de frecuencia controla un motor de 1 HP, igual que en el caso anterior, este se alimentará de manera monofásica y entregarán potencia trifásica, por lo cual se debe aplicar la fórmula anterior. Según el dato de placa del motor, tiene un consumo de 3,8 A @ 230 voltios (**Anexo 39. Dato de placa de motor 3 del panel de dosificadoras de sulfato**).

$$\text{Corriente nominal VFD: } 3,8 \times \sqrt{3} \times 1,15 = 7,57 \text{ A}$$

Por ello, el variador de frecuencia debe tener la capacidad de soportar una corriente de 8,36 amperios. Por lo cual, se escogió un variador de frecuencia de la marca Schneider Electric de catálogo ATV630U40M3, que tiene una capacidad de corriente de línea en

carga pesada de 10,2 amperios (Anexo 30. Características del variador de frecuencia ATV630U40M3).

5.3.2. Distribución del circuito control del ICP4

El circuito de control del del ICP es a 120 voltios de corriente alterna y 24 voltios de corriente directa (figura 5-14). El circuito de control a 120 voltios atraviesa el dispositivo de protección contra sobretensiones (TVSS2), antes de enviar la potencia a la bornera de control de 120 voltios, de dicha bornera de 120 voltios se toma potencia a alimentar la fuente de 24 voltios.

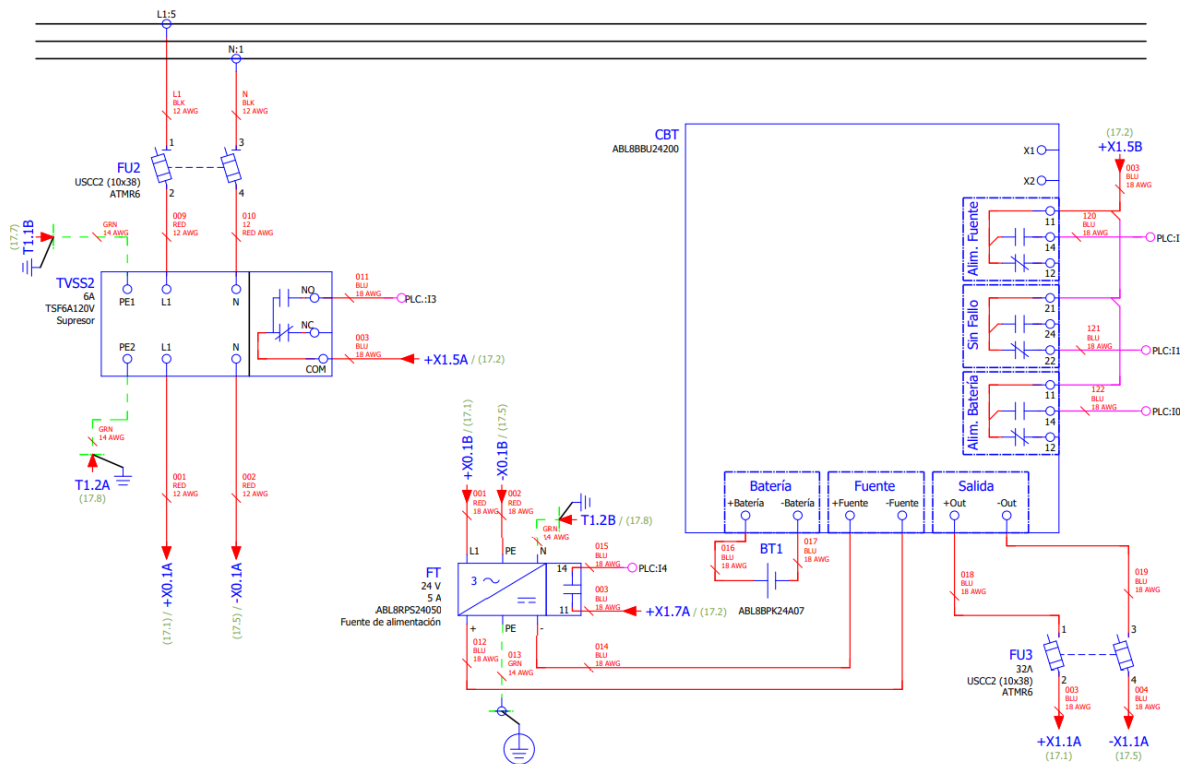


Figura 5-14. Diagrama del circuito de control del ICP4.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

De la bornera de control de 120 voltios, supe de potencia la fuente, con un consumo de 1 amperio, una bobina para el disparo de emergencia de consumo despreciable, un

ventilador que consume 0,18 amperios y una lámpara para la iluminación interna del ICP, la cual consume 0,083 amperios. Analizando los consumos del cableado de control a 120 voltios y a 24 voltios, se realizó con #18 AWG, el cual tiene ampacidad máxima de 7 amperios (**Anexo 6. Ampacidades de conductores de control.**), por lo cual tiene la capacidad de soportar todo el sistema de control de 120 voltios y 24 voltios. Cabe destacar que el cableado de control a 120 voltios se debe realizar con una chaqueta de color rojo y el cableado de control a 24 voltios se debe realizar con una chaqueta de color azul. La conexión de la fuente de 24 voltios con el controlador y la batería se realiza de la misma forma como se explicó en el ICP1.

5.3.3. Selección de los portafusibles y fusibles

El portafusible FU1 (figura 5-13) protege el cableado que se dirige al dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de potencia del ICP4, dichos fusibles se seleccionaron de 20 amperios, ya que estos fusibles se seleccionan para proteger el cableado.

El portafusible FU2 (figura 5-13) resguarda el dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de control del ICP4, dichos fusibles se seleccionaron de 6 amperios, esto pues el dispositivo permite un trasiego de 6 amperios como máximo

El portafusibles FU3 (figura 5-13) deshabilita los 24 voltios de corriente directa en panel, ya que dicho panel cuenta con una batería, por lo que, después del controlador (CBT), se coloca un portafusibles para desconectar los 24 voltios dentro del panel.

5.3.4. Selección de los interruptores automáticos

En el documento “Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600” (**Anexo 25. Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600**), de la marca Schneider Electric nos da a recomendación de cuál interruptor automático selecciona para cada uno de los variadores

de frecuencia de la gama ATV600, además, en dicho documento, hace referencia a la clasificación de corrientes de cortocircuito probadas con cada interruptor automáticos.

Por lo cual, para VDF 1 y 2, se debe seleccionar el mismo modelo de interruptor automático, el cual para un variador de frecuencia ATV630U22M3, el **Anexo 26. Continuación de la “Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600”** hace la recomendación de utilizar un interruptor automático de HGL36025, además, con un disyuntor de marco HGL, se provee una clasificación de corriente de cortocircuito de 65 000 amperios. Para el VDF 3 se debe seleccionar un interruptor automático para un variador de frecuencia ATV630U40M3, hace la recomendación de utilizar un interruptor automático de HGL36030, además, con un disyuntor de marco HGL, se provee una clasificación de corriente de cortocircuito de 65 000 amperios.

Para la selección del disyuntor principal del ICP 4, se aplicó el artículo 430.62 (A) del NEC 2014, el cual menciona que, para un conjunto de motores, se toma el disyuntor mayor que se del grupo de motores y se le suma la corriente a plena carga de los demás motores.

$$MB1: 30 + 5,3 + 5,3 + 1 + 0,18 + 0,83 = 42,61 A$$

Se seleccionó un interruptor principal que soportara una corriente nominal de línea de 40 amperios. En el diseño del ICP4, se instala un disyuntor de la marca Schneider Electric del catálogo HGL36040, el cual soporta una corriente de cortocircuito de 18 kA.

5.3.5. Dimensionamiento de los conductores dentro del panel

El artículo 430.122 del NEC 2014 menciona que los conductores de alimentación de convertidores de potencia deben tener una capacidad de transmisión de corriente no inferior a 125 % de la corriente de entrada nominal al equipo de conversión de potencia y, además,

el artículo 430.22 del NEC 2014 hace referencia a que los motores que utilicen variadores de frecuencia la ampacidad del conductor que se dirige al motor no debe ser menor al 125 % de la corriente nominal de salida del variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia uno y dos (figura 5-13) de la marca Schneider Electric específicamente el ATV630U22M3 poseen una corriente de entrada máxima en carga pesada de 5,3 amperios y una corriente de salida continua en trabajo pesado de 8 amperios en 4 kHz (**Anexo 29. Características del variador de frecuencia ATV630U22M3**)

Para realizar este cálculo, es importante analizar que la temperatura en Liberia, Guanacaste, es de alrededor de 35 °C, por lo cual el NEC 2014 en la tabla 310.15(B)(2)(a) da los factores de corrección correspondientes para cada temperatura para el caso de Liberia y haciendo uso de un conductor THW se debe aplicar un factor de 0,94 (**Anexo 19. Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30 C**). También es importante aclarar que los conductores que se dirigen del interruptor principal a los interruptores correspondientes a cada motor se debe aplicar un factor de corrección por agrupamiento, ya que por el ducto transportaría más de 3 conductores, para el siguiente caso, se diseñó analizando que, por el ducto, pasaran 6 conductores de potencia, por lo cual en la nota 2 de la tabla 28.1 de la UL 508a se cita que se debe aplicar un factor de un 80 % cuando se transporten entre 4 y 6 conductores (**Anexo 4. Continuación de la tabla de ampacidad de conductores de la UL508A**).

$$\text{Ampacidad de entrada: } \frac{5.3 \times 1,25}{0,94 \times 0,8} = 8,81 \text{ A}$$

$$\text{Ampacidad de salida: } \frac{8 \times 1,25}{0,94} = 10,64 \text{ A}$$

Por lo cual, tanto para la entrada como para la salida del variador de frecuencia se diseñó utilizando un conductor #12 AWG, el cual, según la UL508a en la tabla 28.1, posee una ampacidad máxima 20 @ 75°C (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**).

El variador de frecuencia tres (figura 5-13), de la marca Schneider Electric específicamente el ATV630U40M3, posee una corriente de entrada máxima en carga pesada de 10,2 amperios y una corriente de salida continua en trabajo pesado de 13,7 amperios en 4 kHz. Además, igual que el caso anterior, se deben aplicar los mismos factores de corrección (**Anexo 30. Características del variador de frecuencia ATV630U40M3**).

$$\text{Ampacidad de entrada: } \frac{10,2 \times 1,25}{0,94 \times 0,8} = 16,95 \text{ A}$$

$$\text{Ampacidad de salida: } \frac{13,7 \times 1,25}{0,94} = 18,21 \text{ A}$$

Por lo cual, igual que en el caso anterior, para la entrada y salida del variador de frecuencia, se diseñó utilizando un conductor #12 AWG, el cual, según la UL 508a en la tabla 28.1, posee una ampacidad máxima de 20 A @ 75°C (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**).

Para la selección del alimentador del ICP, se aplicó el artículo 430.24 del NEC, la cual menciona que el conductor no debe tener una ampacidad menor a la suma del 125 % de la corriente a plena carga del motor con el amperaje más alto, más la suma a plena de los demás motores, más el 100 % de las cargas no continuas que no sean motores y el 125 % de las cargas continuas.

Para la selección del alimentador del ICP4, se consideró el VFD 3 como la corriente nominal a plena carga con el valor nominal más alto, realizado este análisis, se aplicó el siguiente cálculo para verificar la ampacidad del calibre a seleccionar

$$\text{Ampacidad: } \frac{10,2 \times 1,25 + 5,3 + 5,3 + 1 \times 1,25 + 0,18 + 0,83}{0,94} = 27,244 \text{ A}$$

El alimentador del ICP 4 se seleccionó un calibre #10 AWG, el cual tiene una ampacidad máxima de 30 A @ 75°C, según tabla 28.1 de la UL508a (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**).

Para la selección de los conductores de puesta a tierra, se puso en uso la tabla 15.1 de la UL508A, la cual especifica los calibres para los conductores de puesta a tierra dependiendo de la capacidad sobrecorriente del interruptor. Para el ICP4 que se diseñó empleando un interruptor automático de 40 amperios, se debe emplear un calibre #10 AWG, además, al VDF 1 y 2 que se diseñó utilizando un interruptor de 25 amperios, se debe emplear al igual un calibre #10 AWG y para el VDF 3 que se diseñó utilizando un interruptor de 30 amperios se debe emplear al igual que en los casos anteriores un calibre #10 AWG (**Anexo 5. Tamaño del conductor de puesta a tierra del equipo**).

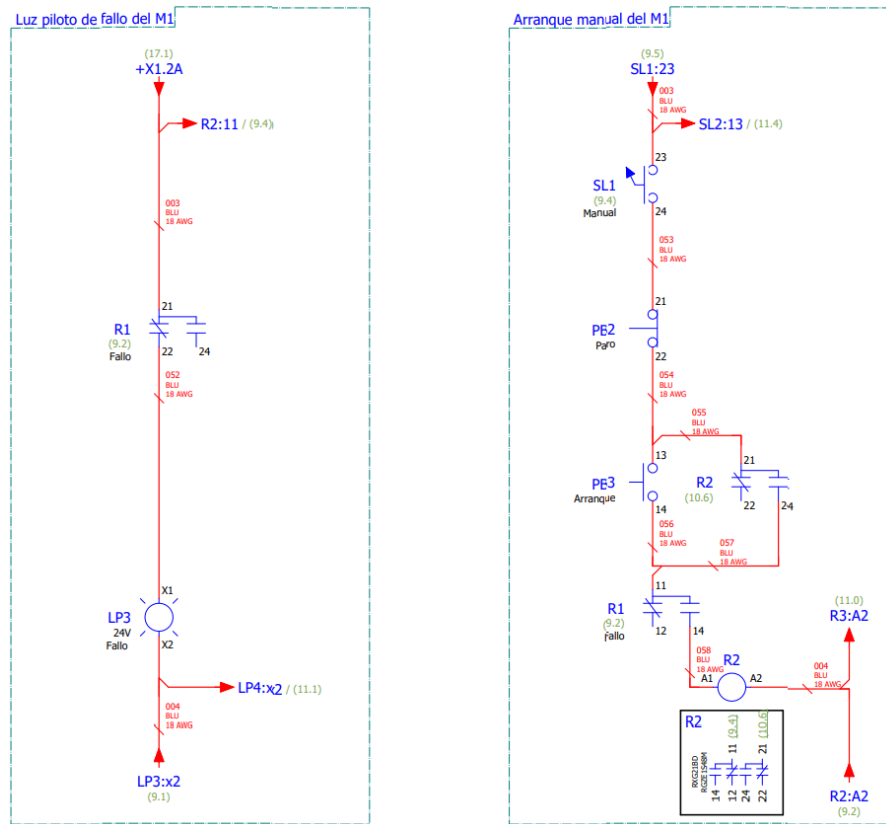


Figura 5-16. Luz de fallo y arranque manual del variador de frecuencia.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

El relé 1 (R1) (figura 5-15) tiene como función encender la luz de fallo (LP3) ante una eventualidad (figura 5-16), además, uno de los contactos secos del relé 2 se coloca en el diagrama de arranque manual, por, si ocurre un fallo, el variador de frecuencia no encienda manualmente.

Analizando que el VFD se va a alimentar de manera externa de 24 voltios de corriente directa (no se utilizará la fuente interna del variador de frecuencia), se debe conectar los 24 voltios en el punto P24 y los 0 voltios en el punto 0 V del VFD. El contacto seco del relé 2 (R2) (figura 5-15) tiene el oficio de realizar el enclavamiento, en caso de que se desee realizar un arranque manual del VFD.

El selector SL1 (figura 5-15 y 5-16) es la selección, si se desea un arranque manual o un arranque automático del variador de frecuencia. El pulsador PB1 (figura 5-15) realiza un reinicio en el variador de frecuencia, en caso de una falla en este.

Para regular la frecuencia de operación del VFD, se puede realizar de dos maneras, uno de ellos en el potenciómetro (PT1) (figura 5-15) o el *display* gráfico (PV1) (figura 5-15), ambos colocados en la puerta del gabinete. El PV1 nos permite, además de regular la frecuencia de operación, visualizar la frecuencia de operación del VFD.

5.3.7. Selección del sistema de ventilación forzada

Para la selección del sistema de extracción de aire dentro ICP para mantener una temperatura dentro del ICP entre 30 y 40 grados centígrados, se utilizó el software ProClima de Schneider Electric, el cual emite un criterio para la selección de los ventiladores a utilizar.

CALCULOS

Potencia de autoconvección:	135,31 W
Total potencia disipada	267,33 W
Potencia necesaria es :	132,02 W
Potencia autoconvección (calefactoras)	311,75 W
Potencia disipada (calefactoras)	0,00 W
Potencia necesaria (calefactoras)	311,75 W
Superficie intercambio (m2)	4,82 m ²
Temperatura interior estabilizada	44,98 °C
Caudal de aire (m3/h)	91,53 m ³ /h
Rendimiento (W/°C)	25,89 W

Figura 5-17. Cálculo de la selección del ventilador del ICP4.

Fuente: Elaboración propia (ProClima)

En la figura 5-17, se hace referencia a la instalación de un ventilador con la capacidad de extraer un caudal de aire de 91,53 metros cúbicos por hora, por lo cual, para suplir el caudal de aire demandado, se seleccionó el ventilador NSYCVF165M115PF, el cual tiene una

capacidad de 165 metros cúbicos por hora. El ventilador se ubicó en la parte superior del gabinete y se instaló una rejilla en la parte inferior del gabinete. El sistema de control del ventilador se realiza mediante un termostato ubicado dentro del panel (**Anexo 37. Ficha técnica del producto NSYCVF165M115PF**).

5.3.8. Sistema de control del ICP4

Las bombas que controlan los variadores de frecuencia deben realizar alternancia entre ellas, ya que sufren de calentamiento (dato suministrado por el AyA), por lo cual, para realizar dicha alternancia, se diseñó instalando un PLC M221 de la marca Schneider Electric, por lo cual, con dicho PLC, se puede realizar la alternancia de estas. Además, dentro del diseño, se dejaron entradas analógicas, entradas y salidas digitales del PLC conectadas a borneras como previstas.

5.4. Diseño del panel de automatización para agitadores de sulfato (ICP5).

El diseño del panel de control industrial se realizó contemplando que se debe controlar 4 motores con una capacidad 0,74 kW (1 hp).

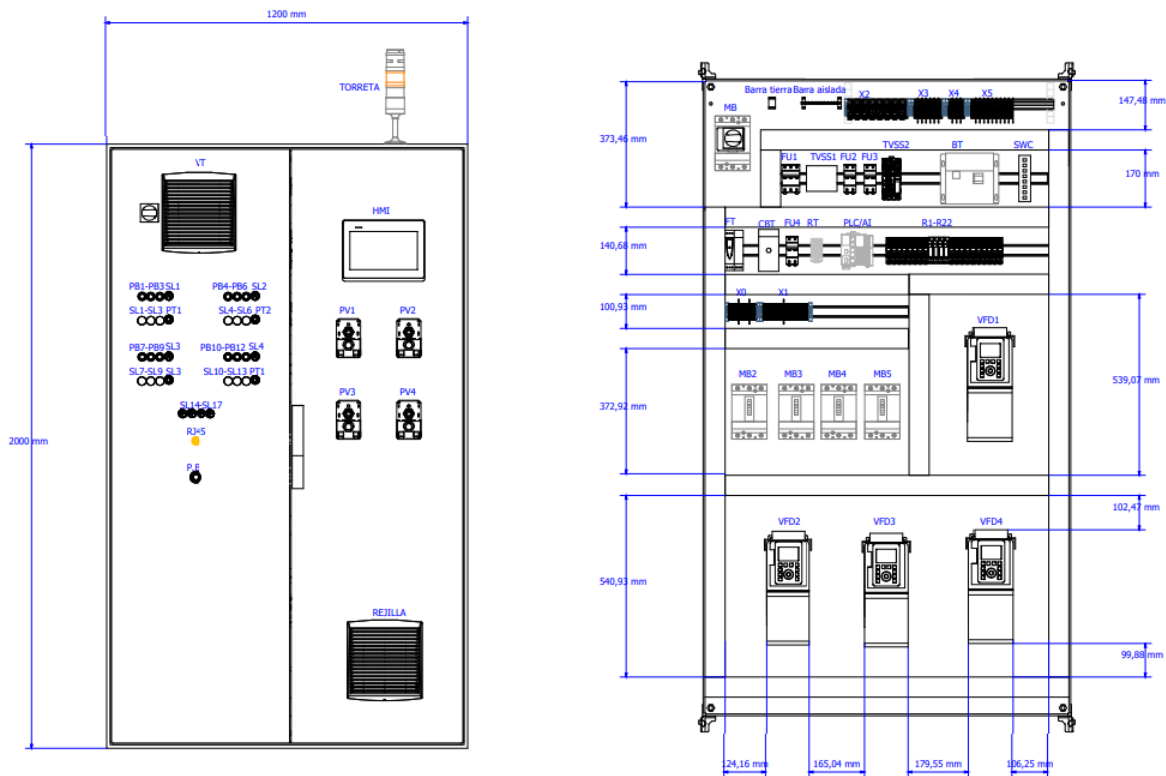


Figura 5-18. Panel para el control de los agitadores de sulfato.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

5.4.1. Selección de los variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia se alimentan de manera monofásica y entregan potencia trifásica, es por ellos que se debe aplicar una fórmula para su selección, la cual es la emitida por el mismo fabricante de los variadores de frecuencia. El voltaje de entrada a los variadores de frecuencia es de 240 voltios. Estos variadores de frecuencia, igual que en el caso anterior, debe seleccionar como carga pesada o *heavy duty*. El dato de placa del motor no se puede observar, por lo tanto, se aplicó la tabla 430.250 del NEC 2014 para seleccionar la corriente a plena carga del motor, para un motor de 1 hp @ 230 voltios tiene un consumo de 4,2 amperios (Anexo 21. Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna).

$$\text{Corriente nominal VFD: } 4,2 \times \sqrt{3} \times 1,15 = 8,36 \text{ A}$$

Por lo cual, el variador de frecuencia debe tener la capacidad de soportar una corriente de 8,36 amperios. Por ello, se seleccionó un variador de frecuencia de la marca Schneider Electric de catálogo ATV630U40M3, el cual tiene una capacidad de corriente de línea en carga pesada de 10,2 amperios (**Anexo 30. Características del variador de frecuencia ATV630U40M3**).

5.4.2. Distribución del circuito de control del ICP5

El circuito de control del ICP es a 120 voltios de corriente alterna y 24 voltios de corriente directa (figura 5-19). El circuito de control a 120 voltios atraviesa el portafusibles FU2 y se dirige a la bornera de control de 120 voltios, de la bornera de 120 voltios se toma potencia para la fuente de 24 voltios que tiene un consumo de 1 amperio, una bobina para el disparo de emergencia de consumo despreciable, un ventilador con un consumo de 0,18 amperios, una lámpara de para la iluminación interna del ICP con un consumo de 0,083 amperios y 4 solenoides que tienen un consumo de 1 amperio cada una. Revisando los consumos de los elementos que se controlan en ICP, se puede intuir que el cableado de control a 120 voltios y 24 voltios se puede realizar con #18 AWG, el cual tiene una ampacidad máxima de 7 amperios (**Anexo 6. Ampacidades de conductores de control**). Cabe destacar la importancia que el cableado de control a 120 voltios se debe realizar con una chaqueta de color rojo y el cableado de control a 24 voltios se debe realizar con una chaqueta de color azul. La conexión de la fuente de 24 voltios con el controlador y la batería se realiza de la misma forma como se explicó en el ICP1.

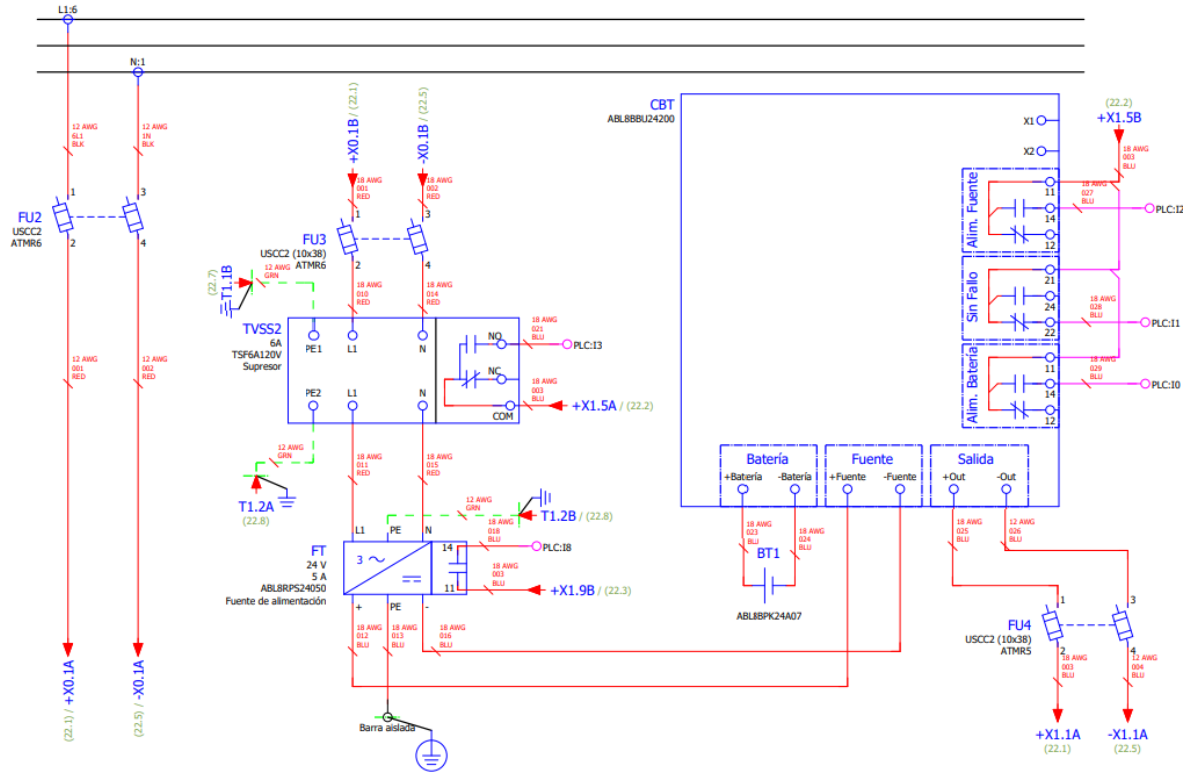


Figura 5-19. Diagrama del circuito de control del ICP5.

Fuente: Elaboración propia. EPLAN.

5.4.3. Selección de los portafusibles y fusibles

El portafusible FU1 (figura 5-18) protege el cableado que se dirige al dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de potencia del ICP4, dichos fusibles se seleccionaron de 20 amperios, ya que estos fusibles se seleccionan para proteger el cableado.

