

Instituto Tecnológico De Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Propuesta de mejoras al sistema eléctrico de la planta FHACASA en Costa Rica

smart.

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Mantenimiento Industrial con el grado académico de Licenciatura**

Alejandro Retana Tenorio

Cartago, mayo 2024



Profesor guía

Ing. Suzanne Melara

Asesor industrial

Ing. Christian Angulo

Ing. Dennis Salmerón

Jurado examinador

Ing. Juan Pablo Arias

Ing. Luis Carlos Muñoz

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cédula: 1-1693-0852

Datos personales

Nombre completo: Alejandro Retana Tenorio

Número de cédula: 1-1693-0852

Número de carné: 2017100583

Números de teléfono: 8950-0155

Correos electrónicos: alretana@estudiantec.cr

*Dirección exacta de domicilio: San José, Goicoechea, Mata de Plátano,
Residencial Tejares, Casa A3*

Datos de la Empresa

Nombre: Smart Industrial

Actividad Principal: Máster Dealer de Siemens para Costa Rica

Dirección: Heredia, San Francisco, Santa Verde, Smart Siemens

Contacto: christian.angulo@smartsmd.com

Teléfono: +506 4108-5019

Datos del Cliente

Nombre: Corporación Multi Inversiones

Actividad Principal: Producción de alimentos para Centroamérica

Dirección: Puntarenas, Barranca, frente a Dos Pinos, FHACASA

Contacto: francisco.mogollon@somoscmi.com

Teléfono: +502 2327-3500

Smart Master Dealer SMD S.A.
Apartado 40103, Heredia Costa RicaSr. Ignacio Del Valle
Coordinador de TFG
Ingeniería en Mantenimiento Industrial
Escuela de Electromecánica
Tecnológico de Costa Rica

Señores:

Correo: idelvalle@itcr.ac.cr
Fecha: 27 de Octubre 2023
Consecutivo: S-23-89**TEC** | Tecnológico
de Costa Rica**Asunto: Carta de aceptación de Smart Industrial**

Esperando que se encuentren muy bien, la presente es para confirmar la aceptación del estudiante: Alejandro Retana Tenorio, cédula 1-1693-0852 y carné 2017100583, para desarrollar su trabajo final de graduación en nuestra empresa Smart Master Dealer, (representante de la marca Siemens en CR), bajo el nombre de "Propuesta para mejoras al sistema eléctrico para una planta de alimentos basado en la marca Siemens: estado actual, rediseño y propuesta técnica".

El proyecto mencionado es relevante tanto para la empresa Smart en todas sus áreas como para el cliente relacionado, ya que plantea una solución a la problemática identificada en los estudios realizados y basados en el Código Eléctrico Nacional y estándares internacionales. Por tanto, se sugieren para evaluación el proyecto mencionado.

Atentamente,

SILVIA ELENA
RODRIGUEZ CHAVES
(FIRMA)Firmado digitalmente por SILVIA
ELENA RODRIGUEZ CHAVES
(FIRMA)
Fecha: 2023.10.27 10:11:57 -05'00'Silvia Rodriguez
Gerente Operaciones
correo: silvia.rodriguez@smartsmd.comCHRISTIAN
JOSE ANGULO
NUNEZ (FIRMA)Firmado digitalmente por CHRISTIAN
JOSE ANGULO NUNEZ (FIRMA)
DN: cn=CHRISTIAN JOSE ANGULO
NUNEZ (FIRMA), o=CI, e=PERSONA,
PRICA, ou=CIUDADANO
Módulo: No aprobado este documento
Fecha: 2023.10.27 09:38:22 -05'00'Christian Angulo
Gerente ventas internas & Proyectos
correo: christian.angulo@smartsmd.com

Dedicatoria

A mi papá Gilberth Retana Chaves
que en paz descanse.

Agradecimiento

A mi esposa Joselyn Araya, mi familia y mis compañeros
de trabajo en Smart Industrial.

RESUMEN

Este informe tiene como objetivo desarrollar una propuesta de rediseño al sistema eléctrico actual de FHACASA para el cumplimiento de certificaciones en seguridad eléctrica y calidad de la energía a partir de la reglamentación vigente en el Código Eléctrico Nacional y normativas nacionales.

La propuesta de rediseño se realizó por medio de una revisión del estado actual del sistema eléctrico de la planta de la Fábrica de Harinas de Centroamérica S.A., en donde se identificaron incumplimientos al Código Eléctrico Nacional en relación con la demanda eléctrica y peligros relacionados a la seguridad de los trabajadores. Se evaluaron los planos eléctricos vigentes y se realizaron visitas en planta para determinar las mejoras.

Por medio de un equipo de medición de variables energéticas se obtuvo un estudio general de la instalación por un tiempo específico, de donde se pudo comparar cada valor con la norma técnica propuesta por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos y verificar el cumplimiento de la calidad de la energía. Con esto se generó la base para verificar las mejoras al sistema analizadas en los planos.

Finalmente, se desarrolló un estudio económico de las propuestas de mejora en el cual se analizó el presupuesto del cliente y se ajustaron los requerimientos para cumplir con las necesidades especificadas.

ABSTRACT

The purpose of this report is to develop a redesign proposal for the current electrical system of FHACASA to comply with certifications in electrical safety and power quality based on the current regulations of the National Electrical Code and national standards.

The redesign proposal was carried out through a review of the current state of the electrical system of the Fábrica de Harinas de Centroamérica S.A. plant, where non-compliance with the National Electrical Code was identified in relation to electrical demand and hazards related to worker safety. The current electrical plans were evaluated and visits were made to the plant to determine improvements.

A general study of the installation for a specific period of time was obtained by means of energy variable measurement equipment, from which each value could be compared with the technical standard proposed by the Public Services Regulatory Authority and the energy quality compliance could be verified. This generated the basis for verifying the improvements to the system analyzed in the plans.

Finally, an economic study of the improvement proposals was developed in which the client's budget was analyzed and the requirements were adjusted to meet the specified needs.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Reseña de la empresa	2
1.2. Reseña del cliente	3
1.3. Planteamiento del problema y justificación	6
1.4. Objetivos	8
<i>1.4.1. Objetivo general</i>	8
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i>	8
1.5. Metodología	9
1.6. Alcance	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Requisitos para instalaciones eléctricas	13
2.2. Transformador de potencia	15
2.3. Celda de media tensión	16
2.4. Transformador de baja tensión	20
2.5. Tablero de baja tensión tipo Switchboard	22
2.6. Diseño de planos	24
2.7. Puesta en marcha y pruebas	25
2.8. Mediciones energéticas	25
2.9. Seguridad eléctrica y norma NFPA 70E	33
CAPÍTULO III. RESULTADOS	36
3.1. Situación actual en planta	36
3.2. Planos y diagramas unifilares	44
3.3. Análisis de seguridad para el rediseño	50
3.4. Identificación de mejoras	57

3.4.1. Transición a media tensión	58
3.4.2. Corriente de cortocircuito	64
3.4.3. Tensión de jalado	64
3.4.4. Protecciones	65
3.4.5. Transición a baja tensión	66
3.4.6. Puesta a tierra	71
3.4.7. Equipos de baja tensión	73
3.5. Medición de valores energéticos	80
3.6. Análisis comparativo con la norma ARESEP	93
3.7. Evaluación presupuestal de FHACASA	97
3.8. Elaboración de cotizaciones	98
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
4.1. Conclusiones	103
4.2. Recomendaciones	103
CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA	105
APÉNDICES	107
Apéndice 1: Cronograma	108
Apéndice 2: Planos actuales	109
Apéndice 3: Planos nuevos	112
ANEXOS	117
Anexo 1: Ficha técnica de canastas	118
Anexo 2: Fichas técnicas del cableado	119
Anexo 3: Protecciones celda de media tensión	123
Anexo 4: Ficha técnica de transformador GEAFOL	125
Anexo 5: Ficha técnica de celda 8DHJ 36	126

Anexo 6: Fichas técnicas de transformadores Hammond	128
Anexo 7: Cotización del proveedor Siemens en México	130
Anexo 8: Cotización del proveedor Siemens en Brasil	131
Anexo 9: Cotizaciones del proveedor Hammond Power Solutions	132
Anexo 10: Cotizaciones del proveedor Siemens en Guatemala	133
Anexo 11: Cotizaciones del proveedor KVP Ingeniería	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gerentes de Smart Industrial Costa Rica 2024.	3
Figura 2. Noticia de adquisición de FHACASA por parte de CMI en Costa Rica.	4
Figura 3. Ejemplo de productos de harina fabricados en FHACASA.....	5
Figura 4. Representación gráfica de una celda 8DJH 36.....	17
Figura 5. Cuadro para la determinación de corrientes según potencia y tensiones.	22
Figura 6. Cuadro de valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución.	26
Figura 7. Cuadro de intervalos normales y tolerables del valor de baja tensión.	27
Figura 8. Cuadro de límites de distorsión armónica de corrientes para usuarios del servicio.	29
Figura 9. Cuadro de valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución aéreas. .	30
Figura 10. Cuadro de intervalos normales y tolerables del valor de tensión de servicio.	31
Figura 11. Cuadro de parámetros eléctricos a registrar según tipo de servicio.	31
Figura 12. Cuadro de ajuste de valores de umbral de equipos para pruebas de calidad.....	32
Figura 13. Cuadro de segregación de clases para la confección de grafico de valores.	33
Figura 14. Distribución de postes para el cableado interno de FHACASA.	37
Figura 15. Banco de transformadores monofásicos tipo poste.....	37
Figura 16. Tablero tipo P5 del cuarto eléctrico y sus cargas.....	38
Figura 17. Tablero tipo Switchboard del cuarto eléctrico y sus cargas.....	39
Figura 18. Placa de tablero tipo Switchboard con año de fabricación del 2014.....	41
Figura 19. Placa de tablero tipo P5 con año de fabricación del 2009.....	42
Figura 20. Interruptor principal y dispositivo de medición del tablero tipo Switchboard....	42
Figura 21. Estado de cableado interno y barras del tablero tipo Switchboard.	43
Figura 22. Estado de cableado interno y barras del tablero tipo P5.	44
Figura 23. Plano catastro de la propiedad FHACASA del 2006.	45
Figura 24. Distribución de media tensión de FHACASA en 2022.	46
Figura 25. Distribución de baja tensión de FHACASA en 2022.....	47
Figura 26. Diagrama unifilar preliminar de la planta FHACASA 2024.	48
Figura 27. Diagrama unifilar preliminar del cuarto eléctrico en FHACASA 2024.	49
Figura 28. Distribución preliminar de equipos en el cuarto eléctrico.	50

Figura 29. Ficha técnica del transformador de potencia.....	59
Figura 30. Selección de cableado marcado en amarillo según tensión.	60
Figura 31. comprobación de corriente según calibre de cable.	61
Figura 32. Factor de corrección según temperatura.	62
Figura 33. Porcentaje de llenado permitido por cantidad de conductores.....	62
Figura 34. Resistividad del conductor según calibre del cable.	63
Figura 35. Diagrama de protecciones del transformador de potencia.	65
Figura 36. Selección de conductores de fase según corriente en secundario de acometida. 67	
Figura 37. Selección de ECG según corriente de acometida.....	68
Figura 38. Ejemplo de distribución de cableado en canasta metálica.	69
Figura 39. Ejemplo de distribución de cableado en canasta metálica.	69
Figura 40. Resistencia del conductor según calibre de cable en el secundario.	70
Figura 41. Diagrama unifilar y esquema de la celda de media tensión.	71
Figura 42. Selección del conductor de electrodo de puesta a tierra según calibre máximo. 73	
Figura 43. Ficha técnica del transformador seco de 300 kVA.	73
Figura 44. Selección de conductores de fase según corriente del transformador de 300 kVA.	75
Figura 45. Selección de ECG según corriente del transformador de 300 kVA.....	76
Figura 46. Características del cableado XHHW-2 utilizado.	76
Figura 47. Resistividad del conductor según calibre utilizado.....	78
Figura 48. Ficha técnica del transformador seco de 75k VA.	79
Figura 49. Gráfico de potencias en el Molino B del año 2022.....	82
Figura 50. Gráfico de potencias en el Panel de Harinas del año 2022.	85
Figura 51. Valores eficaces (RMS) para la tensión medida marcada en amarillo.....	93
Figura 52. Intervalos normales y tolerables para la tensión medida marcada en amarillo... 93	
Figura 53. Valores eficaces (RMS) para la tensión de acometida marcada en amarillo.	94
Figura 54. Intervalos normales y tolerables para la tensión medida marcada en amarillo... 94	
Figura 55. Condiciones para pruebas de medición según servicio marcado en amarillo.	95
Figura 56. Valores de umbral para ajuste de equipos según servicio marcado en amarillo. 95	
Figura 57. Diagrama de comunicación de la planta FHACASA 2024.....	96
Figura 58. cotización de transporte internacional para los transformadores Hammond.	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología para el desarrollo de los objetivos.....	9
Tabla 2. Distribución del tablero principal del cuarto eléctrico.	39
Tabla 3. Distribución del tablero general del cuarto eléctrico.....	40
Tabla 4. Resumen de análisis de riegos para el desarrollo del rediseño.....	50
Tabla 5. Resumen de mejoras al sistema eléctrico del cuarto eléctrico.	58
Tabla 6. Mediciones de intensidad en el Molino B del año 2022.	80
Tabla 7. Mediciones de potencias en el Molino B del año 2022.....	81
Tabla 8. Mediciones de intensidad en el Panel de Harinas del año 2022.....	83
Tabla 9. Mediciones de potencias en el Panel de Harinas del año 2022.	84
Tabla 10. Mediciones de tensiones de fase en Switchboard del año 2024.....	86
Tabla 11. Mediciones de tensiones de línea en Switchboard del año 2024.....	87
Tabla 12. Mediciones de corrientes en Switchboard del año 2024.	88
Tabla 13. Mediciones de potencias activas en Switchboard del año 2024.....	89
Tabla 14. Mediciones de potencias aparentes en Switchboard del año 2024.....	90
Tabla 15. Mediciones de potencias reactivas en Switchboard del año 2024.....	91
Tabla 16. Mediciones de potencias totales en Switchboard del año 2024.	92
Tabla 17. Resumen de costos de transporte internacional por transformador.....	100
Tabla 18. Resumen de tiempos de entrega para equipos y servicios de rediseño.	101
Tabla 19. Oferta formal relacionada con el rediseño de FHACASA.	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Desbalance de tensión en porcentaje.	28
Ecuación 2. Tasa de distorsión armónica.	28
Ecuación 3. Tasa de distorsión de corriente.	29
Ecuación 4. Severidad de larga duración de parpadeo.	30
Ecuación 5. Corriente nominal en el primario de la acometida.....	59
Ecuación 6. Porcentaje de llenado de tubería.	62
Ecuación 7. Porcentaje de caída de tensión.....	63
Ecuación 8. Porcentaje de caída de tensión en la acometida.....	63
Ecuación 9. Corriente nominal en el secundario de la acometida.....	64
Ecuación 10. Corriente de corto circuito en el transformador principal.	64
Ecuación 11. Corriente nominal al 125 % en el secundario de la acometida.....	66
Ecuación 12. Corriente nominal por conductor de fase en el secundario de la acometida. .	66
Ecuación 13. Ancho de canasta requerido por el cableado.	68
Ecuación 14. Porcentaje de utilización de la canasta metálica.....	69
Ecuación 15. Porcentaje de caída de tensión en el secundario del transformador.	70
Ecuación 16. Corriente nominal en el transformador de 300 kVA.	73
Ecuación 17. Corriente nominal para conductores en el transformador de 300 kVA.	74
Ecuación 18. Corriente nominal por fase en el transformador de 300 kVA.	74
Ecuación 19. Porcentaje de llenado de tubería en el transformador de 300 kVA.	77
Ecuación 20. Porcentaje caída de tensión en el transformador de 300 kVA.....	78
Ecuación 21. Porcentaje de desbalance en tensión según mediciones.	94

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Corporación Multi Inversiones (CMI) es una multinacional con más de 100 años de experiencia en diversos campos industriales. Su división de alimentos en Costa Rica incluye la Fábrica de Harinas de Centroamérica S.A. (FHACASA), que ha estado dedicada a la producción y distribución de harinas durante 35 años. Esta planta opera de manera ininterrumpida y produce más de 15 mil kilogramos por hora.

Para CMI, el compromiso con la eficiencia eléctrica y la cultura de prevención son pilares importantes en la toma de decisiones. Por ello, la revisión constante de los procesos se convierte en una práctica esencial en las instalaciones de FHACASA. A lo largo de los años, el sistema eléctrico ha experimentado diversos cambios para mantener la producción; sin embargo, todavía existen elementos muy antiguos dentro de la red eléctrica.

El objetivo general de este proyecto es determinar una propuesta de rediseño respaldada por el sistema eléctrico actual y centrada en el cumplimiento de normativas de seguridad eléctrica y calidad de la energía. Para lograr este propósito, se han establecido objetivos específicos que van desde la evaluación detallada del estado actual y sus deficiencias hasta la justificación económica de la propuesta.

A través de estudios en planta y revisiones de los planos actuales, se analizan las distintas necesidades eléctricas que deben corregirse con un rediseño. Se identifican puntos críticos en la red eléctrica con el fin de implementar mejoras en estos equipos. Con la información recopilada, se calculan los requisitos dentro del sistema y se generan nuevos planos dentro del cuarto eléctrico.

La medición de variables eléctricas con instrumentos automatizados también permite obtener un diagnóstico de la calidad de la energía. Esto se realiza con la ayuda de valores medidos anteriormente en puntos específicos de la planta, respaldados por la norma técnica para la supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCAL-2015.

Finalmente, la evaluación presupuestaria de la propuesta de mejora se realiza mediante cotizaciones generadas por los socios comerciales de Smart Industrial, teniendo en cuenta los márgenes de beneficio y la capacidad de inversión del cliente en FHACASA. La cotización final propone la actualización de equipos, su cableado y un plan de acción.

1.1. Reseña de la empresa

Con la salida inminente de las fábricas de Siemens del país en 2020, después de operar desde 1956, se presentó al gerente Pablo Riba una oportunidad de negocio con raíces nacionales para asumir la distribución oficial de productos Siemens. Manteniendo las estructuras y valores de la empresa alemana, se creó en 2021 Smart Industrial, trasladando la mayoría del personal y sus funciones más importantes.

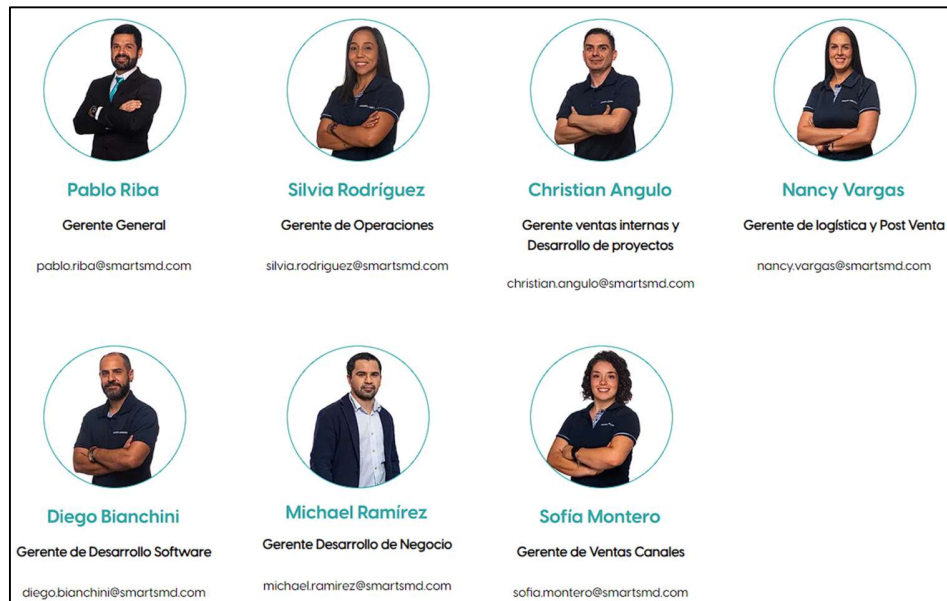
Smart Siemens es la empresa nacional encargada de la marca Siemens en Costa Rica, con las subdivisiones de Smart Máster Dealer y Smart Field Services, encargadas respectivamente de la distribución de equipos y labores de campo. Los principales servicios de esta empresa son la electrificación, digitalización, automatización y trabajos de campo, con la ayuda de socios comerciales a lo largo del país (Smart Industrial, 2023).

Además de la marca Siemens, que es la esencia del negocio, Smart adquiere otras marcas a nivel mundial para su distribución nacional. Una de ellas es Bender, especializada en seguridad eléctrica a través de equipos de medición, y también se encuentra IntelliSAW, que busca monitorear diferentes valores seleccionados por los clientes mediante sensores (Smart Industrial, 2023).

Misión: Representar localmente a la marca Siemens, desarrollando estrategias comerciales para la distribución de productos y soluciones, así como promover y ejecutar servicios para la base instalada de los clientes finales (Smart Industrial, 2023).

Visión: Posicionar a Siemens como la marca número uno en soluciones de electrificación, automatización y digitalización en Costa Rica (Smart Industrial, 2023).

A continuación, se presentan las distintas gerencias de Smart Industrial para el 2024 con sus respectivos representantes:



Fuente: (Smart Industrial, 2023).

Figura 1. Gerentes de Smart Industrial Costa Rica 2024.

1.2. Reseña del cliente

La Corporación Multi Inversiones (CMI) es una empresa que inició sus operaciones en San Cristóbal Totonicapán, Guatemala; fue fundada en 1920 por don Juan Bautista Gutiérrez y ahora es una multinacional integrada por más de 40 mil colaboradores, con presencia en más de 16 países. CMI cuenta con diversas fábricas en el sector de alimentos y energía renovable a lo largo del continente americano (Corporación Multi Inversiones, 2024).

CMI Alimentos es uno de los grupos de alimentos más grandes e importantes de la región en cuanto a molinos de harina de trigo y maíz, producción de pastas y galletas, industrias ganaderas, entre otros. Como se muestra en la Figura 2 en el año 2021 la subdivisión de alimentos y molinos adquiere FHACASA en Costa Rica, haciéndose cargo de la producción de harinas a nivel de Centroamérica. (Corporación Multi Inversiones, 2024).



Fuente: (Corporación Multi Inversiones, 2024).

Figura 2. Noticia de adquisición de FHACASA por parte de CMI en Costa Rica.

La Fábrica de Harinas de Centroamérica (FHACASA) está ubicada en Barranca, Puntarenas, Costa Rica; se dedica principalmente a la producción y distribución de harinas de trigo, contando con más de 35 años de presencia en el país. Según datos proporcionados por los encargados, la planta genera cerca de 17,000 kilogramos de producto por hora, operando las 24 horas del día y teniendo paros de producción únicamente por mantenimientos programados.