El portafusible FU2 (figura 5-19) resguarda el circuito de control a 120 voltios, por lo cual, analizando los consumos anteriormente citados, se realiza un cálculo para su selección.

$$FU2: 1 \times 1,25 + 0,083 + 0,18 + 4 \times 1,25 = 6,51 A$$

Se seleccionó un fusible de 6 amperios para proteger el cableado de control a 120 voltios.

El portafusibles FU3 (figura 5-19) salvaguarda el dispositivo de protección de sobretensiones para el sistema de control. Analizando la capacidad de transporte de corriente del TVSS2, se colocaron fusibles de 6 amperios.

El portafusibles FU3 (figura 5-13) deshabilita los 24 voltios de corriente directa en panel, ya que dicho panel cuenta con una batería, por lo que, después del controlador (CBT), se coloca un portafusibles para desconectar los 24 voltios dentro del panel.

5.4.4. Selección de los interruptores automáticos

En el documento “Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600” (**Anexo 25. Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600**), de la marca Schneider Electric, nos da la recomendación de cuál interruptor automático seleccionar para cada uno de los variadores de frecuencia de la gama ATV600, además, en dicho documento, se hace referencia a la clasificación de corrientes de cortocircuito probadas con cada interruptor automáticos. Los disyuntores para los cuatro variadores de frecuencia se seleccionaron de la misma capacidad, ya que los VFD son el mismo modelo, el cual es ATV630U40M3. El documento anteriormente citado hace la recomendación de utilizar un interruptor automático de 30 amperios, por lo tanto, se seleccionó el disyuntor HGL36030, asimismo, con un disyuntor de marco HGL, se provee una clasificación de corriente de cortocircuito de 65 000 amperios.

Para la selección del disyuntor principal del ICP 4, se aplicó el artículo 430.62 (A) del NEC 2014, el cual nos menciona que se debe tomar el valor de la ampacidad mayor de las protecciones de los ramales y se le suma a este valor el corriente a plena carga del resto de motores de los ramales.

$$MB1: 30 + 10,2 + 10,2 + 10,2 + 1 + 0,083 + 0,18 + 4 = 65,86 A$$

Se seleccionó un interruptor principal que soporte una corriente nominal de línea de 60 amperios. En el diseño del ICP5, se instaló un disyuntor de marca Schneider Electric del catálogo HGL36060

5.4.5. Dimensionamiento de los conductores dentro panel

El artículo 430.122 del NEC 2014 menciona que los conductores de alimentación de convertidores de potencia deben tener una capacidad de transmisión de corriente no inferior a 125 % de la corriente de entrada nominal al equipo de conversión de potencia y, además, el artículo 430.22 del NEC 2014 indica que los motores que utilicen variadores de frecuencia la ampacidad del conductor que se dirige al motor no debe ser menor al 125 % de la corriente nominal de salida del variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia seleccionados para el ICP5, de la marca Schneider Electric específicamente el ATV630U40M3, posee una corriente de entrada máxima en carga pesada de 10,2 amperios y una corriente de salida continua en trabajo pesado de 13,7 amperios en 4 kHz, por lo cual, para la selección de los conductores, se debe realizar un simple cálculo (**Anexo 30. Características del variador de frecuencia ATV630U40M3**).

Para realizar este cálculo, es importante analizar que la temperatura en Liberia, Guanacaste, es de alrededor de 35 °C, por lo cual el NEC 2014 en la tabla 310.15(B)(2)(a) da los factores de corrección correspondientes para cada temperatura para el caso de Liberia y haciendo uso de un conductor THW se debe aplicar un factor de 0,94 (**Anexo 19. Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30 C**). También es importante aclarar que los conductores que se dirigen del interruptor principal a los interruptores correspondientes a cada motor se debe aplicar un factor de corrección por agrupamiento, ya que por el ducto transportaría más de 3 conductores, para el siguiente caso, se diseñó analizando que, por el

ducto, pasaran 6 conductores de potencia, por lo cual en la nota 2 de la tabla 28.1 de la UL 508a se cita que se debe aplicar un factor de un 80 % cuando se transporten entre 4 y 6 conductores (**Anexo 4. Continuación de la tabla de ampacidad de conductores de la UL508A**).

$$\text{Ampacidad de entrada: } \frac{10,2 \times 1,25}{0,94 \times 0,7} = 19,38 \text{ A}$$

$$\text{Ampacidad de salida: } \frac{13,7 \times 1,25}{0,94} = 18,21 \text{ A}$$

Por lo cual, tanto para la entrada como para la salida del variador de frecuencia se diseñó utilizando un conductor #12 AWG, el cual según la UL508a en la tabla 28.1 posee una ampacidad máxima 20 @ 75°C. **Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A.**

Para la selección del alimentador del ICP, se aplicó el artículo 430.24 del NEC que mencionan que el conductor que alimenta varios motores debe tener una ampacidad no menor a la suma de 125 % de motor de mayor consumo, más la suma a plena carga de los demás motores, más el 100 % de las no continuas y más el 125 % de las cargas continuas.

$$\text{Ampacidad: } \frac{10,2 \times 1,25 + 10,2 + 10,2 + 10,2 + 1 \times 1,25 + 0,18 + 0,083 + 4}{0,94}$$

$$= 51,98 \text{ A}$$

El alimentador del ICP5 se seleccionó un calibre #6 AWG el cual tiene una ampacidad máxima de 65 A @ 75°C según la tabla 28.1 de la UL508a (**Anexo 3.Ampacidad de conductores de la UL508A**)

Para la selección de los conductores de puesta a tierra, se puso en uso la tabla 15.1 de la UL508A, la cual especifica los calibres para los conductores de puesta a tierra dependiendo de la capacidad sobrecorriente del interruptor. Para el ICP4 que se diseñó empleando un

interruptor automático de 40 amperios, se debe emplear un calibre #10 AWG, además, al VDF 1 y 2 que se diseñó utilizando un interruptor de 25 amperios, se debe emplear al igual un calibre #10 AWG y para el VDF 3 que se diseñó utilizando un interruptor de 30 amperios se debe emplear al igual que en los casos anteriores un calibre #10 AWG (Anexo 5. Tamaño del conductor de puesta a tierra del equipo).

5.4.6. Circuito de control de los variadores de frecuencia

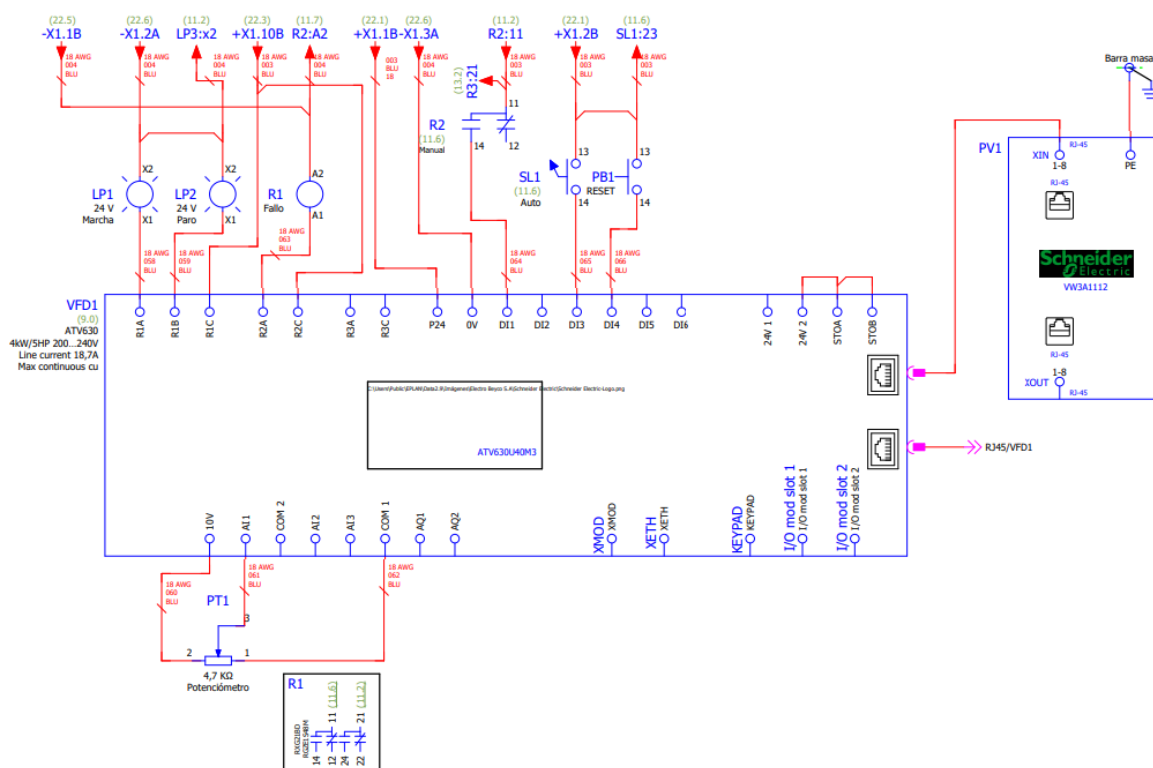


Figura 5-20. Circuito de control del variador de frecuencia.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la figura 5-15 y 5-20, se puede demostrar que el circuito de control de los variadores de frecuencia del ICP 4 y el ICP5 tienen la misma configuración, por lo tanto, si desea verificar el circuito del control se puede dirigir al apartado

Para la selección de los conductores de puesta a tierra, se puso en uso la tabla 15.1 de la UL508A, la cual especifica los calibres para los conductores de puesta a tierra dependiendo

de la capacidad sobrecorriente del interruptor. Para el ICP4 que se diseñó empleando un interruptor automático de 40 amperios, se debe emplear un calibre #10 AWG, además, al VDF 1 y 2 que se diseñó utilizando un interruptor de 25 amperios, se debe emplear al igual un calibre #10 AWG y para el VDF 3 que se diseñó utilizando un interruptor de 30 amperios se debe emplear al igual que en los casos anteriores un calibre #10 AWG (**Anexo 5. Tamaño del conductor de puesta a tierra del equipo**).

Circuito de control de los variadores de frecuencia, donde se realiza la explicación punto a punto del conexionado de control del variador de frecuencia.

5.4.7. Selección del sistema de ventilación forzada

Igual que en los casos anteriores, se puso en práctica el software ProClima de Schneider. Analizando que, dentro del panel, se desea mantener una temperatura entre 30 y 40 grados centígrados.

CALCULOS

Potencia de autoconvección:	148,10 W
Total potencia disipada	430,16 W
Potencia necesaria es :	282,06 W
Potencia autoconvección (calefactoras)	341,22 W
Potencia disipada (calefactoras)	0,00 W
Potencia necesaria (calefactoras)	341,22 W
Superficie intercambio (m2)	5,28 m ²
Temperatura interior estabilizada	49,71 °C
Caudal de aire (m3/h)	195,56 m ³ /h
Rendimiento (W/°C)	55,31 W

Figura 5-21. Cálculo de la selección del ventilador del ICP5.

Fuente: Elaboración propia. Pro Clima.

En la figura 5-21 se observa que se necesita un ventilador con la capacidad de extraer un caudal de aire de 195,56 metros cúbicos por hora, por lo cual, para suplir el caudal de aire demandado, se seleccionó el ventilador NSYCVF300M115PF, el cual tiene una capacidad de 307 metros cúbicos por hora. El ventilador se ubicó en la parte superior del gabinete y se instaló una rejilla en la parte inferior del gabinete. El sistema de control del ventilador se realiza mediante un termostato ubicado dentro del panel (**Anexo 38. Ficha técnica del producto NSYCVF300M115PF**).

5.4.8. Sistema de control del ICP5

Las bombas que controlan los variadores de frecuencia deben realizar alternancia entre ellas, ya que sufren de calentamiento (dato suministrado por el AyA), por lo cual, para realizar dicha alternancia, se diseñó instalando un PLC M221 de la marca Schneider Electric, por lo cual, con dicho PLC, se puede realizar la alternancia de estas.



Figura 5-22. Cuarto de agitadores de sulfato.

Fuente: Elaboración propia.

El PLC, además de realizar la alternancia de las bombas, tiene que controlar cuatro solenoides que se instalarán en las pilas que se muestran en la figura 5-22, ya que, actualmente, lo hacen de manera manual, abriendo las llaves de paso que se muestran en la figura 5-22, por lo cual, para el correcto funcionamiento automático de los solenoides, se colocaron dentro del diseño sensores analógicos con la capacidad realizar las mediciones respectivas para realizar la lógica de automatización.

Como se muestra en la figura 5-18 en la puerta del ICP, se colocó una HMI, para observar entre otros datos, el proceso de llenado de las 4 pilas, donde se realiza el proceso de agitado de sulfato.

5.5. Clasificación de corriente de cortocircuito para paneles de control industrial

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito que tiene capacidad, el panel de control industrial de soportar se realizó con respecto al suplemento SB de la UL508A. El suplemento SB realiza una clasificación de corriente de cortocircuito, dependiendo del elemento que se encuentre dentro del panel con la menor capacidad de corriente de cortocircuito, analizando únicamente el sistema de potencia del panel. Es de gran importancia destacar que, dentro del artículo 670.3 (A) del NEC 2014, se cita una serie de características que debe estar marcada en el equipo en placa, dentro de las cuales, se especifica que se debe mostrar la corriente de cortocircuito de panel, la cual especifica que, para realizar el cálculo, se debe utilizar un método aprobado, donde en la nota informativa del mismo artículo citado menciona que el suplemento SB de la UL508A es un método aprobado.

En la figura 5-23, se realiza una explicación simplificada de la selección de corriente de cortocircuito que tiene el panel de control. Se evidencia que se debe seleccionar una capacidad de corriente de cortocircuito, dependiendo del elemento que tenga la menor capacidad del circuito de potencia. En la figura 5-23, se muestran dos elementos que tienen una capacidad de 2 kA de corriente de cortocircuito, pero estos no se toman en cuenta, ya que están fuera del circuito de potencia.

Ejemplo

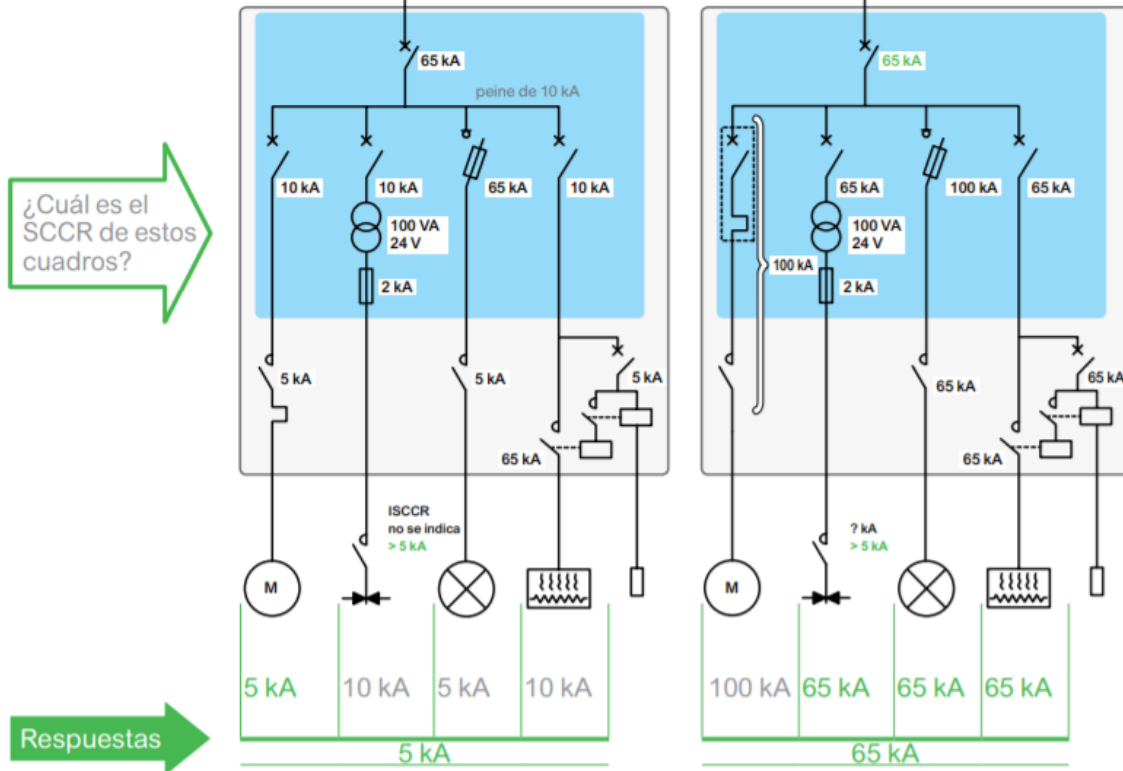


Figura 5-23. Determinar el SCCR del cuadro de control.

Fuente: Cuadro de control guía técnica

A modo de síntesis, las tablas del Anexo 25. Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600, Anexo 26. Continuación de la “Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600” y los planos de los diagramas de potencia (Apéndice 8. Planos eléctricos, iluminación y paneles de control industrial de la planta potabilizadora.) de los tableros de control anteriormente descritos, se mostrarán en la siguiente tabla, con las capacidades de corriente de cortocircuito.

Tabla 5-1. Corrientes de cortocircuito.

Tablero	Capacidad de corriente de cortocircuito (kA)
ICP1	10
ICP2	35
ICP3	35
ICP4	65
ICP5	65

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

6. Capítulo 6. Integración de la interfaz humano-máquina (HMI)

Para la automatización y visualización de las variables operativas de una Planta Potabilizadora de Agua del AyA, el ente público exige el desarrollo e implementación de una interfaz humano-máquina, donde el operador pueda visualizar y manipular diferentes variables para el control de la planta potabilizadora. El AyA requiere que, dentro de la HMI, se vislumbren como mínimo las siguientes pantallas:

- Pantalla de inicio.
- Pantalla de ingreso de usuarios.
- Pantalla de menú principal.
- Pantalla con el esquema operativo del centro de bombeo.
- Pantalla con el esquema operativo de la planta sulfatadora.
- Pantalla con el resumen de producción de la planta potabilizadora.
- Pantalla con el consumo energético de la planta potabilizadora.
- Pantalla de alarmas.

Las pantallas se diseñaron con esquemas mímicos en su mayoría en 3D, ya que es una estandarización que se cita dentro de los carteles de licitación del AyA. Para el diseño de la pantalla HMI, se seleccionó la pantalla HMIST6700 (**Anexo 42. Pantalla de panel táctil HMIST6700.**), la cual pertenece a la firma Schneider Electric. La HMIST6700 es una pantalla táctil de 15 pulgadas, con una resolución 1366 x 768 FWXGA. Para el desarrollo de HMI, se empleó el software **EcoStruxure™ Operator Terminal Expert**, el cual permite crear y editar pantallas de HMI e IPC de Magelis

6.1 Pantalla de inicio

La pantalla de inicio se diseñó para que el operador de la planta potabilizadora de Liberia despliegue la información más relevante de planta potabilizadora de Liberia, como lo es: el nombre completo del AyA, el nombre de la planta potabilizadora, fecha y hora y el logo oficial de AyA. En la figura 6-1, la cual es el encabezado de todas las pantallas de la HMI, cabe destacar que toda la información anteriormente citada se encuentra en dicha imagen.

En ninguna pantalla de la HMI ,se encuentra ningún logo tanto del Instituto Tecnológico de Costa Rica como de Electro Beyco S.A., ya que el AyA no permite el uso de símbolos o referencias de las empresas involucradas en sus proyectos.

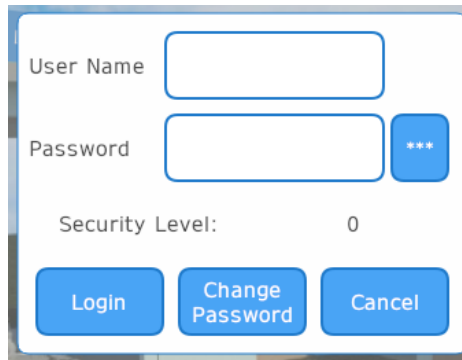


Figura 6-1. Datos de la planta potabilizadora.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

6.2. Pantalla de ingreso de usuarios

La pantalla de inicio se diseñó para que los operarios de la planta potabilizadora digiten sus credenciales cuando desean cambiar la configuración de la HMI. El acceso a la HMI se realizó con el fin de que los usuarios de esta no modifiquen elementos esenciales de la interfaz gráfica, que conlleven a un error de automatización de la planta potabilizadora (figura 6-2).



The image shows a login interface for an HMI. It consists of a white rectangular area with a blue border. At the top left, there is a label 'User Name' followed by a white text input field. Below that is a label 'Password' followed by a white text input field and a blue button with three white asterisks (***) to its right. Underneath the password field is the text 'Security Level:' followed by the number '0'. At the bottom of the interface, there are three blue buttons with white text: 'Login', 'Change Password', and 'Cancel'.

Figura 6-2. Acceso a la HMI.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

6.3. Pantalla de menú principal

El menú principal se diseñó (figura 6-3) para que los operarios visualicen tanto el centro de bombeo como la planta sulfatadora, consecuentemente, si se selecciona el centro de bombeo, se despliega una serie de información relacionada con las bombas y se selecciona la planta sulfatadora, además, se muestran los datos de las dosificadoras de sulfato y de los agitadores de sulfato. También cliqueando sobre el ícono que se muestra en la parte superior izquierda de la figura 6-3, se despliega una serie de información, como lo son medidores de energía, ajustes y alarmas.



Figura 6-3. Menú principal.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

Cabe destacar que el menú principal se proyectó para que el funcionario realice *zoom* sobre el menú principal y denote la información más relevante de las bombas del centro de bombeo (figura 6-4). El operario notará información como la frecuencia de operación, el estado de la bomba y los amperios que está consumiendo.



Figura 6-4. Zoom en el menú principal.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

6.4. Pantalla con el esquema operativo del centro de bombeo

En la pantalla del esquema operativo del centro de bombeo (figura 6-5), se diseñó para ser mostrada en 3D, donde el funcionario visualizará las tuberías, válvulas y las dos bombas de 125 HP. Dentro de la pantalla, se visualiza la presión de descarga y flujo que tiene el sistema, además, cliqueando sobre los rayos que se encuentra continuos a la presión de descarga o flujo se despliega las tendencias en forma de grafica de los datos mencionados. (Apéndice 1. Tendencia de presión de descarga y Apéndice 2. Tendencia de flujo). Es importante mencionar que las tendencias graficas se pueden mostrar de dos maneras, en modo *Histórico* o *En Vivo*. Cabe destacar que, dentro de la pantalla, se colocó un ícono para mostrar el horímetro de funcionamiento de las bombas (reloj que se encuentra a un costado de la de ícono de forma de casa, en la parte inferior izquierda de la figura 6-5), el horímetro muestra un historial de funcionamiento de las bombas (Apéndice 3. Horímetro del centro de bombeo).

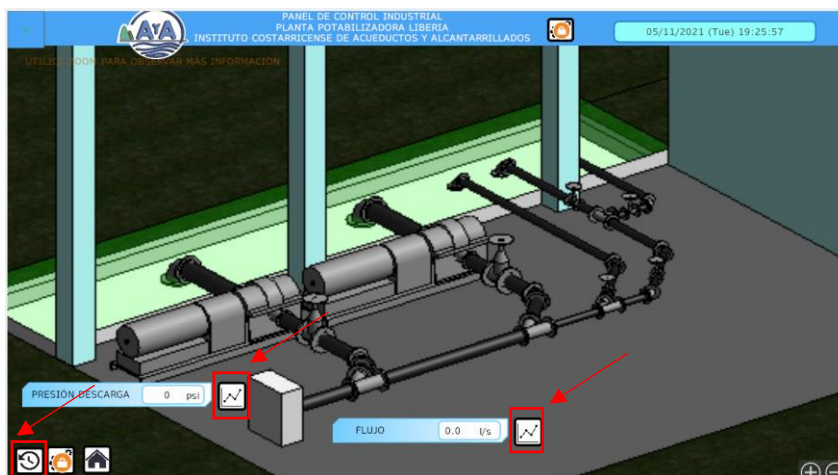


Figura 6-5. Esquema operativo del centro de bombeo.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

Igual que en el caso anterior, se diseñó para que el funcionario realice *zoom* sobre la pantalla del esquema operativo del centro de bombeo y se visualicen los datos de bombas, como lo es el estado de operación de esta, el estado de operación (automático o manual), la

presión de descarga de la bomba, la frecuencia, el amperaje y el tiempo de espera, ya que, como se mencionó en el capítulo anterior, las bombas funcionan de manera alterna.

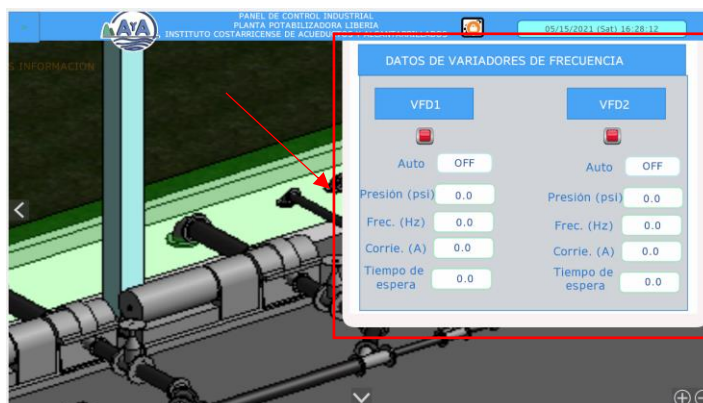


Figura 6-6. Zoom en el esquema operativo del centro de bombeo.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

6.5. Pantalla con el esquema operativo de la planta sulfatadora

Como se mencionó en punto 6.3., para visualizar variables de la planta sulfatadora el operario deberá clicar sobre el ícono **“Planta Sulfatadora”** (figura 6-3). En la figura 6-7, se evidencia las principales variables de las dosificadoras de sulfato, como lo es el estado de operación, la frecuencia de operación, la corriente de consumo y el tiempo de espera de cada una de las bombas. Además, igual que el caso anterior, presionando sobre ícono en forma de reloj despliega el horímetro de funcionamiento de las dosificadoras de sulfato (**Apéndice 4. Horímetro de las dosificadoras de sulfato.**

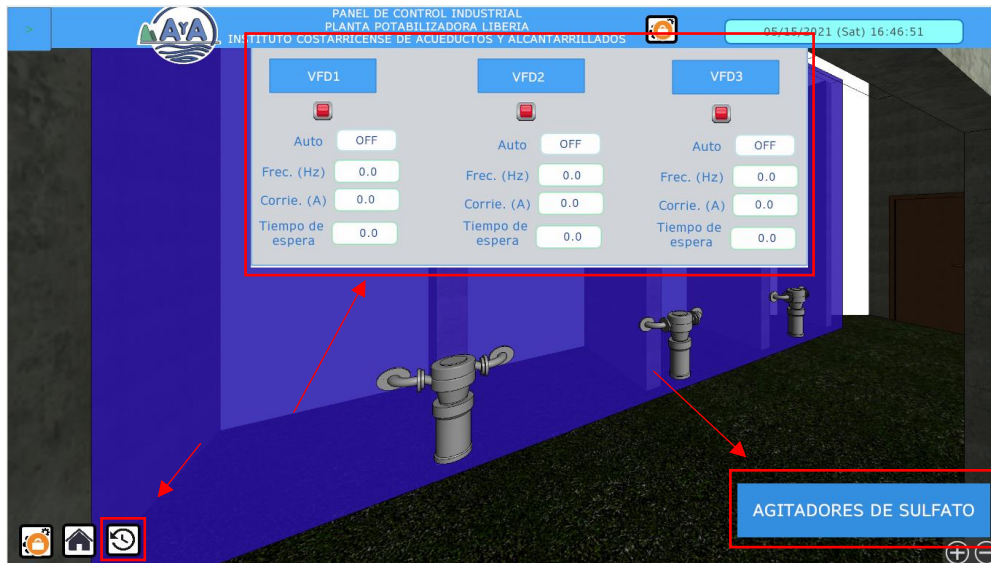


Figura 6-7. Esquema operativo de la planta sulfatadora de las bombas dosificadoras de sulfato.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

Para acceder a las variables de funcionamiento de los agitadores de sulfato, se diseñó para que el operario presione sobre el ícono **“Agitadores de Sulfato”** (figura 6-7) y, de esta manera, se extiende la información relevante de los agitadores de sulfato (figura 6-8).



Figura 6-8. Esquema operativo de los agitadores de sulfato.

Fuente: Elaboración propia (EcoStruxure™ Operator Terminal Expert)

6.6. Pantalla con el resumen de producción de la planta potabilizadora

El resumen de producción se muestra cuando el operario cliquee sobre los íconos de tendencia en la figura 6-5. Sobre la cual, se extiende la tendencia de flujo y de presión del sistema (Apéndice 1. Tendencia de presión de descarga y Apéndice 2. Tendencia de flujo).

6.7. Pantalla con el consumo energético de la planta potabilizadora

Para acceder al consumo energético de la planta potabilizadora, se debe cliquer el ícono que se muestra en la figura 6-3, donde se despliega una serie de apartados como lo son: “*Menú Principal, Bombeo, Sulfutadora, Energía, Ajustes, Alarmas-H y Alarmas-A*”, para acceder al consumo energético de la planta potabilizadora se deberá presionar sobre el ícono de energía (figura 6-9).



Figura 6-9. Barra de menús.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

La pantalla de consumo energético de los equipos se programó para que se distribuyeran en cinco pantallas:

1. Medidor de energía principal (toma sus muestras en el tablero principal).
2. Medidor de energía de la bomba 1 (toma sus muestras en el ICP2).
3. Medidor de energía de la bomba 2 (toma sus muestras en el ICP3).
4. Medidor de energía de las dosificadoras de sulfato.
5. Medidor de energía de los agitadores de sulfato.

En la figura 6-9, se muestran los datos extraídos del medidor de energía principal, como lo son corriente de línea, voltaje de fase, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, disposición armónica y consumo de energía.

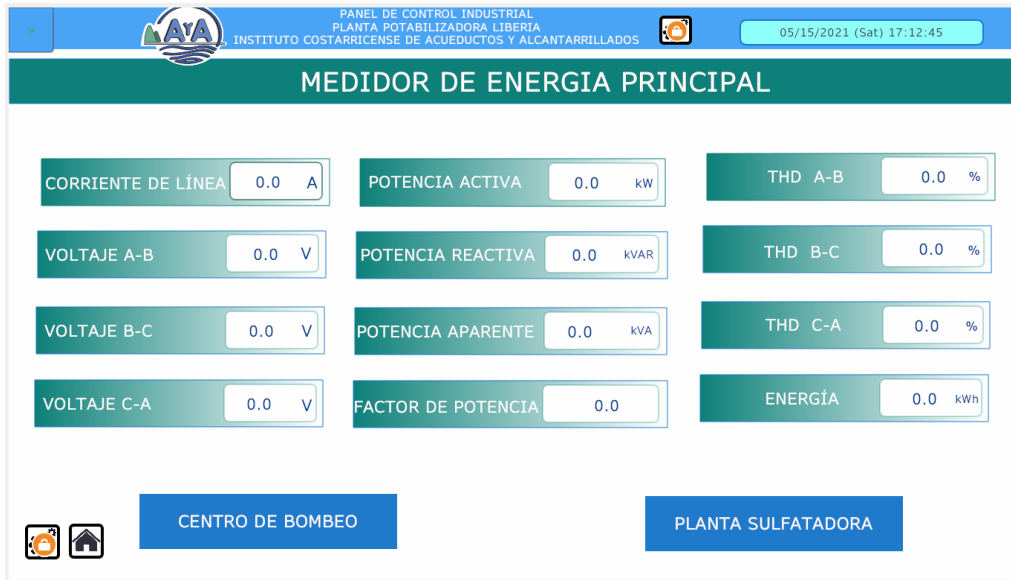


Figura 6-10. Medidor de energía principal.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

Las pantallas de medidor de potencia de bomba 1 y bomba 2 se programaron de la misma manera que el medidor de potencia principal (**Apéndice 5. Medidor de energía de la bomba 1** y **Apéndice 6. Medidor de energía de la bomba 2**)

La pantalla de medidor de potencia de dosificadoras de sulfato y agitadores de sulfato se diseñaron de manera más general, ya que son motores o bombas con potencias relativamente pequeñas, por lo cual datos como distorsión armónica, potencia reactiva,

activa y aparente no son de interés (**Apéndice 7. Medidor de energía de los agitadores de sulfato**).



Figura 6-11. Medidor de energía de dosificadoras de sulfato.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

6.9. Pantalla de ajustes

La pantalla de ajustes de la planta potabilizadora se programó para que consistiera en dos pantallas, la primera de ellas es la ajustes en las bombas del centro de bombeo y la segunda pantalla es sobre los ajustes de las bombas de la planta sulfatadora. Entre los datos que se pueden ajustar en la pantalla del centro de bombeo se encuentra presión deseada, presión máxima, frecuencia mínima y frecuencia máxima y tiempo de espera (figura 6-12).



Figura 6-12. Ajustes del centro de bombeo.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

La pantalla de ajustes de las bombas de la planta sulfatadora se diseñó de una manera más compacta, ya que no se desea controlar las variables de presión, solo se quiere controlar la frecuencia y el tiempo de espera.

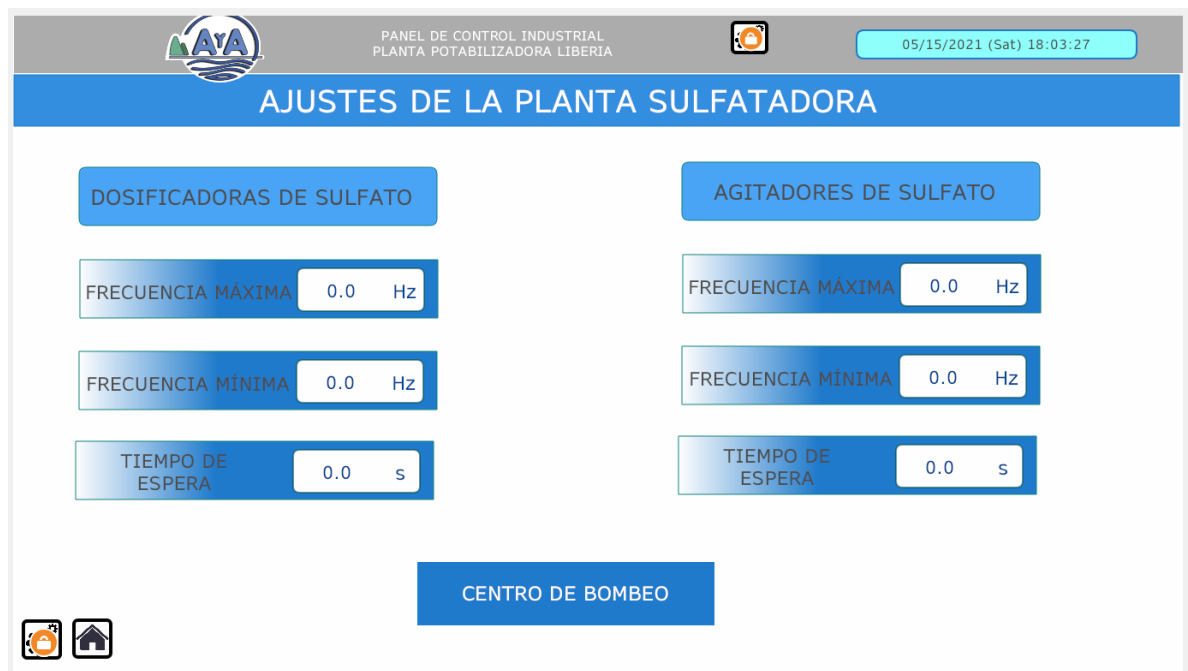



Figura 6-13. Ajustes de la planta sulfatadora.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

6.10. Pantalla de alarmas

La pantalla se programó para que muestre dos tipos de alarmas, una de ellas es la alarma de históricos y la alarma actual. En la alarma actual, despliega los errores actuales dentro de la planta potabilizadora, la pantalla de alarma de históricos extiende todas las alarmas que ha percibido el sistema desde su puesta en marcha.



The screenshot displays the 'Pantalla de alarmas' interface. At the top, there is a header bar with the AYA logo, the text 'PANEL DE CONTROL INDUSTRIAL PLANTA POTABILIZADORA LIBERIA INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARRILLADOS', a home icon, and a date/time display '05/15/2021 (Sat) 18:11:57'. Below the header is a table with the following columns: 'Dia', 'Tiempo', 'Equipo', 'Estatus', 'Variable', 'Valor', and 'Mensaje'. The table body is currently empty. At the bottom left, there is a 'RECONOCER' button with a magnifying glass icon, and at the bottom right, there is a home icon.

Dia	Tiempo	Equipo	Estatus	Variable	Valor	Mensaje
-----	--------	--------	---------	----------	-------	---------

Figura 6-14. Alarmas históricas.

Fuente: Elaboración propia. EcoStruxure™ Operator Terminal Expert.

7. Capítulo 7. Diseño del sistema de eléctrico e iluminación de la Planta Potabilizadora de Liberia

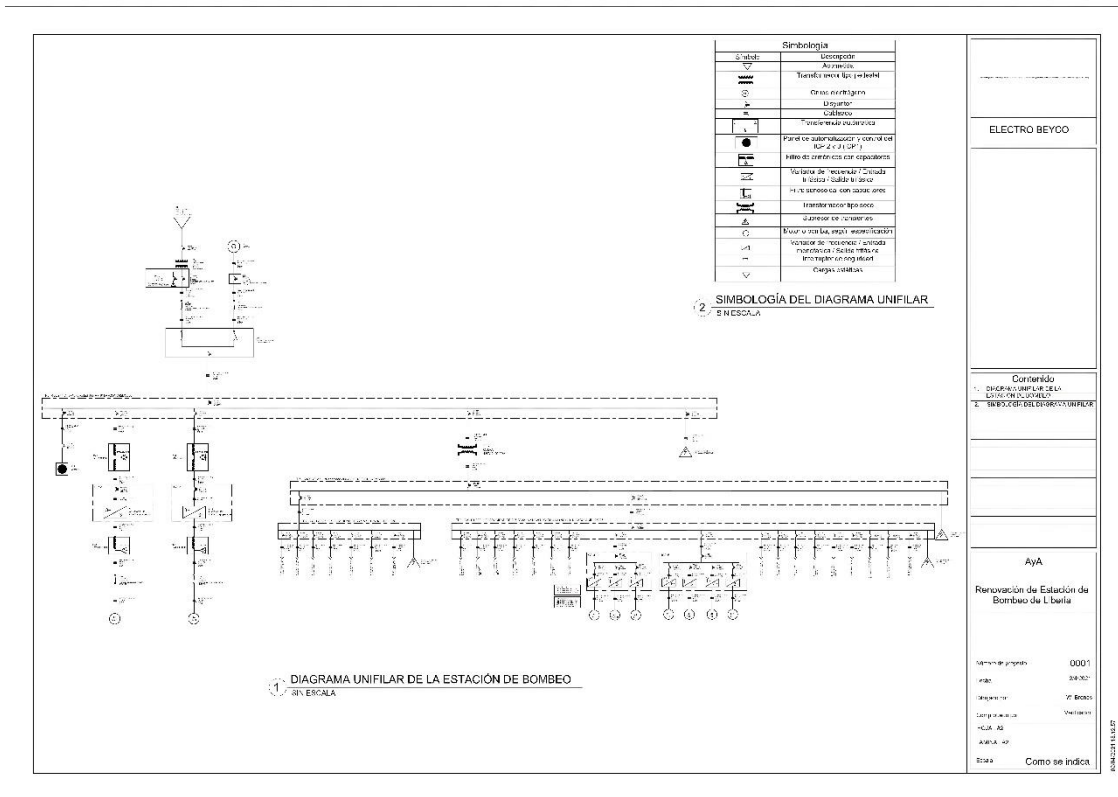
7.1. Datos generales del sistema

- Temperatura máxima: 35 °C.
- Tensión en el primario: 34,5 kV.
- Conexión: aéreo-subterránea.
- Corriente de corto circuito trifásica en el punto de conexión: 6 kA 3ø.
- Corriente de corto circuito monofásica en el punto de conexión: 2 kA 1ø.

Para el análisis de caída de tensión, se realizó con respecto a dos fórmulas, una para sistemas monofásicos y otra para sistemas trifásicos, respectivamente.

$$\%CV = \left(\frac{2 \times \rho \left(\frac{\Omega}{km} \right) \times l (m) \times I (A)}{1000 \times V (Voltios)} \right) \times 100 \%$$

$$\%CV = \left(\frac{\sqrt{3} \times Z \left(\frac{\Omega}{km} \right) \times l (m) \times I (A)}{1000 \times V (Voltios)} \right) \times 100 \%$$



Notas: refiérase al **diagrama unifilar** para tener una mejor visualización

Figura 7-1. Diagrama unifilar de la planta potabilizadora.

Fuente: Elaboración propia. AutoCad.

El diseño eléctrico se divide en dos tipos de configuración, una media tensión que este caso sería el primario del transformador principal y una baja tensión que sería en el secundario del transformador secundario.

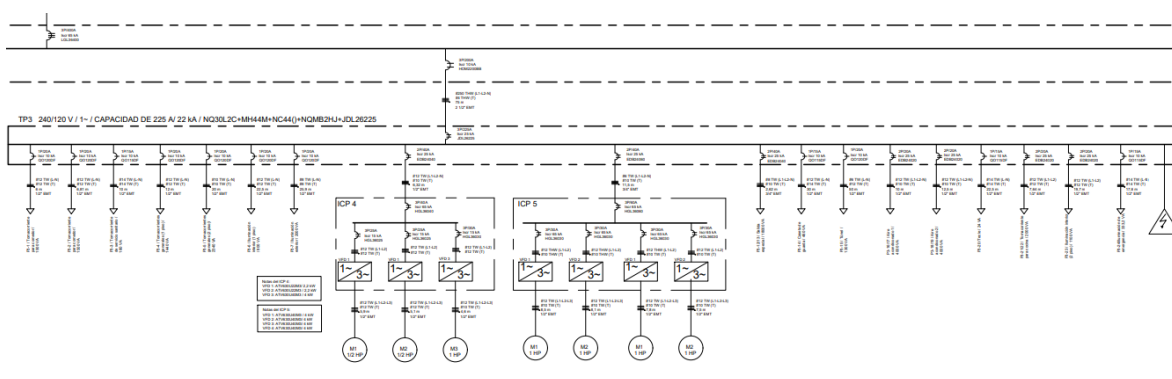
El rediseño eléctrico se dispone de la siguiente manera: una acometida trifásica de 34.5 kV aérea colocada por el ICE que dispone de potencia trifásica un transformador de pedestal de 225 kVA (34,5 kV-480/277V) (TR1), un tablero I-line (TP0) que es alimentado por una transferencia automática (ATS) que depende del transformador de pedestal o por el grupo electrógeno (actualmente el grupo electrógeno está en la planta potabilizadora y es el único equipo que se reutilizara) (G1), el tablero I-line distribuye potencia; al ICP1 (Panel de

automatización y control del ICP2 y 3), ICP2 y 3 (paneles para arranques de las dos bombas de 93 kW y a al transformador seco 65kVA monofásico (480 V-240/120V) (TR2).

El transformador seco supe de potencia monofásica a un tablero distribuidor de potencia monofásica (TP1) colocado en cuarto de control, del tablero (TP1) se distribuye potencia al centro de carga (TP2) para conectar las diferentes cargas estáticas del cuarto de bombeo y además el tablero (TP1) se distribuye potencia al centro de carga (TP3) colocado en la bodega de la planta sulfatadora del TP3 se conectan diferentes cargas estáticas monofásicas de la planta sulfatadora y, asimismo, se conectan 2 paneles de control industriales , los cuales son ICP4 (panel para control de las dosificadoras de sulfato) y el ICP5 (panel de automatización para agitadores de sulfato). El diseño eléctrico se analizará por segmentos, iniciando por el centro de carga TP3 y terminando en la acometida principal aportada por el ICE.

7.2. Tablero de la planta sulfatadora (TP3)

En la figura 7-2, se puede observar un extracto del diagrama unifilar de la planta potabilizadora de Liberia, en la cual se observa el tablero de la planta sulfatadora (TP3).



Notas: refiérase al **diagrama unifilar** para tener una mejor visualización

Figura 7-7-2. Diagrama unifilar el tablero de la planta sulfatadora.

Fuente: Elaboración propia. AutoCad.

En la tabla 7-1, se evidencia los circuitos a los cuales el tablero de la planta sulfatadora provee de potencia.

Tabla 7-1. Circuitos del tablero de la planta sulfatadora (TP3).

Circuito	Descripción	Voltaje (V)	Potencia (VA)	Corriente (A)	Longitud (m)
P3-1	Tomacorriente para comedor	120	1500,00	12,50	6,00
P3-2	Tomacorriente para comedor	120	1500,00	12,50	6,81
P3-3	Tomacorriente de servicio sanitario	120	180,00	1,50	10,00
P3-4	Tomacorrientes generales (1 piso)	120	1440,00	12,00	12,00
P3-5	Tomacorrientes generales (2 piso)	120	2340,00	19,50	20,00
P3-6	Iluminación interior (1 piso)	120	800,00	6,67	22,50
P3-7	Iluminación exterior	120	2000,00	16,67	25,90
P3-8/9	Panel para control de las dosificadoras de sulfato (ICP 4)	240	10948,80	22,81	6,32
P3-10/11	Panel de automatización para agitadores de sulfato (ICP 5)	240	22108,80	46,06	11,50
P3-12/13	Salida especial	240	18000,00	37,50	2,62
P3-14	Caseta de guarda	120	460,00	3,83	30,00
P3-15	Túnel (Iluminación)	120	1300,00	10,83	50,00
P3-16/17	Aire acondicionado 1	240	4000,00	8,33	10,00
P3-18/19	Aire acondicionado 2	240	4000,00	8,33	12,50
P3-20	Tecele	120	24,00	5,00	9,10
P3-21/22	Tomacorriente para cocina	240	2000,00	4,17	7,64
P3-23	Iluminación interior (2 piso)	120	1100,00	9,17	19,70
P3-24	Iluminaria de emergencia	120	333,20	2,78	25,00
P3-25/26	Supresor de transitorios monofásico tipo 2 (QO2175SB)	240	0,0	0,00	0,00
P3-27/30	Previstas				

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

7.2.1. Tomacorrientes generales

Para el cálculo de la cantidad de tomacorrientes que se deben instalar en cada sección de la planta sulfatadora, se consideró que cada tomacorriente debe tener una capacidad de 180 VA. Poniendo en práctica el apartado 210.52(A)(1) del NEC 2014, los receptáculos están separados 3.6 metros lineales, además, para realizar el cálculo del perímetro de las distintas áreas de la estación de bombeo, se descuentan las ventanas y las puertas del edificio, además,

también se van a respetar las disposiciones del AyA. Para cada circuito de tomacorrientes generales, se construyeron con una capacidad de 20 amperios cada uno.

Tabla 7-2. Receptáculos por aposento de la planta sulfatadora.

Sección	Perímetro (m)	Numero de tomas	Tomas colocadas	Carga (VA)	Carga total (VA)
Cuarto de bombas dosificadoras de sulfato	16,925	4,70	3	180	540
Bodega	13,76	3,82	4	180	720
Pasillo (1 piso)	4,745	1,32	1	180	180
Oficina	11,96	3,32	4	180	720
Laboratorio	12,92	3,59	4	180	900
Pasillo (2 piso)	4,84	1,34	1	180	180
Cuarto de motores agitadores	13,93	3,87	3	180	540
Caseta de guarda	7,23	2,01	2	180	360
Total			22		4140

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Conociendo que la temperatura máxima en Liberia es de 35 °C, se debe aplicar un factor de corrección por temperatura tomado de acuerdo con la Tabla 310.15(B)(2)(a) del NEC 2014, por lo tanto, se debe aplicar un factor de 0,91 (**Anexo 19. Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30 C**).

$$\text{Capacidad: } 120 \text{ V} \times 20 \text{ A} \times 0,91 = 2184 \text{ VA}$$

$$\text{Numero maximo de salidas por circuito: } \frac{2184 \text{ VA}}{180 \text{ VA}} = 12 \text{ salidas}$$

La cantidad de circuitos aproximadamente construidos para planta sulfatadora, se calcularon con la siguiente ecuación:

$$\text{Circuitos para tomacorrientes: } \frac{23}{13} = 2 \text{ circuitos}$$

Se diseñaron dos circuitos para los receptáculos de la planta sulfatadora, un circuito para el primer piso de planta sulfatadora y un circuito para el segundo piso de planta sulfatadora. En el circuito del primer piso, se colocaron 8 salidas, lo cual tiene una carga de

1440 VA (12 amperios) y el circuito para el segundo piso se diseñó con 12 salidas, lo que genera que tenga una carga de 2160 VA (18 amperios).

De acuerdo con la tabla 310.15(B)(16), se selecciona un conductor por fase calibre 12 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 20 A @ 60 °C. Además, la chaqueta a utilizar será THHN, a pesar de seleccionar el conductor en la columna de 60 °C, esto por la disponibilidad en el mercado nacional (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.**

Para la selección del disyuntor, se realiza de acuerdo con el artículo 240.6, por lo cual se seleccionó un interruptor automático de 20 amperios. Para los intereses del AyA, los disyuntores de 15 o 20 amperios deben seleccionarse de tipo “dual”, por lo cual, para los circuitos de los receptáculos de la cocina, se seleccionaron disyuntores de la marca Schneider Electric específicamente el disyuntor QO120DF, el cual tiene una capacidad de 20 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 20 amperios se seleccionó un calibre 12 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.**

Tanto el circuito de iluminación como el de tomas generales de la caseta del guarda se realizó en conjunto, ya que, por la longitud entre la caseta del guarda y planta sulfatadora, convenia colocar un único circuito para dicho establecimiento. Analizando que en la caseta se diseñó empleando únicamente 2 receptáculos y una salida para iluminación. Como ya se mencionó anteriormente, cada receptáculo se toma como base un consumo de 180 VA y una salida de iluminación se toma como base de 100 VA. Por lo tanto, se tendría un consumo

total de 460 VA (3,83 A). Se escogió un calibre 12 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 20 A@60 °C, según la tabla 310.15(B)(16) (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.**

La selección del disyuntor se realizó de acuerdo con el artículo 240.6, por lo cual, se seleccionó un interruptor automático de 15 amperios. Específicamente el disyuntor QO115DF, el cual tiene una capacidad de 15 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 20 amperios se seleccionó un calibre 12 AWG (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.** Se verificó la caída de tensión que tiene el circuito con mayor longitud, el cual es del circuito de la segunda planta (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 6.73 \times 20 \times 18}{1000 \times 120} = 4,038 \% > 3 \%$$

De este modo, se incumple el artículo 210.19(A), el cual cita que la caída de tensión no puede ser mayor al 3 % en ramales. Por lo tanto, para el circuito de receptáculos de la segunda planta, se debe recalcular con un calibre mayor. Para cumplir, además, con los artículos del NEC 210.19 y 215.2, los cuales mencionan que la caída de tensión entre la entrega principal hasta la carga final no debe sobrepasar el 5 % de caída de tensión, por lo que se seleccionó un calibre 8 AWG @ 60°C, el cual tiene una ampacidad de 40 amperios (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.** y **Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 2,551 \times 20 \times 18}{1000 \times 120} = 1,53 \% < 3 \%$$

7.2.2. Circuito de iluminación de la planta sulfatadora

Utilizando el software DIALux EVO, se realizó el estudio de iluminación para todas las áreas de la planta potabilizadora de Liberia, pero en este apartado solo se tomarán en cuenta cuántas iluminarias se eligieron en cada una de las secciones de la planta sulfatadora para demostrar la selección de los conductores y disyuntores el circuito de iluminación, por lo tanto, al final de este capítulo, se muestra el estudio realizado en software.

Tabla 7-3. Iluminarias por sección de la planta sulfatadora.

Sección	Cantidad de iluminarias	Carga (VA)	Carga total (VA)
Cuarto de bombas dosificadoras de sulfato	3	100	300
Bodega	2	100	200
Pasillo (1 piso)	1	100	100
Oficina	2	100	200
Laboratorio	3	100	300
Pasillo (2 piso)	1	100	100
Cuarto de motores agitadores	4	100	400
Escalera	1	100	100
Comedor	2	100	200
Total	19		1900

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En el diseño, se analizó que cada una de las iluminarias internas tuvieran un consumo de 100 VA, aunque, en realidad, el consumo real de cada una de las luminarias seleccionadas tiene un consumo de 63 VA (**Anexo 34. Características de la iluminaria de la planta sulfatadora**), esto se realiza con el fin de no afectar el diseño realizado, si se instalan luminarias con un consumo mayor.

Se utiliza tabla del NEC 310.15(B)(2)(a) para la selección del factor de corrección por temperatura. Se utilizó una temperatura nominal del conductor de 60 °C, además,

conociendo que la temperatura más alta registrada en Liberia, Costa Rica es de 35 °C. La capacidad máxima por circuito se calcula en la siguiente ecuación (**Anexo 19. Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30 C**).

$$\text{Capacidad: } \frac{120 \times 20 \times 0,91}{1,25} = 1747,2 \text{ VA}$$

En la anterior ecuación se dividió entre 1,25, ya que las luces se analizaron como carga continua.

$$\text{Numero maximo de salidas por circuito: } \frac{1747,2 \text{ VA}}{100 \text{ VA}} = 17 \text{ salidas}$$

En la planta sulfatadora de diseño, instalando un circuito de iluminación interna en el primer piso y en un circuito de iluminación interna del segundo piso. El circuito del primer piso tiene una carga de 800 VA (6,67 amperios) y el circuito del segundo piso tiene una carga de 1100 VA (9,17 amperios).