Esta industria cuenta con 2 molinos en sus líneas de producción. Las maquinarias de la parte A producen aproximadamente el 70 % de las harinas, mientras que la parte B completa el restante 30 % del total. Según estudios previos de la gerencia, la traducción en dólares de estos datos asciende a cerca de \$5 000 y \$2 000 respectivamente para cada molino por hora de producción en ventas. Es por esto por lo que se intenta reducir al máximo los paros en la planta.

En la Figura 3, presentada a continuación, se puede observar un ejemplo de los productos de harina que se producen en FHACASA:



Fuente: (Corporación Multi Inversiones, 2024).

Figura 3. Ejemplo de productos de harina fabricados en FHACASA.

1.3. Planteamiento del problema y justificación

Se puede afirmar que la instalación eléctrica de la planta es de vital importancia para el funcionamiento continuo de los molinos y, con ello, la producción en general. Además, el sistema cuenta con más de 30 años en algunos transformadores principales y cerca de 15 años en tableros de distribución, sin un seguimiento de las normas actuales en el Código Eléctrico Nacional.

Como antecedentes en la fábrica de harinas, se tienen reportes realizados por parte de Smart Siemens donde se logra identificar que el sistema, a la fecha, no cuenta con diagramas unifilares impresos y no hay una correcta distribución. La falta de un análisis en la calidad de la energía, por su parte, no permite comprobar el seguimiento de las normas técnicas según regulaciones de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP).

Por la antigüedad de algunos equipos dentro de la red eléctrica y la falta de un control dentro del cuarto eléctrico, se han presentado incidentes que han puesto en peligro la vida de los trabajadores y han dañado los equipos. Estos sucesos se han dado por fallas en protecciones primarias y cortocircuitos en transformadores de media y baja tensión. Las soluciones que se han dado son el reemplazo y mantenimientos correctivos dentro del sistema.

Para lograr que la planta siga produciendo materia prima ante estas emergencias, los dueños han tenido que realizar inversiones cercanas a los \$20 000 por falla y han tenido pérdidas de \$10 000 por hora fuera de producción. El personal encargado del sistema eléctrico, por otra parte, cuenta con una brecha en capacitación para actuar contra los incidentes que se han producido en la actualidad.

La situación identificada en FHACASA es la falta de un sistema eléctrico central que permita cumplir las certificaciones en seguridad eléctrica y calidad de la energía en relación con el Código Eléctrico Nacional y normas nacionales específicas. Esto incluye la necesidad de una modernización de equipos, reinstalación del cableado interno y un detalle en planos relacionado al nuevo sistema dentro del cuarto eléctrico.

El propósito fundamental de este trabajo es mejorar la seguridad y calidad del sistema eléctrico, asegurando el cumplimiento de las normativas y certificaciones vigentes. La implementación de las mejoras propuestas no solo garantizará un entorno eléctrico más

seguro, sino que también contribuirá a la sostenibilidad y confiabilidad de las operaciones de la empresa en cuestión. Es por esto por lo que el rediseño propuesto busca abordar estas problemáticas de manera analítica para mejorar la eficiencia, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico dentro de la fábrica. Para lograr esto se implementan una serie de estudios que facilitan la identificación de riesgos por incumplimiento, comparaciones con datos permitidos según normas y correcciones necesarias según el estado.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de rediseño al sistema eléctrico actual de FHACASA para el cumplimiento de certificaciones en seguridad eléctrica y calidad de la energía a partir de la reglamentación vigente en el Código Eléctrico Nacional y normativas nacionales.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Realizar un levantamiento de la instalación eléctrica actual para la verificación de los criterios de diseño eléctrico y disposiciones de seguridad vigentes a partir de la revisión de planos y estudios en planta.
2. Establecer las mejoras al diseño actual del sistema eléctrico apegado al Código Eléctrico Nacional vigente por medio de criterios de seguridad, identificación de riesgos y capacitación del personal.
3. Desarrollar un análisis de calidad de la energía a las instalaciones para la determinación de los problemas en la temática a partir de mediciones pasadas y actualizadas tomando como base la normativa nacional de la ARESEP (SUCAL).
4. Determinar una oferta económica de la propuesta de mejoramiento al sistema actual para la identificación de la rentabilidad presupuestaria a partir de cotizaciones realizadas por socios comerciales.

1.5. Metodología

Tabla 1. Metodología para el desarrollo de los objetivos

Objetivo	Actividad	Forma	Análisis	Resultado
Realizar un levantamiento de la instalación eléctrica actual para la verificación de los criterios de diseño eléctrico y disposiciones de seguridad vigentes a partir de la revisión de planos y estudios en planta.	Revisión de planos actuales y sus dimensiones. Análisis de cargas con información de cada parte del sistema.	Visitas técnicas a la planta y toma de datos. Adquisición de documentación actualizada.	Informe técnico basado en las visitas. Anotación de problemas sobre los planos.	Listado de mejoras al sistema y su importancia. Fichas de datos técnicos requeridos por los equipos.
Establecer las mejoras al diseño actual del sistema eléctrico apegado al Código Eléctrico Nacional vigente por medio de identificación de riesgos y capacitación del personal.	Identificación de elementos principales del sistema. Identificación de mejoras en seguridad eléctrica.	Cálculos de potencia requerida para el sistema eléctrico. Propuesta de una guía para la seguridad eléctrica.	Tabla informativa de cada elemento según NFPA 70. Verificación de niveles de protección.	Archivos impresos y digitales de los planos eléctricos. Listado de requerimientos en seguridad.

Objetivo	Actividad	Forma	Análisis	Resultado
Desarrollar un análisis de calidad de la energía a las instalaciones para la determinación de los problemas en la temática a partir de mediciones pasadas y actualizadas tomando como base la normativa nacional de la ARESEP (SUCAL).	Mediciones de valores eléctricos en la instalación. Comparación con la normativa de la ARESEP.	Utilización de instrumentos de medición. Identificación de valores que no sean aceptables.	Gráficos reales obtenidos de los equipos. Porcentaje de cumplimiento de la normativa.	Tablas y graficas comparativas de los niveles aceptables. Informe en tablas de los puntos que se deben corregir.
Determinar una oferta económica de la propuesta de mejoramiento al sistema actual para la identificación de la rentabilidad presupuestaria a partir de cotizaciones realizadas por socios comerciales.	Evaluación del presupuesto real económico. Elaboración de cotización en base al presupuesto.	Revisión de la capacidad de inversión. Búsqueda de equipos que se ajusten.	Cálculos de costos y margen según las cotizaciones. Catálogos de equipos según la necesidad.	Propuesta presupuestal de inversión al rediseño. Fichas técnicas de equipos a utilizar y su reemplazo.

Fuente: Elaboración propia.

1.6. Alcance

Se realizaron las mejoras posibles al diseño actual del sistema eléctrico dentro del cuarto eléctrico de la planta, en conformidad con el código eléctrico vigente y los criterios de seguridad eléctrica establecidos internacionalmente. De esta manera, el equipo multidisciplinario trabajó en conjunto, aplicando criterios de seguridad, buenas prácticas de diseño y consideraciones económicas para proponer mejoras viables y efectivas.

Además, se llevó a cabo el análisis de calidad de la energía en las instalaciones actuales para identificar problemas y recomendar soluciones. Se realizaron mediciones respaldadas por la normativa nacional de la ARESEP (SUCAL) utilizando equipos especializados de la marca Siemens, donde los resultados se interpretaron para determinar los pasos a seguir en este aspecto.

Finalmente, se desarrolló una oferta presupuestaria económica para el rediseño con el fin de evaluar su cumplimiento con el monto destinado por el cliente. En este caso, se aplicaron análisis de margen sobre cotizaciones de proveedores para estimar costos de implementación, beneficios esperados y el cumplimiento de reglamentos. De esta manera, se obtuvo la propuesta contemplando equipos, mano de obra y complementos.

El proyecto no contempló la ejecución física de las mejoras propuestas, ya que su objetivo es proporcionar una propuesta detallada de rediseño y el listado de equipos necesarios para llevar a cabo las implementaciones. La obtención de certificaciones específicas no está incluida en el alcance; sin embargo, se proporcionan las bases necesarias para que FHACASA cumpla con estas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Según la Reforma al Reglamento de Oficialización del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad en su última versión, con vigencia desde el 20 de mayo del 2014, se oficializa como "Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad", la norma NFPA-70, en su última versión actualizada en español emitida por la NFPA, que es la de 2014 para Costa Rica (Poder Ejecutivo de República de Costa Rica, 2014).

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA, por sus siglas en inglés) lleva más de 125 años ayudando a resolver algunos problemas de seguridad, como la prevención de incendios, la preparación para incendios forestales y la seguridad eléctrica. El NFPA 70, Código Eléctrico Nacional (NEC), es la referencia para el diseño, la instalación y la inspección eléctrica segura, con el fin de proteger a las personas y la propiedad de los peligros de la electricidad (NFPA, 2024). Este organismo también presenta la norma NFPA 70E sobre prácticas laborales seguras para proteger al personal, reduciendo la exposición a los principales peligros eléctricos. Desarrollada originalmente a petición de OSHA, la NFPA 70E ayuda a empresas y empleados a evitar lesiones y muertes en el lugar de trabajo debidas al choque eléctrico, electrocución, relámpago de arco y ráfaga de arco.

En Costa Rica, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) es el encargado del ejercicio de las diversas profesiones que lo integran, incluyendo aquellos técnicos y profesionales intermedios afines a alguno de los colegios miembros. El Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales, por su parte, incluye a los Ingenieros Electricistas, Ingenieros Mecánicos, Ingenieros Mecánicos Administradores, Ingenieros Mecánicos Electricistas, Ingenieros Industriales, Ingenieros Electrónicos, ingenieros agrícolas y afines (Asamblea Legislativa de República de Costa Rica, 2016).

En el marco legal y regulatorio de Costa Rica se respalda la sostenibilidad en el sector eléctrico con la Ley General de Electricidad de Costa Rica y el Plan Nacional de Descarbonización, ya que promueven la transición hacia energías limpias y la reducción de emisiones mediante estatutos que deben implementar todos los sistemas eléctricos a nivel nacional.

Para lograr una correcta modernización de los sistemas, se deben mencionar conceptos como la digitalización de los equipos y sus comunicaciones con el ser humano. En Costa Rica se han llevado a cabo proyectos de digitalización que permiten una supervisión y gestión más eficiente de la red eléctrica por parte del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Esto genera beneficios en los ámbitos social, económico y medioambiental.

La medición en los sistemas eléctricos es fundamental para identificar áreas de mejora o valores críticos. En Costa Rica se han utilizado herramientas como el análisis de pérdidas, la implementación de tecnologías de medición y la optimización de la operación de las redes. Estas técnicas permiten identificar ineficiencias y tomar medidas específicas para su corrección mediante mantenimientos especializados.

2.1. Requisitos para instalaciones eléctricas

En la norma NFPA 70 de 2014, que es el Código Eléctrico adoptado por el CFIA para Costa Rica actualmente, se presenta el artículo 110 del NEC 2014 que expone los requisitos generales para la evaluación, instalación y acceso a conductores y equipos eléctricos en las instalaciones. En este apartado se destacan los siguientes artículos importantes para el desarrollo de un rediseño eléctrico:

- 110.3 Examen, identificación, instalación y uso del equipo:
 - (A) Examen. Al juzgar un equipo, se deben evaluar consideraciones como las siguientes:
 - El espacio para el doblar de alambres y doblar y conectar alambres para hacer las conexiones.
 - Los efectos del calentamiento en condiciones normales de uso y también en condiciones anormales que puedan presentarse durante el servicio.
 - Los efectos de los arcos eléctricos.
 - Otros factores que contribuyan a la salvaguarda de las personas que utilicen o que puedan entrar en contacto con el equipo.
 - (B) Instalación y uso. Los equipos listados o etiquetados se deben instalar y usar de acuerdo con las instrucciones incluidas en el listado o etiquetado.

- 110.7 Integridad del cableado. Las instalaciones de cableado en el momento de quedar terminadas deben estar libres de cortocircuitos, fallas a tierra o cualquier conexión a tierra diferente de lo exigido o permitido en este Código.
- 110.9 Corriente nominal de interrupción. Los equipos previstos para interrumpir la corriente en niveles de falla deben tener una clasificación de interrupción a la tensión nominal de circuito suficiente para la corriente disponible en las terminales de línea de los equipos.
- 110.24 Corriente de falla disponible
 - (A) Marcado en campo. El equipo de acometida en lugares distintos a las unidades de vivienda se debe marcar en el campo, en forma legible, con la máxima corriente de falla disponible. El (los) marcado(s) en campo debe incluir la fecha en que se realizó el cálculo de la corriente de falla y contar con la suficiente durabilidad para soportar el ambiente involucrado.
 - (B) Modificaciones. Cuando se hagan modificaciones a la instalación eléctrica que afecten la máxima corriente de falla disponible en la acometida, se debe verificar la máxima corriente de falla disponible o volverla a calcular en caso de que sea necesario para asegurar que son suficientes los valores nominales del equipo de acometida para la máxima corriente de falla disponible en los terminales de línea del equipo. El marcado requerido de campo en la Sección 110.24(A) se debe ajustar de tal forma que refleje el nuevo nivel de máxima corriente de falla disponible.
- 110.26 Espacios alrededor del equipo eléctrico. Se debe proporcionar y mantener espacio de acceso y de trabajo alrededor de todo el equipo eléctrico, para permitir el funcionamiento y mantenimiento fácil y seguro de dicho equipo.
- 110.31 Envoltente para las instalaciones eléctricas. Las instalaciones eléctricas en bóvedas, cuartos o armarios o en un área rodeada por una pared, enrejado o cerca, cuyo acceso esté controlado por cerradura(s) u otro medio aprobado, se consideran accesibles únicamente a personas calificadas.

- 110.32 Espacio de trabajo alrededor de los equipos. Alrededor de todos los equipos eléctricos debe existir y se debe mantener un espacio suficiente que permita el funcionamiento y mantenimiento fáciles y seguros de dichos equipos.
- 110.36 Conductores de circuitos. Debe permitirse instalar los conductores de circuitos en canalizaciones, en bandejas portacables, como cable revestido de metal, Tipo MC; como alambre desnudo, cable y barras colectoras, o como cables o conductores Tipo MV.
- 110.40 Límites de temperatura en los terminales. Se permite que los conductores se terminen con base en una temperatura nominal de 60°C si son menores a los 100 A y 75°C si son mayores. (NFPA, 2014)

Tomando en cuenta estos lineamientos e inspecciones, se procede a seleccionar una serie de equipos dentro de la red eléctrica para su análisis, con el fin de dar una visión completa al rediseño planteado.

2.2. Transformador de potencia

Uno de los equipos principales dentro de una instalación eléctrica industrial es el transformador de media tensión, que permite trasladar voltajes de la red eléctrica nacional a las tensiones requeridas dentro de una planta. En el caso de este informe, se van a presentar las características de la división GEAFOL de Siemens como fabricante de transformadores utilizados en proyectos importantes dentro y fuera del país. Los transformadores de este tipo están aislados por resina colada, lo que ofrece una solución ideal en situaciones donde se requiere máxima seguridad en transformadores de distribución. Estos equipos superan las limitaciones de los transformadores tradicionales llenos de líquido, ya que mantienen características reconocidas como la seguridad operativa y una larga vida útil (Siemens, 2024).

Estos transformadores son conocidos por ser utilizados en rascacielos, hospitales, tranvías, plataformas petrolíferas, instalaciones mineras, parques eólicos, centrales nucleares, entre otros lugares donde se necesita garantizar la seguridad en todo momento (Siemens, 2024). Es por esto por lo que para la situación de rediseño en FHACASA, donde la seguridad es esencial, se selecciona la marca GEAFOL como principal proveedora. El aislamiento utilizado en estos transformadores está compuesto por una mezcla de resina epoxi y cuarzo

molido. Este material, amigable con el medio ambiente, garantiza que los devanados no necesiten mantenimiento, estén protegidos contra la humedad y sean adecuados para su uso en climas tropicales; además, son difícilmente inflamables y se autoextinguen aumentando su seguridad (Siemens, 2024).

Las bobinas del devanado primario se fabrican con láminas de aluminio. Esta elección se debe a que ofrece una técnica de bobinado simple junto con una alta seguridad eléctrica. Para el encapsulamiento de los devanados con resina epoxi, se emplea un proceso de vacío a alta temperatura. Esta técnica evita la formación de inclusiones de gas que pueden ser perjudiciales (Siemens, 2024).

Los transformadores aislados por resina colada son versátiles y cumplen con las más estrictas clases definidas, comprobadas mediante rigurosas pruebas como las siguientes (Siemens, 2024):

- Clase ambiental E2.
- Clase climática C2.
- Clase de resistencia al fuego F1.

Para proporcionar reservas de potencia y hacer frente a picos de carga prolongados, es posible integrar ventiladores de flujo radial controlados por temperatura. Esta configuración permite aumentar la potencia del transformador hasta en un 50 % en un régimen continuo. La utilización de la tecnología GEAFOL elimina la necesidad de considerar las limitaciones impuestas por los transformadores convencionales (Siemens, 2024).

Los transformadores de última generación contribuyen a la reducción del balance de CO₂ debido a su alta eficiencia y a las menores pérdidas durante el transporte de energía. Esta reducción comienza desde el proceso de fabricación gracias a un diseño de producto respetuoso con el medio ambiente que minimiza el uso de materiales. Es por esto que se puede afirmar que estos transformadores no requieren mantenimiento (Siemens, 2024).

2.3. Celda de media tensión

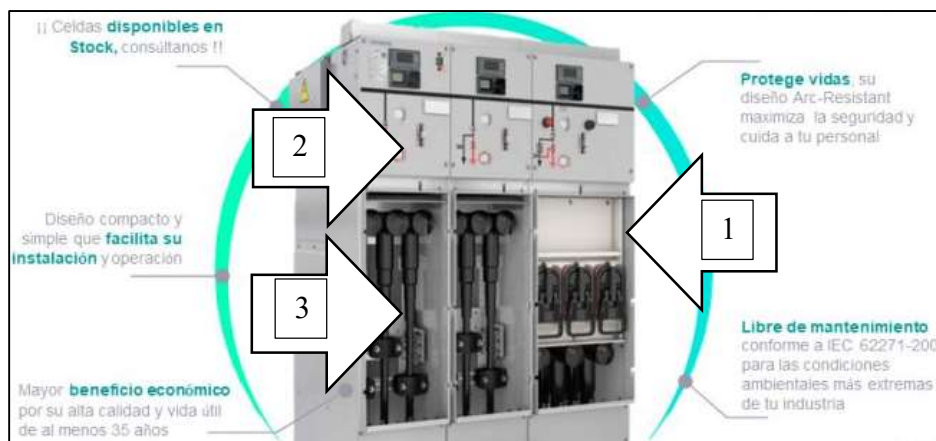
El siguiente equipo dentro de una red eléctrica inteligente y confiable son las llamadas celdas de media tensión, como la 8DJH 36, que también están libres de mantenimiento y

están diseñadas con envolvente metálica tripolar, además cuentan con aislamiento por gas. Estas celdas cumplen con las estipulaciones de la norma IEC 62271-200 y son la mejor selección para un rediseño eléctrico que busque tecnología innovadora (Siemens, 2024).

La línea de productos Siemens en media tensión incluye celdas individuales y bloques de celdas diseñados para diversas aplicaciones, desde centros de transformación simples hasta centros de transferencia al cliente, y amplias instalaciones de celdas para la industria con funciones que incluyen interruptores de potencia. Las celdas aisladas en gas 8DJH 36 están clasificadas según la normativa de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) como un sistema de presión sellado, lo que significa que es hermética al gas de por vida (Siemens, 2024).

Las celdas individuales y los bloques de celdas, como los de la Figura 4, están compuestos por los siguientes componentes funcionales (Siemens, 2024):

- Bastidor con frente de mando uniforme revestido con chapa de acero. (1)
- Cuba de la celda para alojar los dispositivos de maniobra y el sistema de embarrado. (2)
- Compartimento de cables. (3)



Fuente: (Siemens, 2024).

Figura 4. Representación gráfica de una celda 8DJH 36.

La cuba de la celda es un sistema de presión sellado fabricado con acero inoxidable resistente a la corrosión, donde sus paredes, las conexiones y los mecanismos de funcionamiento se unen mediante procesos de soldadura modernos. Los dispositivos de

maniobra y los embarrados integrados en la cuba están protegidos contra influencias externas como humedad, contaminación, polvo, gases agresivos y animales (Siemens, 2024).

Cada celda individual contiene su propia cuba, mientras que, en los bloques de celdas, los dispositivos de maniobra de varias celdas comparten una cuba. La cuba se llena en fábrica con hexafluoruro de azufre, que es un gas no tóxico, químicamente inerte y con alta rigidez dieléctrica. No se requieren trabajos de gas en el lugar de instalación ni es necesario controlar el estado del gas o rellenarlo durante el servicio (Siemens, 2024).

Cada cuba está equipada con un indicador de disposición de servicio en el frente de control para supervisar la densidad del gas. Este indicador muestra una señal roja o verde, es autocontrolable y no está afectado por la temperatura ni por las variaciones del entorno. El embarrado se encuentra dentro de la cuba y está protegido por una envolvente tripolar, y puede interconectarse con los embarrados de celdas adyacentes (Siemens, 2024).

El compartimento de cables es accesible desde el frente, con un mecanismo de enclavamiento que garantiza su retiro solo cuando el interruptor de tres posiciones está en la posición aterrizada. Se pueden agregar otros dispositivos de bloqueo de manera opcional, como el bloqueo de cierre en las funciones de línea, junto con un interruptor de potencia que evita que se pueda colocar en la posición de cerrado (Siemens, 2024).

En la configuración estándar, las funciones de protección del transformador vienen equipadas con pasatapas del tipo de interfaz C con contacto atornillado. Opcionalmente, se pueden utilizar pasatapas para el tipo de interfaz B. La profundidad de montaje disponible en el compartimento de cables permite la conexión de cables dobles y simples con descargadores de sobretensión en todos los tipos de celdas (Siemens, 2024).

Los interruptores de potencia de las celdas 8DJH 36 operan utilizando la tecnología moderna de corte en vacío, y la unidad de corte al vacío se encuentra montada en la cuba de la celda junto con el interruptor de tres posiciones, protegiéndola de las influencias ambientales. Los mecanismos de operación de los interruptores de potencia se encuentran fuera de la cuba, donde su operación está libre de mantenimiento (Siemens, 2024).

Los interruptores de potencia disponen del siguiente equipamiento básico:

- Mecanismo de funcionamiento libre de mantenimiento para el interruptor de potencia.
- Indicador de posición.

- Maniobra mecánica de cierre y apertura con pulsadores.
- Contador de ciclos de maniobra.
- Disparo libre según IEC.

Según Siemens (2024) el interruptor de tres posiciones tiene las características de equipamiento siguientes:

- Mecanismo a resorte libre de mantenimiento.
- Accionamiento manual de los mecanismos a resorte para seccionamiento y puesta a tierra mediante palanca giratoria.
- Indicadores de posición mecánicos para las funciones de seccionamiento y puesta a tierra.
- Dispositivo de inmovilización para impedir maniobras no autorizadas o no intencionadas.
- Bloque de contactos auxiliares con 2 inversores para la función de seccionamiento, así como 2 inversores para la función de puesta a tierra.

Los transformadores de corriente en las derivaciones son del tipo toroidal y se montan fuera de la cuba con puesta a tierra, eliminando así las tensiones dieléctricas. Por otro lado, los transformadores de tensión en las derivaciones y en el embarrado son de tipo inductivo. Estos también se montan fuera de la cuba y se conectan al pasatapas correspondiente mediante un enchufe (Siemens, 2024).

Las celdas 8DJH 36 se fundamentan en un concepto de servicio uniforme, lo que significa que las acciones y los instrumentos de control utilizados para una función específica son idénticos en cada celda. Además, el conjunto completo de enclavamientos mecánicos y eléctricos proporcionan un nivel máximo de seguridad para el personal y el mantenimiento, con fácil acceso y dispuestos de manera ergonómica en el frente de la celda (Siemens, 2024).

Para lograr una puesta a tierra efectiva de las celdas y sus componentes, los puntos de conexión en los compartimentos de cables de las celdas se conectan de manera conductora al sistema de puesta a tierra de la subestación. La puesta a tierra de los circuitos primarios de las salidas de cables se puede realizar siguiendo las cinco reglas de seguridad en funciones de línea, protección de transformador e interruptor de potencia (Siemens, 2024).

Para verificar la ausencia de tensión, las celdas 8DJH 36 ofrecen varios sistemas detectores de tensión capacitivos; las salidas de cables de las funciones de línea y las

funciones con interruptor de potencia siempre están equipadas con un sistema de este tipo. Los sistemas detectores de tensión para el embarrado pueden instalarse en las extensiones libres del embarrado en las celdas finales del conjunto (Siemens, 2024).

El sistema detector de tensión capacitivo es una interfaz para indicadores capacitivos que está integrado de forma permanente en el frente de la celda; este equipo cuenta con las siguientes características (Siemens, 2024):

- Libre de mantenimiento.
- Indicación de tensión LCD.
- Alimentación de tensión auxiliar.
- Tomas de ensayo integradas.
- Salida de relé con contacto libre de potencial para señales y enclavamientos.

2.4. Transformador de baja tensión

Los transformadores tipo seco se diseñan para ofrecer un rendimiento óptimo durante una vida de servicio sin interrupciones en las redes eléctricas; se utilizan para regular las tensiones de operación para equipos específicos. La instalación, operación y mantenimiento de los transformadores deben llevarse a cabo por personal autorizado, capacitado y calificado en la instalación, reparación y mantenimiento de equipos eléctricos.

Los transformadores de la marca Hammond Power Solutions deben cumplir con el estándar de seguridad eléctrica en el lugar de trabajo, que es la norma 70E de la NFPA y la CSA Z462. Es fundamental siempre utilizar estos equipos con los componentes de protección personal adecuados (EPP) para la instalación, manipulación, reparación y mantenimiento del equipo eléctrico (Hammond Power Solutions, 2024).

La mayoría de estos transformadores vienen con un gabinete de tipo 1, 2, 3R, 4 o 12; estas unidades pueden instalarse tanto en interiores como en exteriores según sea necesario. Sin embargo, si están equipadas con un gabinete de tipo 1 o tipo 2, están diseñadas exclusivamente para su uso en interiores; los gabinetes ventilados son recomendables para la instalación en interiores (Hammond Power Solutions, 2024).

Los estándares del NEC exigen que los transformadores sean accesibles para su inspección y que se ubiquen adecuadamente. Es importante evitar situarlos en áreas donde

los objetos almacenados puedan obstruir la convección de aire natural o dificultar la inspección. También se deben evitar las vías de paso u otras áreas donde las personas puedan estar expuestas a partes conectadas durante la inspección.

El tamaño del cable de conexión se determina según la clasificación de corriente en línea de los devanados primarios y secundarios de los transformadores, y puede seleccionarse en la información de la Tabla presentada a continuación. Se recomienda utilizar un cable clasificado para al menos 90 °C (194 °F) y con un tamaño basado en una ampacidad de 75 °C (167 °F).

Además, para la selección de conectores, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- a) Determine la corriente primaria para el transformador requerido.
- b) Determine la corriente nominal secundaria para el transformador.
- c) Para las conexiones de voltaje 120/240, la corriente debe basarse en 120 voltios.
- d) Para las conexiones de 240/480 voltios, la corriente debe basarse en 240 voltios.

(Hammond Power Solutions, 2024)

kVA	Corriente en amperes					
	208 V	240 V	480 V	600 V	2400 V	4160 V
3	8.33	7.22	3.61	2.89	0.72	0.42
6	16.7	14.4	7.22	5.77	1.44	0.83
9	25.0	21.7	10.8	8.66	2.17	1.25
15	41.6	36.1	18.0	14.4	3.61	2.08
30	83.3	72.2	36.1	28.9	7.22	4.16
45	125	108	54.1	43.3	10.8	6.25
75	208	180	90.2	72.2	18.0	10.4
100	278	241	120	96.2	24.1	13.9
112.5	312	271	135	108	27.1	15.6
150	416	361	180	144	36.1	20.8
225	625	541	271	217	54.1	31.2
300	833	722	361	289	72.2	41.6
450	1249	1082	541	433	108	62.4
500	1388	1203	601	481	120	69.4
600	1665	1443	722	577	144	83.3
750	2082	1804	902	722	180	104
1000	2776	2406	1203	962	241	139
1500	4164	3609	1804	1443	361	208
2000	5552	4811	2406	1925	481	278
2500	6940	6014	3007	2406	601	347
3000	8327	7217	3608	2887	722	416

Fuente: (Hammond Power Solutions, 2024).

Figura 5. Cuadro para la determinación de corrientes según potencia y tensiones.

Bajo condiciones y ambientes operativos normales, los transformadores tipo seco requieren mantenimiento e inspección periódicos. Esto es especialmente importante si la unidad se instala en condiciones ambientales adversas, como exteriores o ambientes con altos niveles de contaminación y polvo; se puede realizar una inspección periférica y limpieza del polvo externo está en funcionamiento (Hammond Power Solutions, 2024).

2.5. Tablero de baja tensión tipo Switchboard

Los tableros autoportados de distribución, como los tipos FCI, FCII, FCIII, SBMI, SBMII y SBMIII de la marca Siemens, ofrecen una amplia gama de aplicaciones en sistemas de distribución. Estos forman parte del programa de fabricación de tableros normalizados de

baja tensión que cumplen con las normas eléctricas vigentes en el territorio nacional (Siemens México, 2024):

- NMX-J-118/1-ANCE-2000 NMX-J-118/2-ANCE-2000
- NMX-J-235/1-ANCE-2000 NMX-J-235/2-ANCE-2000

Los tableros de distribución tipo *switchboard*, al contar con secciones para interruptor general, zapatas generales y celdas de acoplamiento, pueden utilizarse como tableros principales integrales en plantas industriales, grandes complejos y medianas industrias. Su diseño permite alojar interruptores electromagnéticos como principales y una gran cantidad de interruptores termomagnéticos como derivados (Siemens México, 2024).

La fabricación de los tableros autosoportados para montaje en piso se realiza utilizando acero laminado en frío, con una estructura de calibre 12 y tapas fabricadas en calibre 14. Estos tableros se terminan con pintura electrostática a base de polvo epóxico de color gris ANSI 61. Las barras colectoras principales están fabricadas en cobre electrolítico estañado o plateado y se colocan en posición vertical (Siemens México, 2024).

Las barras están soportadas y separadas por aisladores, y la alimentación de estas puede ser desde la parte superior o desde la parte inferior, según las necesidades del proyecto. El tablero está equipado con tapas superior e inferior que cuentan con ventilación para el enfriamiento por convección de los interruptores y las barras. La tapa del interruptor general es abatible mediante bisagras y se cierra con compresión (Siemens México, 2024).

En la parte superior de la tapa se encuentra otra tapa abisagrada con chapa de presión, diseñada para colocar el equipo de medición analógico o digital. Los tableros tienen dos puertas de cableado con bisagras, que se cierran con tornillos para proporcionar un acceso rápido a los interruptores para su montaje y cableado. El espacio destinado al cableado está calculado para evitar problemas con los cables de alimentación (Siemens México, 2024).

Las tapas laterales y traseras están atornilladas, lo que permite desmontarlas fácilmente para facilitar el montaje del equipo o el mantenimiento general. Los interruptores termomagnéticos se instalan en el gabinete utilizando conectores específicos para cada interruptor. Estos conectores incluyen barras de cobre adecuadas para la conexión eléctrica, soportes para la conexión mecánica y tapas frontales (Siemens México, 2024).

2.6. Diseño de planos

En el reglamento para el trámite de planos y la conexión de los servicios eléctricos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, se exponen en el Capítulo III los requerimientos de diseño para sistemas eléctricos. Esto con el fin de que todos los planos eléctricos se ajusten a las buenas técnicas y a los avances científicos para que la calidad de las obras esté de acuerdo con las normas establecidas. Se presentan entonces los artículos contenidos en esta sección del reglamento para su aplicación en el proyecto (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2012):

- Artículo 11. Elaboración de planos. Todo proyecto de ingeniería o arquitectura que incluya una necesidad de sistemas eléctricos deberá contar con la elaboración y presentación de planos de dichos sistemas
- Artículo 12. Normas Técnicas. El diseño de todo proyecto eléctrico y sus correspondientes planos, deberán cumplir donde correspondan, con las siguientes normas técnicas en su última versión vigente:
 - Decreto ejecutivo No. 41505 del 08 de febrero de 2019, “Reglamento de Oficialización del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y la Propiedad” y sus reformas
 - Norma NFPA-70, “Código Eléctrico Nacional” (NEC, por sus siglas en inglés)”, en su última versión traducida al español comunicada oficialmente por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC) en el Diario Oficial La Gaceta
 - Norma NFPA 70 E “Norma para la seguridad eléctrica de los empleados en los lugares de trabajo”, en su última versión traducida al español
 - Otras normas aprobadas por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) de aplicación al objeto del presente reglamento.
 - Otras normas aprobadas por el CFIA de aplicación al objeto del presente reglamento.

2.7. Puesta en marcha y pruebas

Las pruebas generales en celdas y transformadores pueden incluir, entre otras, las siguientes, según las recomendaciones de Smart Field Services (2024):

- Verificación de la continuidad eléctrica: Se asegura de que todas las conexiones eléctricas estén correctamente establecidas y que no haya cortocircuitos ni interrupciones en el flujo de corriente
- Medición de la resistencia de aislamiento: Se evalúa la resistencia del aislamiento entre las diferentes partes conductoras y la carcasa del equipo para detectar posibles fallos en el aislamiento
- Pruebas de funcionamiento: Se realizan pruebas funcionales para asegurar que los interruptores, relés y otros dispositivos de control operen correctamente según lo especificado
- Verificación de parámetros eléctricos: Se miden y comparan parámetros como voltaje, corriente, potencia y factor de potencia para asegurar que se encuentren dentro de los límites aceptables

Por otro lado, las pruebas de *hipot* (*hipotest*) son pruebas de alta tensión que se realizan para evaluar la resistencia dieléctrica de los aislamientos en equipos eléctricos. Estas pruebas implican aplicar un voltaje superior al nominal a los conductores y componentes aislados para detectar cualquier debilidad en el aislamiento que pueda causar un fallo eléctrico o un riesgo de descarga eléctrica (Smart Field Services, 2024).

2.8. Mediciones energéticas

Algunos de los instrumentos de medición utilizados en la industria son los productos de medición energética, como el SENTRON 7KM4212-0BA00-2AA0. Este es un dispositivo de medición trifásico 7KM PAC4200 con una pantalla y comunicación Modbus posible. El instrumento logra medir energía aparente, activa, reactiva, factor de potencia, armónicos, potencia de amplio rango, entre otros, basados en IEC (SiePortal, 2024).

Algunos conceptos importantes que se deben considerar son los siguientes, definidos por la norma técnica AR-NT-SUCAL 2015: baja tensión se refiere a los niveles menores o

iguales a 1 000 V, media tensión es cuando los niveles van de 1 kV a 100 kV, y alta tensión hace referencia a los niveles superiores a los 100 kV. En el desarrollo de este rediseño se tomaron solamente en cuenta la baja y media tensión, según sea el caso.

Para los efectos de este informe, se toman los requerimientos de la norma técnica para la supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCAL 2015 en sus siguientes artículos:

- Artículo 8: En las redes de distribución los valores eficaces (RMS) de tensión nominal estarán comprendidos, según se muestran en la siguiente Tabla:

Sistema	Tensión	
	Entre líneas activas (Volt)	Entre líneas activas y neutro (Volt)
Monofásico bifilar ¹	-	120
Monofásico trifilar	240	120
Bifásico trifilar	208	120
Trifásico, 4 conductores ²	208	120
Trifásico, 4 conductores ³	480	277
Trifásico, 3 conductores ⁴	240	-
Trifásico, 4 conductores ⁵	240	120
Trifásico, 3 conductores ⁴	480	-
Trifásico, 4 conductores ⁵	480	240

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 6. Cuadro de valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución.

- Artículo 9: Los intervalos de tensión de servicio, "normal" y "tolerable", representan los límites máximos y mínimos de tensión permisible, ante los cambios de carga y potencia en el sistema de distribución, bajo condiciones normales de operación:

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	114/22 8	126/252	110/220	127/254
Bifásico trifilar 120/208	114/19 7	126/218	110/191	127/220
Trifásico 120/208, conexión estrella	114/19 7	126/218	110/191	127/220
Trifásico 277/480, conexión estrella	263/45 6	291/504	254/440	293/508
Trifásico 240, conexión delta	228	252	220	254
Trifásico 480, conexión delta	456	504	440	508

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 7. Cuadro de intervalos normales y tolerables del valor de baja tensión.

- Artículo 10: En condiciones normales, para cada período de una semana, el 95 % de los valores eficaces de la tensión de servicio (V_s), promediados en diez minutos, deben situarse en el intervalo normal indicado en el artículo 9.

Para efectos de evaluación de la calidad de la tensión de suministro, los valores de tensión promediados en diez minutos, que se registren, dadas las características del equipo de medición y registro, como fuera del rango tolerable a consecuencia de interrupciones del servicio, no se contabilizarán.

Se permitirá que durante el 5 % del tiempo restante, los valores promedio de la tensión de servicio V_s estén fuera del rango tolerable, siempre y cuando no se presenten valores fuera del mismo en registros consecutivos y los valores de amplitud de la tensión de servicio, en dichos periodos consecutivos, no sean inferiores al 87 % o superiores al 113 % de la tensión nominal.

- Artículo 11: En el caso de sistemas trifásicos, la empresa distribuidora deberá diseñar y operar la red de distribución, de forma tal que, en condiciones normales, para un periodo de siete días consecutivos, el 95 % de los valores eficaces, calculados en 10 minutos, de la componente inversa de la tensión de suministro debe situarse entre el 0 y el 3 % de la componente directa.

El desbalance de la tensión se expresa en términos porcentuales, calculado de la siguiente forma:

$$D = \frac{100 \times |\Delta_{max}|}{V_{prom}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- D = Porcentaje de desbalance (%)
- $|\Delta_{max}|$ = Valor absoluto de la mayor diferencia entre cualquiera de los valores de tensión fase a fase y el valor promedio de las tensiones fase a fase
- V_{prom} = Tensión promedio de las tres tensiones fase a fase
- Artículo 12: En condiciones normales, para cada período de siete días consecutivos, el 95 % de los valores eficaces de cada tensión armónica promediados en 10 minutos, no debe sobrepasar el 3 % del valor de tensión nominal. Además, la tasa de distorsión armónica total de la tensión (TDA) suministrada no debe sobrepasar el 5 %.

$$TDA = \sqrt{\sum_{h=2}^{20} (V_h)^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde: (V_h) es la amplitud relativa de la tensión armónica de orden h, en relación con la fundamental V_f , hasta la armónica individual número 20.

- Artículo 13: Las empresas eléctricas velarán porque los abonados o usuarios de tipo industrial y general, con servicios trifásicos ajusten sus instalaciones y equipamiento con el fin de que la distorsión armónica de la corriente en el punto de entrega se encuentre dentro de los límites establecidos en la siguiente Tabla:

LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE PARA USUARIOS CONECTADOS EN REDES GENERALES DE DISTRIBUCIÓN.				
(Tensión de 120 a 69000 Volt)				
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 20$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	20.0

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 8. Cuadro de límites de distorsión armónica de corrientes para usuarios del servicio.

En donde:

- h: Orden de la armónica
- I_{sc} : Máxima corriente de cortocircuito en el punto de entrega
- I_L : El valor RMS de la máxima corriente activa demandada por la carga durante el período de medición
- TDA: Tasa de distorsión armónica total de la tensión
- TDD: Tasa de distorsión total de corriente, como un porcentaje de la máxima corriente activa demandada por la carga

La tasa de distorsión total de la corriente (TDD) se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{20} (i_h)^2}}{i_L} \text{ Ecuación 3}$$

En donde:

- i_h = El valor RMS de la corriente activa armónica individual de orden h
- i_L = El valor RMS de la máxima corriente activa demandada por la carga durante el período de medición

- Artículo 14: En condiciones normales, durante el 95 % del tiempo, para cada período de una semana, el nivel de severidad de larga duración del parpadeo ligado a las fluctuaciones de la tensión (Plt), debe ser inferior a 1.

Para el cálculo de la severidad de larga duración de parpadeo ligado a las fluctuaciones de tensión Plt, se usará la siguiente fórmula:

$$P_{1t} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3}{12}} \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

- Psti = Severidad de corta duración medida en un período de diez minutos, definido por la norma IEEE 1453 vigente.
- Plt = Severidad de larga duración calculada a partir de una secuencia de 12 valores de Pst en un intervalo de dos horas.
- Artículo 16: Los valores eficaces (RMS) de tensión nominal (Vn) para las redes de distribución de media tensión, tanto en distribución aérea como subterránea se establecen como se indica 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

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 9. Cuadro de valores eficaces de tensión nominal en redes de distribución aéreas.

- Artículo 17: En condiciones normales, la amplitud de la tensión de servicio (Vs) de valor eficaz (RMS), en redes generales de distribución a media tensión, debe estar comprendida en los intervalos: normal ($\pm 5\%$ de los valores nominales) y tolerable ($\pm 10\%$ de los valores nominales) que se muestran en la siguiente Tabla:

Sistema - Vs/Intervalo	Normal (Volt)		Tolerable (Volt)	
	V _{min}	V _{máx}	V _{min}	V _{máx}
Trifásico 4 conductores				
4 160/2 400	3 952/2 280	4 368/2 520	3 744/2 160	4 576/2 640
13 200/7 620	12 540/7 239	13 860/8 001	11 880/6 858	14 520/8 382
13 800/7 970	13 110/7 572	14 490/8 369	12 420/7 173	15 180/8 767
24 940/14 400	23 693/13 680	26 187/15 120	22 446/12 960	27 434/15 840
34 500/19 920	32 775/18 924	36 225/20 916	31 050/17 928	37 950/21 912
69 000/39 840	65 550/37 848	72 450/41 832	62 100/35 856	75 900/43 824

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 10. Cuadro de intervalos normales y tolerables del valor de tensión de servicio.

Los intervalos de tensión de servicio, "normal" y "tolerable", representan los límites máximos y mínimos de tensión permisibles, ante los cambios de carga y potencia en el sistema de distribución, bajo condiciones normales de operación.

- Artículo 25: Las condiciones para las pruebas de medición y registro de los parámetros eléctricos, de acuerdo con las características del servicio se indican en la siguiente Tabla:

Tipo de servicio	Puntos de Medición	Parámetros	Variaciones rápidas	Tiempo de Prueba
Monofásico bifilar	Línea activa – Neutro	Tensión	- Huecos de tensión - Picos de tensión - Parpadeo	7 días naturales
Monofásico trifilar	Líneas activas – Neutro	Tensión	- Huecos de tensión - Picos de tensión - Parpadeo	
Trifásico estrella	Fases – Neutro Entre fases	Tensión, Desbalance de tensión.	- Huecos de tensión - Picos de tensión - Tensiones Armónicas - Parpadeo	
Trifásico delta	Fases - Neutro Entre fases	Tensión Desbalance de tensión.	- Huecos de tensión - Picos de tensión - Tensiones armónicas - Parpadeo	

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 11. Cuadro de parámetros eléctricos a registrar según tipo de servicio.

- Artículo 27: La siguiente Tabla muestra los valores de umbral con que deben ajustarse los equipos para la realización de pruebas de calidad de la tensión de suministro, según las características del servicio:

Categoría de Servicio	Categoría de Evento	Valores de Umbral (Volts rms)	Porcentaje de la Tensión Nominal
Monofásico bifilar	Hueco de tensión	104	87% de Vn
	Pico de tensión	138	115% de Vn
	Impulso	240	200% de Vn
Monofásico Trifilar	Hueco de tensión	104/209	87% de Vn
	Pico de tensión	138/276	115 % de Vn
	Impulso	240/480	200 % de Vn
Trifásico	Hueco de tensión	104/181Y - 209 Δ	87% de Vn
	Pico de tensión	138/239Y - 276 Δ	115% de Vn
	Impulso	240/416Y - 480 Δ	200 % de Vn
	Tensiones Armónicas	3% de Vn	Para cada tensión armónica
		5% TDA	Armónicas hasta orden 20
	Desbalance	3%	
	Corrientes armónicas	5% a 20 % TDD	Refiérase a lo indicado en el artículo 13.

Y: Conexión estrella aterrizada. Δ : Conexión delta. TDA: Total distorsión armónica del tensión. TDD: Total de distorsión de demanda de corriente

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 12. Cuadro de ajuste de valores de umbral de equipos para pruebas de calidad.

- Artículo 29: En cada prueba de la calidad de la tensión de suministro que se realice se confeccionará un gráfico en el que se ilustre la distribución de la frecuencia o cantidad de valores correspondientes a cada clase de segregación de datos de acuerdo con la siguiente Tabla:

Categoría de parámetro	Clases	Clase (Dm)%
Tensión	1	$V_n \leq 87$
	2	$87 < V_n \leq 91$
	3	$91 < V_n \leq 93$
	4	$93 < V_n < 95$
	5	$95 \leq V_n \leq 105$
	6	$105 < V_n \leq 107$
	7	$107 < V_n \leq 109$
	8	$109 < V_n \leq 113$
	9	$113 < V_n$

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015).

Figura 13. Cuadro de segregación de clases para la confección de grafico de valores.

Donde:

- Dm: Valor medido en porcentaje con respecto al nominal

(Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015)

2.9. Seguridad eléctrica y norma NFPA 70E

Para determinar las necesidades de capacitación del personal, se debe realizar un estudio del sistema eléctrico para identificar los principales puntos de peligro dentro de la planta. Se deben señalar los dispositivos de protección y evaluar los más cercanos al punto crítico para que se desconecten ante una emergencia, minimizando el impacto del riesgo eléctrico presente. Según la norma NFPA 70E, se debe calcular la energía incidente durante un arco eléctrico para determinar los niveles de peligro y proporcionar la protección personal necesaria. Estas pueden ser prendas contra incendios, escudos faciales y guantes aislantes contra altas temperaturas. Es importante conocer el equipo utilizado para cada fin y tener disponibilidad de este en todo momento (National Fire Protection Association [NFPA], 2024).