Se seleccionó un conductor por fase calibre que tuviera una ampacidad 20 A @ 60°C, por lo cual se eligió un conductor calibre 12 AWG, según la tabla 310.15(B)(16), suple con la demanda anteriormente citada (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C**).

Se eligió un disyuntor con una capacidad interruptiva de 20 amperios. Específicamente, se seleccionó el disyuntor QO120DF, el cual tiene una capacidad de 20 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA.

La selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual, para un disyuntor de 20 amperios, se debe colocar un calibre 12 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos**).

Se analizó la caída de tensión que tiene el circuito con mayor longitud, el cual es del circuito de la segunda planta (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 6,73 \times 19,7 \times 9,17}{1000 \times 120} = 2,02 \% < 3 \%$$

Además de las iluminarias internas que normalmente se colocan en cualquier establecimiento, oficina o industria, se diseñó un sistema de iluminación de emergencia ante una posible eventualidad, estas iluminarias se colocan con el fin de evitar un accidente ante la falla del fluido eléctrico. El análisis de iluminación de emergencia se realizó con el software Dialux EVO, pero en este apartado solo se tomarán en cuenta cuántas iluminarias se eligieron en cada una de las secciones de la planta sulfatadora para demostrar la selección de los conductores y disyuntores el circuito de iluminación, por lo tanto, al final de este capítulo, se muestra el estudio realizado en software.

Tabla 7-4. Iluminarias de emergencia por sección de la planta sulfatadora.

Sección	Cantidad de iluminarias	Carga (VA)	Carga total (VA)
Cuarto de bombas dosificadoras de sulfato	6	9,8	58,8
Bodega	2	9,8	19,6
Pasillo (1 piso)	1	9,8	9,8
Oficina	2	9,8	19,6
Laboratorio	6	9,8	58,8
Pasillo (2 piso)	2	9,8	19,6
Cuarto de motores agitadores	7	9,8	68,6
Comedor	1	9,8	9,8
Escalera	6	9,8	58,8
Servicio sanitario	1	9,8	9,8
Total	34		333,2

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

$$\text{Ampacidad: } \frac{333.2 \text{ VA}}{120 \text{ V} \times 0,91} = 3,015 \text{ A}$$

Analizando que el conductor debe tener una ampacidad no menor a 3.015 A, se seleccionó un conductor calibre 14 AWG, el cual, según la tabla 310.15(B)(16), posee una ampacidad de 15 A @ 60°C (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.**

Observando que el circuito tiene un consumo de 3,015 amperios, se seleccionó el disyuntor de menor capacidad, de acuerdo con el artículo 240.6, el cual es de 15 amperios. Concretamente, el disyuntor QO115DF tiene una capacidad de 15 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 15 amperios se seleccionó un calibre 14 AWG (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.**

A continuación, se verificó la caída de tensión del circuito (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 10,7 \times 25 \times 3,015}{1000 \times 120} = 1,34 \% < 3 \%$$

Para finalizar con los circuitos de iluminación de la planta sulfatadora, se diseñó un circuito de iluminación exterior de la planta sulfatadora, este lo componen 20 lámparas con una capacidad de cada una de 100 VA

$$\text{Ampacidad: } \frac{2000 \text{ VA}}{120 \text{ V} \times 0,91} = 18,32 \text{ A}$$

Observando la ecuación anterior, notamos que el circuito tiene un trasiego de corriente máxima de 18,32 amperios, por lo cual se seleccionó un conductor calibre 12 AWG, el cual, según la tabla 310.15(B)(16), tiene una ampacidad de 20 A @ 60 °C (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C**).

Se escogió un interruptor automático de 20 amperios. Específicamente el disyuntor QO120DF, el cual tiene una capacidad de 20 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 20 amperios se seleccionó un calibre 12 AWG. **Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos**.

A continuación, se verificó la caída de tensión del circuito (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 6.73 \times 25.9 \times 16.67}{1000 \times 120} = 4.84 \% > 3 \%$$

De acuerdo con esto, se incumple el artículo 210.19(A), el cual cita que la caída de tensión no puede ser mayor al 3 % en ramales. Por lo tanto, para el circuito de iluminación externa se debe recalcular con un calibre mayor. Para cumplir, además, con los artículos del NEC 210.19 y 215.2, los cuales mencionan que la caída de tensión entre la entrega principal y la carga final no debe sobrepasar el 5 % de caída de tensión se seleccionó un calibre 8 AWG @ 60°C, el cual tiene una ampacidad de 40 amperios.

$$\%CV = \frac{2 \times 2,551 \times 20 \times 18}{1000 \times 120} = 1,835 \% < 3 \%$$

7.2.3. Circuito de potencia panel para control de las dosificadoras de sulfato

Partiendo del análisis realizando en el apartado “5.3 Diseño del panel para control de las dosificadoras de sulfato (ICP4)”, se obtuve como resultado que el ICP4 tiene un consumo de 22,81 amperios, pero para la selección del conductor, se aplicó el artículo 430.24 del NEC 2014, el cual emite una serie de criterios visto en la sección antes citada para la selección de alimentadores de varios motores y otras cargas, el cual nos da como resultado que el conductor se debe seleccionar con una ampacidad no menor a 27,244, por lo tanto, se seleccionó un conductor por fase calibre 10 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 30 A @ 60 °C, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16) (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.**). Además, el cálculo realizado para seleccionar el interruptor principal demostró la selección de un disyuntor de 40 amperios, pero el disyuntor seleccionado en el apartado anteriormente citado se instalará en ICP4, por lo tanto, se seleccionó un disyuntor de 40 amperios del catálogo

EDB24040 para el tablero TP3, el cual tiene capacidad de corriente de cortocircuito de 25 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 40 amperios se seleccionó un calibre 10 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.**

Se analizó la caída de tensión del circuito (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 4,22 \times 22,81 \times 6,32}{1000 \times 240} = 0,507 \% < 3 \%$$

7.2.4. Circuito de potencia panel de automatización para agitadores de sulfato

En el análisis realizando en el apartado “5.4 Diseño del panel automatización para agitadores de sulfato. (ICP5)”, se obtuvo como resultado que el ICP4 tiene un consumo de 46.06 amperios, pero, para la selección del conductor, se aplicó el artículo 430.24 del NEC 2014, el cual emite una serie de criterios visto en la sección antes citada para la selección de alimentadores de varios motores y otras cargas, el cual nos da como resultado que el conductor se debe seleccionar con una ampacidad no menor a 51,98, por lo tanto, se seleccionó un conductor por fase calibre 6 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 55 A @ 60 °C de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16) (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.**). Además, el cálculo realizado para seleccionar el interruptor principal demostró la selección de un disyuntor de 60 amperios, pero el disyuntor seleccionado en el apartado anteriormente citado se instalará en ICP4, por lo tanto, se seleccionó un disyuntor de 60 amperios del catálogo

EDB24060 para el tablero TP3, el cual tiene una capacidad de corriente de cortocircuito de 25 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 60 amperios se seleccionó un calibre 10 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.** Se verificó la caída de tensión del circuito (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.**

$$\%CV = \frac{2 \times 2.653 \times 11.5 \times 46.06}{1000 \times 240} = 1.171 \% < 3 \%$$

7.2.4. Cálculo de la salida especial

Para los intereses del AyA, es vital, dentro del diseño, instalar una prevista de un tomacorriente de 240 voltios, para que, cuando se realicen trabajos de mantenimiento dentro de planta potabilizadora, se puedan conectar sus equipos a dicha prevista, por lo tanto, se diseñó con una prevista con una capacidad de 9000 VA por fase.

$$\text{Ampacidad: } \frac{9000}{240 \times 0,91} = 41,21 \text{ A}$$

Según el cálculo mostrado anteriormente, se tiene que se debe colocar un conductor con una ampacidad no menor a 42 amperios, por lo cual, se seleccionó un conductor de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16), por lo tanto, se debe instalar un conductor por fase calibre 6 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 55 A @ 60 °C (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.**

Para la elección del disyuntor, se realiza de acuerdo con el artículo 240.6, por lo cual, se seleccionó un interruptor automático de 40 amperios. Se optó por un disyuntor de la marca Schneider Electric específicamente del catálogo EDB24040, el cual capacidad de corriente de cortocircuito de 25 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó según la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 40 amperios se seleccionó un calibre 10 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.**)

7.2.5. Cálculo del circuito de iluminación del túnel

Dentro de la planta potabilizadora de agua, se cuenta con un túnel que se dirige a la captación de agua ubicada sobre el río Liberia. Dentro del túnel, se diseñó con una instalación de 13 led con una potencia de 100 VA.

$$\text{Ampacidad: } \frac{1300 \text{ VA}}{120 \text{ V} \times 0,91} = 11,90 \text{ A}$$

Como se muestra en la deducción anterior, se concluye que se debe instalar un conductor con una ampacidad no menor a 11,90 amperios, por lo tanto, se seleccionó un conductor por fase calibre 12 AWG en cobre, el cual tiene una capacidad 20 A @ 60 °C, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16) (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.**)

Se escogió un interruptor automático de 20 amperios, específicamente el disyuntor QO120DF, el cual tiene una capacidad de 20 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA.

Además, para la elección del conductor de puesta tierra, se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 20 amperios se seleccionó un calibre 12 AWG

(Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos. A continuación, se verificó la caída de tensión del circuito (Anexo 17. Propiedades de conductores).

$$\%CV = \frac{2 \times 6,73 \times 50 \times 10,83}{1000 \times 120} = 6,07 \% > 3 \%$$

DE esta manera, se incumple con el artículo 210.19(A), el cual cita que la caída de tensión no puede ser mayor al 3 % en ramales. Por lo tanto, para el circuito de iluminación del túnel, se debe recalcular con un calibre mayor. Para cumplir, además con los artículos del NEC 210.19 y 215.2, los cuales mencionan que la caída de tensión entre la entrega principal hasta la carga final no debe sobrepasar el 5 % de caída de tensión, se seleccionó un calibre 6 AWG @ 60°C, el cual tiene una ampacidad de 55 amperios.

$$\%CV = \frac{2 \times 1,671 \times 50 \times 10,83}{1000 \times 120} = 1,51 \% < 3 \%$$

7.2.6. Cálculo del circuito de potencia de aires acondicionados

Dentro de la planta sulfatadora, se disponen de dos aires acondicionados de la misma capacidad en VA, por lo tanto, el diseño eléctrico se realizó de manera conjunta. Los aires acondicionados tienen una potencia monofásica de 4000 VA a 240 voltios.

$$\text{Ampacidad: } \frac{2000 \text{ VA}}{240 \text{ V} \times 0,91} = 8,33 \text{ A}$$

Considerando que el circuito debe tener la capacidad de transportar 8,33 amperios, se eligió un conductor calibre 12 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad, según la tabla 310.15(B)(16), de 20 A @ 60 °C (Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C).

Se seleccionó un interruptor automático de 20 amperios, particularmente el disyuntor QO120DF, el cual tiene una capacidad de 20 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA. Además, la elección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 20 amperios se seleccionó un calibre 12 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos**. Se verificó la caída de tensión del circuito (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 6,73 \times 12,5 \times 8,33}{1000 \times 240} = 0,584 \% < 3 \%$$

7.2.7. Cálculo del circuito del tecele

Dentro de la planta sulfatadora en el segundo piso, en el cuarto de agitadores de sulfato, se tiene instalado un tecele eléctrico con una potencia de 600 VA, la función del tecele es elevar los sacos de sulfato de la primera planta a la segunda planta.

$$\text{Ampacidad: } \frac{600 \text{ VA}}{120 \text{ V} \times 0,91} = 5,51 \text{ A}$$

Por lo tanto, para el circuito del tecele, se diseñó con un conductor calibre 14 AWG en cobre, que, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16), tiene una ampacidad de 15 A @ 60 °C. Además, la chaqueta a utilizar será THHN (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C**).

Se eligió un interruptor automático de 15 amperios, concretamente el disyuntor QO115DF, el cual tiene una capacidad de 15 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA.

Además, para el escogimiento del conductor de puesta tierra, se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 15 amperios se seleccionó un calibre 14 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos**). Se comprobó la caída de tensión del circuito (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 10,7 \times 9,1 \times 5}{1000 \times 120} = 0,811 \% < 3 \%$$

7.2.8. Circuito para la cocina eléctrica

Dentro de la planta sulfatadora, hay una cocina eléctrica de 240 voltios y una potencia de 2000 kW, de acuerdo con la tabla 220.55 del NEC 2014, para una estufa de 2000 kW se aplicó un factor de demanda del 80 %.

$$\text{Ampacidad: } \frac{2000 \times 0,8}{240 \text{ V} \times 0,91} = 7,31 \text{ A}$$

Afirmando que el conductor que trasiega potencia a la cocina debe tener una ampacidad no menor a 7.31 amperios, se seleccionó un calibre 12 AWG, el cual tiene una ampacidad de 20 A @ 60 °C, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16). Además, la chaqueta a utilizar será THHN (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C**).

Se optó por un interruptor automático de 20 amperios, concretamente el disyuntor QO120DF, el cual tiene una capacidad de 20 amperios y una capacidad de corriente de cortocircuito de 10 kA. Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 20 amperios se escogió un calibre 12 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra**).

de canalizaciones y equipos. A continuación, se verificó la caída de tensión del circuito (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 6,73 \times 7,64 \times 7,61}{1000 \times 240} = 0,18 \% < 3 \%$$

7.2.9. Supresor de transitorios monofásico tipo 2

Dentro de tablero TP3, se selecciona del supresor de transitorios monofásico tipo 2 se Schneider Electric del catálogo QO2175SB, el cual soporta una sobrecorriente de 22,5 kA y una capacidad de corriente de cortocircuito de 22 kA.

7.2.10. Selección de ductos

Dentro de este apartado, se va a seleccionar una de las canalizaciones de los ramales utilizados en la planta sulfatadora, ya el dicho proceso es muy reiterativo para realizarlo en todos los ramales. Para ejemplificar la elección de la canalización, se va a seleccionar el ramal que se dirige al panel de automatización para agitadores de sulfato, puesto que es el conductor de mayor calibre de todos los ramales del tablero TP3. Se eligió que la canalización se va a realizar con tubería EMT, ya que va a quedar expuesta, lo cual implica que se debe calcular primeramente el área transversal del conductor, la cual se puede obtener en la tabla 5 del NEC 2014, teniendo en cuenta que, para un conductor con un calibre 6 AWG con chaqueta THHN, se tiene un área transversal de 32,71 mm², además, se tiene un conductor de puesta a tierra con un calibre 10 AWG, con chaqueta THHN, el cual tiene un área transversal 13,61 mm² (**Anexo 15. Dimensiones de conductores aislados y de cables de artefactos**).

De la indagación anterior, se puede determinar que el área transversal total aproximada de los cables es de 111,74 mm². Por lo cual, cuando se tiene más de 3 conductores por canalización, el porcentaje de sección transversal del tubo debe ser del 40 %. Por lo tanto,

se puede determinar que la tubería a utilizar será de ¾ de pulgada, según la tabla 4 del NEC 2014 (Anexo 13. Dimensiones y área porcentual de conductores y tuberías EMT).

7.2.11. Tabla resumen del tablero de la planta sulfatadora (TP3)

En la tabla 7-5, se pueden observar todos los calibres, disyuntores, canalizaciones y caídas de tensión calculadas anteriormente en el tablero de la planta sulfatadora (TP3).

Tabla 7-5. Tabla resumen del tablero de la planta sulfatadora. TP3.

Circuito	Descripción	Voltaje (V)	Potencia (VA)	Corriente (A)	Longitud (m)	Calibre			Disyuntor		Canalización (in)	%CV
						L	N	T	N polos	Capacidad		
P3-1	Tomacorriente para comedor	120	1500,00	12,50	6,00	12	12	12	1	20A	1/2	0,84%
P3-2	Tomacorriente para comedor	120	1500,00	12,50	6,81	12	12	12	1	20A	1/2	0,95%
P3-3	Tomacorriente de servicio sanitario	120	180,00	1,50	10,00	14	14	14	1	15A	1/2	0,27%
P3-4	Tomacorrientes generales (1 piso)	120	1440,00	12,00	12,00	12	12	12	1	20A	1/2	1,62%
P3-5	Tomacorrientes generales (2 piso)	120	2340,00	19,50	20,00	8	8	12	1	20A	1/2	1,66%
P3-6	Iluminación interior (1 piso)	120	800,00	6,67	22,50	12	12	12	1	20A	1/2	1,68%
P3-7	Iluminación exterior	120	2000,00	16,67	25,90	8	8	12	1	20A	1/2	1,84%
P3-8/9	Panel para control de las dosificadoras de sulfato (ICP 4)	240	10948,80	22,81	6,32	10	10	10	2	40A	1/2	0,51%
P3-10/11	Panel de automatización para agitadores de sulfato (ICP 5)	240	22108,80	46,06	11,50	6	6	10	2	60A	3/4"	1,17%
P3-12/13	Salida especial	240	18000,00	37,50	2,62	6	6	10	2	40A	3/4"	0,22%
P3-14	Caseta de guarda	120	460,00	3,83	30,00	12	12	14	1	15A	1/2	0,49%
P3-15	Túnel (Iluminación)	120	1300,00	10,83	50,00	6	6	12	1	20A	1/2"	1,51%
P3-16/17	Aire acondicionado 1	240	2000,00	8,33	10,00	12	12	12	2	20A	1/2	0,47%
P3-18/19	Aire acondicionado 2	240	4000,00	8,33	12,50	12	12	12	2	20A	1/2	0,58%
P3-20	Tecele	120	600,00	5,00	9,10	14	14	14	1	15A	1/2	0,81%
P3-21/22	Tomacorriente para cocina	240	2000,00	4,17	7,64	12	12	12	2	20A	1/2"	0,18%
P3-23	Iluminación interior (2 piso)	120	1100,00	9,17	19,70	12	12	12	1	20A	1/2"	2,03%
P3-24	Iluminaria de emergencia	120	333,20	2,78	25,00	14	14	14	1	15A	1/2"	1,34%
P3-25/26	Supresor de transitorios monofásico tipo 2 (QO2175SB)	240	0,0	0,00	0,00	6	6	6				0,00%

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

7.2.12. Factor de demanda del tablero de la planta sulfatadora (TP3)

Los factores de demanda se tomaron respecto a diferentes tablas del NEC 2014 y respecto a valores históricos conocidos. Los tomacorrientes ya sean para comedor, servicios sanitarios y generales se conoce por valores históricos conocidos que se debe aplicar un factor de demanda del 50 %, a la iluminación se le aplica un factor de demanda del 100 %, ya que las iluminarias en una estación potabilizadora que no está completamente automatizada genera que en las noches la iluminación este encendida al 100 %, como se mencionó en el

capítulo 5, el panel para control de las dosificadoras de sulfato controla 3 motores, de los cuales solo funciona uno por medio de la alternancia, además, el panel de automatización para agitadores de sulfato controla 4 motores, de ellos, solo funcionan dos motores por medio de la alternancia, también se conoce que un factor de demanda histórico de un aire acondicionado es de un 50 % y, por último, de acuerdo con la 220.55 del NEC 2014, se selecciona el factor de demanda de una estufa (**Anexo 7. Factores de demanda de estufas domésticas.**

Tabla 7-6. Factor de demanda del tablero de la planta sulfatadora (TB3)

Circuito	Descripción	Potencia (VA)	Factor de demanda del equipo	Potencia con el factor de demanda	Factor de demanda del tablero
P3-1	Tomacorriente para comedor	1500	0,5	750,0	0,51
P3-2	Tomacorriente para comedor	1500	0,5	750,0	
P3-3	Tomacorriente de servicio sanitario	180	0,5	90,0	
P3-4	Tomacorrientes generales (1 piso)	1440	0,5	720,0	
P3-5	Tomacorrientes generales (2 piso)	2340	0,5	1170,0	
P3-6	Iluminación interior (1 piso)	800	1	800,0	
P3-7	Iluminación exterior	2000	1	2000,0	
P3-8/9	Panel para control de las dosificadoras de sulfato (ICP 4)	10948,8	0,33	3613,1	
P3-10/11	Panel de automatización para agitadores de sulfato (ICP 5)	22108,8	0,5	11054,4	
P3-12/13	Salida especial	18000	0,5	9000,0	
P3-14	Caseta de guarda	460	0,5	230,0	
P3-15	Túnel (Iluminación)	1300	0,5	650,0	
P3-16/17	Aire acondicionado 1	2000	0,5	1000,0	
P3-18/19	Aire acondicionado 2	4000	0,5	2000,0	
P3-20	Tecele	600	1	600,0	
P3-21/22	Tomacorriente para cocina	2000	0,8	1600,0	
P3-23	Iluminación interior (2 piso)	1100	1	1100,0	
P3-24	Iluminación de emergencia	333,2	0,5	166,6	

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

$$FD: \frac{750 + 750 + 90 + 720 + 1170 + 800 + 2000 + 3613,1 + 11054,4 + 9000 + 230 + 230 + 650 + 1000 + 2000 + 600 + 1600 + 1100 + 166,6}{1500 + 1500 + 180 + 1440 + 2340 + 800 + 2000 + 10948,8 + 22108,8 + 18000 + 460 + 1300 + 2000 + 4000 + 600 + 2000 + 1100 + 333,2} = 0,51$$

Se seleccionó un factor de demanda para el tablero TB3 del 51 %, de acuerdo con el cálculo realizando anteriormente.

7.2.13. Selección de la capacidad en barras del tablero de la planta sulfatadora

La selección de la capacidad en barras del tablero se determina a partir de la potencia máxima que debe soportar, por lo tanto, se realiza la respectiva suma de potencias que se muestra en la **Tabla 7-5. Tabla resumen del tablero de la planta sulfatadora. TP3**, para seleccionar el tablero.

$$\begin{aligned}
TB3(VA): & 1500 + 1500 + 180 + 1440 + 2340 + 800 + 2000 + 10948 + 22108 \\
& + 18000 + 460 + 1300 + 2000 + 4000 + 600 + 2000 + 1100 + 333,20 \\
& = 72610,8 VA
\end{aligned}$$

Para los intereses del AyA, es de gran importancia que se diseñe con una reserva del 25 %, además, el tablero tiene un factor de demanda de un 51 %, por lo tanto, para realizar el cálculo respectivo para su selección se utiliza la siguiente ecuación:

$$TB3 (A) = \frac{72610,8 VA \times 1,25 (reserva) \times 0,51 (FD)}{240 V} = 192,87 A$$

Por lo tanto, se seleccionó el tablero:

- NQ30L2C.
- MH44M.
- NC44.
- NQMB2HJ.
- JDL26225.

De la marca Schneider Electric, posee una capacidad en barras de 250 amperios, una capacidad interruptiva de 10 kA, además, el tablero tiene un interruptor interno con una capacidad de 225 amperios.

7.2.14. Selección del subalimentador del tablero de la planta sulfatadora (TB3)

El subalimentador del tablero TB3 se realizará de manera subterránea, por lo tanto, se debe realizar una selección del conductor respecto a la figura B.310.15(B)(2)(2) del NEC 2014 y la tabla B.310.15(B)(2)(5) hasta la (10) (**Anexo 8. Dimensiones de las instalaciones de cables para usar en acometidas subterráneas y Anexo 9. Ampacidades de tres conductores de acometida**

subterránea.). Además, se debe aplicar el artículo 430.24 del NEC que mencionan que el conductor que alimenta varios motores debe tener una ampacidad no menor a la suma de 125 % de motor de mayor consumo, más la suma a plena carga de los demás motores, más el 100 % de las no continuas y más el 125 % de las cargas continuas.

$$\begin{aligned} \text{Corriente (A): } & 12,5 + 12,5 + 1,5 + 12 + 19,5 + 6,67 \times 1,25 + 16,67 \times 1,25 + 22,81 \\ & + 46,06 \times 1,25 + 37,5 + 3,83 + 10,83 + 8,33 + 8,33 + 5 + 4,17 + 9,17 \\ & + 2,78 + 57,05 = 318,3 \text{ A} \end{aligned}$$

A la corriente de 318,3 A se le debe aplicar el factor de demanda y factor por temperatura de la tabla B.310.15(B)(2)(6).

$$\text{Ampacidad (A): } \frac{318,3 \times 0,51}{0,90} = 172,69 \text{ A}$$

El subalimentador se seleccionó para tener solo un conductor por fase, por lo tanto, se tendría 3 conductores; línea 1, línea 2 y neutro, además, se tendría el conductor de puesta a tierra, por lo tanto, se tendría 4 conductores eléctricos.

Los conductores eléctricos se dispondrán como se muestra en la figura 7.3, además, se seleccionó una resistividad térmica de 120, ya que dicho dato se desconoce, por lo tanto, se analiza la condición más crítica que es con una resistividad térmica de 120. De acuerdo con la tabla B.310.15(B)(2)(6), se seleccionó un conductor por fase calibre 500 AWG en aluminio, el cual tiene una ampacidad de 190 A @ 75 °C. Además, la chaqueta a utilizar será THHN. Se comprobó la caída de tensión del circuito, con la siguiente ecuación:

$$\%CV = \frac{2 \times 0,1391 \times 172,69 \times 75}{1000 \times 240} = 1,5 \% < 3 \%$$

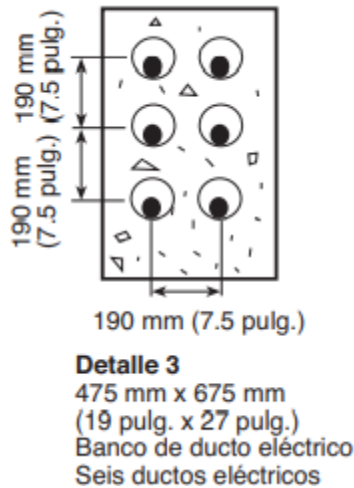


Figura 7-3. Detalle 3 de la figura B.310.15(B)(2)(2).

Fuente: (NEC, 2014)

7.2.15. Selección de la protección del circuito

La elección de la protección del circuito de un grupo de motores se aplica el artículo 430.62(A), donde se menciona que se debe tomar el valor de la protección mayor de los ramales y se le suma la corriente a plena carga del resto de motores y cargas de los ramales. Los datos aplicados en la siguiente ecuación se pueden observar en la tabla 7-5.

$$\begin{aligned}
 \text{Disyuntor (A): } & 60 + 12,5 + 12,5 + 1,5 + 12 + 19,5 + 6,67 + 16,67 + 22,81 + 37,5 \\
 & + 3,83 + 10,83 + 8,33 + 8,33 + 5 + 4,17 + 9,17 + 2,78 + 57,05 \\
 & = 254,09
 \end{aligned}$$

Para la selección del disyuntor, se realiza de acuerdo con el artículo 240.6, por lo cual se eligió un interruptor automático de 250 amperios, del catálogo HOM2250BB de la marca Schneider Electric, el cual tiene una capacidad interruptiva de 10kA.

Además, la selección del conductor de puesta a tierra se realizó, de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 250 amperios se optó por un calibre 2 AWG de aluminio (**Anexo 24. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna**).

7.2.16. Ducto del subalimentador del tablero TB3

Se seleccionó que la canalización se va a realizar con tubería PVC, ya que va a quedar bajo la tierra, lo cual implica que se debe calcular primeramente el área transversal del conductor, que se puede obtener en la tabla 5 del NEC 2014, teniendo en cuenta que, para un conductor con un calibre 500 AWG de aluminio con chaqueta THHN, se tiene un área transversal de 456,3 mm², además, se tiene un conductor de puesta a tierra con un calibre 2 AWG de aluminio con chaqueta THHN el cual tiene un área transversal 74,71 mm² (**Anexo 16. Dimensiones de conductores aislados y de cables de artefactos**).

Debido a que los conductores se van a instalar como se muestra en la figura 7-3, cada canalización solo transportara un conductor. Por lo cual, cuando solo se tiene 1 conductor por canalización, el porcentaje de sección transversal debe ser del 53 %. Por lo tanto, se puede determinar que se debe utilizar 3 ductos de 2 pulgadas y un ducto de ¾ de pulgada (**Anexo 14. Dimensiones y área porcentual de conductores y tuberías PVC**).

7.3. Tablero del cuarto de bombeo (TB2)

Para efectos de este diseño, se presentó de manera detallada el dimensionamiento del tablero de la planta sulfatadora, como muestra de cómo se realizaron los cálculos y selección de componentes y equipos, ya que, para este tablero, se hizo de manera similar al tablero antes desarrollado, pero los datos se pueden verificar en el diagrama unifilar.

Cabe destacar que es de gran importancia el consumo de potencia en voltamperios del tablero del cuarto de bombeo para realizar la selección de transformador seco monofásico. El tablero TB2 tiene un consumo de 31025 voltameperios. Además, el tablero tiene un factor de demanda del 65 %. Otro punto vital en este tablero es que solo dispone potencia a equipos de carga resistiva, pues solo controla las luces, receptáculos y un aire acondicionado del cuarto de bombeo de la planta potabilizadora.

7.4. Selección del transformador seco monofásico

El transformador seco monofásico supe de potencia al tablero TP1, el cual distribuye potencia a los centros de carga TB2 y TB3. Por ello, el transformador seco se seleccionó respecto al consumo de potencia del TP1.

$$TP1 (VA): 31025 VA \times 1,25 (reserva) \times 0,65 (FD) \\ + 72610,8 VA \times 1,25 (reserva) \times 0,51 (FD) = 71497,2 VA$$

Por lo tanto, se seleccionó un transformador seco monofásico de 75 KVA que convierte de 480 VAC a 240/120 VAC. El transformador apartado es de la marca SQUARE D, del catálogo EE75S3H, que posee una impedancia 5,7 %. De acuerdo con la tabla 450.3(B), se optó las protecciones contra sobrecorriente del transformador seco (**Anexo 11. Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 1000 volts**).

$$Protección del primario: \frac{75\,000\,VA}{480\,V} \times 2,5 = 390,625A$$

$$Protección del secundario: \frac{75\,000\,VA}{240\,V} \times 1,25 = 390,625A$$

Para la selección del disyuntor, se realiza de acuerdo con el artículo 240.6, por lo cual, para el primario y secundario del transformador, se eligió un disyuntor de 400 amperios, del catálogo LGL36400 de la marca Schneider Electric, que tiene una capacidad interruptiva de 65 kA. Para la selección del conductor que subalimentador que se dirige al TP1 se realizó el siguiente cálculo.

$$\text{Ampacidad: } \frac{75000 \times 1,25}{240 \times 0,94 \times 2} = 207,75 \text{ A}$$

Analizando que el conductor que se dirige al tablero monofásico debe tener una capacidad no menor a 207,75 amperios, se diseñó con un conductor calibre 4/0 AWG, el cual tiene una ampacidad de 230 A @75 °C, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16) (**Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C**). Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 400 amperios se seleccionó un calibre 3 AWG (**Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos**). Se confrontó la caída de tensión del circuito (**Anexo 17. Propiedades de conductores**).

$$\%CV = \frac{2 \times 0,205 \times 166,22 \times 6}{1000 \times 240} = 0,17 \% < 3 \%$$

7.5. Tablero I-line (TP0)

Dentro de los carteles de licitación del AyA, se indica la necesidad de colocar un instrumento de medición de calidad de energía en el tablero principal de las plantas potabilizadoras, por lo cual los tableros I-line de la marca Schneider Electric están diseñados para instalarse en sitio o desde la fábrica un equipo de medición digital de potencia. Este tipo de tableros realizan mediciones efectivas de los parámetros eléctricos, con lo cual permite

asegurarse de la disponibilidad y confiabilidad del sistema eléctrica que se encuentra en la planta potabilizadora.

Tabla 7-7. Circuitos del tablero I-line (TP0)

Circuito	Descripción	Voltaje (V)	Potencia (VA)	Corriente (A)	Longitud (m)
P0-1/2/3	Panel de Control Industrial-Automatización de Estación de Bombeo (ICP1)	480	1716,02	2,07	8,54
P0-4/5/6	Panel de arranque con variador de frecuencia 93.2125 kW (125 HP) (ICP2)	480	118833,00	143,00	10,41
P0-7/8/9	Panel de arranque con variador de frecuencia 93.2125 kW (125 HP) (ICP3)	480	118833,00	143,00	14,63
P0-10/11	TP1 (Transformador seco)	480	75000,00	134,94	5,42
P0-12/13/14	Supresor de transitorios trifásico tipo 2	480	0,00	0,00	2,3

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

El tablero TP0 suministra una potencia trifásica a cuatro equipos fundamentales; el panel de automatización y control del ICP2 y 3, el panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 1 de 93,21 kW (125 HP), el panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 2 de 93,21 kW (125 HP), y el transformador tipo seco monofásico de 75 kVA, además, se selecciona un supresor de transitorios trifásico tipo 2 para proteger el circuito ante una descarga atmosférica.

7.5.1. Circuito del panel de automatización y control del ICP2 y 3

En la sección “5.1 Diseño del panel de automatización y control del ICP2 y 3”, se definió que el consumo corriente del panel de automatización y control del ICP2 y 3 por fase

es de 2,065 amperios, por lo tanto, se seleccionó un conductor por fase calibre 12 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 20 A @ 60 °C, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16). Además, el cálculo realizado para seleccionar el interruptor principal demostró la selección de un disyuntor de 20 amperios, pero en el caso anteriormente citado se seleccionó un disyuntor de 20 amperios, ya que el mercado nacional no existe disyuntor de la caja moldeada de 15 amperios. Por lo cual, en el tablero TPO, se instaló un disyuntor de igualmente de 20 amperios, pero este caso del catálogo HDA36020 de la marca Schneider Electric, que soporta una corriente de cortocircuito de 18 kA.

Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 20 amperios se escogió un calibre 12 AWG. A continuación, se verificó la caída de tensión del circuito.

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 8,54 \times 2,07 \times 6,6}{1000 \times 480} = 0,042 \% < 3 \%$$

7.5.2. Circuito del panel de arranque con variador de frecuencia para bomba 1 y 2 de 93 kW (125 HP)

Para el diseño eléctrico los paneles de arranque con variadores de frecuencia para las bombas 1 y 2, se va a realizar en conjunto, ya que son dos diseños idénticos. En la sección “5.2.3. Dimensionamiento de los conductores dentro del panel”, se especifica que cada uno de los variadores de frecuencia seleccionados tienen un consumo de 143 amperios, pero, para la selección del conductor, se aplicó el artículo 430.122A del NEC 2014, que indica que los conductores que alimentan variadores de frecuencia deben tener una ampacidad no inferior al 125 % de la corriente de entradas al convertidor de potencia, el cual nos da como resultado que el conductor se debe seleccionar con una ampacidad no menor a 190.16 amperios, por lo

tanto, se seleccionó un conductor por fase calibre 3/0 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 200 A @ 75°C, de acuerdo con la tabla 310.15(B)(16). Además, en el apartado anteriormente citado, se selecciona el interruptor automático respecto al documento (**Anexo 25. Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600**), por lo cual, para el variador de frecuencia elegido, debe colocarse un disyuntor de 400 amperios, por lo tanto, se seleccionó un interruptor del catálogo LA36400 de la marca Schneider Electric, el cual soporta una corriente de cortocircuito de 30 kA. Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 400 amperios se eligió un calibre 3 AWG. A continuación, se verificó la caída de tensión del circuito.

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 0,31 \times 14,63 \times 143}{1000 \times 480} = 0,234 \% < 3 \%$$

7.5.3. Circuito eléctrico del transformador tipo seco monofásico

El transformador tipo seco seleccionado en el apartado “7.4. Selección del transformador seco monofásico” tiene una potencia de 75 kVA, en el mismo apartado antes citado se aplicó el artículo 450.3(B) para la selección de las protecciones contra sobrecorriente del transformador tipo seco, por lo tanto, se seleccionó, tanto para el primario como para el secundario, un disyuntor de 400 amperios del catálogo LGL36400 de la marca Schneider Electric, que tiene una capacidad interruptiva de 65 kA. Para la selección del conductor que subalimentador que se dirige al transformador tipo seco, se realizó el siguiente cálculo.

$$\text{Ampacidad: } \frac{75000 \times 1.25}{480 \times 0,94 \times 2} = 103,89 \text{ A}$$

De acuerdo con la tabla 310.15(B)(16), se seleccionó un conductor por fase calibre 2 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 115 A @75 °C. Pero, ya que el disyuntor

principal seleccionado tiene una capacidad de 400 amperios, se decidió seleccionar un conductor por fase mayor para proteger el conductor, por lo cual, se selecciona un conductor por fase calibre 2/0 AWG en cobre, el cual tiene una ampacidad de 175 A@7575 °C. Además, la selección del conductor de puesta tierra se realizó de acuerdo con la tabla 250.122, la cual para un disyuntor de 400 amperios se eligió un calibre 3 AWG. Se comprobó la caída de tensión del circuito.

$$\%CV = \frac{2 \times 0,33 \times 103,4 \times 5,42}{1000 \times 480} = 0,077 \% < 3 \%$$

7.5.4. Circuito del supresor de transitorios trifásico tipo 2

El supresor del transitorios para el tablero TP0 debe cumplir una serie de características citadas en los carteles de licitación del AyA. A continuación, se citan las características para la selección del supresor:

- Deberá contar con capacidad de corriente de descarga máxima de 100KA-8/20µs, 3 fases, 480/277V, 4 hilos y tierra.
- Indicación LED del estatus por fase, de conexión en paralelo, tipo modular.
- No se permitirá la instalación del monitor de energía en el Centro de Carga.

El monitor se deberá instalar en un gabinete de poliéster, con las protecciones eléctricas requeridas para su desconexión y correctamente cableado.

Por ello, se selecciona un supresor de la marca Advanced Protection Technologies, específicamente del catálogo TE04XGA4X, que tiene una capacidad máxima de descarga de 160 kA, además, se encuentra instalado en un gabinete NEMA 4X de poliéster y, además, según datos del catálogo, se debe proteger con un disyuntor de 60 amperios y un conductor calibre 6 AWG.

7.5.5. Tabla resumen del tablero I-line (TP0)

En la tabla 7-8, se pueden observar todos los calibres, disyuntores, canalizaciones y caídas de tensión calculadas en el tablero I-line (TP0)

Tabla 7-8. Tabla resumen del tablero I-line (TP0).

Circuito	Descripción	Voltaje (V)	Potencia (VA)	Corriente (A)	Longitud (m)	Calibre AWG			Disyuntor		Canalización (in)	%CV
						L	N	T	N polos	Capacidad (A)		
P0-1/2/3	Panel de Control Industrial-Automatización de Estación de Bombeo (ICP 1)	480	1716,02	2,07	8,54	12		12	3	20	1/2"	0,04%
P0-4/5/6	Panel de arranque con variador de frecuencia 93.2125 kW (125 HP) (ICP 2)	480	118833,00	143,00	10,41	3/0		3	3	400	2	0,17%
P0-7/8/9	Panel de arranque con variador de frecuencia 93.2125 kW (125 HP) (ICP 3)	480	118833,00	143,00	14,63	3/0		3	3	400	2	0,23%
P0-10/11	TP1 (Transformador seco)	480	75000,00	156,25	5,42	2/0	2/0	3	2	400	1 1/2"	0,08%
P0-12/13/14	Supresor de transitorios trifásico tipo 2	480	0,00	0,00	2,3	6	6	6	3	60	3/4"	0,00%

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

7.5.6. Selección de la capacidad en barras del tablero I-line (TP0)

Para la selección de la capacidad en barras del tablero, se determina a partir de la potencia máxima que debe soportar, por lo tanto, se realiza la respectiva suma de potencias que se muestra en la tabla 7-8 para seleccionar el tablero.

$$TB0 (VA): 1716,02 + 118833 + 118833 + 75000 = 324382,02 VA$$

Para seleccionar el factor de demanda del tablero, se debe realizar una aclaración, las bombas de 93,21 kW solo funciona una a la vez por medio de la alternancia, por datos históricos que se manejan en la planta potabilizadora de Liberia, la bomba debe programarse para que funcione únicamente por 24 horas cada una, por lo tanto, para seleccionar el factor de demanda, se supondrá que solo funciona una bomba. Por lo cual, a continuación, se realiza un cálculo para demostrar el factor de demanda del tablero.

$$FD: \frac{1716,02 \times 1 + 118833 \times 1 + 75000 \times 0,55}{1716,02 + 118833 + 118833 + 75000} = 0,52$$

Para los intereses del AyA, es de gran importancia que se diseñe con una reserva del 25 %, además, el tablero tiene un factor de demanda de un 52 %, por lo tanto, debe realizar el cálculo respectivo para su selección.

$$TB3 (A) = \frac{324382,02 VA \times 1,25 (reserva) \times 0,52 (FD)}{\sqrt{3} \times 480 V} = 253,61 A$$

Se escogió el tablero ML400201B de la marca Schneider Electric, que posee una capacidad en barras de 400 amperios, una capacidad interruptiva 10 kA.

7.5.7. Selección del subalimentador del tablero I-line (TP0)

El alimentador del tablero TP0 le provee potencia a la transferencia automática. Cabe destacar que, para seleccionar el subalimentar, se aplicó el artículo 430.24 del NEC 2014 que mencionan que el conductor que alimenta varios motores debe tener una ampacidad no menor a la suma de 125 % de motor de mayor consumo, más la suma a plena carga de los demás motores, más el 100 % de las no continuas y más el 125 % de las cargas continuas.

$$Corriente (A): 2,07 \times 1,25 + 143 \times 1,25 + 143 + 156,25 \times 1,25 = 519,96 A$$

A la corriente 550.07 A, se aplica el factor de demanda y factor por temperatura.

$$Ampacidad (A): \frac{519,96 \times 0,52}{0,94} = 287,63 A$$

Como se muestra en el cálculo anterior, el alimentador principal de la planta potabilizadora no debe tener una ampacidad menor a 287,63 amperios, es por esto que se seleccionó un conductor por fase calibre 500 AWG en aluminio, el cual tiene una ampacidad

de 310 A @ 75 °C. Se verificó la caída de tensión del subalimentador, con el siguiente cálculo:

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 0,177 \times 4 \times 270,37}{1000 \times 480} = 0,073 \% < 3 \%$$

7.5.8. Selección de la protección del tablero TP0

Para la selección de la protección del circuito de un grupo de motores, se aplica el artículo 430.62(A), donde se menciona que se debe tomar el valor de la protección mayor de los ramales y se le suma la corriente a plena carga del resto de motores y cargas de los ramales. Los datos aplicados en la siguiente ecuación se pueden observar en la tabla 7-8.

$$\text{Disyuntor (A): } 400 + 2,07 + 134 + 156,25 = 702A.$$

Se seleccionó un interruptor automático de 700 amperios, del catálogo MGL36700 de la marca Schneider Electric, que tiene una capacidad interruptiva de 35 kA.

7.5.9. Selección de la transferencia automática

Se selecciona la transferencia automática ATV3KDA30600XJU de la marca Eaton, la transferencia automática tiene una capacidad de 400 amperios, además, se encuentra en un gabinete NEMA 12 y certificada UL Listed.

7.6. Selección del transformador tipo pedestal trifásico

El transformador tipo pedestal trifásico supe de potencia a la transferencia automática y la transferencia automática debe suplir toda la demanda de la planta potabilizadora de Liberia, por lo tanto, el transformador se debe seleccionar respecto a la potencia de demanda el tablero I-line (TP0). Por cual, se va a realizar el cálculo de potencia aparente del TP0, para seleccionar el transformador.

$$\begin{aligned}
 \text{Potencia (VA): } & (1716,02 \text{ VA} + 118833 \text{ VA} + 118833 \text{ VA} \\
 & + 75000 \text{ VA}) \times 1,25 \text{ (reserva)} \times 0,52 \text{ (FD)} = 204348,32 \text{ VA} \\
 & = 204,35 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Se seleccionó un transformador tipo pedestal trifásico de 225 kVA, transforma el voltaje de la acometida 34,5 kV a 480/277V. El transformador seleccionado es de la marca Eaton, que posee una impedancia 3 %. El transformador se conectará de manera delta en el primario y en estrella en el secundario. De acuerdo con la tabla 450.3(A), se seleccionan las protecciones contra sobrecorriente del transformador de pedestal.

$$\text{Protección del primario: } \frac{225000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 34500 \text{ V}} \times 6 = 22,6 \text{ A}$$

$$\text{Protección del secundario: } \frac{225000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 480 \text{ V}} \times 1,25 = 338,29 \text{ A}$$

Para de los disyuntores, se realiza de acuerdo con el artículo 240.6, por lo cual para el primario se seleccionó un disyuntor de 25 amperios del catálogo SF1 de la marca Schneider Electric, el cual tiene una capacidad interruptiva de 12,5kA. Además, se seleccionó un interruptor de 400 amperios del catálogo LAL36350 de la marca Schneider Electric, que tiene una capacidad interruptiva de 30 kA.

Cabe destacar que el interruptor del secundario del transformador se va a instalar dentro de un gabinete NEMA 3R a un costado del transformador de pedestal el catálogo del gabinete es LA400R, además, dentro del mismo gabinete se diseñó para instalar un supresor de transitorios trifásico tipo 1 del catálogo TE04XBL60E.

7.7. Selección del conductor alimentador principal.

El alimentar principal se realizara de manera subterránea, por lo tanto, se debe realizar una selección del conductor respecto a la figura B.310.15(B)(2)(2) del NEC 2014 y la tabla B.310.15(B)(2)(5) hasta (10), asimismo, se debe aplicar el artículo 430.24 del NEC 2014, que menciona que el conductor que alimenta varios motores debe tener una ampacidad no menor a la suma de 125 % de motor de mayor consumo, más la suma a plena carga de los demás motores, más el 100 % de las no continuas y más el 125 % de las cargas continuas. Datos obtenidos de la tabla 7-8.

$$\text{Corriente (A): } 2,07 \times 1,25 + 143 \times 1,25 + 143 + 156,25 \times 1,25 = 519,96 \text{ A}$$

A la corriente 519,96 A se le aplicó el factor de demanda y factor por temperatura.

$$\text{Ampacidad (A): } \frac{519,96 \times 0,52}{0,90} = 300,42 \text{ A}$$

Se selecciona para tener un conductor por fase, por lo tanto, se tendrían 3 conductores, un conductor de neutro y un conductor del electrodo de puesta a tierra para sistema de corriente alterna. Los conductores se dispondrán, como se muestra en el detalle 3 de la figura B.310.15(B)(2)(2) del NEC 2014. Además, se seleccionó una resistividad térmica de 120, ya que dicho dato se desconoce, se analiza la condición más crítica que es con una resistividad térmica de 120. De acuerdo con la tabla B.310.15(B)(2)(7), se seleccionó un conductor por fase calibre 500 AWG en aluminio, el cual tiene una ampacidad de 326 A @ 75 °C. Además, la chaqueta a utilizar será THHW.

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} \times 0,177 \times 43,2 \times 270,37}{1000 \times 480} = 0,788 \% < 3 \%$$

Para la selección del conductor de puesta a tierra se aplica la tabla 250.66, por lo tanto, para un conductor de acometida de calibre 500 AWG de aluminio se selecciona un conductor de del electrodo de un calibre #3/0 AWG.

7.8. Grupo de electrógeno

La planta potabilizadora, actualmente, cuenta con un grupo de electrógeno con una capacidad de 229 kVA, por lo tanto, analizando el apartado “7.7. Selección del transformador tipo pedestal trifásico”, se realizó el respectivo cálculo y se concluye que la planta potabilizadora consume una potencia trifásica de 204,35 kVA, por lo cual, el grupo de electrógeno se puede reutilizar en el rediseño de la planta potabilizado, cabe destacar que, del sistema eléctrico, los únicos elementos que se reutilizarán serán los motores, las bombas y el grupo de electrógeno, todo lo demás será desechado.

7.9. Estudio de iluminación

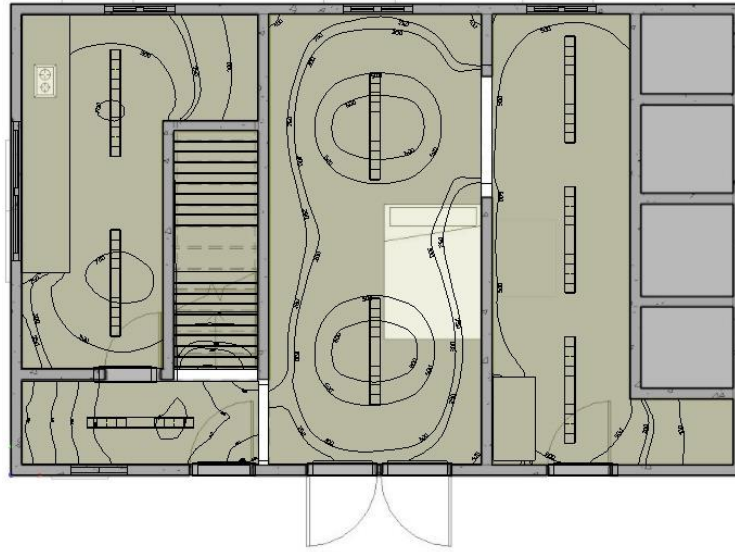
Aprovechando los beneficios del software DIALux EVO, se realizó el estudio de iluminación para todos los recintos de la planta potabilizadora de Liberia, respecto al rediseño realizado. Para ello, se dividió la planta potabilizadora por zonas igual, como se muestra en los planos eléctricos. Para determinar la intensidad lumínica en cada uno de los recintos de la planta potabilizadora, se aplica la INTE/ISO 8995-1:2016 Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1. Interiores, tomando como base plantas eléctricas.

Tabla 7-9. Cantidad de lux requerida e instalada en cada recinto de la planta sulfatadora.

Recinto	Lux (INTE/ISO 8995-1:2016)	Lux instalada
Comedor	200	501
Pasillo (1 Piso)	100	380
Bodega	200	377
Cuarto de bombas dosificadoras de sulfato	500	621
Laboratorio	500	729
Servicio sanitario	200	511
Pasillo (2 Piso)	200	298
Oficina	500	549
Escalera	500	514
Cuarto de motores agitadores	500	593

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

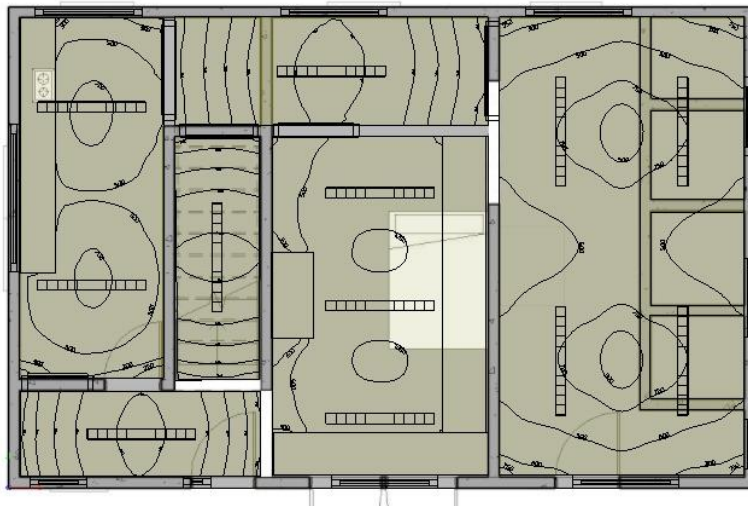
Dentro de la planta sulfatadora, se tienen tres puntos críticos de iluminación, los cuales son el cuarto de bombas dosificadoras de sulfato, el laboratorio y el cuarto de motores agitadores, donde en todos los recintos anteriormente citados deben tener como mínimo una intensidad luminosa de 500 lx respecto a INTE/ISO citada anteriormente. Cabe destacar que se nota en la tabla 7-9, que todos los recintos cumplen con la norma. En las figuras 7-4 y 7-5, se denota de distribución luminosa de todos los recintos de la planta sulfatadora. Es de vital importancia especificar que el estudio se realizó con iluminarias de la marca Tobias Grau, específicamente del catálogo XT-A DIRECTO 150 X 15, las cuales tienen un flujo luminoso de 4530 lm.



Notas: refiérase plano de iluminación del primer piso de la planta sulfatadora para tener una mejor visualización

Figura 7-4. Estudio de iluminación del primer piso de la planta sulfatadora.

Fuente: Elaboración propia. DIALux Evo.



Notas: refiérase a plano de iluminación del segundo piso de la planta sulfatadora para tener una mejor visualización

Figura 7-5. Estudio de iluminación del segundo piso de la planta sulfatadora.