También es importante definir las barreras de seguridad y las zonas restringidas para el personal autorizado y debidamente capacitado. Se deben generar una serie de procedimientos para tareas eléctricas y capacitar al personal a cargo para llevar a cabo estas actividades. En este caso, se crea un plan de capacitaciones basado en la norma NFPA 70E para el desarrollo del plan (NFPA, 2024).

Asimismo, es importante realizar inspecciones según los planes de mantenimiento definidos por Smart Field Services para garantizar que el equipo esté en condiciones óptimas y que los procedimientos de seguridad sean efectivos. La seguridad eléctrica requiere una actualización constante y un compromiso de todas las partes para llevarse a cabo correctamente.

Se definen como riesgos una combinación de probabilidades para la ocurrencia de heridas o daños a la salud y la severidad de las heridas o el daño a la salud que resulta de un peligro. En este caso, la NFPA 70E define los requisitos para prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad eléctrica en su artículo 110, los cuales se presentan a continuación para el desarrollo del informe sobre el rediseño eléctrico (NFPA, 2024):

- 110.1 Programa de seguridad eléctrica: El empleador debe implementar y documentar un programa general de seguridad eléctrica que ordene las actividades adecuadas para los riesgos relacionados con los peligros eléctricos.
- 110.2 Requisitos de entrenamiento: Las exigencias de entrenamiento deben aplicar a los empleados que enfrentan un riesgo de peligro eléctrico que no está reducido a un nivel seguro mediante los requerimientos aplicables para instalaciones eléctricas.
- 110.4 Instrumentos de prueba y equipos: Solo las personas calificadas deben llevar a cabo tareas tales como pruebas, inspecciones y mediciones de tensión en equipos eléctricos que operan en voltajes iguales o superiores a 50 voltios.

Según la NFPA (2024), los límites de arco eléctrico según grado de peligro se dividen en las siguientes categorías:

- Frontera de protección contra choque: Esta es la distancia a la que una persona debe mantenerse de una fuente que podría generar un arco eléctrico.
- Frontera de aproximación limitada: Delimita la distancia entre una persona y un conductor o parte del circuito energizado. Solo el personal calificado o el personal no calificado bajo supervisión de un calificado, utilizando el equipo de protección personal, puede ingresar a esta zona.
- Frontera de aproximación restringida: Establece una distancia de seguridad con respecto a un conductor o parte del circuito energizado. Solo el personal calificado tiene autorización para ingresar a esta área.

- Frontera de aproximación prohibida: Marca la distancia que debe mantener cualquier persona con respecto a un conductor o parte del circuito energizado.

demás, la NFPA 70E, en su artículo 120.5, determina una serie de aspectos para garantizar un entorno de trabajo eléctricamente seguro (NFPA, 2024):

- Determinar todas las posibles fuentes de alimentación de energía eléctrica al equipo específico. Revisar los planos, diagramas y etiquetas de identificación que sean aplicables y se encuentren actualizados.
- Después de interrumpir la corriente de carga apropiadamente, abrir el dispositivo(s) de desconexión para cada fuente.
- Siempre que sea posible, verificar visualmente que todas las cuchillas de los dispositivos de desconexión estén completamente abiertas o que los interruptores automáticos extraíbles se encuentren en la posición de desconexión total.
- Liberar la energía eléctrica almacenada.
- Liberar o bloquear la energía mecánica almacenada.
- Instalar los dispositivos de bloqueo y etiquetado según lo disponga el procedimiento establecido y documentado.
- Utilizar un equipo de prueba portátil con el adecuado valor nominal para probar cada conductor de fase, o cada parte de circuito, para comprobar que se encuentran desenergizados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Situación actual en planta

Como resultado del apoyo recibido de los encargados de FHACASA, se lograron obtener los planos del catastro, distribución de media tensión y distribución de baja tensión presentados más adelante en la Figura 23, Figura 24 y Figura 25 respectivamente. Se realizó una inspección visual de la planta en comparación con los documentos y se identificaron los principales puntos de interés para el rediseño, todo esto con la supervisión técnica de los electricistas de Smart Field Services.

Después de realizar un análisis general de la situación actual, se identificaron los equipos con mayor antigüedad dentro del sistema y aquellos que presentan un mayor riesgo de fallo en relación con los acontecimientos pasados. Este reconocimiento de componentes también se marca en los planos compartidos (Apéndice 2: Planos actuales) para relacionarlos con la red eléctrica interna.

Basándose en los dibujos actuales y las primeras visitas a la planta, se está generando un nuevo plano eléctrico (Apéndice 3: Planos nuevos) en el cual se comienzan a enumerar las mejoras que se deben realizar en el sistema. Dado que la producción debe ser continua, los estudios de los ramales, calibres del cableado, protecciones y mediciones se tuvieron que programar con los gerentes para interrumpir al mínimo la fabricación.

La fábrica actualmente se alimenta por medio de un poste de distribución eléctrica en media tensión a 34,5 kV del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), de donde se alimenta la fábrica con ayuda de postes privados con cableado aéreo triásico a 34,5 kV con protecciones de fusible de expulsión en cortocircuitos. El cableado se traslada a través de la planta por medio de 3 circuitos principales: uno que alimenta el cuarto eléctrico a 480 V con capacidad de 2000 A, otro relacionado con los motores principales de la planta a 480/277 V con capacidad de 1600 A, y otro para circuitos monofásicos básicos a 240/120 V con capacidad de 350 A.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Distribución de postes para el cableado interno de FHACASA.

Uno de estos postes internos transporta el cableado en transición aéreo-subterránea en canalización en PVC hasta un banco de transformadores monofásicos tipo poste de 500 kVA cada uno, que reducen la tensión desde los 34,5 kV hasta los 480 V para los equipos del cuarto eléctrico. El proyecto por su parte se concentra en esta parte de la fábrica ya que es la que requiere una intervención según las fallas presentadas y sus equipos obsoletos, además de que en los escasos planos actuales no se encuentra esta sección.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Banco de transformadores monofásicos tipo poste.

A la tensión de 408/277 V en el cuarto eléctrico se conecta un tablero principal tipo Switchboard y a su vez con un voltaje de 208/120 V un tablero tipo P5 de Siemens en una canalización subterránea. El interruptor principal del primer tablero es de 1600 A y del segundo es de 1200 A, esto principalmente para alimentar los diferentes transformadores que se tienen y las cargas menores a lo largo de la planta respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Tablero tipo P5 del cuarto eléctrico y sus cargas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Tablero tipo Switchboard del cuarto eléctrico y sus cargas.

A continuación, se presenta la distribución actual de los tableros mencionados y sus respectivas cargas ramales:

Tabla 2. Distribución del tablero principal del cuarto eléctrico.

Tablero Principal (TP-CE)			
Switchboard Siemens	1600 A	3 Polos	480 V
Ramal	Corriente (A)	Polos	tensión (V)
Transformador seco 75 kVA	125	3	480
Transformador seco 150 kVA	225	3	480
Panel de harinas A	600	3	480
Panel de molinos A	800	3	480

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Distribución del tablero general del cuarto eléctrico.

Tablero General (TG-CE)			
P5 Siemens	1200 A	3 Polos	480/277 V
Ramal	Corriente (A)	Polos	tensión (V)
Panel de molinos B	1200	3	277
Tablero iluminación	125	2	277
Banco de capacitores	800	3	277
Panel de harinas B	300	3	277

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con el análisis de red eléctrica se procede a analizar detenidamente las placas de los equipos dentro del cuarto eléctrico, en este punto se identifican los años de fabricación y las características técnicas de tensión, corriente, potencia, etc. Es importante conocer el requerimiento eléctrico de cada componente y sus conexiones para proporcionar un reemplazo adecuado a las necesidades de la planta.

SIEMENS


Switchboard Type/Cat. No.		SB3 REV. A	
S.O.	3005092768-020010-01	Location	S
System	480V Delta AC	60HZ 3Ø 3W Δ	
Enclosure Type	1	Manufacturing Date	10/2014
Supply	Section	Bus	
1600A	1600A	Mains	
NONE	NONE	Neutral	

The short-circuit current rating of this switchboard section is 42,000 RMS symmetrical amperes at 480 volts max. The short-circuit current rating is limited to the lowest short-circuit current rating of any switchboard section connected in series, any installed circuit breaker or fused switch other than those located in a control circuit, the short-circuit current rating marked on the switchboard of any installed combination series-connected circuit breaker or any installed panelboard having a marked short-circuit current rating. Additional or replacement devices (other than a fuse) shall be of the same manufacturer, type designation and equal or greater interrupting rating.

This section contains a grounding terminal.

UL LISTED **DEADFRONT SWITCHBOARD SECTION**
 1 OF 2
 No. G 844504
Printed in U.S.A.

Breaker handle in intermediate position indicates tripped. To reset, move handle to extreme off position, then on.



⚠ DANGER

Hazardous voltage. Will cause death or serious injury.

Keep out. Qualified personnel only. Disconnect and lock off all power before working on this equipment.

Siemens Industry, Inc.
Norcross, GA

For emergency service call 1-800-241-4453


15-A-1033-01 Rev. 2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Placa de tablero tipo Switchboard con año de fabricación del 2014.

SIEMENS

Cat. No.:	P5E90ML120ATS	Type:	P5	Location:	S
S.O.:	3002320736	Item No.:	001900	Date:	07/23/2009
Customer Marking:	D(2)		1,200 Amps max.		
System:	480Y/277 3 PH 4 W				
Minimum size UL listed cabinet or cut out box for this panel: 13 DP x 90 H x 38 W					
<small>Suitable for use as service equipment with a main overcurrent device or when not more than six main disconnecting means are provided and when not used as a lighting and appliance branch circuit panelboard. (NEC Articles 230.71 and 408.34)</small>					



⚠ DANGER

Hazardous voltage. Will cause death or serious injury.

Keep out. Qualified personnel only. Disconnect and lock off all power before working on this equipment.

Breaker handle in intermediate position indicates tripped. To reset, move handle to extreme off position, then on. Short circuit information is located on rear of this cover.

Siemens Energy & Automation, Inc.
Atlanta, GA U.S.A.

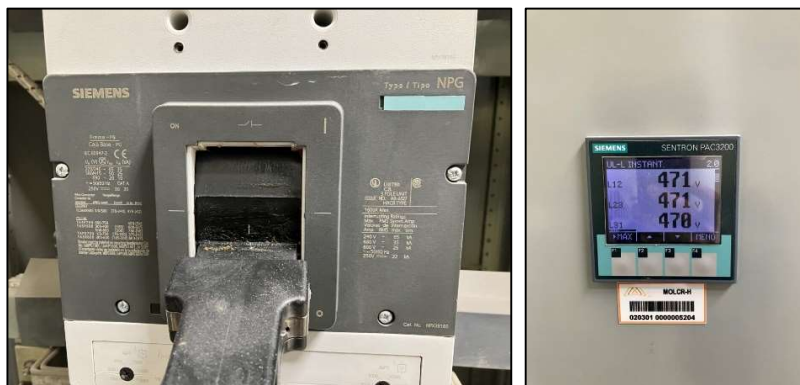
For emergency service call 1-800-241-4453

15-A-1028-01 Rev. 6

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Placa de tablero tipo P5 con año de fabricación del 2009.

Entrando en cada uno de los tableros se puede verificar visualmente el estado y funcionamiento correcto de los interruptores principales y dispositivos de medición, se sigue el diagrama eléctrico existente para anotar incumplimientos que existan. El trabajo de inspección se completó gracias a un paro momentáneo de la fábrica y los permisos debidamente firmados para un trabajo seguro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Interruptor principal y dispositivo de medición del tablero tipo Switchboard.

Además, se procede a visualizar el estado del cableado interno para estos componentes, donde también se comprueba la continuidad de la corriente entre cada conexión con multímetros y el estado físico de las barras principales con observación. Las pruebas en el tablero principal tipo Switchboard de tensión, corriente y potencia se realizaron por medio de instrumentos como el amperímetro de gancho Fluke y analizadores de la calidad de la energía, los resultados de estas pruebas se presentan desde la Tabla 10 hasta la Tabla 16 de la sección 3.5.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Estado de cableado interno y barras del tablero tipo Switchboard.

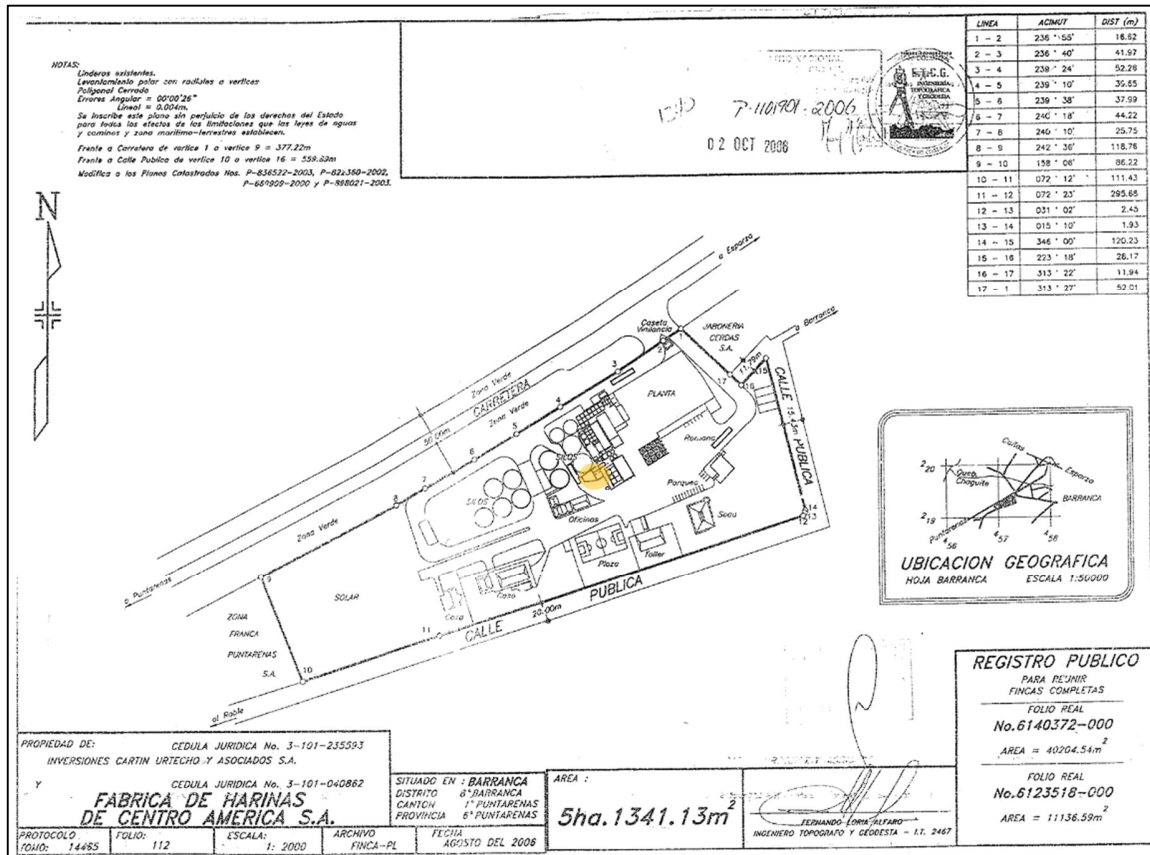


Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Estado de cableado interno y barras del tablero tipo P5.

3.2. Planos y diagramas unifilares

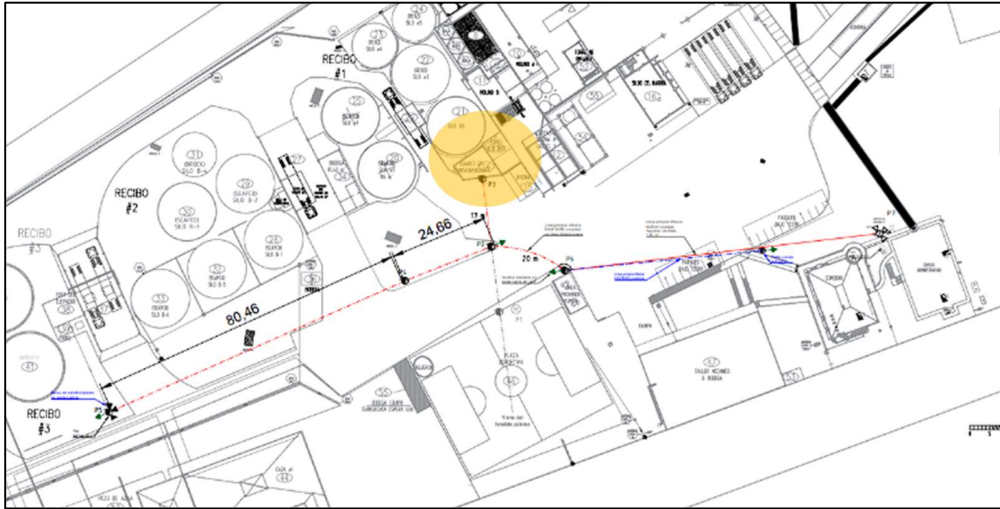
Los encargados de la planta también facilitaron la obtención de los siguientes planos eléctricos para su análisis según las necesidades encontradas por medio de las visitas y sus principales mejoras identificadas. Primeramente, se observa el plano catastro de la fábrica, donde se identifica su localización y distribución general de espacios para la producción según el terreno de 1341,13 m² total, en donde se centra el rediseño en la porción del cuarto eléctrico señalado en amarillo en la Figura 23.



Fuente: (Apéndice 2: Planos actuales).

Figura 23. Plano catastro de la propiedad FHACASA del 2006.

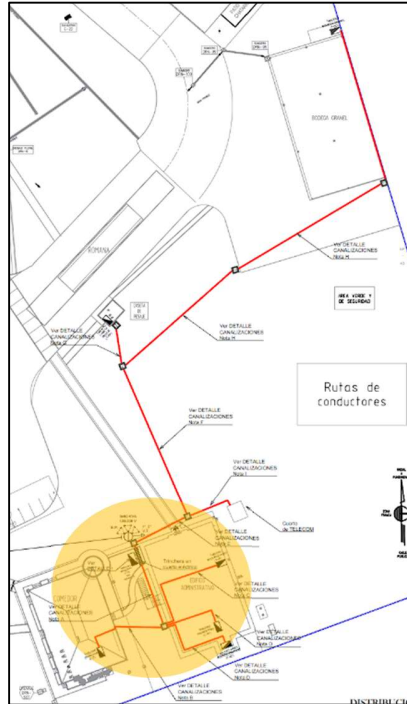
Posteriormente, gracias a la distribución de media tensión se pueden identificar las ubicaciones de los ductos eléctricos marcados en rojo y la posición de los equipos utilizados en la red eléctrica para la distribución de corriente como transformadores e interruptores. Con la ayuda de estos planos se genera una visión de lo aportado en las visitas y se concentra en mejoras a realizar dentro del cuarto eléctrico (marcado en amarillo en la Figura 24) ya que en los planos actuales no se encuentra especificada eléctricamente esta área.



Fuente: (Apéndice 2: Planos actuales).

Figura 24. Distribución de media tensión de FHACASA en 2022.

Finalmente, con la ayuda de la distribución eléctrica de baja tensión se identifican los espacios en baja tensión que no son del cuarto eléctrico (marcado en amarillo en la Figura 25), y se reafirma que no se encuentra en planos el sistema del cuarto eléctrico. Basado en los requisitos técnicos de potencia y tensión de lo que no se encuentra en planos, y la corroboración visual de estos, se procede a centrarse plenamente en las mejoras y rediseño del cuarto eléctrico.

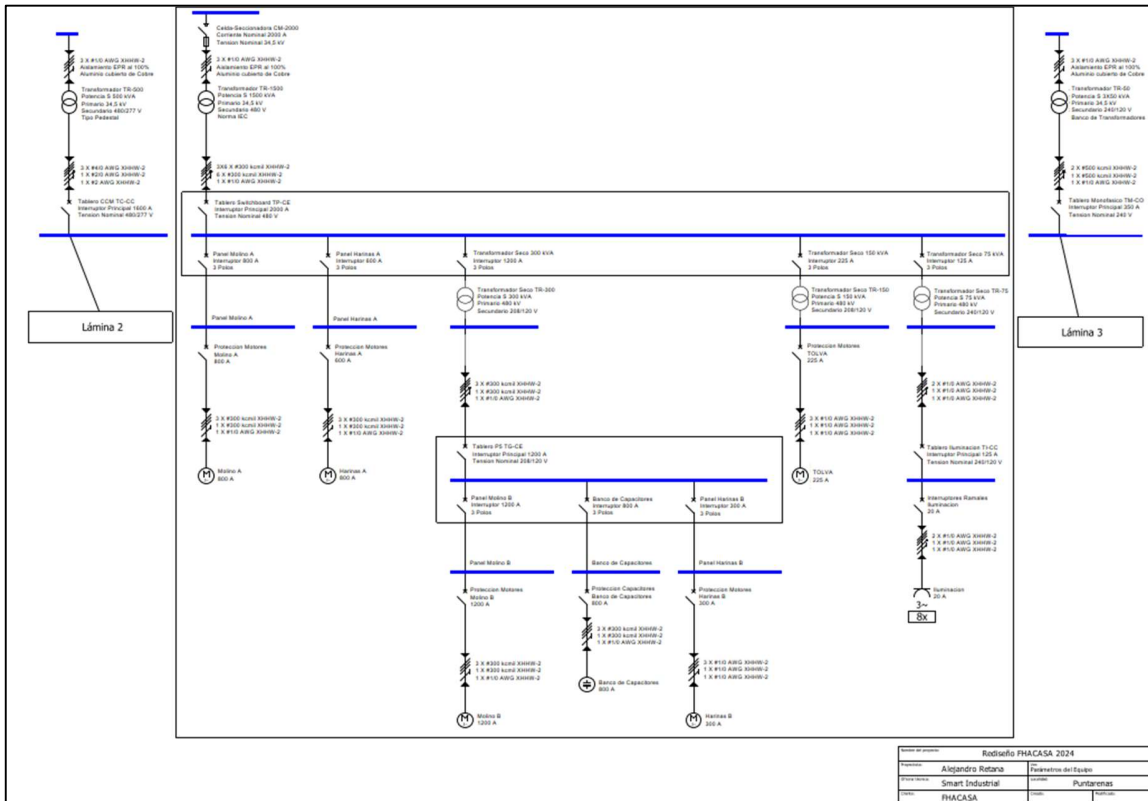


Fuente: (Apéndice 2: Planos actuales).

Figura 25. Distribución de baja tensión de FHACASA en 2022.