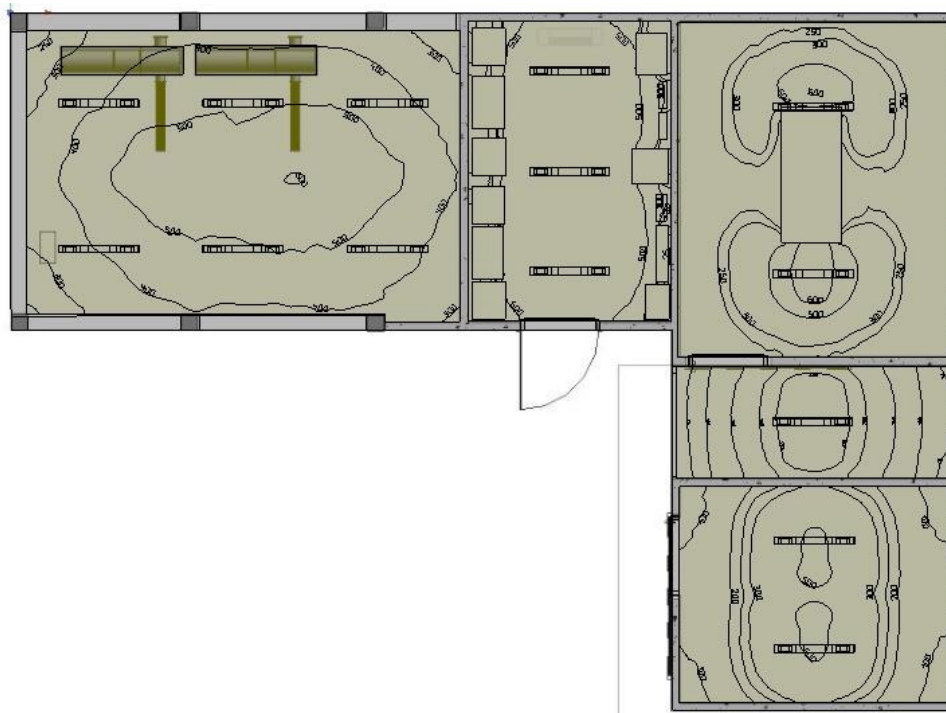
Fuente: Elaboración propia. DIALux Evo.

Dentro del centro de bombeo, se tiene un punto crítico de iluminación, el cual sería el cuarto de control, donde se debe tener como mínimo una intensidad luminosa de 500 lx respecto a INTE/ISO citada anteriormente. Cabe destacar que se nota en la tabla 7-10, que todos los recintos cumplen con la norma. En la figura 7-6, se muestra la distribución luminosa de todos los recintos del centro de bombeo. Es de vital importancia especificar que el estudio se realizó con iluminarias de la marca Tobias Grau específicamente del catálogo XT-A CEILING LED OSA, las cuales tienen un flujo luminoso de 10498 lm.

Tabla 7-10. Cantidad de lux requerida e instalada en cada recinto del centro de bombeo.

Recinto	Lux (INTE/ISO 8995-1:2016)	Lux instalada
Cuarto de control	500	653
Cuarto del grupo del electrógeno	200	286
Pasillo del centro de bombeo	100	163
Bodega del centro de bombeo	100	270
Cuarto de bombeo	500	501

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.



Notas: refiérase a **plano de iluminación del centro de bombeo** para tener una mejor visualización

Figura 7-6. Estudio de iluminación del centro de bombeo.

Fuente: Elaboración propia. DIALux Evo.

Aparte de la iluminación interna que cualquier recinto debe instalar, se aplicó la norma NFPA 101: Código de Seguridad Humana, donde se incluyen requerimientos específicos acerca de la iluminación de emergencia. Cabe destacar que la norma cita que todos los lugares de acceso a una salida deben tener como mínimo una intensidad luminosa de 10,8 lx, además,

en superficies para caminar del acceso de salida en ocupaciones de reuniones debe ser de, al menos, 2,2 lx. Por lo tanto, dicho análisis se realizó también en software DIALux EVO, donde se obtuvieron los siguientes datos. Es de vital importancia especificar que el estudio se realizó con iluminarias de la marca Dinaso, específicamente del catálogo Dinaso 616 1x8 CEM-L, las cuales tienen un flujo luminoso de 121 lm.

Tabla 7-11. Cantidad de lux de emergencia instalada en cada recinto de la planta potabilizadora.

Recinto	Lux instalada
Comedor	2,31
Pasillo (1 Piso)	2,9
Bodega	11,5
Cuarto de bombas dosificadoras de sulfato	11,5
Laboratorio	11,3
Servicio sanitario	3,65
Pasillo (2 Piso)	4,25
Oficina	2,86
Escalera	22,8
Cuarto de motores agitadores	10,8
Cuarto de control	11
Cuarto del grupo del electrogeno	11
Pasillo del centro de bombeo	2,3
Bodega del centro de bombeo	2,65
Cuarto de bombeo	3,37

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

8. Capítulo 8. Estimación de la corriente de cortocircuito del diseño eléctrico propuesto

Por medio del software ETAP, se realizó el cálculo cortocircuito para los distintos tableros y paneles de control industrial de la planta potabilizadora de Liberia. Cabe destacar que los valores de corriente de cortocircuito, aportados por la compañía eléctrica ICE, aproximadamente es de 6 kA de corriente trifásica y 2 kA de corriente monofásica.

Short-Circuit Summary Report

1/2 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.	Real	Imag.	Mag.	Real	Imag.	Mag.	Real	Imag.	Mag.
Acometida	34.500	5.538	-2.330	6.009	1.928	-0.535	2.001	2.018	4.796	5.203	-2.599	-4.651	5.328
ICP1	0.480	2.819	-4.226	5.080	2.729	-3.053	4.095	3.641	2.419	4.371	-4.905	-1.265	5.066
ICP2	0.480	1.795	-5.341	5.634	1.810	-4.546	4.893	4.589	1.543	4.842	-5.493	0.450	5.511
ICP3	0.480	1.795	-5.341	5.634	1.810	-4.546	4.893	4.589	1.543	4.842	-5.493	0.450	5.511
ICP4	0.240	1.394	-0.694	1.557	0.949	-0.360	1.015	0.601	1.206	1.347	-0.958	-1.090	1.451
ICP5	0.240	1.501	-0.912	1.756	1.063	-0.499	1.175	0.789	1.298	1.519	-1.197	-1.133	1.649
TP0	0.480	1.677	-5.691	5.933	1.614	-5.075	5.325	4.891	1.441	5.098	-5.684	0.875	5.751
TP1	0.240	2.651	-3.450	4.351	2.488	-3.121	3.991	2.982	2.287	3.758	-4.162	-0.862	4.251
TP2	0.240	2.612	-2.860	3.873	2.395	-2.332	3.343	2.473	2.254	3.346	-3.575	-1.278	3.797
TP3	0.240	1.831	-1.788	2.559	1.473	-1.194	1.896	1.547	1.582	2.213	-2.156	-1.142	2.440

All fault currents are symmetrical (1/2 Cycle network) values in rms kA.
* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Figura 8-1. Resultados de cortocircuito de los tableros y ICP de la planta potabilizadora de Liberia.

Fuente: Elaboración propia. ETAP.

Como se denota en la figura 8-1, el cortocircuito trifásico es el que genera la corriente con valor más alto, por lo cual es la falla trifásica es la corriente que puede generar mayores problemas dentro de una instalación eléctrica. Además, se denota que la corriente de cortocircuito de mayor amperaje es de 6,009 kA, ubicada en la acometida del ICE, seguidamente, por la corriente de cortocircuito del tablero principal (TP0) de 5,933 kA.

Tomando en cuenta, como se denota en la tabla 8-1, todos los tableros soportan como mínimo 10 kA, además, como se observa en el diagrama unifilar, todos los disyuntores del diseño eléctrico propuesto soportan una corriente de cortocircuito como mínimo de 10 kA, por lo tanto, todos los elementos seleccionados soportan la corriente de cortocircuito máxima simulada en el software.

Tabla 8-1. Capacidad de corriente de cortocircuito de los diferentes tableros y ICP de la planta potabilizadora de Liberia.

Tablero	Capacidad de corriente de cortocircuito (kA)
TP0	10
TP1	10
TP2	10
TP3	22
ICP1	10
ICP2	35
ICP3	35
ICP4	65
ICP5	65

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

9. Capítulo 9. Conclusiones

- Se realizó un diseño eléctrico y automatización, tomando en consideración el Código Eléctrico Nacional y la UL508A para la Planta Potabilizadora de Liberia, alcanzando una modernización del sistema eléctrico de la estación y garantizando la operatividad de la estación. Con el cumplimiento de las normas anteriormente citadas, se logra velar por la seguridad y vida de las personas que están operando.
- Con la incorporación de la interfaz humano-máquina (HMI), se logró monitorear y ajustar variables de una manera centralizada en la planta potabilizadora.
- Se diseñó un modelo de iluminación, el cual asegura la ergonomía laboral de los colaboradores de la planta potabilizadora con datos ideales, conforme a la normativa INTE/ISO 8955-1:2016 y la simulación en el software DIALux Evo.
- De acuerdo con la normativa NFPA 101: Código de Seguridad Humano, se logró realizar un modelo de iluminación de emergencia de 2,2 lux como mínimo en todos los recintos de la planta potabilizadora.
- Con el uso del software ETAP, se determinaron los datos de corriente de cortocircuito en los diferentes tableros y paneles de control industrial que se encuentran en la instalación eléctrica. Se diagnostica que la corriente de falla de cortocircuito más alta es de 5,93 kA, por lo cual, todos los disyuntores, tableros eléctricos y paneles de control industrial fueron seleccionados para soportar dicha corriente.

10. Capítulo 10. Recomendaciones

- Es necesario llevar a cabo el cambio del sistema eléctrico actual, ya que, como se muestra en las fotografías a lo largo del documento, se evidencia el estado deficiente con que cuenta la planta potabilizadora.
- Cambiar los paneles de control industrial de la planta potabilizadora, pues los tableros existentes se encuentran desactualizados, lo que puede generar accidentes.
- Cambiar el sistema de respaldo del grupo de electrógeno, actualmente, solo respalda las bombas ubicadas en centro de bombeo y analizando el consumo de potencia total, el grupo de electrógeno tiene la capacidad de proveer potencia a toda la planta potabilizadora.
- Confirmar la corriente de cortocircuito aportada por la compañía eléctrica, puesto que dicho dato fue obtenido por medio de una llamada telefónica, por ello, es necesario validar dicho dato.
- Realizar la coordinación de protecciones del sistema eléctrico planteado.

11. Bibliografía

Asamblea General de las Naciones Unidas. (2010). *Resolución 64/292*.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2015). *Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión (norma técnica regulatoria AR-NT-SUCAL)*.

Bandía, A. (2009). *Autómatas programables*. Barcelona, España: Marcombo.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2004). *Reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos, telecomunicaciones y de otros en edificios*.

Eaton. (25 de 4 de 2021). *Relés de Monitoreo de Voltaje*. Obtenido de <http://www.eaton.ec/Andean/ProductsandSolutions/Energia/ProductosyServicios/AutomationandControl/ContactorsStartersandProtectiveRelays/RelesdeMonitoreo/RelesdeMonitoreodeVoltaje/index.htm#:~:text=Estos%20rel%C3%A9s%20monitorean%20el%20voltaje,condiciones%>

ELKO. (s/f). *Transformadores secos y especiales*. Obtenido de <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1025364.pdf>

Estado de la Nación. (2018). *Informe Estado de la nación en Desarrollo Humano Sostenible 2018*. San Jose.

Instituto Costarricense de Electricidad. (s/f). *Guía para Instalaciones Eléctricas*.

Instituto Nacional de Estadística. (2019). *Espana en cifras 2019*. Madrid, Espana: Paseo de la Castilla.

Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2017). *Estadísticas Vitales 2016: Población, Nacimientos, defunciones y matrimonios*. San Jose, Costa Rica.

López, M., Prasad, T., & Paechter, B. (2008). Ant Colony Optimization for Optimal Control of Pumps in Water Distribution Networks. *Journal of water resours, planning and management* , 337-346.

- Ministerio de Ambiente, Energía, Telecomunicaciones. (s.f.). *Guía p'ractica para el uso eficiente del agua en el sector publico costarricense*. San Jose.
- National Electrical Manufacturers Association. (2001). *NEMA Standars Publication ICS 18-2001 (R2007) Motor Control Centers* . Rosslyn, Virginia.
- National Fire Protection Association. (2014). *Código Eléctrico Nacional* .
- National Fire Protection Association. (2014). *Código Eléctrico Nacional (NEC 2014)*.
- Novus. (21 de 4 de 2021). *Router VPN Industrial*. Obtenido de https://www.novusautomation.com/downloads/Archivos/20200917_router_vpn_industrial_airgate4g_es.pdf
- Pesántez, A. (2012). *Diseno y construcción de un módulo de laboratorio con variador de frecuencia para el control de un sistema de bombeo y determinación del ahorro energético*. Ecuador, Riobamba.
- PROLEC. (s/f). *Transformadores tipo pedestal*. Obtenido de <http://rodisa.com.mx/ArchivosPagWEB/Prolec/Transformadores%20Tipo%20Pedestal.pdf>
- Rodríguez, A. (2012). *Instrumentos para tableros*. Obtenido de https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf
- Rodríguez, E. (3 de Abril de 2003). Ticos consumen hasta 3 veces más de agua del promedio diario recomendado por la OMS. *El Observador*.
- Rojas, G. (Abril de 2018). *GRUPOS ELECTROGENOS*.
- Saldarriaga, J., Ochoa, S., Morero, M., Romero, N., & Córtes, O. (2010). Prioritised rehabilitation of water distribution networks using dissipated power concept to reduce non-revenue water. *Urban Water Journal*, 121-140.
- Schneider Electric. (S/F). *Cuadro de control, Guía técnica*. Mexico.

Secretaría Técnica del CAN. (2018). *Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste – Pacífico Norte*.

Siemens. (2014). *Paneles de control y equipamiento eléctrico de máquinas industriales para Norteamérica*. Siemens AG.

Weather Spark. (s.f.). *El clima promedio en Liberia*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/14907/Clima-promedio-en-Liberia-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>

WEG. (21 de 4 de 2021). *Relés de Nivel*. Obtenido de https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Controls/Rel%C3%A9s-Electr%C3%B3nicos/L%C3%ADnea-22%2C5-mm/RNW---Rel%C3%A9s-de-nivel/Rel%C3%A9s-de-Nivel/p/MKT_WDC_GLOBAL_LEVEL_CONTROL_RNW#:~:text=El%20RNW%2C%20rel%C3%A9%20de%20control,a%20trav%C3%A9s%20de%20electro

Table 42.2
Sizing of primary and secondary overcurrent protection of a control transformer

Primary winding		Secondary winding	
Rated amperes	Overcurrent protection percent of rated amperes	Rated amperes	Overcurrent protection percent of rated amperes
9 or more	250	9 or more	125 ^a
2 – 8.99	250	less than 9	167
less than 2	500	–	–

^a Where the calculated size of the overcurrent protection, branch circuit or supplementary type, does not correspond to a standard size protective device, the next larger size is able to be used. See 31.3.8 for standard sizes of branch circuit protection.

Anexo 2. Dimensionamiento de la protección de sobrecorriente del primario y secundario del transformador de control.

**Table 28.1
Ampacities of insulated conductors**

Wire size		60°C (140°F)		75°C (167°F)	
AWG	(mm ²)	Copper	Aluminum	Copper	Aluminum
14	(2.1)	15	–	15	–
12	(3.3)	20	15	20	15
10	(5.3)	30	25	30	25
8	(8.4)	40	30	50	40
6	(13.3)	55	40	65	50
4	(21.2)	70	55	85	65
3	(26.7)	85	65	100	75
2	(33.6)	95	75	115	90
1	(42.4)	110	85	130	100
1/0	(53.5)	–	–	150	120
2/0	(67.4)	–	–	175	135
3/0	(85.0)	–	–	200	155
4/0	(107.2)	–	–	230	180
250 kcmil	(127)	–	–	255	205
300	(152)	–	–	285	230
350	(177)	–	–	310	250
400	(203)	–	–	335	270
500	(253)	–	–	380	310
600	(304)	–	–	420	340
700	(355)	–	–	460	375
750	(380)	–	–	475	385
800	(405)	–	–	490	395
900	(456)	–	–	520	425
1000	(506)	–	–	545	445
1250	(633)	–	–	590	485
1500	(760)	–	–	625	520
1750	(887)	–	–	650	545
2000	(1013)	–	–	665	560

NOTES –

UL COPYRIGHTED MATERIALS NOT AUTHORIZED FOR FURTHER REPRODUCTION OR DISTRIBUTION WITHOUT PERMISSION FROM UL

Table 28.1 Continued on Next Page

Anexo 3. Ampacidad de conductores de la UL508A

Table 28.1 Continued

Wire size AWG (mm ²)		60°C (140°F)		75°C (167°F)	
		Copper	Aluminum	Copper	Aluminum
1 For multiple-conductors of the same size (1/0 AWG or larger) at a terminal, the ampacity is equal to the value in this table for that conductor multiplied by the number of conductors that the terminal is able to accommodate.					
2 These values of ampacity apply only when not more than three conductors are intended to be field-installed in the conduit. When four or more conductors, other than a neutral that carries the unbalanced current, are intended to be installed in a conduit (occurring because of the number of conduit hubs provided in outdoor equipment, the number of wires necessary in certain polyphase systems, or other reasons), the ampacity of each of the conductors is: 80 percent of these values if 4 – 6 conductors are involved, 70 percent of these values if 7 – 24 conductors, 60 percent of these values if 25 – 42 conductors, and 50 percent of these values if 43 or more conductors.					

Anexo 4. Continuación de la tabla de ampacidad de conductores de la UL508A

**Table 15.1
Size of equipment grounding conductor terminal**

Maximum ampere rating of overcurrent protection for field wiring conductors supplying panel, see 15.1	Size of equipment grounding or bonding conductor, minimum			
	Copper		Aluminum	
	AWG or kcmil	(mm ²)	AWG or kcmil	(mm ²)
15	14	(2.1)	12	(3.3)
20	12	(3.3)	10	(5.3)
30	10	(5.3)	8	(8.4)
40	10	(5.3)	8	(8.4)
60	10	(5.3)	8	(8.4)
100	8	(8.4)	6	(13.3)
200	6	(13.3)	4	(21.2)
300	4	(21.2)	2	(33.6)
400	3	(26.7)	1	(42.4)
500	2	(33.6)	1/0	(53.5)
600	1	(42.4)	2/0	(67.4)
800	1/0	(53.5)	3/0	(85.0)
1000	2/0	(67.4)	4/0	(107.2)
1200	3/0	(85.0)	250 kcmil	(127)
1600	4/0	(107.2)	350	(177)
2000	250 kcmil	(127)	400	(203)
2500	350	(177)	600	(304)
3000	400	(203)	600	(304)
4000	500	(253)	800	(405)
5000	700	(355)	1200	(608)
6000	800	(506)	1200	(608)

Anexo 5. Tamaño del conductor de puesta a tierra del equipo

**Table 38.1
Ampacities of control circuit conductors**

Ampacity, amperes	Conductor size	
	AWG	(mm ²)
10	16	(1.3)
7	18	(0.82)

UL COPYRIGHTED MATERIAL – NOT AUTHORIZED FOR FURTHER REPRODUCTION OR DISTRIBUTION WITHOUT PERMISSION FROM UL INC.
Table 38.1 Continued on Next Page

Table 38.1 Continued

Ampacity, amperes	Conductor size	
	AWG	(mm ²)
5	20 ^b	(0.52)
3	22 ^b	(0.32)
2	24 ^b	(0.20)
1	26 ^b	(0.13)
0.8	28 ^{a, b}	(0.08)
0.5	30 ^{a, b}	(0.05)

^a Where these conductors are contained in a jacketed multi-conductor cable assembly.
^b These sizes of conductors are only for connection of control circuits for electronic programmable input/output and static control (having no moving parts).

Anexo 6. Ampacidades de conductores de control.

Tabla 220.55 Factores de demanda y cargas para estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parrillas en mesones y otros electrodomésticos de cocción de más de $1\frac{3}{4}$ kW nominales. (La columna C se aplica en todos los casos, excepto lo permitido de otra forma en la Nota 3).

Número de electrodomésticos	Factor de Demanda (%) (Ver notas)		Columna C Demanda máxima (kW) (véanse las notas (no más de 12 kW nominales))
	Columna A (menos de $3\frac{1}{2}$ kW nominales)	Columna B (de $3\frac{1}{2}$ kW hasta $8\frac{3}{4}$ kW nominales)	
1	80	80	8
2	75	65	11
3	70	55	14
4	66	50	17
5	62	45	20
6	59	43	21
7	56	40	22
8	53	36	23
9	51	35	24
10	49	34	25
11	47	32	26
12	45	32	27
13	43	32	28
14	41	32	29
15	40	32	30
16	39	28	31
17	38	28	32
18	37	28	33
19	36	28	34
20	35	28	35
21	34	26	36
22	33	26	37
23	32	26	38
24	31	26	39
25	30	26	40
26-30	30	24	15 kW + 1 kW por cada estufa
31-40	30	22	
41-50	30	20	25 kW + $\frac{3}{4}$ kW por cada estufa
51-60	30	18	
61 y más	30	16	

Notas:

1. Todas las estufas del mismo valor nominal y de más de 12 kW hasta 27 kW. Para estufas individuales de más de 12 kW pero máximo 27 kW nominales, se debe aumentar la demanda máxima de la columna C un 5 % por cada kilowatt nominal adicional o mayor fracción por la cual la estufa excede los 12 kW.

Anexo 7. Factores de demanda de estufas domésticas.

Tabla 450.3(B) Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 1000 volts y menos (como un porcentaje de la corriente nominal del transformador)

Método de protección	Protección primaria			Protección secundaria (Ver Nota 2)	
	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes	Corrientes de menos de 2 amperes	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes
Protección del primario únicamente	125% (Ver Nota 1.)	167%	300%	No se exige	No se exige
Protección del primario y secundario	250% (Ver Nota 3.)	250% (Ver Nota 3.)	250% (Ver Nota 3.)	125% (Ver Nota 1.)	167%

Notas:

1. Cuando el 125 por ciento de la corriente no corresponde a un valor estándar de un fusible o interruptor automático no ajustable, debe permitirse elegir el valor nominal estándar inmediatamente superior.
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente en el secundario, debe permitirse que el dispositivo de sobrecorriente del secundario esté compuesto por máximo seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de todos los valores nominales de los dispositivos no deben exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente.
3. Debe permitirse que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga y dispuesta para interrumpir la corriente del primario, tenga protección contra sobrecorriente en el primario con valor nominal o ajuste a un valor de corriente que no sea más de seis veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que no tienen una impedancia de más del 6 por ciento y no más de cuatro veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que tienen una impedancia de más del 6 por ciento pero no más del 10 por ciento.

Anexo 10. Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 1000 volts y menos

Tabla 450.3(A) Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 1000 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador)

Limitaciones del lugar	Impedancia nominal del transformador	Protección primaria de más de 1000 volts		Protección secundaria (ver Nota 2.)		
		Interruptor automático (ver Nota 4.)	Valor nominal del fusible	Más de 1000 volts		1000 volts o menos
				Interruptor automático (ver Nota 4.)	Valor nominal del fusible	Valor nominal del Interruptor automático o del fusible
Cualquier lugar	No más del 6%	600% (ver Nota 1.)	300% (ver Nota 1.)	300% (ver Nota 1.)	250% (ver Nota 1.)	125% (ver Nota 1.)
	Más del 6% y no más del 10%	400%	300% (ver Nota 1.)	250% (ver Nota 1.)	225% (ver Nota 1.)	125% (ver Nota 1.)
Lugares supervisados únicamente (ver Nota 3.)	Cualquiera	300% (ver Nota 1.)	250% (ver Nota 1.)	No requerido	No requerido	No requerido
	No más del 6%	600%	300%	300% (ver Nota 5.)	250% (ver Nota 5.)	250% (ver Nota 5.)
	Más del 6% y no más del 10%	400%	300%	250% (ver Nota 5.)	225% (ver Nota 5.)	250% (ver Nota 5.)

Notas:

1. Donde el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste normalizados, debe permitirse tomar un valor nominal o ajuste más alto que no exceda de:

- El siguiente valor nominal o ajuste normalizado más alto para fusibles e interruptor automático de 1000 volts y menos, o
- El siguiente valor nominal o ajuste más alto comercialmente disponible para fusibles e interruptores de circuitos de más de 1000 volts.

2. Donde se requiera protección contra sobrecorriente del secundario, debe permitirse que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del secundario esté compuesto por un máximo de seis interruptores automáticos o seis sets de fusibles agrupados en un lugar. Donde se utilicen múltiples dispositivos de protección contra sobrecorriente, el total de los valores nominales de los dispositivos no debe exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente. Si como dispositivo de protección contra sobrecorriente se utilizan tanto interruptor automático como fusibles, el total de los valores nominales del dispositivo no debe exceder el permitido para los fusibles.

3. Un lugar supervisado es aquel en que las condiciones de mantenimiento y supervisión garantizan que solamente personal calificado monitoreará y prestará servicios de reparación y mantenimiento en la instalación de transformadores.

4. Los fusibles accionados electrónicamente que puedan ser configurados para abrirse a una corriente específica se deben configurar cumpliendo con los ajustes para interruptor automático.

5. Debe permitirse que en un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga se omita la protección independiente del secundario.

Anexo 11. Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 1000 volts

Tipo de interior, tarea o actividad	E_{mlux}	CUD_L	R_a	Observaciones
16. PLANTAS ELÉCTRICAS				
Planta de suministro de combustible	50	28	20	Los colores de seguridad serán reconocibles
Sala de calderas	100	28	40	
Salas de máquinas				Para locales altos: ver 4.6.2
Locales auxiliares, p.e., cuartos de bombas, cuartos de condensadores, cuartos de tableros eléctricos, entre otros.	200	25	60	
Salas de control	500	16	80	1. Los paneles de control son frecuentemente verticales. 2. Puede requerirse atenuación de la iluminación. 3. Para trabajo con PVD, ver 4.10.

Anexo 12. Lux para plantas eléctricas

Tabla 4 Dimensiones y área porcentual de conductos y tuberías (áreas de conductos o tuberías para las combinaciones de cables permitidas en la Tabla 1, Capítulo 9)

Artículo 358 — Tubería metálica eléctrica (EMT)													
Designador métrico	Tamaño comercial	Más de 2 cables 40%		60%		1 cable 53%		2 cables 31%		Diámetro interno nominal		Área total 100%	
		mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm	pulg.	mm ²	pulg. ²
16	½	78	0.122	118	0.182	104	0.161	61	0.094	15.8	0.622	196	0.304
21	¾	137	0.213	206	0.320	182	0.283	106	0.165	20.9	0.824	343	0.533
27	1	222	0.346	333	0.519	295	0.458	172	0.268	26.6	1.049	556	0.864
35	1¼	387	0.598	581	0.897	513	0.793	300	0.464	35.1	1.380	968	1.496
41	1½	526	0.814	788	1.221	696	1.079	407	0.631	40.9	1.610	1314	2.036
53	2	866	1.342	1299	2.013	1147	1.778	671	1.040	52.5	2.067	2165	3.356
63	2½	1513	2.343	2270	3.515	2005	3.105	1173	1.816	69.4	2.731	3783	5.858
78	3	2280	3.538	3421	5.307	3022	4.688	1767	2.742	85.2	3.356	5701	8.846
91	3½	2980	4.618	4471	6.927	3949	6.119	2310	3.579	97.4	3.834	7451	11.545
103	4	3808	5.901	5712	8.852	5046	7.819	2951	4.573	110.1	4.334	9521	14.753

Anexo 13. Dimensiones y área porcentual de conductores y tuberías EMT.