Basándose en las inspecciones visuales, planos compartidos y requerimientos para la mejora del sistema eléctrico; se presenta el siguiente diagrama unifilar de la planta FHACASA como base para los nuevos planos. La canalización y cableado inicial se mantienen y se agrega una celda de media tensión para la protección de la red, además se reemplazan los transformadores tipo poste por un transformador de potencia de 1500 A preliminarmente en media tensión.

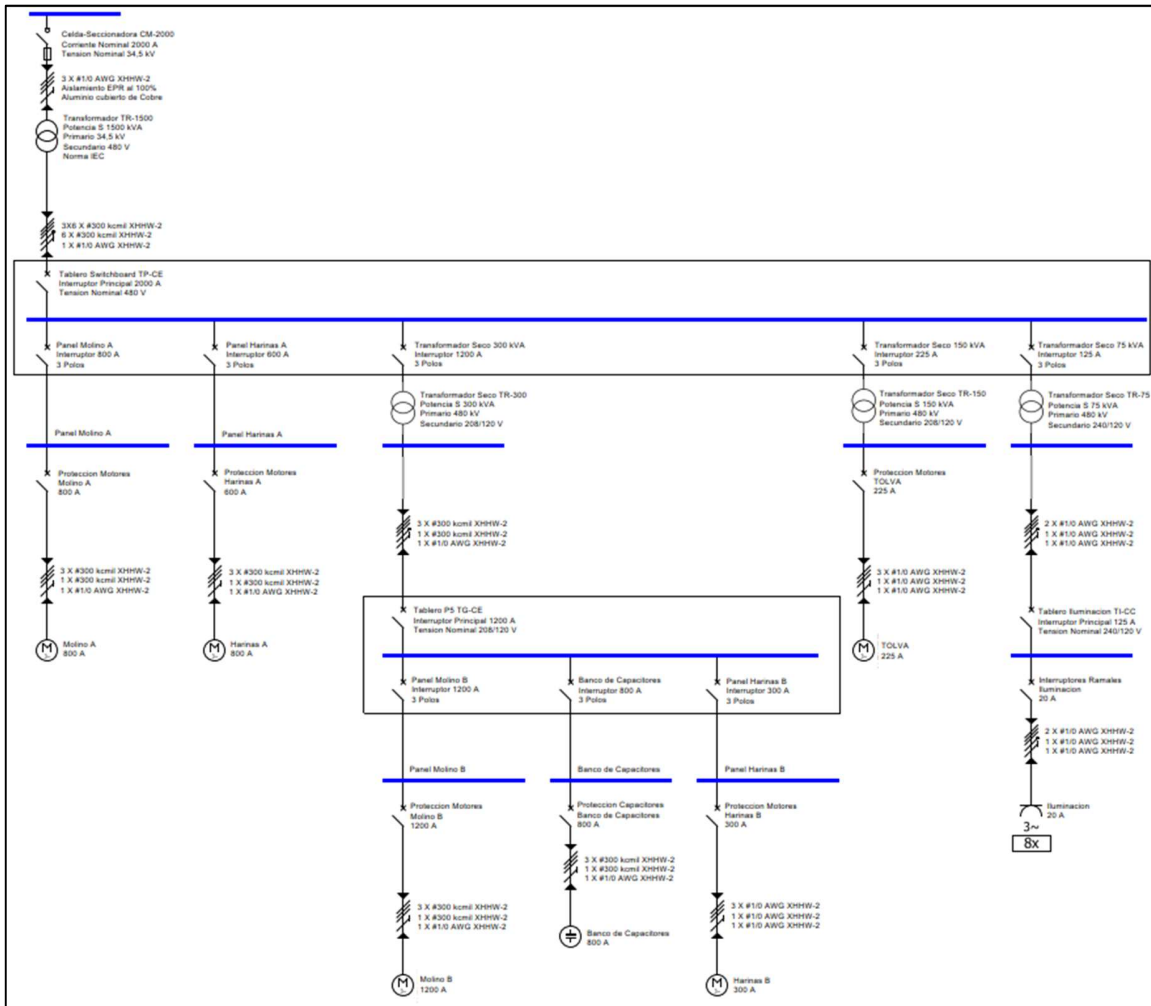
La distribución planteada se obtiene al tomar en cuenta lo indicado por el Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea del CFIA (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2021), en donde se indica que para una subestación como la del cuarto eléctrico se deberá contar fundamentalmente con una celda de seccionamiento y protección primaria. En cuanto al transformador de potencia se considera que el banco de transformadores tipo poste es un producto obsoleto y se debe reemplazar por uno trifásico que cubra la misma capacidad de 2000 A con tensión de 480 V (mayor a los 1000 kVA).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Diagrama unifilar preliminar de la planta FHACASA 2024.

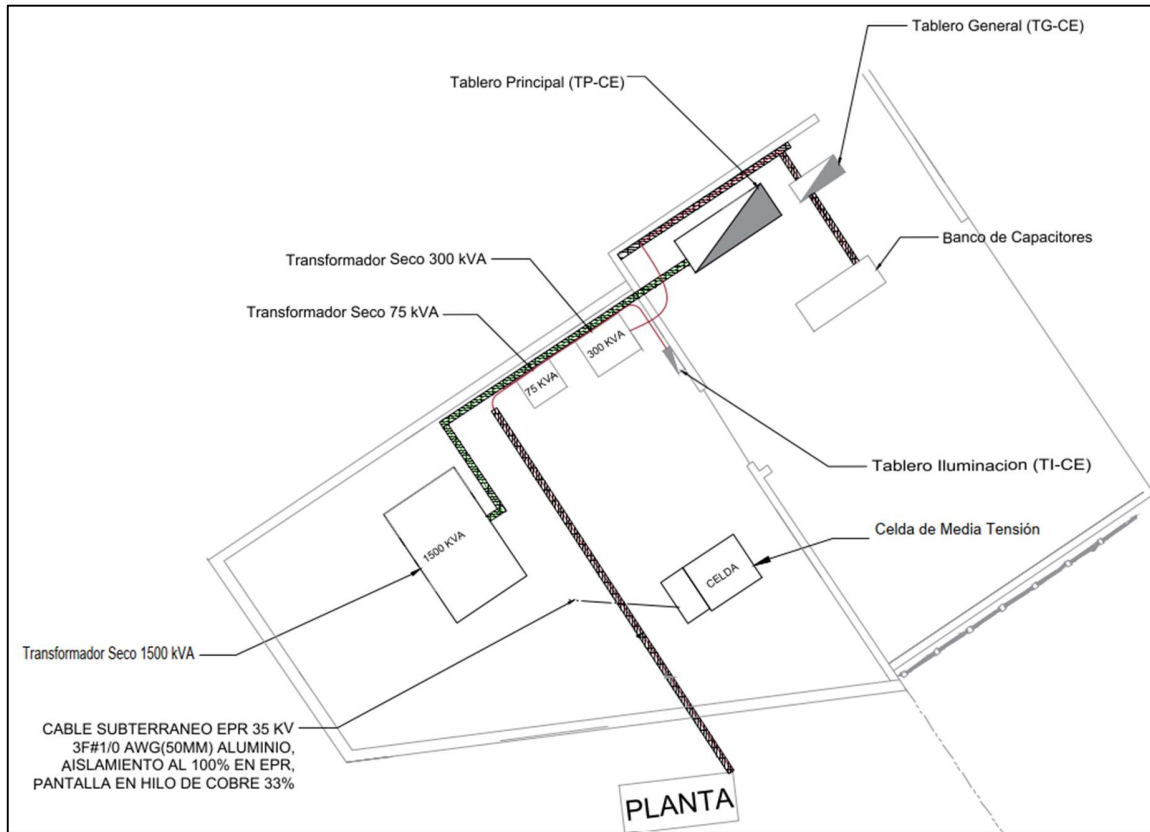
Para el caso del cuarto eléctrico en media y baja tensión se obtiene el siguiente diagrama unifilar base para los nuevos planos, donde se agrega un transformador nuevo de 300 kVA (mayor a 250 kVA) para el paso del Switchboard al tablero P5 ya que este requiere una tensión de 208/120 V y una capacidad de 1200 A; y un transformador de 75 kVA (mayor a 60 kVA) adicional para el tablero de iluminación ya que es transición trifásico a monofásico de 480 V a 240/120 V con capacidad de 125 A; se reubican cargas entre tableros como el tablero de iluminación que pasa al Switchboard con el fin de liberar la carga del tablero P5 y se hace un reemplazo del interruptor principal del Switchboard por un 3WL de Siemens de 2000 A ajustable según la máxima carga.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Diagrama unifilar preliminar del cuarto eléctrico en FHACASA 2024.

De manera similar, se incluye una distribución espacial aproximada del cuarto eléctrico en la Figura 28, donde se presentan los principales equipos mencionados (como la celda y los transformadores) y otros que son existentes dentro de la planta (como los tableros tipo Switchboard y P5). Con esto se puede tener una mejor comprensión de las mejoras que se plantean según la Tabla 5 mostrada en el punto 3.4, contemplando reemplazar equipos antiguos (como los transformadores monofásicos) sin tener que eliminar por completo el sistema eléctrico presente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Distribución preliminar de equipos en el cuarto eléctrico.

3.3. Análisis de seguridad para el rediseño

Tabla 4. Resumen de análisis de riesgos para el desarrollo del rediseño.

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
1	Ingreso a Planta FHACASA	Vehicular	Colisión / atropello	vehículo	Respetar las velocidades establecidas dentro del plantel
		Contagio por enfermedad	Biológico / Bacteriológico	Personas	Distanciamiento social y lavado de manos

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
2	Aprobación del cliente para inicio de labores y traslado de herramientas	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada
		Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas mecánicas / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
3	Demarcación del área de trabajo	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Colocación de cinta roja de peligro para limitar las zonas que van a estar energizadas según NFPA 70E
4	Apertura de equipos para mediciones de voltaje y rotación de fases antes de desconectar	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada Según NFPA 70E
		Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas mecánicas / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
5	Solicitud de aprobación por parte del cliente para desconexión de alimentación de equipos y ejecutar la	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E Colocación de cinta roja de peligro para limitar los equipos que van a estar energizados

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
	desconexión desde el poste del ICE	Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
6	Aplicación de proceso de LOTO para asegurar el área de trabajo El Loto debe ser aplicado a los portafusibles o candelas del poste	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E Colocación de cinta roja de peligro para limitar los equipos que van a estar energizados según NFPA 70E Es probable que otros equipos en la zona puedan quedar energizados
7	Aplicación de proceso de medición de cero voltios para garantizar el equipo seguro para trabajo	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E Colocación de cinta roja de peligro para limitar los equipos que van a estar energizados según NFPA 70E Utilización de traje de protección contra arco eléctrico según NFPA 70E

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
		Golpes, majonazos, cortes en manos por taladro y atornillado	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
8	Desarmado de equipos para ejecución de trabajos de rediseño y reemplazo de componentes	Golpes, majonazos, cortes en manos por taladro y atornillado	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
9	Proceso de rediseño del cuarto eléctrico Cambio de equipos	Caída a un mismo nivel	Mecánico	Altura de la fosa a los cables y uso de escalera	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E Uso adecuado de escalera tipo A, por debajo del tercer peldaño
	Modificación de soportaría Fabricación de barras de potencia	Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
10	Fabricación de barras de potencia	Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
11	Armado de sistema completo y aplicación de torques correspondientes	Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
12	Ejecución de pruebas de aislamiento a los equipos nuevos y las barras de potencia	Prueba de aislamiento	Eléctrico	Tablero energizado por ejecución de pruebas.	Trabajos siempre a nivel de suelo Utilización de guantes dieléctricos, casco, zapatos y lentes según NFPA 70E
		Golpes, majonazos, cortes en manos por taladro y atornillado	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
13	Reconexión de equipos dentro del cuarto conforme se va completando su respectiva conexión y pruebas	Golpes, majonazos, cortes en manos por taladro y atornillado	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
14	Instalación de puertas y cobertores	Golpes, majonazos, cortes en manos por taladro y atornillado	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
15	Retiro de elementos de LOTO	Golpes, majonazos, cortes en manos por taladro y atornillado	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
16	Energización del sistema	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E Colocación de cinta roja de peligro para limitar los equipos que van a estar energizados según NFPA 70E Utilización de traje de protección contra arco eléctrico según NFPA 70E
		Golpes, majonazos, cortes en manos por taladro y atornillado	Mecánico	Herramientas manuales / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E Utilización de traje de protección contra arco eléctrico según NFPA 70E
17	Apertura de equipos para mediciones de voltaje y	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
	rotación de fases antes de energizar las cargas				Utilización de traje de protección contra arco eléctrico según NFPA 70E
		Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas mecánicas / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
18	Armado final del sistema	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E Utilización de traje de protección contra arco eléctrico según NFPA 70E
		Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas mecánicas / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
19	Solicitud de autorización para energizar cargas y reconexión correspondiente	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E Utilización de traje de protección contra arco eléctrico según NFPA 70E

Ítem	Actividad	Riesgo asociado	Tipo de riesgo	Fuente del riesgo	Medida de control
		Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas mecánicas / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
20	Limpieza final del área de trabajo y retiro de barricadas	Trabajos en un equipo energizado	Eléctrico	Equipo energizado	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E
		Golpes, majonazos, cortes en manos	Mecánico	Herramientas mecánicas / superficies cortantes	Uso de EPP (guantes, casco, lentes, zapatos dieléctricos) según NFPA 70E
21	Entrega final al cliente	Ingreso a una subestación energizada	Eléctrico	Subestación energizada	Respeto de áreas seguras de tránsito y zona de trabajo delimitada según NFPA 70E

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1. La ausencia de análisis de riesgos y el respectivo equipo de protección personal inhabilita a la persona para realizar labores

Nota 2. Anexar hojas adicionales en caso de que la secuencia de tareas o la cantidad de personal sobrepase lo estimado en los permisos

Nota 3. Solo personal capacitado o con experiencia propia del trabajo a realizar podrá ejecutar tareas de alto riesgo, tales como trabajo en altura, en caliente, con riesgo químico, con riesgo eléctrico, entre otros

3.4. Identificación de mejoras

En el proyecto se considera la reinstalación de una transición eléctrica aérea/subterránea trifásica, y la instalación de un transformador seco trifásico de 1500k VA,

voltaje primario 19.92/34,5 kV y voltaje secundario 277/480 V. Además, la instalación de un transformador seco trifásico de 300 kVA, voltaje primario 480 V y voltaje secundario 120/208 V con sus respectivas acometidas eléctricas, todo esto según la explicación realizada en el punto 3.2.

Tabla 5. Resumen de mejoras al sistema eléctrico del cuarto eléctrico.

Equipo	Mejora	Reemplazo / implementación	justificación
Banco de transformadores monofásicos 500 kVA	Eliminación y reemplazo respectivo	Transformador trifásico 1500 kVA	Equipos obsoletos que no cumplen con regulaciones
Celda de media tensión tipo seccionadora	Implementación de equipo nuevo	Celda 8DJH 36 (Tensiones de 34,5 kV)	Requisito según Manual del CFIA del 2021
Transformador seco de 300 kVA	Implementación de equipo nuevo	Transformador Hammond 300 kVA	Requerimiento del tablero P5 a 480/208 V con 2000 A
Transformador seco de 75 kVA	Implementación de equipo nuevo	Transformador Hammond 75 kVA	Traslado de cargas monofásicas a 480/240 V
Tablero tipo Switchboard 1600 A	Reemplazo de interruptor principal y agregar carga	Interruptores de 2000 A y 125 A	Aumento de carga total debido a carga nueva del tablero
Tablero tipo P5 1200 A	Modificación de las cargas ramales a 208 V	Balanceo de cargas trifásicas a 208 V	Ordenar cargas a 208 V y reducir su capacidad

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Transición a media tensión

De acuerdo con la potencia que se requiere alimentar debido a la carga de 2000 A a 480 V, se necesita un transformador seco trifásico con las siguientes características en reemplazo de 3 transformadores monofásicos bajo la misma carga de 3X500 kVA:

- Tipo: Transformador tipo seco debido a la producción de alimentos.
- Frecuencia: 60 Hz utilizados en Costa Rica.

- Fases: Trifásico en reemplazo del banco monofásico.
- Capacidad Nominal: 1500 kVA para cubrir el banco de 3x500 kVA.
- Tensión Nominal: 34,5/19,92 kV a 480/277 V.
- El transformador debe cumplir con los requerimientos estructurales según la normativa vigente de IEC.

smart.		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E INSPECCIÓN EXTERIOR	
Cliente	Fhacasa	Intervención	Puesta en marcha
Proyecto		Fecha	
Equipo	TR-1500 kVA	Ubicación:	Subestación
Datos de placa del transformador		Cambiador de derivaciones	
Marca	SIEMENS	Posición	Tensión (V)
Serie	80000160797801	1	36225
Fecha de Fabricación		2	35363
Norma constructiva	IEC 60076-11	3	34500
Capacidad (kVA)	1500	4	33638
Tensión primaria (V)	34500	5	32775
Tensión secundaria (V)	480		
Nivel de aislamiento (kV)	145 - 0		
Temperatura devanados (°C)	100	Diagrama de conexiones	
Clase	AA	Conexión	Dyn1
Impedancia (%)	6,03		
Masa Total (kg)	4150		
Tipo	Seco Geafol		
Cantidad de fases	3		
Material de los devanados	Al- Al		
Posición del Cambiador	1		

Fuente: (Siemens A.G., 2024)

Figura 29. Ficha técnica del transformador de potencia.

En la figura anterior, se puede ver una ficha con las características requeridas por el transformador de potencia, donde se agregan los principales aspectos técnicos del mismo según el fabricante Hammond seleccionado para este fin.

Al hacer la relación de potencia y tensión en configuración delta a la entrada, se determina la corriente nominal en la acometida:

$$I_{nom_p} = \frac{S}{V_p \cdot \sqrt{3}} = \frac{1500 \text{ kVA}}{19,92 \text{ V} \cdot \sqrt{3}} = 43,47 \text{ A} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- S: Potencia aparente
- V_p : Tensión en el primario
- $\sqrt{3}$: Constante de relación

De acuerdo con el NEC 2014 en la tabla 310.106(A), se debe utilizar como mínimo un conductor armado #1/0 AWG y según el Manual de para Redes Eléctricas de distribución Subterránea del CFIA en su sección 5.1 se debe utilizar un aislamiento EPR al 100% con pantalla de cobre al 33%:

Tension nominal del conductor (Volts)	Calibre mínimo del conductor (AWG)	
	Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre
0-2000	14	12
2001-5000	8	8
5001-8000	6	6
8001-15,000	2	2
15,001-28,000	1	1
28,001-35,000	1/0	1/0

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 30. Selección de cableado marcado en amarillo según tensión.

En relación con el Manual para Redes Eléctricas de Distribución Subterránea del CFIA mencionado en el párrafo anterior, se presentan los siguientes artículos para la selección del conductor (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2021):

- 5.1.5 Condiciones para los conductores:
 - a) Pantalla metálica: Hilos de cobre recocido.
 - b) Aislamiento: Goma etilo propílica (EPR) al 100 %.
- 5.1.9 Pantalla metálica: La pantalla deberá estar conformada por hilos de cobre, con un área de sección transversal al 33 % de la sección del conductor.

El NEC (2014), utilizado a nivel nacional, establece que el conductor de calibre #1/0 AWG tiene una capacidad de 200 A a 90°C según la Tabla 310.60(C)(77), superando ampliamente la corriente de carga del transformador mencionado anteriormente. Este conductor debe estar aislado en goma etil-propílica (EPR) a 35 kV al 100 %, con pantalla metálica compuesta por hilos de cobre que representen el 33.3 % del área de la sección transversal del conductor central.

Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(C).]				
Calibre del conductor (AWG o kcmil)	Ampacidad para 2001–5000 Volts		Ampacidad para 5001–35,000 Volts	
	90°C (194°F)	105°C (221°F)	90°C (194°F)	105°C (221°F)
	Tipo MV-90	Tipo MV-105	Tipo MV-90	Tipo MV-105
Un circuito (Ver Figura 310.60, Detalle 1.)				
8	64	69	—	—
6	85	92	90	97
4	110	120	115	125
2	145	155	155	165
1	170	180	175	185
1/0	195	210	200	215

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 31. comprobación de corriente según calibre de cable.

El factor de corrección debido a la configuración de la canalización y temperatura, según la Tabla 310.15(B)(2)(a), para la configuración de un cable monopolar en un tubo no magnético, una línea vertical y una línea horizontal. Por lo tanto, el factor de corrección correspondiente para la acometida de media tensión será para una temperatura entre 26°C y 30°C: $F_c = 1$, por lo que la corriente nominal que circula por el conductor se mantiene.

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

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 32. Factor de corrección según temperatura.

Además, según la Tabla 310.15(B)(3)(a), no se debe considerar un ajuste por cantidad de conductores portadores de corriente, ya que únicamente son tres y el ajuste debe realizarse si son más de tres. Por lo tanto, la capacidad de corriente de la acometida de media tensión será de 43,47 A aplicando todos los factores necesarios. Para la canalización primaria, se estudia la selección de tubos PVC de 150 mm existentes para reutilizarlos, de donde se obtiene un área interna de $\frac{\pi*(150mm)^2}{4}$. El cable 1/0 AWG (EPR) tiene un diámetro externo de 39 mm (cobre y aislamiento). Por lo tanto, relacionando el tubo con el área de un conductor, se obtiene el porcentaje de llenado:

$$\% \text{ llenado} = \frac{A_{\text{cableado total}}}{A_{\text{tubería}}} = \frac{3 * \frac{\pi*(39mm)^2}{4}}{\frac{\pi*(150mm)^2}{4}} * 100 = 20,28 \% \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- $A_{\text{cableado total}}$: Área del cableado total (cantidad por área del conductor)
- $A_{\text{tubería}}$: Área de la tubería utilizada

Se determina un 20,28 % de llenado de la tubería, dicho valor es bastante inferior al 40 % establecido como máximo para más de dos conductores eléctricos según la Tabla 1 del capítulo 9 del NEC (2014).

Cantidad de conductores y/o cables	Área transversal (%)
1	53
2	31
Más de 2	40

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 33. Porcentaje de llenado permitido por cantidad de conductores.

En el caso de la caída de tensión, se analizará entre las líneas y los bornes primarios del transformador, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * X_Z * L * I}{1000 * V} * 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- L: Longitud de tramo por evaluar
- I: Intensidad de corriente estimada
- X_Z: Impedancia del conductor
- V: Tensión de línea

El circuito consta de un tramo de 4 m por lo que la longitud total del circuito, tomando en cuenta la reserva dejada en la fosa y la subida, es de 28 m aproximadamente:

- L: 28 m
- I: 43,47 A (Ecuación 5)
- X_Z: 0,539 (Figura 34)
- V: 19,92k V

Calibre	Tensión	Área nominal de la sección transversal	Diámetro del conductor Nominal	Número de alambres	Resistencia conductor Nominal a 20°C	Espesor Nominal del aislamiento 100% NA	Diámetro sobre el aislamiento aproximado	Pantalla NC 1/3	Diámetro total aprox.	Peso Total aprox.	
		mm ²	mm	No.	Ohm/km	mm	mm	(No. Alambres /AWG)	mm	kg/km	
1/0	AWG	35 KV	53.5	8.5	18	0.539	8.8	27	6H/14 AWG	39	1329

Fuente: (Anexo 2: Fichas técnicas del cableado)

Figura 34. Resistividad del conductor según calibre del cable.

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * 0,539 * 28 * 43,47}{1000 * 19,92k} * 100 = 0,006 \% \quad \text{Ecuación 8}$$

Dado que el que el resultado en la red de media tensión es de 0,006% y no sobrepasa los 3% recomendados, la caída de tensión analizada es insignificante según el valor aceptado por el NEC 2014.

3.4.2. Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito por bus infinito del transformador principal a 6 % de impedancia, que es lo recomendado para este transformador, es de:

$$I_{nom_s} = \frac{S}{V_s \cdot \sqrt{3}} = \frac{1500k \text{ VA}}{0,480 \text{ V} \cdot \sqrt{3}} = 1804,22 \text{ A} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- S: Potencia aparente
- V_s : Tensión en el secundario
- $\sqrt{3}$: Constante de relación

$$I_{cc} = \frac{I_{nom_s}}{\%Z} = \frac{1804,22 \text{ A}}{6 \%} = 30070,33 \text{ A} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- I_{nom_s} : Corriente nominal en el secundario
- %Z: Porcentaje de impedancia

3.4.3. Tensión de jalado

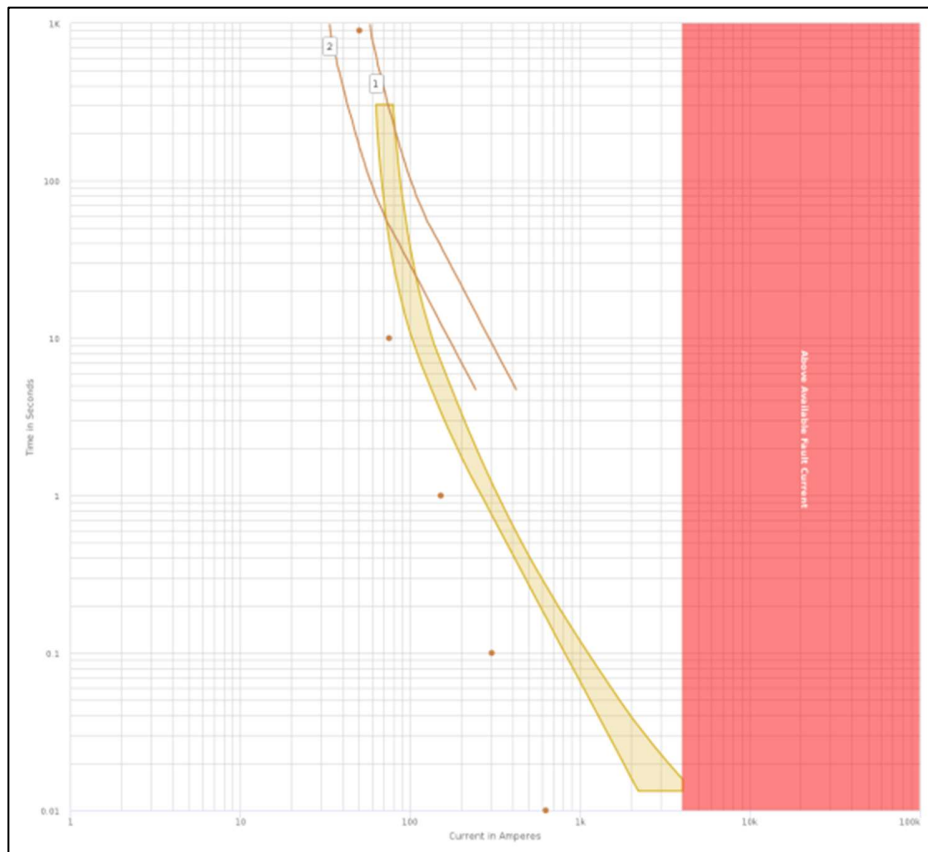
La instalación de los cables en los ductos se realizará utilizando las herramientas necesarias para evitar el deterioro del cable. Además, la distancia máxima entre el poste y el cuarto es de 28 m, lo cual no supera lo establecido en el Capítulo 3, Sección 3.5.3 del Manual de Redes de Distribución Eléctrica Subterránea. No se deberá demostrar que se exceda la tensión mecánica máxima de jalado para el conductor, ya que la instalación se realizará únicamente con fuerza humana.

A continuación, se presenta lo que indica dicha sección del manual (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2021):

- 3.5.3 tensión de jalado: Se deberá utilizar un dinamómetro para medición continua en el jalado de los cables, en donde se obviará su uso para tramos no mayores a 100 metros, para lo que se realizará bajo fuerza humana solamente.

3.4.4. Protecciones

Un fusible eslabón tipo A.B. Chance curva tipo 30 T según ficha de selección del transformador de potencia a 1500 Kva (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):



Fuente: (Siemens A.G., 2024)

Figura 35. Diagrama de protecciones del transformador de potencia.

Los fusibles eslabón Tipo A.B. Chance basados en la curva 30 T están diseñados para proteger contra sobrecorriente y cortocircuito el dispositivo como el transformador de potencia, la curva tipo 30 T indica una característica de tiempo inverso en donde el tiempo

de operación disminuye a medida que la corriente de falla aumenta. Con esto se garantiza que, a corrientes muy altas, los fusibles dejan de operar para proteger el equipo.

3.4.5. Transición a baja tensión

De la acometida principal en el secundario del transformador se tienen los siguientes requerimientos:

- Corriente: 1804,22 A (Ecuación 9)

Tomando en cuenta la corriente calculada anteriormente en el secundario y el artículo 215.3 del NEC (2014) donde se protegen los elementos contra la sobrecorriente, se procede a calcular este valor al 125 %:

$$I_{nom_s} = I_{nom_s} \times 125\% = 1804,22 A \times 125\% = 2255,28 A \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- I_{nom_s} : Corriente nominal en el secundario
- 125%: Porcentaje de protección contra sobrecorriente
- Conductores:

Se debe considerar un cableado que soporte la corriente de 2255,28 A. Por este motivo, se deben utilizar varios cables de fase para transportar este valor. Se tomarán 6 cables por fase para el cálculo, donde cada uno de estos debe soportar la siguiente corriente:

$$I_{nom_s} = \frac{I_{nom_s}}{Cantidad\ cables_{Fase}} = \frac{2255,28 A}{6} = 375,88 A \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

- I_{nom_s} : Corriente nominal en el secundario
- Cantidad cables_{Fase}: Cantidad de cables requeridos por fase

Basado en el NEC (2014), en su Tabla 310.15(B)(17) para conductores al aire libre, en su columna de aluminio, se selecciona el cable XHHW-2 de 300 kcmil para corrientes de hasta 395 A:

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver la 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 TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, 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	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	—	—	18	—	—	—	—
16	—	—	24	—	—	—	—
14**	25	30	35	—	—	—	—
12**	30	35	40	25	30	35	12**
10**	40	50	55	35	40	45	10**
8	60	70	80	45	55	60	8
6	80	95	105	60	75	85	6
4	105	125	140	80	100	115	4
3	120	145	165	95	115	130	3
2	140	170	190	110	135	150	2
1	165	195	220	130	155	175	1
1/0	195	230	260	150	180	205	1/0
2/0	225	265	300	175	210	235	2/0
3/0	260	310	350	200	240	270	3/0
4/0	300	360	405	235	280	315	4/0
250	340	405	455	265	315	355	250
300	375	445	500	290	350	395	300

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 36. Selección de conductores de fase según corriente en secundario de acometida.

- 3 x 6 #300 kcmil XHHW-2 ALUMINIO SERIE 8000 (Fases)
- 6 #300 kcmil XHHW-2 ALUMINIO SERIE 8000 (Neutro)

Se toma el mismo calibre para los conductores del neutro, esto debido a desbalances que se expondrán más adelante en la Ecuación 21, cumpliendo con lo establecido de que debe ser superior al 33,33 % de la corriente del conductor.

- 1 #400 kcmil XHHW-2 ALUMINIO SERIE 8000 (ECG)

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*
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

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 37. Selección de ECG según corriente de acometida.

Se elige el cable XHHW-2 debido a sus características de alta resistencia a la humedad, luz solar, propagación de llamas, y su buen comportamiento ante sobrecargas o temperaturas elevadas. Además, el cable cuenta con la certificación de ANCE, la cual está debidamente acreditada por el Ente Costarricense de Acreditación. Este ente es el responsable de regular las certificaciones para los materiales según el Código Eléctrico de Costa Rica.

- En canasta metálica de zinc galvanizado tipo escalera bajo la siguiente distribución con un ancho total de 18 veces el diámetro total del conductor:

$$Ancho_{Requerido} = Cantidad\ cables \times d_T = 18 \times 18,1mm = 325,8\ mm \quad \text{Ecuación}$$

13

Donde:

- Cantidad cables: Cantidad de cables requeridos en total
- d_T : Diámetro total del conductor



Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 38. Ejemplo de distribución de cableado en canasta metálica.

Para la canalización secundaria, se verifica la canasta de 500x54x3000mm existente, en las cuales viajarán dieciocho cables de las fases, seis neutros y una tierra.

CABLE DE ALUMINIO VIAKON® 8000 XHHW-2 LS, XLPE, 600 V, 90°C												
Números de artículo	Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal mm ²	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento mm	Diámetro exterior aproximado mm	Peso total aproximado kg/100 m	Capacidad de conducción de corriente ¹ (A)					
							Canalización ²			Al aire libre ³		
	AWG/kcmil						60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
ST50	6	13.3	7	1.14	6.8	7	40	50	55	-	-	-
ST51	4	21.2	7	1.14	7.9	9	55	65	75	80	100	115
ST52	2	33.6	7	1.14	9.3	14	75	90	100	110	135	150
ST54	1/0	53.5	19	1.40	11.6	21	100	120	135	150	180	205
ST55	2/0	67.4	19	1.40	12.6	25	115	135	150	175	210	235
ST56	3/0	85.0	19	1.40	13.8	31	130	155	175	200	240	270
ST57	4/0	107.2	19	1.40	15.2	38	150	180	205	235	280	315
ST58	250	126.7	37	1.65	16.8	45	170	205	230	265	315	355
ST59	300	152.0	37	1.65	18.1	53	195	230	260	290	350	395

Fuente: (Anexo 2: Fichas técnicas del cableado)

Figura 39. Ejemplo de distribución de cableado en canasta metálica.

Con el cable 300 kcmil, se obtiene un diámetro externo de 18,1 mm (incluyendo conductor y aislamiento). Por lo tanto, al relacionar el tamaño de la canasta con el diámetro del conductor, se determina el uso de la canasta de la siguiente manera:

$$\% \text{ utilización} = \frac{\text{Ancho}_{\text{Cableado Total}}}{\text{Ancho}_{\text{Canasta}}} = \frac{18 \times 18,1 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} * 100 = 65,16 \% \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

- $\text{Ancho}_{\text{cableado total}}$: Ancho total considerando todos los cables
- $\text{Ancho}_{\text{canasta}}$: Ancho de la canasta a utilizar

Se considera que el cable de tierra tiene el mismo calibre que las fases y el neutro, con el fin de determinar el porcentaje de llenado de la tubería de manera más práctica. Se concluye que la canasta existente puede utilizarse debido a la distribución seleccionada.

En cuanto a la caída de tensión, se presenta el dato obtenido del siguiente cálculo:

- L: 15 m (Distancia aproximada de recorrido)
- I: $\frac{1804,22}{6}$ A (Corriente nominal por cada conductor según **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)
- X_z : 0,2318 (Figura 40)
- V: 480 V

Calibre (AWG o kcmil)	Área		Conductores						Resistencia en corriente continua a 75°C (167°F)						
			Trenzado		Total		Cobre		No recubiertos		Recubiertos		Aluminio		
	mm ²	Mils circulares	Canti- dad	Diámetro		Diámetro		Área		ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT
				mm	pulg.	mm	pulg.	mm ²	pulg. ²						
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

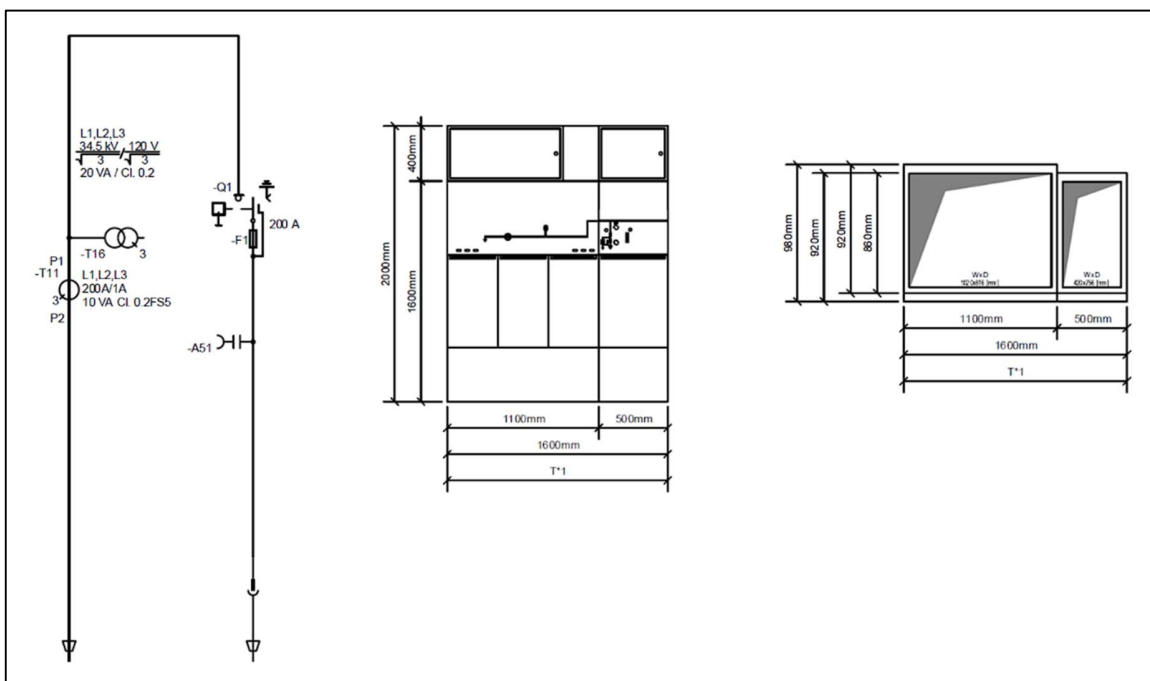
Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 40. Resistencia del conductor según calibre de cable en el secundario.

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,2318 \cdot 15 \cdot \frac{1804,22}{6}}{1000 \cdot 480} * 100 = 0,37 \% \quad \text{Ecuación 15}$$

Aplicando la Ecuación 15, se obtiene que el porcentaje de caída de tensión es del 0,37 % para el secundario del transformador principal.

En cuanto a la celda de media tensión, es un nuevo equipo que se incorpora al sistema ya existente, desempeñando un papel importante en la seguridad de la operación del sistema. Además, sirve como un punto interno de desconexión que permite a los responsables de mantenimiento llevar a cabo operaciones seguras y resguardadas de las inclemencias del tiempo:



Fuente: (Siemens A.G., 2024)

Figura 41. Diagrama unifilar y esquema de la celda de media tensión.

3.4.6. Puesta a tierra

La malla de puesta a tierra debe tener un valor por debajo de los 10 Ω mínimos requeridos según la resistencia promedio del suelo. Se propone la instalación de un sistema

de puesta a tierra compuesto por seis electrodos de acero recubiertos de cobre, con una longitud de 3 m y un grosor de 5/8” (15,8 mm), conectados entre sí formando tres triángulos equiláteros, siguiendo la recomendación del fabricante. Con esta configuración, se pretende obtener una resistencia de puesta a tierra igual o menor a los 10 Ω , que es el valor permitido por el Manual para Redes Eléctricas Subterráneas (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2021).

En caso de no alcanzar el valor mínimo aceptado, se procederá a realizar mediciones de resistencia y a proponer una configuración de electrodos que permita alcanzar dicho valor mínimo. Además, según la normativa, se debe utilizar un conductor de cobre desnudo de calibre 1/0 AWG para interconectar los electrodos, lo que podría resultar en una resistencia menor a la planteada teóricamente.

Se recomienda el uso de métodos de soldadura exotérmica para unir los electrodos de puesta a tierra con el conductor de cobre 1/0 AWG dentro de una caja de registro. Para las partes que queden expuestas, se puede utilizar un conector tipo barril con certificación UL, con el fin de proporcionar un punto de desconexión para futuras mediciones de la puesta a tierra o para labores de mantenimiento.

A continuación, se presenta el cálculo del calibre para el ECG:

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 revestido de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio revestido 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

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 42. Selección del conductor de electrodo de puesta a tierra según calibre máximo.

3.4.7. Equipos de baja tensión

Del transformador de 300k VA se tienen los siguientes requerimientos:

- Tipo: Transformador tipo seco debido a la producción de alimentos.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Fases: Trifásico.
- Capacidad Nominal: 300 kVA.
- Tensión Nominal: 480/277 a 208/120 V.
- El transformador debe cumplir con los requerimientos constructivos según la normativa IEC.

smart.		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E INSPECCIÓN EXTERIOR	
Cliente	Fnacasa	Intervención	Puesta en marcha
Proyecto		Fecha	
Equipo	TR 300 kVA	Ubicación:	Subestación
Datos de placa del transformador		Cambiador de derivaciones	
Marca	HPS Hammond	Posición	Tensión (V)
Serie	CBO1322157	1	504
Fecha de Fabricación		2	480
Norma constructiva	UL	3	460
Capacidad (kVA)	300	4	440
Tensión primaria (V)	480	5	418
Tensión secundaria (V)	208		
Nivel de aislamiento (kV)	0	Diagrama de conexiones	
Temperatura devanados (°C)	150	Conexión	Dyn1
Clase	ANN		
Impedancia (%)	6,00		
Masa Total (kg)	681		
Tipo	Seco		
Cantidad de fases	3		
Material de los devanados	Al- Al		
Posición del Cambiador	4		

Fuente: (Siemens A.G., 2024)

Figura 43. Ficha técnica del transformador seco de 300 kVA.

- Corriente:

$$I_{nom} = \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}} = \frac{300 \text{ kVA}}{0,480 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}} = 360,84 \text{ A} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

- S: Potencia aparente

- V: Tensión nominal
- $\sqrt{3}$: Constante de relación

Tomando en cuenta la corriente calculada anteriormente y el artículo 215.3 del NEC (2014) donde se protegen los elementos contra la sobrecorriente, se procede a calcular este valor al 125 %:

$$I_{nom} = I_{nom} \times 125\% = 360,84 A \times 125\% = 451,05 A \text{ Ecuación 17}$$

Donde:

- I_{nom} : Corriente nominal
- 125%: Porcentaje de protección contra sobrecorriente
- Conductores:

Se debe considerar un cableado que soporte la corriente de 451,05 A, por este motivo se deben considerar al menos 2 cables por fase para transportar este valor:

$$I_{nom} = \frac{I_{nom}}{Cantidad\ cables_{Fase}} = \frac{451,05 A}{2} = 225,52 A \text{ Ecuación 18}$$

Donde:

- I_{nom} : Corriente nominal
- Cantidad cables_{Fase}: Cantidad de cables requeridos por fase

Basado en el NEC 2014 en su Tabla 310.15(B)(16) para conductores en tubería, en su columna de aluminio para un cable XHHW-2 se selecciona el cable 250 kcmil para corrientes de hasta 230 A:

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 TW, UF	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

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 44. Selección de conductores de fase según corriente del transformador de 300 kVA.

- 3 x 2 #250 kcmil XHHW-2 ALUMINIO SERIE 8000 (Fases)
- 2 #250 kcmil XHHW-2 ALUMINIO SERIE 8000 (Neutro)
- 1 #1 AWG XHHW-2 ALUMINIO SERIE 8000 (ECG)

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*
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

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 45. Selección de ECG según corriente del transformador de 300 kVA.

- En tubería subterránea PVC, SDR 41 existente.

Para la canalización se verifican las tuberías de 100 mm existentes, en las cuales viajarán tres cables de las fases, un neutro y una tierra para cada tubería.

CABLE DE ALUMINIO VIAKON® 8000 XHHW-2 LS, XLPE, 600 V, 90°C												
Números de artículo	Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal mm ²	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento mm	Diámetro exterior aproximado mm	Peso total aproximado kg/100 m	Capacidad de conducción de corriente ² (A)					
							Canalización ²			Al aire libre ³		
	AWG/kcmil						60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
ST50	6	13.3	7	1.14	6.8	7	40	50	55	-	-	-
ST51	4	21.2	7	1.14	7.9	9	55	65	75	80	100	115
ST52	2	33.6	7	1.14	9.3	14	75	90	100	110	135	150
ST54	1/0	53.5	19	1.40	11.6	21	100	120	135	150	180	205
ST55	2/0	67.4	19	1.40	12.6	25	115	135	150	175	210	235
ST56	3/0	85.0	19	1.40	13.8	31	130	155	175	200	240	270
ST57	4/0	107.2	19	1.40	15.2	38	150	180	205	235	280	315
ST58	250	126.7	37	1.65	16.8	45	170	205	230	265	315	355

Fuente: (Anexo 2: Fichas técnicas del cableado)

Figura 46. Características del cableado XHHW-2 utilizado.

Con el cable de 250 kcmil, se obtiene un diámetro externo de 16.8 mm (incluyendo conductor y aislamiento). Por lo tanto, al relacionar el tubo con el área de un conductor, se calcula el porcentaje de llenado de los tubos de la siguiente manera:

$$\% \text{ llenado} = \frac{A_{\text{cableado total}}}{A_{\text{tubería}}} = \frac{5 \cdot \frac{\pi \cdot (16,8 \text{ mm})^2}{4}}{\frac{\pi \cdot (100 \text{ mm})^2}{4}} * 100 = 14,11 \% \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

- $A_{\text{cableado total}}$: Área del cableado total (cantidad por área del conductor)
- $A_{\text{tubería}}$: Área de la tubería utilizada

Se considera que el cable de tierra tiene el mismo calibre que las fases y el neutro, con el fin de determinar el porcentaje de llenado de la tubería de manera más práctica. Se concluye que se obtiene un 14.11 % de llenado de tubería, valor que es inferior al 40 % establecido como máximo para más de dos conductores eléctricos según la Tabla 1, capítulo 9 del NEC (2014).

En el caso de la caída de tensión, se presenta el dato obtenido del siguiente cálculo:

- L: 5 m (Distancia aproximada de recorrido).
- I: $\frac{360,84}{2}$ A (Corriente por cada conductor).
- X_Z : 0,2778 (Figura 47).
- V: 480 V.