Artículo 352 — Conducto de PVC rígido (PVC), cédula 80													
Designador métrico	Tamaño comercial	Más de 2 cables 40%		60%		1 cable 53%		2 cables 31%		Diámetro interno nominal		Área total 100%	
		mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm ²	pulg. ²	mm	pulg.	mm ²	pulg. ²
12	¾	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	½	56	0.087	85	0.130	75	0.115	44	0.067	13.4	0.526	141	0.217
21	¾	105	0.164	158	0.246	139	0.217	82	0.127	18.3	0.722	263	0.409
27	1	178	0.275	267	0.413	236	0.365	138	0.213	23.8	0.936	445	0.688
35	1¼	320	0.495	480	0.742	424	0.656	248	0.383	31.9	1.255	799	1.237
41	1½	442	0.684	663	1.027	585	0.907	342	0.530	37.5	1.476	1104	1.711
53	2	742	1.150	1113	1.725	983	1.523	575	0.891	48.6	1.913	1855	2.874
63	2½	1064	1.647	1596	2.471	1410	2.183	825	1.277	58.2	2.290	2660	4.119
78	3	1660	2.577	2491	3.865	2200	3.414	1287	1.997	72.7	2.864	4151	6.442
91	3½	2243	3.475	3365	5.213	2972	4.605	1738	2.693	84.5	3.326	5608	8.688
103	4	2907	4.503	4361	6.755	3852	5.967	2253	3.490	96.2	3.786	7268	11.258
129	5	4607	7.142	6911	10.713	6105	9.463	3571	5.535	121.1	4.768	11518	17.855
155	6	6605	10.239	9908	15.359	8752	13.567	5119	7.935	145.0	5.709	16513	25.598

Anexo 14. Dimensiones y área porcentual de conductores y tuberías PVC

Tabla 5 (Continuación)

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Área aproximada		Diámetro aproximado	
		mm ²	pulg. ²	mm	pulg.
Tipo: RHH*, RHW*, RHW-2*, THHN, THHW, THW, THW-2, TFN, TFFN, THWN, THWN-2, XE, XFF					
RHH,* RHW,* RHW-2,* XE, XFF	10	21.48	0.0333	5.232	0.206
RHH*, RHW*, RHW-2*	8	35.87	0.0556	6.756	0.266
TW, THW, THHW, THW-2, RHH*, RHW*, RHW-2*	6	46.84	0.0726	7.722	0.304
	4	62.77	0.0973	8.941	0.352
	3	73.16	0.1134	9.652	0.380
	2	86.00	0.1333	10.46	0.412
	1	122.6	0.1901	12.50	0.492
	1/0	143.4	0.2223	13.51	0.532
	2/0	169.3	0.2624	14.68	0.578
	3/0	201.1	0.3117	16.00	0.630
	4/0	239.9	0.3718	17.48	0.688
	250	296.5	0.4596	19.43	0.765
	300	340.7	0.5281	20.83	0.820
	350	384.4	0.5958	22.12	0.871
	400	427.0	0.6619	23.32	0.918
	500	509.7	0.7901	25.48	1.003
	600	627.7	0.9729	28.27	1.113
	700	710.3	1.1010	30.07	1.184
	750	751.7	1.1652	30.94	1.218
	800	791.7	1.2272	31.75	1.250
	900	874.9	1.3561	33.38	1.314
	1000	953.8	1.4784	34.85	1.372
1250	1200	1.8602	39.09	1.539	
1500	1400	2.1695	42.21	1.662	
1750	1598	2.4773	45.11	1.776	
2000	1795	2.7818	47.80	1.882	
TFN, TFFN	18	3.548	0.0055	2.134	0.084
	16	4.645	0.0072	2.438	0.096
THHN, THWN, THWN-2	14	6.258	0.0097	2.819	0.111
	12	8.581	0.0133	3.302	0.130
	10	13.61	0.0211	4.166	0.164
	8	23.61	0.0366	5.486	0.216
	6	32.71	0.0507	6.452	0.254
	4	53.16	0.0824	8.230	0.324
	3	62.77	0.0973	8.941	0.352
	2	74.71	0.1158	9.754	0.384
	1	100.8	0.1562	11.33	0.446
	1/0	119.7	0.1855	12.34	0.486
	2/0	143.4	0.2223	13.51	0.532
	3/0	172.8	0.2679	14.83	0.584
	4/0	208.8	0.3237	16.31	0.642
	250	256.1	0.3970	18.06	0.711
	300	297.3	0.4608	19.46	0.766

(Continúa)

Anexo 15. Dimensiones de conductores aislados y de cables de artefactos

Tabla 5 (Continuación)

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Área aproximada		Diámetro aproximado	
		mm ²	pulg. ²	mm	pulg.
Tipo: FEP, FEPB, PAF, PAFF, PE, PFA, PFAH, PFE, PGF, PGFF, PTE, PTFF, TFE, THHN, THWN, THWN-2, Z, ZF, ZFF, ZHF					
THHN, THWN, THWN-2	350	338.2	0.5242	20.75	0.817
	400	378.3	0.5863	21.95	0.864
	500	456.3	0.7073	24.10	0.949
	600	559.7	0.8676	26.70	1.051
	700	637.9	0.9887	28.50	1.122
	750	677.2	1.0496	29.36	1.156
	800	715.2	1.1085	30.18	1.188
	900	794.3	1.2311	31.80	1.252
	1000	869.5	1.3478	33.27	1.310
PE, PGFF, P'GF, P'FE, PTF, PAF, PTFF, PAFF	18	3.742	0.0058	2.184	0.086
	16	4.839	0.0075	2.489	0.098
PE, PGFF, PGF, PFF, PTF, PAF, PTFF, PAFF, TFE, FEP, PFA, FEPB, PFAH	14	6.452	0.0100	2.870	0.113
TFE, FEP, PFA, FEPB, PFAH	12	8.839	0.0137	3.353	0.132
	10	12.32	0.0191	3.962	0.156
	8	21.48	0.0333	5.232	0.206
	6	30.19	0.0468	6.198	0.244
	4	43.23	0.0670	7.417	0.292
	3	51.87	0.0804	8.128	0.320
	2	62.77	0.0973	8.941	0.352
TFE, PFAH, PFA	1	90.26	0.1399	10.72	0.422
TFE, PFA, PFAH, Z	1/0	108.1	0.1676	11.73	0.462
	2/0	130.8	0.2027	12.90	0.508
	3/0	158.9	0.2463	14.22	0.560
	4/0	193.5	0.3000	15.70	0.618
ZF, ZFF, ZHF	18	2.903	0.0045	1.930	0.076
	16	3.935	0.0061	2.235	0.088
Z, ZF, ZFF, ZHF	14	5.355	0.0083	2.616	0.103
Z	12	7.548	0.0117	3.099	0.122
	10	12.32	0.0191	3.962	0.156
	8	19.48	0.0302	4.978	0.196
	6	27.74	0.0430	5.944	0.234
	4	40.32	0.0625	7.163	0.282
	3	55.16	0.0855	8.382	0.330
	2	66.39	0.1029	9.195	0.362
	1	81.87	0.1269	10.21	0.402
Tipo: KF-1, KF-2, KFF-1, KFF-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW					
XHHW, ZW, XHHW-2, XHH	14	8.968	0.0139	3.378	0.133
	12	11.68	0.0181	3.861	0.152
	10	15.68	0.0243	4.470	0.176
	8	28.19	0.0437	5.994	0.236
	6	38.06	0.0590	6.960	0.274
	4	52.52	0.0814	8.179	0.322
	3	62.06	0.0962	8.890	0.350
	2	73.94	0.1146	9.703	0.382

(Continúa)

Anexo 16. Dimensiones de conductores aislados y de cables de artefactos

Tabla 8 Propiedades de conductores

Calibre (AWG o kcmil)	Conductores										Resistencia en corriente continua a 75°C (167°F)					
	Área		Trenzado			Total				Cobre				Aluminio		
			Canti- dad	Diámetro		mm ²	pulg. ²	No recubiertos		Recubiertos						
	mm ²	Mils circulares		mm	pulg.			mm	pulg.	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT	
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8	
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1	
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05	
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21	
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06	
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17	
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.34	1.93	6.57	2.01	10.45	3.18	
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.69	3.25	
10	5.261	10380	1	—	—	2.588	0.102	5.26	0.008	3.984	1.21	4.148	1.26	6.561	2.00	
10	5.261	10380	7	0.98	0.038	2.95	0.116	6.76	0.011	4.070	1.24	4.226	1.29	6.679	2.04	
8	8.367	16510	1	—	—	3.264	0.128	8.37	0.013	2.506	0.764	2.579	0.786	4.125	1.26	
8	8.367	16510	7	1.23	0.049	3.71	0.146	10.76	0.017	2.551	0.778	2.653	0.809	4.204	1.28	
6	13.30	26240	7	1.56	0.061	4.67	0.184	17.09	0.027	1.608	0.491	1.671	0.510	2.652	0.808	
4	21.15	41740	7	1.96	0.077	5.89	0.232	27.19	0.042	1.010	0.308	1.053	0.321	1.666	0.508	
3	26.67	52620	7	2.20	0.087	6.60	0.260	34.28	0.053	0.802	0.245	0.833	0.254	1.320	0.403	
2	33.62	66360	7	2.47	0.097	7.42	0.292	43.23	0.067	0.634	0.194	0.661	0.201	1.045	0.319	
1	42.41	83690	19	1.69	0.066	8.43	0.332	55.80	0.087	0.505	0.154	0.524	0.160	0.829	0.253	
1/0	53.49	105600	19	1.89	0.074	9.45	0.372	70.41	0.109	0.399	0.122	0.415	0.127	0.660	0.201	
2/0	67.43	133100	19	2.13	0.084	10.62	0.418	88.74	0.137	0.3170	0.0967	0.329	0.101	0.523	0.159	
3/0	85.01	167800	19	2.39	0.094	11.94	0.470	111.9	0.173	0.2512	0.0766	0.2610	0.0797	0.413	0.126	
4/0	107.2	211600	19	2.68	0.106	13.41	0.528	141.1	0.219	0.1996	0.0608	0.2050	0.0626	0.328	0.100	
250	127	—	37	2.09	0.082	14.61	0.575	168	0.260	0.1687	0.0515	0.1753	0.0535	0.2778	0.0847	
300	152	—	37	2.29	0.090	16.00	0.630	201	0.312	0.1409	0.0429	0.1463	0.0446	0.2318	0.0707	
350	177	—	37	2.47	0.097	17.30	0.681	235	0.364	0.1205	0.0367	0.1252	0.0382	0.1984	0.0605	
400	203	—	37	2.64	0.104	18.49	0.728	268	0.416	0.1053	0.0321	0.1084	0.0331	0.1737	0.0529	
500	253	—	37	2.95	0.116	20.65	0.813	336	0.519	0.0845	0.0258	0.0869	0.0265	0.1391	0.0424	
600	304	—	61	2.52	0.099	22.68	0.893	404	0.626	0.0704	0.0214	0.0732	0.0223	0.1159	0.0353	
700	355	—	61	2.72	0.107	24.49	0.964	471	0.730	0.0603	0.0184	0.0622	0.0189	0.0994	0.0303	
750	380	—	61	2.82	0.111	25.35	0.998	505	0.782	0.0563	0.0171	0.0579	0.0176	0.0927	0.0282	
800	405	—	61	2.91	0.114	26.16	1.030	538	0.834	0.0528	0.0161	0.0544	0.0166	0.0868	0.0265	
900	456	—	61	3.09	0.122	27.79	1.094	606	0.940	0.0470	0.0143	0.0481	0.0147	0.0770	0.0235	
1000	507	—	61	3.25	0.128	29.26	1.152	673	1.042	0.0423	0.0129	0.0434	0.0132	0.0695	0.0212	
1250	633	—	91	2.98	0.117	32.74	1.289	842	1.305	0.0338	0.0103	0.0347	0.0106	0.0554	0.0169	
1500	760	—	91	3.26	0.128	35.86	1.412	1011	1.566	0.02814	0.00858	0.02814	0.00883	0.0464	0.0141	
1750	887	—	127	2.98	0.117	38.76	1.526	1180	1.829	0.02410	0.00735	0.02410	0.00756	0.0397	0.0121	
2000	1013	—	127	3.19	0.126	41.45	1.632	1349	2.092	0.02109	0.00643	0.02109	0.00662	0.0348	0.0106	

Notes:

- Estos valores de resistencia son válidos solamente para los parámetros indicados. Al usar conductores con hilos recubiertos, de distinto tipo de trenzado y especialmente a otras temperaturas, cambia la resistencia.
 - Ecuación para el cambio de temperatura: $R_2 = R_1 [1 + \alpha (T_2 - 75)]$ donde $\alpha_{cu} = 0.00323$, $\alpha_{al} = 0.00330$ at 75°C.
 - Los conductores con trenzado compacto o comprimido tienen aproximadamente un 9% y un 3%, respectivamente, menos de diámetro del conductor desnudo que los conductores mostrados. Para las dimensiones reales de los cables compactos, Ver la Tabla 5A.
 - Las conductividades usadas, según la IACS: cobre desnudo = 100%, aluminio = 61%.
 - El trenzado de Clase B está listado también como sólido para algunos calibres. Su área y diámetro total son los de la circunferencia circunscrita.
- Nota Informativa: La información sobre construcción de los cables cumple con NEMA WC/70-2009 o ANSI/UL 1581-2011. La resistencia se calcula de acuerdo con el Manual de la Oficina Nacional de Normas 100, de 1966 y el Handbook 109, de 1972.

Anexo 17. Propiedades de conductores

Tabla 9 Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75°C (167°F) — Tres conductores individuales en un conducto

Calibre (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro															Calibre (AWG o kcmil)
	Ohms al neutro por 1000 pies															
	X _L (Reactancia) para todos los alambres		Resistencia en corriente alterna para alambres de cobre sin recubrir			Resistencia en corriente alterna para alambres de aluminio			Z eficaz a 0.85 PF para alambres de cobre sin recubrir			Z eficaz a 0.85 PF para alambres de aluminio				
Conductos de PVC o Aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de acero	Conducto de PVC	Conducto de aluminio	Conducto de aluminio	Conducto de acero		
14	0.190 0.058	0.240 0.073	10.2 3.1	10.2 3.1	10.2 3.1	—	—	—	8.9 2.7	8.9 2.7	8.9 2.7	—	—	—	14	
12	0.177 0.054	0.223 0.068	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	10.5 3.2	10.5 3.2	10.5 3.2	5.6 1.7	5.6 1.7	5.6 1.7	9.2 2.8	9.2 2.8	9.2 2.8	12	
10	0.164 0.050	0.207 0.063	3.9 1.2	3.9 1.2	3.9 1.2	6.6 2.0	6.6 2.0	6.6 2.0	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	5.9 1.8	5.9 1.8	5.9 1.8	10	
8	0.171 0.052	0.213 0.065	2.56 0.78	2.56 0.78	2.56 0.78	4.3 1.3	4.3 1.3	4.3 1.3	2.26 0.69	2.26 0.69	2.30 0.70	3.6 1.1	3.6 1.1	3.6 1.1	8	
6	0.167 0.051	0.210 0.064	1.61 0.49	1.61 0.49	1.61 0.49	2.66 0.81	2.66 0.81	2.66 0.81	1.44 0.44	1.48 0.45	1.48 0.45	2.33 0.71	2.36 0.72	2.36 0.72	6	
4	0.157 0.048	0.197 0.060	1.02 0.31	1.02 0.31	1.02 0.31	1.67 0.51	1.67 0.51	1.67 0.51	0.95 0.29	0.95 0.29	0.98 0.30	1.51 0.46	1.51 0.46	1.51 0.46	4	
3	0.154 0.047	0.194 0.059	0.82 0.25	0.82 0.25	0.82 0.25	1.31 0.40	1.35 0.41	1.31 0.40	0.75 0.23	0.79 0.24	0.79 0.24	1.21 0.37	1.21 0.37	1.21 0.37	3	
2	0.148 0.045	0.187 0.057	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1.05 0.32	1.05 0.32	1.05 0.32	0.62 0.19	0.62 0.19	0.66 0.20	0.98 0.30	0.98 0.30	0.98 0.30	2	
1	0.151 0.046	0.187 0.057	0.49 0.15	0.52 0.16	0.52 0.16	0.82 0.25	0.85 0.26	0.82 0.25	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.79 0.24	0.79 0.24	0.82 0.25	1	
1/0	0.144 0.044	0.180 0.055	0.39 0.13	0.43 0.13	0.39 0.12	0.66 0.20	0.69 0.21	0.66 0.20	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.62 0.19	0.66 0.20	0.66 0.20	1/0	
2/0	0.141 0.043	0.177 0.054	0.33 0.10	0.33 0.10	0.33 0.10	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	0.52 0.16	0.52 0.16	0.52 0.16	2/0	
3/0	0.138 0.042	0.171 0.052	0.253 0.077	0.269 0.082	0.259 0.079	0.43 0.13	0.43 0.13	0.43 0.13	0.289 0.088	0.302 0.092	0.308 0.094	0.43 0.13	0.43 0.13	0.46 0.14	3/0	
4/0	0.135 0.041	0.167 0.051	0.203 0.062	0.220 0.067	0.207 0.063	0.33 0.10	0.36 0.11	0.33 0.10	0.243 0.074	0.256 0.078	0.262 0.080	0.36 0.11	0.36 0.11	0.36 0.11	4/0	
250	0.135 0.041	0.171 0.052	0.171 0.052	0.187 0.057	0.177 0.054	0.279 0.085	0.295 0.090	0.282 0.086	0.217 0.066	0.230 0.070	0.240 0.073	0.308 0.094	0.322 0.098	0.33 0.10	250	
300	0.135 0.041	0.167 0.051	0.144 0.044	0.161 0.049	0.148 0.045	0.233 0.071	0.249 0.076	0.236 0.072	0.194 0.059	0.207 0.063	0.213 0.065	0.269 0.082	0.282 0.086	0.289 0.088	300	
350	0.131 0.040	0.164 0.050	0.125 0.038	0.141 0.043	0.128 0.039	0.200 0.061	0.217 0.066	0.207 0.063	0.174 0.053	0.190 0.058	0.197 0.060	0.240 0.073	0.253 0.077	0.262 0.080	350	
400	0.131 0.040	0.161 0.049	0.108 0.033	0.125 0.038	0.115 0.035	0.177 0.054	0.194 0.059	0.180 0.055	0.161 0.049	0.174 0.053	0.184 0.056	0.217 0.066	0.233 0.071	0.240 0.073	400	
500	0.128 0.039	0.157 0.048	0.089 0.027	0.105 0.032	0.095 0.029	0.141 0.043	0.157 0.048	0.148 0.045	0.141 0.043	0.157 0.048	0.164 0.050	0.187 0.057	0.200 0.061	0.210 0.064	500	
600	0.128 0.039	0.157 0.048	0.075 0.023	0.092 0.028	0.082 0.025	0.118 0.036	0.135 0.041	0.125 0.038	0.131 0.040	0.144 0.044	0.154 0.047	0.167 0.051	0.180 0.055	0.190 0.058	600	
750	0.125 0.038	0.157 0.048	0.062 0.019	0.079 0.024	0.069 0.021	0.095 0.029	0.112 0.034	0.102 0.031	0.118 0.036	0.131 0.040	0.141 0.045	0.148 0.045	0.161 0.049	0.171 0.052	750	
1000	0.121 0.037	0.151 0.046	0.049 0.015	0.062 0.019	0.059 0.018	0.075 0.023	0.089 0.027	0.082 0.025	0.105 0.032	0.118 0.036	0.131 0.040	0.128 0.039	0.138 0.042	0.151 0.046	1000	

Notas:

- Estos valores se basan en las siguientes constantes: alambres del tipo RHH del UL con trenzado de Clase B, en configuración acunada. La conductividad de los alambres es del 100 por ciento IACS para cobre y del 61 por ciento IACS para aluminio; la del conducto de aluminio es del 45 por ciento IACS. No se tiene en cuenta la reactancia capacitiva, que es insignificante a estas tensiones. Estos valores de resistencia sólo son válidos a 75°C (167°F) y para los parámetros dados, pero son representativos para los tipos de alambres para 600 volts que operen a 60 Hz.
- Z Eficaz es definido como $R \cos(\theta) + X \sin(\theta)$, donde θ es el ángulo del factor de potencia del circuito. Al multiplicar la corriente por la impedancia eficaz se obtiene una buena aproximación de la caída de tensión de línea a neutro. Los valores de impedancia eficaz de esta tabla sólo son válidos con un factor de potencia de 0.85. Para cualquier otro factor de potencia (PF), del circuito, la impedancia eficaz (Z_e) se puede calcular a partir de los valores de R y X_L dados en esta tabla, como sigue: $Z_e = R \times PF + X_L \sin[\arccos(PF)]$.

Anexo 18. Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts

Tabla 310.15(B)(2)(a) Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30°C (86°F)

Para temperaturas ambientes distintas a 30°C (86°F), multiplique las ampacidades permisibles especificadas en las tablas de ampacidad por el factor de corrección apropiado mostrado a continuación.

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura nominal del conductor			Temperatura ambiente (°F)
	60°C	75°C	90°C	
10 o menos	1.29	1.20	1.15	50 o menos
11-15	1.22	1.15	1.12	51-59
16-20	1.15	1.11	1.08	60-68
21-25	1.08	1.05	1.04	69-77
26-30	1.00	1.00	1.00	78-86
31-35	0.91	0.94	0.96	87-95
36-40	0.82	0.88	0.91	96-104
41-45	0.71	0.82	0.87	105-113
46-50	0.58	0.75	0.82	114-122
51-55	0.41	0.67	0.76	123-131
56-60	—	0.58	0.71	132-140
61-65	—	0.47	0.65	141-149
66-70	—	0.33	0.58	150-158
71-75	—	—	0.50	159-167
76-80	—	—	0.41	168-176
81-85	—	—	0.29	177-185

Anexo 19. Factores de corrección de temperatura ambiente basada en 30 C

Tabla 310.15(B)(3)(a) Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente

Cantidad de conductores ¹	Porcentaje de los valores de las Tablas 310.15(B)(16) a 310.15(B)(19) ajustados para la temperatura ambiente, si fuera necesario
4-6	80
7-9	70
10-20	50
21-30	45
31-40	40
41 y más	35

¹La cantidad de conductores es la cantidad total de conductores en la canalización o cable, incluidos los conductores de repuesto. El recuento debe ser ajustado de acuerdo con lo establecido en las secciones 310.15(B) (5) y (6). El recuento no debe incluir conductores que estén conectados a componentes eléctricos, pero que no puedan ser energizados simultáneamente.

Anexo 20. Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente

Tabla 430.250 Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

Los siguientes valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas deben permitirse para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 1000 volts.

Caballos de fuerza	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado (Amperes)							Tipo sincrónico de factor de potencia unitario* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

*Para factores de potencia de 90 por ciento y 80 por ciento, las cifras anteriores se deben multiplicar respectivamente por 1.1 y 1.25.

Anexo 21. Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F)*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
		Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

*Ver sección 310.15(B)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es distinta a 30° C (86° F)

**Ver sección 240.4(D) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

Anexo 22. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60 C a 90C.

Tabla 250.122 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conducto, etc., sin exceder (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre ^a
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	750
5000	700	1200
6000	800	1200

Nota: Cuando sea necesario cumplir con la sección 250.4(A)(5) o (B) (4), el conductor de puesta a tierra del equipo debe ser dimensionado con un calibre mayor que el dado en esta Tabla.

^aVéanse las restricciones de instalación en la sección 250.120.

Anexo 23. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

Tabla 250.66 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida o área equivalente para conductores en paralelo ^a (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre ^b
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 o 1/0	2/0 o 3/0	6	4
2/0 o 3/0	4/0 o 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1100	Más de 900 hasta 1750	2/0	4/0
Más de 1100	Más de 1750	3/0	250

Notas:

1. Si conjuntos múltiples de conductores para la entrada de la acometida se conectan directamente a un bajada de la acometida, a un conjunto de conductores de acometida aérea, a un conjunto de conductores de acometida subterránea o acometida lateral, el calibre equivalente del conductor de mayor tamaño de entrada de la acometida se debe determinar por la mayor suma de las áreas de los conductores correspondientes de cada conjunto.

2. Cuando no hay conductores de entrada de la acometida, el calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra se debe determinar por el calibre equivalente del mayor conductor de entrada de la acometida exigido para la carga que se va a alimentar.

^a Esta Tabla también se aplica a los conductores derivados de sistemas de c.a. derivados separadamente.

^b Véanse las restricciones de la instalación, en la Sección 250.64(A).

Anexo 24. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Altivar Process Short Circuit Current Ratings (a) (b) With Enclosure				Minimum Enclosure Volume		With Circuit Breaker		With GV•P				Fuses		Line Reactor Min Value (o)			
Input Voltage 50/60 Hz (Y)	Power Ratings in Normal Duty		Catalog Number (may be followed by characters)			PowerPact (c) Catalog Number (Z1, Z2)	SCCR (X)	GV2P/3P (Z1, Z2)	GV•P		SCCR (X)	600 V Class J (d) (Z1, Z2)	SCCR (X)	600 V Class J (d) (Z1, Z2)	SCCR (X)	mH	A
	(kW)	(HP)						Type E (e)	Voltage Rating (V)	Power (i) (HP)							
480 Vac Three-phase Evaluated for UL508C	22	30	ATV630D22N4 ATV650D22N4	56	3390	H•L36080	100	GV3P40	480Y/277	20	65	60	100	–	–		
	30	40	ATV630D30N4 ATV650D30N4	115	7010	H•L36100	100	GV3P65	480Y/277	40	65	80	100	–	–		
	37	50	ATV630D37N4 ATV650D37N4	115	7010	H•L36125	100	–	–	–	–	90	100	–	–		
	45	60	ATV630D45N4 ATV650D45N4	115	7010	H•L36150	100	–	–	–	–	100	100	–	–		
	55	75	ATV630D55N4 ATV650D55N4	132	8040	J•L36175	100	–	–	–	–	150	100	–	–		
	75	100	ATV630D75N4 ATV650D75N4	132	8040	J•L36200	100	–	–	–	–	200	100	–	–		
	90	125	ATV630D90N4 ATV650D90N4	132	8040	J•L36250	100	–	–	–	–	200	100	–	–		
	110	150	ATV630C11N4	478	29160	L•L36400	100	–	–	–	–	300	100	–	–		
	132	200	ATV630C13N4	478	29160	L•L36600	100	–	–	–	–	400	100	–	–		
	160	250	ATV630C16N4	478	29160	L•L36600	100	–	–	–	–	500	100	–	–		
	220	350	ATV630C22N4 ATV630C22N4MN	878	53550	–	–	–	–	–	–	500 (g)	100	0.05	400		
	250	400	ATV630C25N4 ATV630C25N4MN	878	53550	–	–	–	–	–	–	600 (h)	100	0.05	440		
315	500	ATV630C31N4 ATV630C31N4MN	878	53550	–	–	–	–	–	–	600 (h)	100	0.04	500			

Anexo 25. Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600

Altivar Process Short Circuit Current Ratings (a) (b) With Enclosure				Minimum Enclosure Volume		With Circuit Breaker		Fuses		Line Reactor Min. Value (o)		Parameter [Current Limitation] [L , to be set Max Value (p)
Input Voltage 50/60 Hz (Y)	Power Ratings in Normal Duty		Catalog Number (may be followed by characters)			PowerPact Catalog Number (c) (Z1, Z2)	SCCR (X)	600 V Class J (d) (Z1, Z2)	SCCR (X)	mH	A	A
	(kW)	(HP)						(A)	(kA)			
240 Vac Single-phase for Pumps application Evaluated for UL508C	0.75	1	ATV630U22M3	47	2880	H•L36025	100	15	100	–	–	5.1
	1.1	1.5	ATV630U40M3	47	2880	H•L36030	100	25	100	–	–	7.6
	1.5	2	ATV630U55M3	47	2880	H•L36050	100	35	100	–	–	8.8
	2.2	3	ATV630U75M3	56	3390	H•L36060	100	45	100	–	–	12.3
	4	5	ATV630D11M3	56	3390	H•L36070	100	60	100	–	–	20.6
	5.5	7.5	ATV630D18M3	115	7010	H•L36110	100	100	100	–	–	27.9
	7.5	10	ATV630D22M3	115	7010	H•L36125	100	100	100	–	–	36.0
	11	15	ATV630D37M3	132	8040	J•L36225	100	200	100	–	–	51.5
	15	20	ATV630D45M3	132	8040	J•L36250	100	200	100	–	–	69.7

Anexo 26. Continuación de la “Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600”

- (a) The amp rating of the short circuit protection devices in the table are maximum values. Smaller amp size devices may be used and still retain the equivalent SCCR ratings shown in the table; particularly for Heavy Duty ratings. Branch circuit protection must be provided in accordance with the National Electrical Code and any additional local codes.
- (b) The maximum prospective short circuit current value that cannot be exceeded is 100 kA. Electrical distribution systems with a higher prospective short circuit will cause higher input currents in the front end of the drive.
- (c) Circuit breaker part number designations: ● = short circuit current rating.
 For 240 V range, use ● = D for 25 kA, G for 65 kA, J for 100 kA, L for 100 kA, R for 100 kA.
 For 480 V range, use ● = D for 18 kA, G for 35 kA, J for 65 kA, L for 100 kA, R for 100 kA.
 For 600 V range, use ● = D for 14 kA, G for 18 kA, J for 25 kA, L for 50 kA, R for 100 kA.
- (d) Use Class CC or J fast acting or time delay.
- (e) For GV2P/3P use, 480 V and 600 V ratings are for Wye connected electrical distribution systems. GV2P●● self protected manual combination starter must be used with GV2GH7 insulating barrier to meet UL 508 Type E rating. GV3P●● self protected manual combination starter must be used with GV3G66 + GVAM11 insulating barrier and auxiliary contact to meet UL 508 Type E rating. The GVAM11 provides a visual indication if the GV3P has tripped.
- (f) GV2P products detailed below can be used in place of the GV3P products for obtaining SCCR ratings limited to 10 kA. GV2P16 for GV3P13, GV2P20 for GV3P18, GV2P22 for GV3P25.
- (g) Bussmann number: LPJ500SP, do not substitute.
- (h) Bussmann number: LPJ600SP, do not substitute.
- (i) UL508C Par. 57.1 & UL61800-5-1 Par. 6.3.7DV.2.1.1 require publishing the standard Type E combination motor controller power rating since this is a basic identification marking of type E devices. However, when applied as an input overcurrent protective device for a drive, the rated current of the Type E combination motor controller, not the rated power, is the key parameter for dimensioning (reference UL61800-5-1 Par. 5.2.3.6.2DV.4.1.11 & 5.2.3.6.2DV.4.1.12). Schneider Electric GV●P Type E combination motor controllers are adjustable, their current range is shown on the adjustment dial and their selection is based on the input current and not the power rating of the drive.
- (j) Order VW3A9704.
- (k) Order VW3A9212.
- (l) Order VW3A9213.
- (m) Order VW3A9705.
- (n) Order VW3A9706.
- (o) Reactor from Altivar Process catalog or MTE series: RLW, do not substitute.
- (p) If the 3-phase product is used on a single-phase mains, the parameter [Current Limitation] **IL** shall be set to a value lower or equal to the value shown in this table.
- (q) ATV630C25N4MN and ATV630C31N4MN have three-phase fan. A three-phase supply with correct voltage must be provided to the fan.

Anexo 27. Notas del “Annex to the Getting Started with Altivar Process ATV600”

corriente de línea	201 A at 380 V (normal duty)
	165 A at 480 V (normal duty)
	170 A at 380 V (heavy duty)
	143 A at 480 V (heavy duty)
Corriente de cortocircuito de la red	50 kA
potencia aparente	121.8 kVA at 480 V (normal duty)
	102.6 kVA at 480 V (heavy duty)
corriente de salida en continuo	211 A at 2.5 kHz for normal duty
	173 A at 2.5 kHz for heavy duty

Anexo 28. Características del variador de frecuencia ATV630C11N4

potencia del motor hp	3 hp normal duty
	2 hp heavy duty
corriente de línea	8.4 A en 200 V (carga normal)
	7.2 A en 240 V (carga normal)
	6 A en 200 V (carga pesada)
	5.3 A en 240 V (carga pesada)
posible línea lsc	50 kA
poder aparente	3 kVA en 240 V (carga normal)
	2.2 kVA en 240 V (carga pesada)
corriente de salida continua	11,2 A en 4 kHz para trabajo normal
	8 A en 4 kHz para trabajo pesado
corriente transitoria máxima	12 A durante 60 s (carga pesada)
	12,3 A durante 60 s (carga normal)

Anexo 29. Características del variador de frecuencia ATV630U22M3

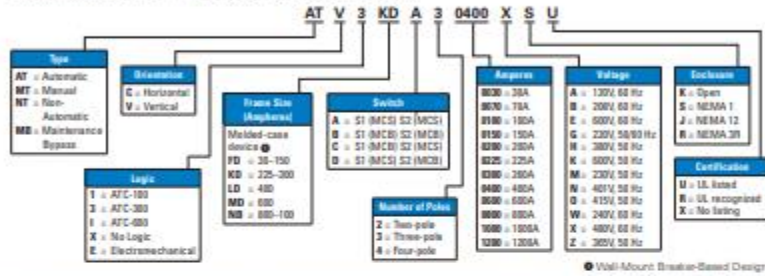
potencia del motor kW	4 kW (carga normal)
	3 kW (carga pesada)
potencia del motor hp	5 hp servicio normal
	4 hp trabajo pesado
corriente de línea	15,1 A en 200 V (servicio normal)
	12,9 A en 240 V (servicio normal)
	11,7 A en 200 V (servicio pesado)
	10,2 A en 240 V (servicio pesado)
posible línea lsc	50 kA
poder aparente	5,4 kVA en 240 V (carga normal)
	4,2 kVA en 240 V (carga pesada)
corriente de salida continua	18,7 A en 4 kHz para servicio normal
	13,7 A en 4 kHz para servicio pesado
corriente transitoria máxima	20,6 A durante 60 s (carga normal)
	20,6 A durante 60 s (carga pesada)

Anexo 30. Características del variador de frecuencia ATV630U40M3

Breaker-based transfer switches Ordering information and basic components



Industrial Molded-Case Transfer Switch Catalog Numbering System



Typical Wall-Mount ATS with Service Entrance Piling

Anexo 31. Transferencia automática

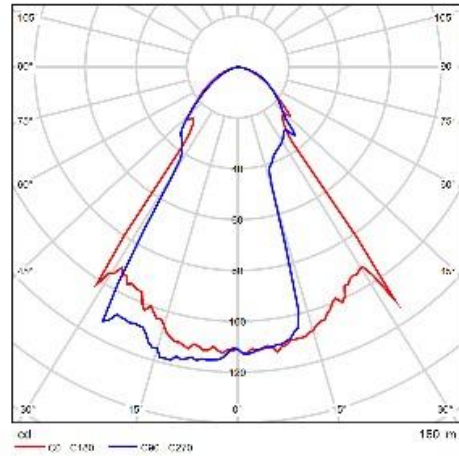
Ficha de producto

PROLED Wall Light CUBE Y - WW - Housing White



Nº de artículo	L17260Y6W
P	8.5 W
ΦLuminaria	230 lm

Die PROLED WALL LIGHT CUBE Serie ist für die Wandmontage konzipiert und bietet zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten in der Architekturbeleuchtung.



CDL polar

Anexo 32. Características de la luminaria exterior

Ficha de producto

TOBIASGRAU XT-A CEILING LED OSA 150x15 IL satin/black



N° de artículo	XA56 0 / XA57 0
P	88,0 W
ΦLuminaria	10499 lm

XA56 0 / XA57 0

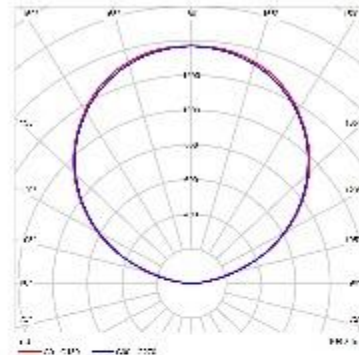
Mit der neuen Bürobeleuchtungsreihe XT A LED OSA ist es uns gelungen die Lichtqualität und die Energieeffizienz im Vergleich zur Leuchtstofflampe deutlich zu verbessern.

Brillanweißes Licht mit einer hohen Farbwiedergabe (3500K, CRI85) wird durch das LED OSA Raster absolut blendfrei und ohne die Erzeugung von Mehrfachschatten effizient abgegeben.

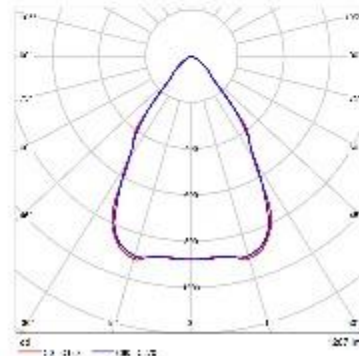
Die von uns eingesetzten LEDs geben das Farbspektrum vollständiger wieder als herkömmliche Leuchtstofflampen, dadurch wird eine bessere und brillantere Farbwiedergabe erreicht.

Die XT A CEILING LED OSA ist optional mit einer eingebauten Sensorsteuerung erhältlich. Diese ermöglicht eine zusätzliche Energieeinsparung.

Montageart Abhängung
Leistungsaufnahme (max.) 89 W
Leuchtenlichtstrom 10500 lm
Farbtemperatur 3500 K
Nennspannung 220 240 V / 120 V
Farbwiedergabeindex (Ra) >80
Lichtaustritt 23% direkt / 77% indirekt
Energieeffizienz A++



CDL polar para Emisiones luminosas 1 y 2

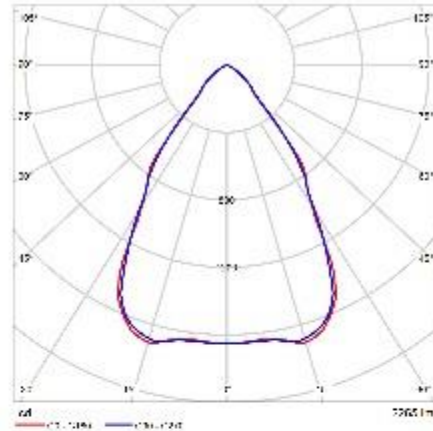


CDL polar para Emisiones luminosas 3 y 4

Anexo 33. Características de la iluminaria del centro de bombeo.



Nº de artículo	XA74-3 / XA75-3
P	63.0 W
Φ Luminaria	4530 lm
Rendimiento lumínico	71.9 lm/W
CCT	3500 K
CRI	84



CDL polar para Emisiones luminosas 1 y 2

XA74-3 / XA75-3

Mit der neuen Bürobeleuchtungslinie XT-A DIRECT ist es uns gelungen, die Lichtqualität und die Energieeffizienz im Vergleich zur Leuchtstofflampe deutlich zu verbessern. Brillantweißes Licht mit einer hohen Farbwiedergabe (3500K, CRI85) wird durch das LED OSA Raster absolut blendfrei und ohne die Erzeugung von Mehrschatten abgegeben.

Die von uns eingesetzten LEDs geben das Farbspektrum vollständiger wieder als herkömmliche Leuchtstofflampen, dadurch wird eine bessere und brillantere Farbwiedergabe erreicht.

Design: Tobias Grau

- Montageart Deckenaufbau
- Leistungsaufnahme (max.) 63 W
- Leuchtenlichtstrom 4530 lm
- Farbtemperatur 3500 K
- Nennspannung 220-240 V / 120 V
- Farbwiedergabeindex (Ra) >80
- Lichtaustritt direkt
- Energieeffizienz A - A++

Valores de deslumbramiento según UGR												
Φ (m)	h (m)	E _v (lx)					E _s (lx)					
		20	25	30	35	40	20	25	30	35	40	
0.4	0.4	11.2	14.0	17.1	20.7	25.0	17.2	19.8	23.0	26.8	31.3	
0.4	0.5	10.7	13.4	16.4	19.9	24.2	16.7	19.2	22.2	26.0	30.5	
0.4	0.6	10.2	12.8	15.7	19.1	23.4	16.2	18.6	21.5	25.2	29.7	
0.4	0.8	9.2	11.7	14.5	17.8	22.0	15.2	17.4	20.1	23.6	28.1	
0.4	1.0	8.2	10.5	13.1	16.3	20.4	14.2	16.2	18.7	22.0	26.5	
0.5	0.4	10.7	13.4	16.4	19.9	24.2	16.7	19.2	22.2	26.0	30.5	
0.5	0.5	10.2	12.8	15.7	19.1	23.4	16.2	18.6	21.5	25.2	29.7	
0.5	0.6	9.7	12.2	15.0	18.3	22.4	15.7	17.9	20.5	23.8	28.3	
0.5	0.8	8.7	10.9	13.5	16.7	20.8	14.7	16.6	19.1	22.3	26.8	
0.5	1.0	7.7	9.8	12.3	15.4	19.4	13.7	15.4	17.7	20.8	25.3	
0.6	0.4	10.2	12.8	15.7	19.1	23.4	16.2	18.6	21.5	25.2	29.7	
0.6	0.5	9.7	12.2	15.0	18.3	22.4	15.7	17.9	20.5	23.8	28.3	
0.6	0.6	9.2	11.7	14.5	17.8	22.0	15.2	17.4	20.1	23.6	28.1	
0.6	0.8	8.2	10.5	13.1	16.3	20.4	14.2	16.2	18.7	22.0	26.5	
0.6	1.0	7.2	9.3	11.7	14.8	18.8	13.2	14.9	17.1	19.3	23.5	

Diagrama UGR para Emisiones luminosas 1 y 2 (SHR: 0.25)

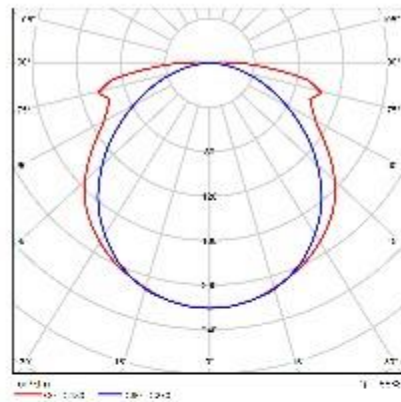
Anexo 34. Características de la iluminaria de la planta sulfatadora

Disano Disano 616 1*8 CEM-L gris



Nº de artículo	616 Safety emergencia 1h permanente S.E.
P	9.8 W
Φ Lámpara	121 lm
Φ Lámpara	82 lm
η	67.90 %
Rendimiento lumínico	8.4 lm/W
CCT	4000 K
CRI	90

Cuerpo: De policarbonato irrompible y autoextinguible, color gris estabilizado a los rayos UV, antiamarilleo. Difusor: De policarbonato transparente, satinado en su interior antideslumbramiento, irrompible y autoextinguible V2, estabilizado a los rayos UV, externamente liso, antipolvo. Reflector: De policarbonato, color blanco reflejante. Portalámparas: De policarbonato y contactos de bronce fosforoso. Cableado: Alimentación de 230-240V/60Hz con reactancia electrónica. Cable rígido con una sección de 0,50 mm², vaina de PVC-HT resistente a 90°C según las normas CEI 20-20. Bornera 2P con una máxima sección de los conductores de 2,5 mm². Equipamiento: Pasacables de goma a 1/2 pulgada gas (cable mín. ø 9, máx. a 12 mm) para mantener el grado IP65. Led de inspección de serie Normativa. Fabricados en conformidad a las normas EN 60598-CEI 34-21. Poseen el grado de protección según las normas EN 60529. Emergencia S.E. (sólo emergencia): En caso de corte de luz la lámpara conectada al circuito de emergencia se enciende, evitando así inconvenientes debidos a la imprevista falta de iluminación. La autonomía es de 60 min. Cuando vuelve la tensión



CDL polar

Valores de deslumbramiento según IESNA												
Categoría	Categoría 1				Categoría 2				Categoría 3			
	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
Distancia (m)	1.5	3.0	4.5	6.0	1.5	3.0	4.5	6.0	1.5	3.0	4.5	6.0
Ángulo (°)	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
Iluminancia (lx)	100	25	15	10	100	25	15	10	100	25	15	10
Grado de deslumbramiento (UGR)	19	16	15	14	19	16	15	14	19	16	15	14

Diagrama UGR (SHR: 0.25)

Anexo 35. Características de la luminaria de emergencia.

Ficha técnica del producto
Características

NSYCVF560M230PF

Vent. forz. ClimaSys, IP54, 560 m³/h, 230 V, con rejilla salida y filtro G2



Descripción General

Tiempo de Entrega	Suele entregarse en el plazo de 4 semanas
-------------------	---

Principal

Gama	ClimaSys
Nombre del producto	ClimaSys CV
Tipo de producto o componente	Ventilador
Compatibilidad de gama	P G
Type of filter	Estándar
Flow rate	Caudal libre con filtro estándar, estado 1 562 m ³ /h en 50 Hz Caudal libre con filtro estándar, estado 1 586 m ³ /h en 60 Hz
[Us] tensión de alimentación nominal	207... 244 V
Tensión de entrada	230 V 50/60 Hz

Complementario

Absorbed power	68 W 50 Hz 85 W 60 Hz
Corriente nominal (In)	0,52 A 50 Hz 0,37 A 60 Hz

Anexo 36. Ficha técnica del producto NSYCVF560M230PF

Ficha técnica del producto
Características

NSYCVF165M115PF

Vent. forz. ClimaSys, IP 54, 165 m³/h, 115 V, con rejilla de salida y filtro G2



Principal

Gama	ClimaSys
Nombre del producto	ClimaSys CV
Tipo de producto o componente	Ventilador
Type of filter	Estándar
Flow rate	Caudal libre con filtro estándar, estado 1 165 m ³ /h en 50 Hz Caudal libre con filtro estándar, estado 1 193 m ³ /h en 60 Hz
[Us] tensión de alimentación nominal	75...126 V
Tensión de entrada	115 V 50/60 Hz

Complementario

Absorbed power	15.5 W 50 Hz 14.4 W 60 Hz
Corriente nominal (In)	0,2 A 50 Hz 0,18 A 60 Hz

Anexo 37. Ficha técnica del producto NSYCVF165M115PF

Product data sheet
Characteristics

NSYCVF300M115PF
ClimaSys forced vent. IP54, 300m³/h, 115V, with outlet grille and filter G2



Overview

Lead time	Usually Ships within 4 Weeks
-----------	------------------------------

Main

Range	ClimaSys
Product name	ClimaSys CV
Product or component type	Fan
Type of filter	Standard
Flow rate	Free flow rate with standard filter: 300 m ³ /h at 50 Hz Free flow rate with standard filter: 350 m ³ /h at 60 Hz
[Ua] rated supply voltage	75...126 V
Input voltage	115 V 50/60 Hz

Complementary

Absorbed power	36 W 50 Hz 36 W 60 Hz
[In] rated current	0.35 A 50 Hz 0.32 A 60 Hz

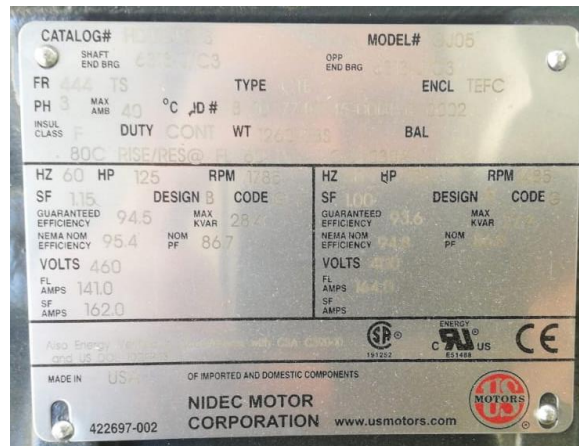
Anexo 38. Ficha técnica del producto NSYCVF300M115PF



Anexo 39. Dato de placa de motor 3 del panel de dosificadoras de sulfato.



Anexo 40. Dato de placa del motor 1 y 2 del panel de dosificadoras de sulfato.



Anexo 41. Dato de placa de las bombas del cuarto de bombeo



HMIST6700




Pantalla de panel táctil, Harmony ST6, pantalla de 15 "W, 2COM, 2Ethernet, dispositivo y host USB, 24 VCC

[Mostrar más características >](#)

[Software relacionado >](#)

[Selector de productos >](#)

 Pasa el cursor sobre la imagen para acercarla
[Ver todas las fotos y videos](#)

Anexo 42. Pantalla de panel táctil HMIST6700.

13. Apéndice



Apéndice 1. Tendencia de presión de descarga



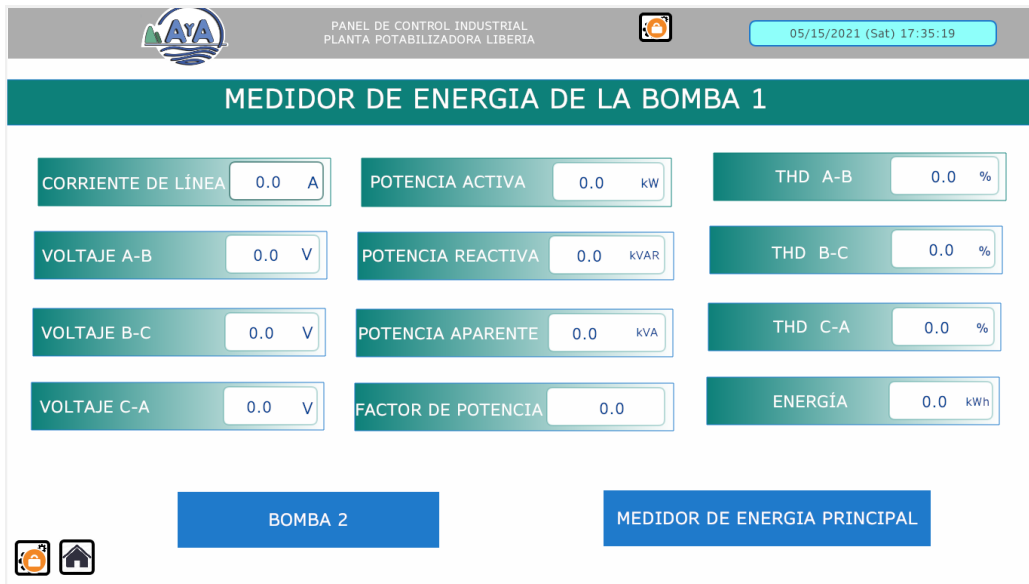
Apéndice 2. Tendencia de flujo



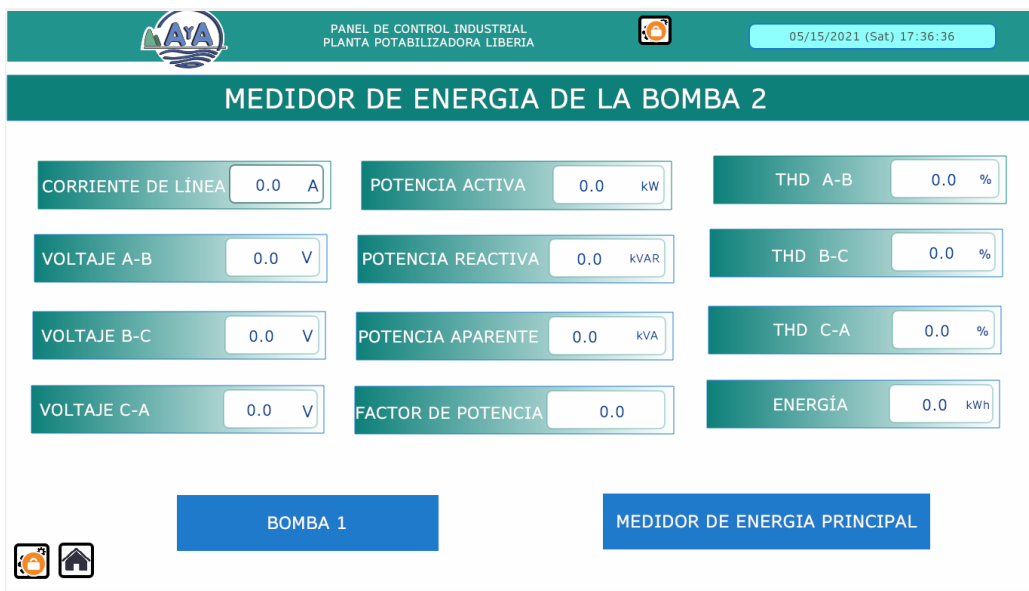
Apéndice 3. Horímetro del centro de bombeo



Apéndice 4. Horímetro de las dosificadoras de sulfato.



Apéndice 5. Medidor de energía de la bomba 1



Apéndice 6. Medidor de energía de la bomba 2



Apéndice 7. Medidor de energía de los agitadores de sulfato

Apéndice 8. Planos eléctricos, iluminación y paneles de control industrial de la planta potabilizadora.

Apéndice 9. Video de validación del diseño de la interfaz humano-máquina