Calibre (AWG o kcmil)	Conductores										Resistencia en corriente continua a 75°C (167°F)					
	Área		Canti- dad	Trenzado		Total		Área		Cobre				Aluminio		
				Diámetro		Diámetro		mm ² pulg. ²		No recubiertos		Recubiertos				
	mm ²	Mils circulares	mm	pulg.	mm	pulg.	mm ²	pulg. ²	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	

Fuente: (NFPA, 2014)

Figura 47. Resistividad del conductor según calibre utilizado.

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * 0,2778 * 5 * \frac{360,84}{2}}{1000 * 480} * 100 = 0,09 \% \quad \text{Ecuación 20}$$

Aplicando la Ecuación 20, se obtiene que el porcentaje de caída de tensión es del 0,09 % para el transformador de 300 kVA. En el proceso de modernización, también se recomienda incluir un transformador de 75 kVA. Este equipo asumiría cargas de iluminación alimentadas a 208/120 V:

smart.		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E INSPECCIÓN EXTERIOR	
Cliente	Fhacasa	Intervención	Puesta en marcha
Proyecto		Fecha	
Equipo	TR 75 kVA	Ubicación:	Subestación
Datos de placa del transformador		Cambiador de derivaciones	
Marca	HPS Hammond	Posición	Tensión (V)
Serie	CBO1322157	1	504
Fecha de Fabricación		2	480
Norma constructiva	UL	3	459
Capacidad (kVA)	75	4	439
Tensión primaria (V)	480	5	418
Tensión secundaria (V)	208		
Nivel de aislamiento (kV)	0		
Temperatura devanados (°C)	150		
Clase	ANN		
Impedancia (%)	6,60		
Masa Total (kg)	247		
Tipo	Seco		
Cantidad de fases	3		
Material de los devanados	Al- Al		
Posición del Cambiador	4		
		Diagrama de conexiones	
Conexión		Dyn1	

Fuente: (Siemens A.G., 2024)

Figura 48. Ficha técnica del transformador seco de 75k VA.

En el tablero principal tipo *Switchboard* de 480 V se recomiendan mejorar los siguientes aspectos dentro del equipo:

- El cambio del interruptor principal a 2000 A según las cargas actualizadas:

Para este caso, se está contemplando realizar un rediseño al tablero existente tipo *Switchboard* de 480 V en donde se incluye el suministro de un interruptor principal tipo 3WA de 2000 A ajustable a 1800 A, ya que es la máxima corriente que puede suministrar el transformador de 1500 kVA a esa tensión.

- El aumento de capacidad de las barras de potencia en coordinación con el interruptor principal.
- Distribución nueva de cargas a 480 V.

Para el tablero general tipo P5 de 208 V por su parte se presentan las siguientes mejoras a nivel interno:

- Instalación de cargas nuevas y sus interruptores a 208 V, esto para separar las cargas de 480 V y las de 208 V en cada tablero respectivo.
- Redistribución de cargas según lo mencionado anteriormente, para tener un mayor orden de los ramales.

3.5. Medición de valores energéticos

Los propietarios de la planta FHACASA nos han proporcionado las siguientes tablas de mediciones de intensidad de corriente y potencia, generadas en años anteriores, para comparar los valores aceptables dentro del sistema eléctrico en términos de calidad de la energía.

Tabla 6. Mediciones de intensidad en el Molino B del año 2022.

Intensidad de corriente							
Fecha	Hora	A1 Prom. (A)	A1 Máx. (A)	A2 Prom. (A)	A2 Máx. (A)	A3 Prom. (A)	A3 Máx. (A)
3/9/2022	11:29:02	27,17	41,77	14,00	47,46	17,99	32,91
3/9/2022	11:34:02	31,19	55,80	14,60	57,11	20,15	41,71
3/9/2022	11:39:02	32,99	35,75	13,78	47,66	22,54	24,22
5/9/2022	11:49:02	25,70	143,40	14,98	136,70	19,80	130,70
5/9/2022	11:54:02	28,39	141,80	19,21	131,70	22,58	125,10
5/9/2022	11:59:02	29,09	137,50	20,82	130,00	23,74	122,40
6/9/2022	07:09:02	34,13	66,72	29,16	60,96	28,73	60,96
6/9/2022	07:14:02	35,52	65,57	28,79	60,23	28,66	60,02
6/9/2022	07:19:02	41,55	71,50	29,83	58,88	30,77	61,06
6/9/2022	07:49:02	42,68	70,56	30,99	57,74	30,49	58,89
6/9/2022	07:54:02	38,13	71,60	32,35	61,27	29,55	59,51
6/9/2022	07:59:02	41,54	70,87	31,32	57,74	29,83	59,09
6/9/2022	08:04:02	39,74	65,16	31,47	59,19	30,31	57,85
6/9/2022	08:09:02	38,53	71,29	32,48	62,82	29,40	59,82
6/9/2022	08:14:02	42,92	69,11	31,64	57,01	31,11	57,96
6/9/2022	08:19:02	43,85	70,77	31,09	57,74	30,65	59,09
6/9/2022	13:39:02	26,83	120,90	11,06	120,50	18,31	116,00
6/9/2022	13:44:02	28,74	126,40	12,41	114,50	19,60	114,40

Intensidad de corriente							
Fecha	Hora	A1 Prom. (A)	A1 Máx. (A)	A2 Prom. (A)	A2 Máx. (A)	A3 Prom. (A)	A3 Máx. (A)
6/9/2022	13:49:02	26,34	129,30	12,06	116,30	20,02	113,70
8/9/2022	07:39:02	39,18	73,68	33,13	65,42	33,25	66,65
8/9/2022	07:44:02	39,01	73,37	33,76	65,42	33,13	66,96
8/9/2022	07:49:02	38,90	73,99	32,64	65,32	33,17	66,75

Fuente: (FHACASA, 2022)

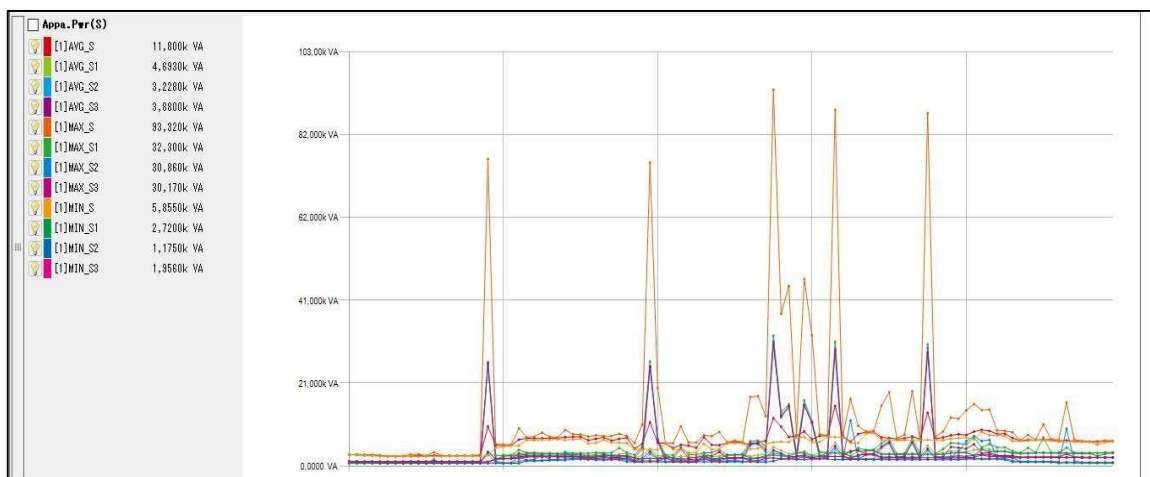
Tabla 7. Mediciones de potencias en el Molino B del año 2022.

Fecha	Hora	Potencia Activa		Potencia Reactiva		Potencia Aparente	
		P Prom. (kW)	P Máx. (kW)	Q Prom. (kVAr)	Q Máx. (kVAr)	S Prom. (kVA)	S Máx. (kVA)
3/9/2022	11:29:02	5,49	8,59	4,91	12,41	7,64	13,78
3/9/2022	11:34:02	6,38	10,48	5,07	12,82	8,49	15,35
3/9/2022	11:39:02	6,85	7,14	4,97	10,56	8,93	13,85
5/9/2022	11:49:02	5,90	28,03	4,39	41,55	7,74	50,18
5/9/2022	11:54:02	6,59	27,44	5,58	40,60	8,96	49,08
5/9/2022	11:59:02	6,73	22,93	6,11	42,38	9,41	48,24
6/9/2022	07:09:02	5,52	15,26	10,29	18,20	11,70	23,76
6/9/2022	07:14:02	5,70	15,07	10,23	17,64	11,79	23,21
6/9/2022	07:19:02	7,06	16,40	10,74	17,37	13,00	23,95
6/9/2022	07:49:02	7,87	16,28	10,55	17,21	13,29	23,58
6/9/2022	07:54:02	6,32	16,31	10,99	17,83	12,78	23,80
6/9/2022	07:59:02	6,97	16,25	10,94	17,26	13,11	23,67
6/9/2022	08:04:02	6,98	15,32	10,78	17,07	12,95	22,95
6/9/2022	08:09:02	7,11	17,12	10,52	17,40	12,77	24,45
6/9/2022	08:14:02	7,72	15,68	10,85	16,95	13,45	23,16

Fecha	Hora	Potencia Activa		Potencia Reactiva		Potencia Aparente	
		P Prom. (kW)	P Máx. (kW)	Q Prom. (kVAr)	Q Máx. (kVAr)	S Prom. (kVA)	S Máx. (kVA)
6/9/2022	08:19:02	7,75	16,07	10,84	17,29	13,48	23,69
6/9/2022	13:39:02	5,34	26,73	4,33	35,42	7,25	44,38
6/9/2022	13:44:02	5,43	27,56	5,13	34,85	7,83	44,27
6/9/2022	13:49:02	5,57	27,78	4,50	34,85	7,53	44,63
8/9/2022	07:39:02	8,73	18,88	10,09	17,64	13,50	25,93
8/9/2022	07:44:02	8,96	18,74	9,99	17,84	13,55	25,95
8/9/2022	07:49:02	8,79	19,09	9,91	17,53	13,40	26,00

Fuente: (FHACASA, 2022)

Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los valores máximos registrados se presentaron durante los días 03, 05, 06 y 08 del mes de septiembre del año 2022, alcanzando un máximo en el periodo comprendido entre las 11:49:02 del día 05 de setiembre.



Fuente: (FHACASA, 2022)

Figura 49. Gráfico de potencias en el Molino B del año 2022.

Con ayuda de un medidor de variables y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que se utilizó en el año 2022 se pudo obtener con los datos recibidos de parte de FHACASA que durante el periodo de medición se registró un valor de potencia aparente máximo de 50,18 kVA producto de una corriente de arranque. Además, se logró obtener que en total se registraron 236 eventos, donde 115 de ellos fueron producidos por corrientes transitorias y 121 por caídas de tensión.

Tabla 8. Mediciones de intensidad en el Panel de Harinas del año 2022.

Intensidad de corriente							
Fecha	Hora	A1 Prom.	A1 Máx.	A2 Prom.	A2 Máx.	A3 Prom.	A3 Máx.
		(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
1/8/2022	16:04:22	98,38	110,30	96,67	109,10	103,80	117,60
1/8/2022	16:09:22	97,39	111,60	96,51	110,10	102,50	118,50
1/8/2022	16:14:22	98,26	113,80	96,73	112,80	103,40	119,50
1/8/2022	16:19:22	97,89	109,10	97,20	107,40	103,30	114,90
1/8/2022	16:24:22	98,06	113,40	96,38	111,80	103,30	119,10
1/8/2022	16:29:22	93,83	112,80	92,00	110,40	98,90	117,80
2/8/2022	06:44:22	100,60	118,60	98,00	114,80	105,70	125,50
2/8/2022	06:49:22	101,90	114,50	98,81	112,40	106,20	120,60
2/8/2022	06:54:22	99,08	115,90	96,56	113,90	103,80	120,60
2/8/2022	06:59:22	97,56	116,60	95,68	113,50	102,30	123,30
2/8/2022	07:39:22	99,54	121,20	97,99	118,50	104,50	125,20
2/8/2022	07:44:22	99,94	112,80	97,81	111,60	105,00	118,90
2/8/2022	07:49:22	99,07	111,20	97,04	108,50	103,80	117,80
2/8/2022	07:54:22	99,96	115,50	97,00	113,50	104,80	121,60
2/8/2022	07:59:22	98,74	115,20	97,16	113,80	104,20	121,70
2/8/2022	08:04:22	98,61	114,30	96,84	113,60	103,40	120,30
2/8/2022	08:09:22	98,67	112,10	96,99	110,10	104,10	119,10

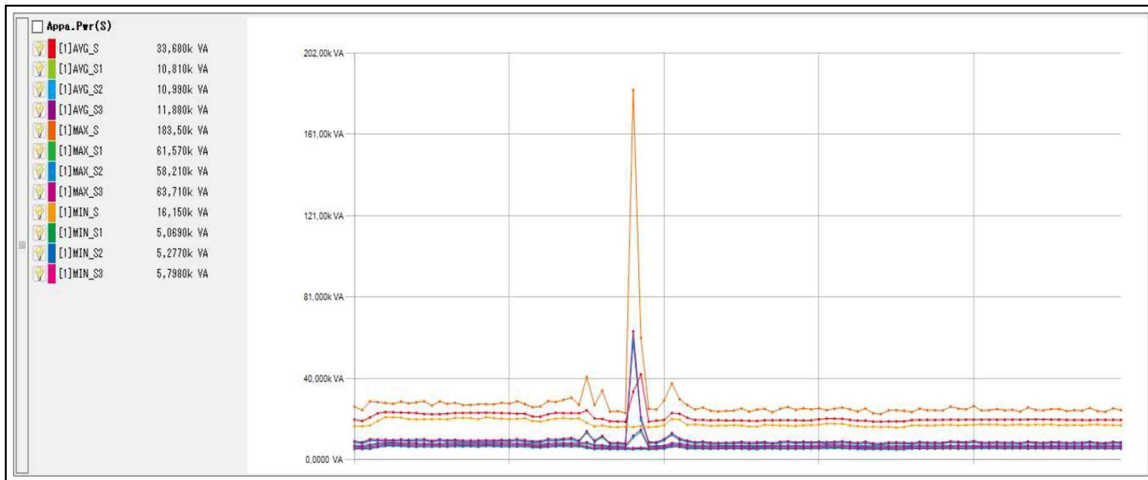
Fuente: (FHACASA, 2022)

Tabla 9. Mediciones de potencias en el Panel de Harinas del año 2022.

Fecha	Hora	Potencia activa		Potencia reactiva		Potencia aparente	
		P Prom. (kW)	P Máx. (kW)	Q Prom. (kVAr)	Q Máx. (kVAr)	S Prom. (kVA)	S Máx. (kVA)
1/8/2022	16:04:22	31,63	36,78	22,43	24,54	38,79	43,54
1/8/2022	16:09:22	31,53	37,20	22,13	24,05	38,55	43,86
1/8/2022	16:14:22	31,63	37,70	22,41	27,28	38,78	45,06
1/8/2022	16:19:22	31,59	35,87	22,50	24,40	38,79	43,06
1/8/2022	16:24:22	31,48	37,75	22,49	24,46	38,70	44,80
1/8/2022	16:29:22	29,47	37,07	22,21	25,37	37,01	44,26
2/8/2022	06:44:22	32,28	39,05	22,47	25,21	39,35	46,02
2/8/2022	06:49:22	32,69	37,83	22,44	25,70	39,66	44,91
2/8/2022	06:54:22	31,89	37,31	21,87	27,21	38,69	45,37
2/8/2022	06:59:22	31,25	37,98	21,90	25,42	38,19	45,18
2/8/2022	07:39:22	32,13	39,41	22,25	26,07	39,10	47,26
2/8/2022	07:44:22	32,08	36,95	22,46	24,78	39,17	44,28
2/8/2022	07:49:22	31,88	36,26	22,06	24,83	38,78	43,19
2/8/2022	07:54:22	31,95	37,93	22,26	24,53	38,96	45,18
2/8/2022	07:59:22	31,79	37,82	22,19	25,13	38,78	44,99
2/8/2022	08:04:22	31,64	37,71	22,03	24,23	38,57	44,77
2/8/2022	08:09:22	31,67	36,79	22,19	25,01	38,69	43,68

Fuente: (FHACASA, 2022)

Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los valores máximos registrados se presentaron durante los días 01 y 02 del mes de agosto del año 2022, alcanzando un máximo en el periodo comprendido entre las 07:39:22 del día 02 de agosto.



Fuente: (FHACASA, 2022)

Figura 50. Gráfico de potencias en el Panel de Harinas del año 2022.

Con ayuda igualmente del medidor de variables y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que se utilizó en el año 2022 se pudo obtener con los datos recibidos de parte de FHACASA que durante el periodo de medición se registró un valor de potencia aparente máximo de 47,26 kVA producto de una corriente transitoria. Además, se logró obtener que en total se registraron 4 eventos producidos por corrientes transitorias y 1 por caída de tensión.

Tomando como base estas mediciones, se generaron unas nuevas por medio del medidor SENTRON 7KM4212-0BA00-2AA0 integrado en el tablero principal actual; de donde se lograron obtener datos de tensión, corriente y potencias para cada línea dentro del sistema central del cuarto eléctrico. A continuación, desde la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** hasta la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un resumen de estos resultados a lo largo de 7 días por la mañana y la tarde respectivamente.

Se procede a identificar en cada caso (Tensión, corriente y potencia) a lo largo de esos 7 días los valores promedio a lo largo del tiempo, los valores más bajos y los valores más altos (identificados con amarillo) de cada periodo. Esto se realiza con el fin de analizar posteriormente estos valores con lo estipulado en la norma de la ARESEP (SUCAL), en donde también se van a incluir los datos del año 2022 proporcionados.

Tabla 10. Mediciones de tensiones de fase en Switchboard del año 2024.

Fecha	Hora	Vrms_AN	Vrms_AN	Vrms_AN	Vrms_BN	Vrms_BN	Vrms_BN	Vrms_CN	Vrms_CN	Vrms_CN
		_avg	_min	_max	_avg	_min	_max	_avg	_min	_max
15/4/2024	08:10:00	278,305	273,014	279,735	275,129	270,032	276,251	279,371	275,45	280,806
15/4/2024	14:10:00	272,414	270,552	273,297	269,82	268,294	270,733	273,172	270,913	274,09
16/4/2024	08:10:00	277,935	274,109	281,55	275,872	272,567	278,846	278,224	274,477	280,73
16/4/2024	14:10:00	270,733	268,98	271,822	268,609	267,033	269,785	271,818	270,492	272,643
17/4/2024	08:10:00	274,948	270,965	276,476	273,38	269,464	275,212	278,621	274,832	280,478
17/4/2024	14:10:00	269,483	268,798	270,741	261,255	260,414	262,763	277,164	276,175	278,182
18/4/2024	08:10:00	275,517	270,661	276,936	272,417	261,489	273,697	275,244	268,337	276,588
18/4/2024	14:10:00	275,2	271,889	276,962	273,465	268,938	274,387	278,706	274,023	279,651
19/4/2024	08:10:00	273,942	269,372	275,451	270,631	267,236	272,42	276,218	271,939	277,3
19/4/2024	14:10:00	275,148	273,076	278,022	272,755	270,84	275,695	277,397	275,23	281,515
20/4/2024	08:10:00	269,304	265,691	270,371	267,316	263,346	268,324	272,373	268,253	273,625
20/4/2024	14:10:00	273,966	269,823	275,289	266,27	262,415	267,678	280,01	276,065	281,689
21/4/2024	08:10:00	268,884	267,381	269,856	268,516	267,154	269,515	273,02	271,63	274,083
21/4/2024	14:10:00	274,142	271,328	275,361	271,776	270,029	272,928	276,728	274,855	277,873
Promedio	-	273,56	-	-	270,52	-	-	276,29	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Mediciones de tensiones de línea en Switchboard del año 2024.

Fecha	Hora	Vrms_AB	Vrms_AB	Vrms_AB	Vrms_BC	Vrms_BC	Vrms_BC	Vrms_CA	Vrms_CA	Vrms_CA
		_avg	_min	_max	_avg	_min	_max	_avg	_min	_max
15/4/2024	08:10:00	480,249	471,665	482,308	479,255	470,615	481,079	482,515	474,671	484,564
15/4/2024	14:10:00	468,887	465,887	470,182	470,295	467,156	471,669	472,576	468,984	473,613
16/4/2024	08:10:00	479,55	473,46	485,262	479,044	472,892	482,905	482,103	475,797	487,565
16/4/2024	14:10:00	467,615	464,776	469,161	466,501	464,061	468,257	470,276	467,907	471,409
17/4/2024	08:10:00	476,424	469,553	479,104	476,255	469,654	478,978	479,182	472,561	481,876
17/4/2024	14:10:00	465,753	464,648	467,686	461,35	460,044	463,858	471,72	470,554	473,679
18/4/2024	08:10:00	474,872	460,313	477,02	473,923	456,637	476,002	476,584	468,946	478,435
18/4/2024	14:10:00	476,857	469,652	478,451	476,184	468,756	477,803	479,492	472,687	481,11
19/4/2024	08:10:00	473,234	465,983	475,662	471,277	464,466	473,73	476,442	469,288	478,532
19/4/2024	14:10:00	475,934	472,628	480,742	474,404	471,112	480,167	478,589	475,584	484,476
20/4/2024	08:10:00	466,464	459,856	467,931	464,86	458,151	466,205	469,292	462,363	471,009
20/4/2024	14:10:00	473,209	466,431	475,504	468,412	461,451	470,58	478,679	471,787	481,409
21/4/2024	08:10:00	465,629	463,337	467,191	467,135	464,944	468,683	470,36	468,033	471,702
21/4/2024	14:10:00	474,027	470,162	475,65	473,21	469,802	475,224	477,186	473,695	478,868
Promedio	-	472,76	-	-	471,58	-	-	476,07	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Mediciones de corrientes en Switchboard del año 2024.

Fecha	Hora	Irms_A_	Irms_A_	Irms_A_	Irms_B_	Irms_B_	Irms_B_	Irms_C_	Irms_C_	Irms_C_
		avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max
15/4/2024	08:10:00	42,8025	40,3192	45,3966	40,025	36,2437	41,9684	43,9406	41,0477	45,5441
15/4/2024	14:10:00	42,7121	40,5058	44,8061	41,3403	39,1094	43,6403	45,2813	43,1136	47,6392
16/4/2024	08:10:00	43,0264	39,7332	45,6776	40,44	37,8115	42,8828	44,295	41,2018	46,8661
16/4/2024	14:10:00	0,128688	0,114258	0,146043	0,499886	0,481369	0,520517	0,26557	0,250793	0,282239
17/4/2024	08:10:00	0,12824	0,113381	0,156119	0,494935	0,403429	0,752023	0,266346	0,244099	0,429693
17/4/2024	14:10:00	45,7025	44,0052	47,4727	38,6763	36,9303	40,6363	47,4268	45,6736	49,144
18/4/2024	08:10:00	47,991	44,7095	50,6924	45,1612	39,1495	47,4547	48,9919	46,3215	53,3867
18/4/2024	14:10:00	0,119345	0,102606	0,141503	0,397653	0,369419	0,747124	0,237857	0,220701	0,381212
19/4/2024	08:10:00	20,4325	0	223,999	18,6582	0	190,972	20,9634	0	211,307
19/4/2024	14:10:00	19,1501	0	219,726	17,5998	0	202,908	19,5616	0,218333	206,089
20/4/2024	08:10:00	42,5818	22,9576	212,433	39,0159	20,9681	200,664	43,7695	23,5458	223,701
20/4/2024	14:10:00	43,8496	41,4543	46,6332	36,6804	34,3612	38,298	44,9845	41,9798	47,1923
21/4/2024	08:10:00	55,3696	53,1056	57,9698	53,2284	50,886	56,1825	58,7567	56,4012	61,4209
21/4/2024	14:10:00	46,5542	44,5402	48,4653	43,3941	41,1723	45,2931	48,2081	46,2856	49,9951
Promedio	-	32,18	-	-	29,69	-	-	33,35	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Mediciones de potencias activas en Switchboard del año 2024.

Fecha	Hora	PowerP_ A_avg	PowerP_ A_min	PowerP_ A_max	PowerP_ B_avg	PowerP_ B_min	PowerP_ B_max	PowerP_ C_avg	PowerP_ C_min	PowerP_ C_max
15/4/2024	08:10:00	9242,29	9045,61	9473,81	9046,66	8806,74	9301,19	10190,4	10001,4	10404,1
15/4/2024	14:10:00	9227,97	8837,31	9602,97	9395,6	9015,25	9754,87	10311,7	9927,58	10649,6
16/4/2024	08:10:00	9340,55	8997,52	9724,74	9221,32	8970,47	9403,29	10189,1	9866,84	10583,5
16/4/2024	14:10:00	30,2063	29,1715	31,0766	11,8596	8,87809	14,4156	-48,986	-50,3224	-47,6813
17/4/2024	08:10:00	30,9148	29,2295	32,768	16,6676	12,026	21,8865	-53,7966	-66,7712	-50,0486
17/4/2024	14:10:00	9276,1	9082,35	9504,58	8716,96	8512,71	8955,86	11390	11137,9	11620,1
18/4/2024	08:10:00	10720,2	10385	10954,1	10439,8	9538,29	10715,9	11503,2	11235	12377,6
18/4/2024	14:10:00	27,2793	26,3256	30,1338	24,5985	18,5911	27,071	-53,9144	-62,7023	-51,1992
19/4/2024	08:10:00	3855,58	26,4904	8316,5	3753,93	19,8847	8216,13	4267,17	-72,1013	8578,12
19/4/2024	14:10:00	3414,74	28,6678	8046,1	3324,53	17,7949	8351,66	3705,5	-58,886	8489,55
20/4/2024	08:10:00	8944,23	5112,73	14618,1	8742,8	4978,7	14125,6	9969,7	5610,4	16273,7
20/4/2024	14:10:00	8874,68	8688,46	9086,1	8229,84	8053,76	8399,53	10771,5	10512,6	11037,5
21/4/2024	08:10:00	12418,3	12192,9	12673,3	12669,9	12464,8	12968,5	13936,2	13747,6	14225,7
21/4/2024	14:10:00	10172,1	9900,02	10378,1	10049	9747,48	10281,7	11315	11066,3	11534,4
Promedio	-	6826,80	-	-	6688,82	-	-	7670,91	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Mediciones de potencias aparentes en Switchboard del año 2024.

Fecha	Hora	PowerS_ A_avg	PowerS_ A_min	PowerS_ A_max	PowerS_ B_avg	PowerS_ B_min	PowerS_ B_max	PowerS_ C_avg	PowerS_ C_min	PowerS_ C_max
15/4/2024	08:10:00	11912,2	11647,6	12137,8	11012	10732,1	11265,3	12275,7	12082,4	12464,7
15/4/2024	14:10:00	11635,4	11262,2	11985,3	11154,4	10765,8	11552	12369,6	11953	12732,7
16/4/2024	08:10:00	11958,6	11576,4	12521,3	11156,2	10834,1	11451,7	12323,9	12017,1	12670,2
16/4/2024	14:10:00	34,8399	33,6868	36,5584	134,274	130,89	137,415	72,1866	69,7449	74,7446
17/4/2024	08:10:00	35,2594	33,4867	38,2027	135,305	112,396	143,735	74,2097	69,0839	80,152
17/4/2024	14:10:00	12316	12094,1	12547,5	10104,4	9910,14	10357,6	13145	12903,8	13369,1
18/4/2024	08:10:00	13222,3	12921,3	13554,4	12302,7	10979,7	12591,5	13484,7	13129,1	14051,8
18/4/2024	14:10:00	32,8438	31,7947	35,8239	108,744	102,692	142,271	66,2921	63,1682	80,3711
19/4/2024	08:10:00	5597,33	33,1216	26486,4	5049,5	90,9836	24573,2	5790,45	62,932	24734,3
19/4/2024	14:10:00	5269,11	33,3597	25578,5	4800,44	119,714	25246,5	5426,34	65,3007	24653,9
20/4/2024	08:10:00	11467,4	6361,23	26813	10429,6	5768,8	23384,2	11921,6	6577,35	27296,1
20/4/2024	14:10:00	12013,3	11780,6	12295,6	9766,9	9605,87	9960,05	12596,1	12325,8	12875
21/4/2024	08:10:00	14888	14668,2	15163,4	14292,7	14063,3	14595,9	16041,7	15830,5	16320
21/4/2024	14:10:00	12762,5	12512	12975,9	11793,5	11493,1	12023,2	13340,5	13079,1	13565,8
Promedio	-	8796,08	-	-	8017,19	-	-	9209,16	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Mediciones de potencias reactivas en Switchboard del año 2024.

Fecha	Hora	PowerN_ A_avg	PowerN_ A_min	PowerN_ A_max	PowerN_ B_avg	PowerN_ B_min	PowerN_ B_max	PowerN_ C_avg	PowerN_ C_min	PowerN_ C_max
15/4/2024	08:10:00	7515,29	7243,21	7752,92	6278,76	6003,75	6501,33	6844,63	6652,73	7041,59
15/4/2024	14:10:00	7087,08	6893,4	7273,28	6012	5760,63	6280,71	6831,84	6559,67	7090,23
16/4/2024	08:10:00	7467,34	7183,77	7963,7	6279,24	5910,34	6642,43	6932,64	6643,5	7262,64
16/4/2024	14:10:00	17,3608	16,4733	20,1057	133,749	130,178	137,055	53,0215	49,6839	56,4191
17/4/2024	08:10:00	16,9558	15,5912	23,7533	134,275	110,314	143,15	51,1175	28,8089	59,1584
17/4/2024	14:10:00	8101,78	7929,9	8292,02	5110,08	4949,92	5314,29	6562,01	6390,26	6772,23
18/4/2024	08:10:00	7740,03	7546,79	8493,56	6509,03	5403,51	6703,36	7036,66	6651,82	7253,77
18/4/2024	14:10:00	18,2909	16,5162	21,1351	105,926	99,8977	140,25	38,5731	35,0062	50,2787
19/4/2024	08:10:00	4057,66	18,1447	25146,9	3377,2	87,8846	23158,9	3914,16	19,9541	23199,1
19/4/2024	14:10:00	4012,87	16,844	24280,1	3462,91	117,807	23825,1	3964,13	33,9847	23146,1
20/4/2024	08:10:00	7176,54	3748,49	22477,7	5686,76	2876,2	18635,7	6536,86	3395,99	21914,5
20/4/2024	14:10:00	8096,88	7878,08	8335,69	5259,47	5109,03	5437,12	6529,67	6330,44	6725,74
21/4/2024	08:10:00	8212,19	8073,28	8374,16	6614,77	6479,07	6755,35	7944,84	7817,01	8100,82
21/4/2024	14:10:00	7707,78	7529,2	7901,19	6172,77	5985,09	6373,97	7066,91	6860,13	7281,17
Promedio	-	5516,29	-	-	4366,92	-	-	5021,93	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Mediciones de potencias totales en Switchboard del año 2024.

Fecha	Hora	PowerP_	PowerP_	PowerP_	PowerS_	PowerS_	PowerS_	PowerN_	PowerN_	PowerN_
		Total_avg	Tot_min	Tot_max	Total_avg	Tot_min	Tot_max	Total_avg	Tot_min	Tot_max
15/4/2024	08:10:00	28479,4	28247,6	28713,8	35212,8	34911,5	35464,1	20709	20321,6	20913,8
15/4/2024	14:10:00	28935,3	28140,8	29693,5	35171,7	34365,4	35936,2	19995	19582,3	20292
16/4/2024	08:10:00	28751	28424,7	29294,9	35454,4	34991,7	36241,2	20746,1	20230,8	21409,5
16/4/2024	14:10:00	-6,92014	-9,28146	-4,74126	468,297	453,352	480,91	468,246	453,314	480,838
17/4/2024	08:10:00	-6,21408	-15,5443	-2,65158	474,513	412,101	507,228	474,472	411,873	507,146
17/4/2024	14:10:00	29383	29066	29708,6	35627,1	35260	36033,4	20147,6	19948,4	20391,3
18/4/2024	08:10:00	32663,1	32231,4	33142,4	39021,4	38363,6	39482	21349,2	20609,6	21598,8
18/4/2024	14:10:00	-2,03661	-11,7633	1,50522	392,933	373,059	501,242	392,928	373,054	501,159
19/4/2024	08:10:00	11876,7	-19,0828	25110,8	16449	343,553	75828,3	11380,4	343,414	71549,9
19/4/2024	14:10:00	10444,8	-8,78626	24887,3	15507,5	418,813	75500,8	11462,5	418,779	71281
20/4/2024	08:10:00	27656,7	15856,8	45017,4	33840,9	18881,8	77590,6	19501,6	10216	63196
20/4/2024	14:10:00	27876	27621,3	28200,9	34450	34131,7	34897,1	20241,9	19976	20556,9
21/4/2024	08:10:00	39024,3	38573	39726,2	45239	44785,9	45960,1	22883,9	22680,9	23156
21/4/2024	14:10:00	31536,1	31047,8	31812	37915,6	37425,1	38261,6	21049,2	20752,3	21297,3
Promedio	-	21186,52	-	-	26087,51	-	-	15057,29	-	-

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Análisis comparativo con la norma ARESEP

Con ayuda de las mediciones energéticas del SENTRON 7KM4212-0BA00-2AA0, como instrumento para analizar los requisitos de la norma técnica para la supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCAL 2015, se obtienen los siguientes resultados, tomando también como base las mediciones compartidas por el cliente en el año 2022:

- Valores eficaces (RMS) de tensión nominal en baja tensión:

Sistema	Tensión	
	Entre líneas activas (Volt)	Entre líneas activas y neutro (Volt)
Monofásico bifilar ¹	-	120
Monofásico trifilar	240	120
Bifásico trifilar	208	120
Trifásico, 4 conductores ²	208	120
Trifásico, 4 conductores ³	480	277

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015)

Figura 51. Valores eficaces (RMS) para la tensión medida marcada en amarillo.

- Intervalos de tensión de servicio normal y tolerable en 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	114/22 8	126/252	110/220	127/254
Bifásico trifilar 120/208	114/19 7	126/218	110/191	127/220
Trifásico 120/208, conexión estrella	114/19 7	126/218	110/191	127/220
Trifásico 277/480, conexión estrella	263/45 6	291/504	254/440	293/508

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015)

Figura 52. Intervalos normales y tolerables para la tensión medida marcada en amarillo.

- El desbalance de la tensión en baja tensión:

$$D = \frac{100 \times |456,637 - 471,58|}{473,47} = 3,15 \% \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

- D = Porcentaje de desbalance que no cumple al ser mayor que 3 % requerido
- $|\Delta_{\max}|$ = La mayor diferencia encontrada en las tensiones de línea se da en el valor mínimo de 456,637 V y el valor promedio de 471,58 V
- V_{prom} = Tensión promedio de las tres tensiones de línea que es 473,47 V
- Valores eficaces (RMS) de tensión nominal en media tensión:

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

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015)

Figura 53. Valores eficaces (RMS) para la tensión de acometida marcada en amarillo.

- Intervalos de tensión de servicio normal y tolerable en media tensión:

Sistema - V_s /Intervalo	Normal (Volt)		Tolerable (Volt)	
	V_{\min}	V_{\max}	V_{\min}	V_{\max}
Trifásico 4 conductores				
4 160/2 400	3 952/2 280	4 368/2 520	3 744/2 160	4 576/2 640
13 200/7 620	12 540/7 239	13 860/8 001	11 880/6 858	14 520/8 382
13 800/7 970	13 110/7 572	14 490/8 369	12 420/7 173	15 180/8 767
24 940/14 400	23 693/13 680	26 187/15 120	22 446/12 960	27 434/15 840
34 500/19 920	32 775/18 924	36 225/20 916	31 050/17 928	37 950/21 912
69 000/39 840	65 550/37 848	72 450/41 832	62 100/35 856	75 900/43 824

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015)

Figura 54. Intervalos normales y tolerables para la tensión medida marcada en amarillo.

- Condiciones para las pruebas de medición y registro de los parámetros:

Tipo de servicio	Puntos de Medición	Parámetros	Variaciones rápidas	Tiempo de Prueba
Monofásico bifilar	Línea activa – Neutro	Tensión	- Huecos de tensión - Picos de tensión - Parpadeo	7 días naturales
Monofásico trifilar	Líneas activas – Neutro	Tensión	- Huecos de tensión - Picos de tensión - Parpadeo	
Trifásico estrella	Fases – Neutro Entre fases	Tensión, Desbalance de tensión.	- Huecos de tensión - Picos de tensión - Tensiones Armónicas - Parpadeo	

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015)

Figura 55. Condiciones para pruebas de medición según servicio marcado en amarillo.

- Valores de umbral con que deben ajustarse los equipos:

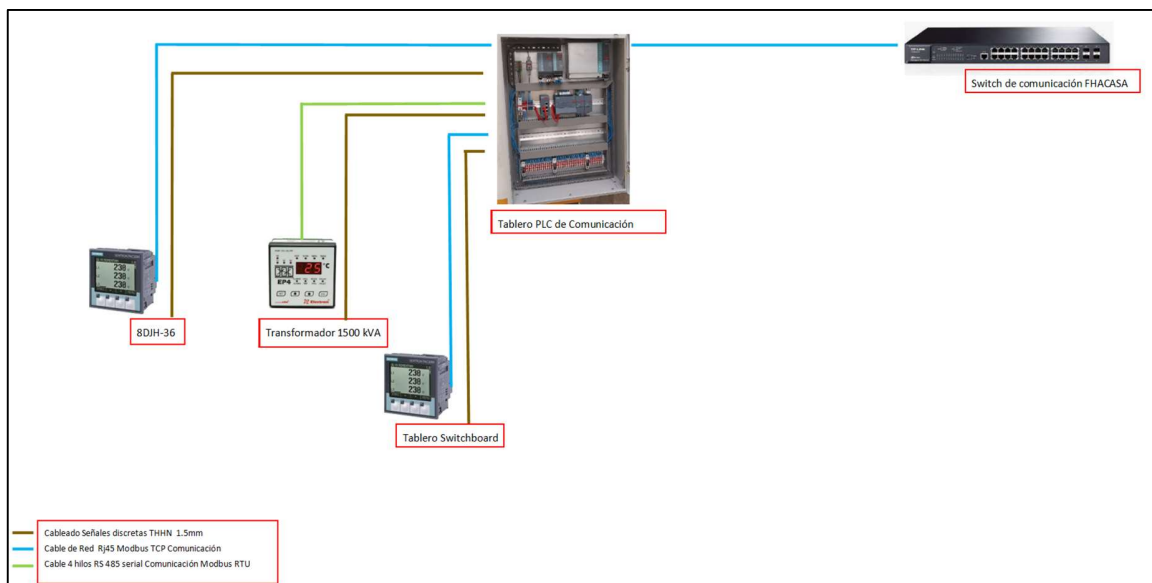
Categoría de Servicio	Categoría de Evento	Valores de Umbral (Volts rms)	Porcentaje de la Tensión Nominal
Monofásico bifilar	Hueco de tensión	104	87% de Vn
	Pico de tensión	138	115% de Vn
	Impulso	240	200% de Vn
Monofásico Trifilar	Hueco de tensión	104/209	87% de Vn
	Pico de tensión	138/276	115 % de Vn
	Impulso	240/480	200 % de Vn
Trifásico	Hueco de tensión	104/181Y - 209Δ	87% de Vn
	Pico de tensión	138/239Y - 276Δ	115% de Vn
	Impulso	240/416Y - 480Δ	200 % de Vn
	Tensiones Armónicas	3% de Vn	Para cada tensión armónica
		5% TDA	Armónicas hasta orden 20
	Desbalance	3%	
	Corrientes armónicas	5% a 20 % TDD	Refiérase a lo indicado en el artículo 13.

Fuente: (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2015)

Figura 56. Valores de umbral para ajuste de equipos según servicio marcado en amarillo.

Mediante el análisis de los datos realizados en esta sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** basado en los datos del año 2022 y las mediciones del presente año presentados en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede afirmar que hay una problemática en la red eléctrica que genera más de 200 eventos por corrientes de arranque o transitorias, y un desbalance mayor al 3 % , incumpliendo con las normativas de tensión establecidas. Por ello, se propone implementar un diagrama de medición para el sistema y monitorear en tiempo real los procesos.

La implementación de este sistema de medición integrado responde a la necesidad de cumplir con las regulaciones establecidas por la ARESEP (SUCAL), donde actualmente existen problemáticas asociadas, tal como se menciona en el párrafo anterior. Con esto, FHACASA asegura contar con valores en tiempo real para tomar acciones ante posibles fallos y poder monitorear de manera constante, tal como se ha detallado en este informe, los valores a lo largo del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Diagrama de comunicación de la planta FHACASA 2024.

Se emplea el medidor instalado actualmente en el tablero principal tipo *Switchboard* como punto de conexión. Se añade otro medidor similar, que incluye la celda de media tensión y el relé de temperatura del transformador de potencia de 1500 kVA; todo este se

conecta al tablero de control PLC actual presente fuera del cuarto eléctrico y a su vez a un switch de comunicación por medio de red presente en FHACASA ([Diagrama de comunicación](#)).

3.7. Evaluación presupuestal de FHACASA

Se contempla un presupuesto inicial de \$250,000, que es la cifra presupuestal que FHACASA tiene asignada para el desarrollo del proyecto relacionado con el rediseño planteado. Este presupuesto incluye las siguientes cláusulas, abarcando todo lo relacionado con equipos, materiales, instalación y puesta en marcha como proyecto llave en mano, cumpliendo con las normas de calidad, salud y ambiente:

1. Se incluye el transporte de los equipos hasta las instalaciones del cliente.
2. Se contempla el uso de todos los implementos de seguridad en buen estado y al día por parte de todos los colaboradores de Smart de acuerdo con la función que se vaya a desempeñar.
3. Se contempla que el personal a utilizar para realizar el proyecto tiene amplio conocimiento en las normas de seguridad solicitadas por EHS del cliente, para desarrollar los trabajos.
4. No se incluye el pago de cursos para obtener certificados de seguridad por parte de empresas externas, si el cliente lo solicitase, se deberá de contemplar como un adicional en el costo del proyecto.
5. Se incluye el recibir charlas de seguridad por parte del cliente si así lo consideran pertinente.
6. Se incluye el uso de generador e iluminación provisional, para las labores que deban realizarse de noche durante el paro programado.
7. Se contempla que el cliente brindará un área dentro de sus bodegas para el resguardo de los materiales y herramientas de nuestra empresa.
8. Se contempla que el cliente brindará el servicio de agua, luz y servicios sanitarios.
9. Se contempla que el cliente brindará un espacio para el uso del comedor para que nuestros colaboradores puedan realizar sus tiempos de desayuno, almuerzo y cena, según sea el caso.

10. Se contempla el uso de cintas de seguridad, conos y cualquier otro elemento que el cliente nos solicite para delimitar el área de trabajo según la NFPA 70E.
11. Se incluye el realizar reuniones periódicas virtuales para informar al cliente sobre el avance del proyecto.
12. Se contempla el botado de materiales por la obra civil y electromecánica (como canastas, cableados, escombros, entre otros).
13. Se considera que el proyecto será desarrollado durante la época seca, en caso de realizarse en época lluviosa, se deberá de revisar los tiempos y costos del proyecto.
14. Se contempla que el cliente brindará uno de sus montacargas para realizar el movimiento de los equipos eliminados en la subestación (como transformadores) hasta alguna de las bodegas a elegir por el cliente dentro de las instalaciones de FHACASA.
15. No se incluye el pago de ningún tipo de tasación o trámite ante el CFIA y/o ICE
16. No se incluye incorporar los planos ante el CFIA.
17. Se incluye el suministro de un informe al finalizar el proyecto con todos los planos y los resultados de las pruebas obtenidas.
18. Se contempla realizar el trabajo constructivo en un paro de 4 días no continuos, iniciando el paro de la planta en horas de la noche y arrancando la planta al amanecer preliminarmente.

Con base en las mejoras explicadas anteriormente, el presupuesto indicado y las alternativas de cotización presentadas a continuación, se propone una cotización final con un margen apropiado para la empresa Smart y el cliente final FHACASA.

3.8. Elaboración de cotizaciones

Se realizó una solicitud de cotización a la fábrica de Siemens S.A. en México, en la cual se solicitaron 2 opciones de celda de media tensión: una con posibilidad de incluir interruptores o bornes principales, y otra con dispositivos fusibles del tipo seccionador. En este caso, se optó por la opción más económica del tipo seccionador-fusible, que incluye un medidor de variables eléctricas requerido (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La selección de la celda tipo seccionadora se da por sus ventajas con el medidor y la capacidad de conectar con transformadores, que es lo requerido en el rediseño; para el caso del otro tipo de celda, en la cotización no se incluye el dispositivo para medición de variables y solamente se incluye un espacio para interruptores. Además de que existe la ventaja económica de la seccionadora sobre la otra.

Asimismo, se solicitó una cotización a la fábrica de Siemens Energy en Brasil para el transformador de potencia requerido de 1500 kVA. Se seleccionaron las características necesarias con la ayuda de los profesionales de Siemens A.G., basándose en las condiciones que presenta FHACASA. Al tratarse de un presupuesto, no se consideran datos exactos que posteriormente se puedan verificar al realizar el rediseño (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

En cuanto a los transformadores de baja tensión, se solicitó al proveedor de Smart para estos equipos, que es Hammond Power Solutions, que se les indique la potencia requerida y las tensiones que se deben regular para obtener una propuesta. En el caso de estos equipos, es necesario considerar un flete para el transporte de Miami a Costa Rica, ya que el proveedor no realiza envíos hasta el país (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La gestión del flete se solicitó a los encargados en Smart, quienes a su vez cuentan con un proveedor externo para el traslado de este tipo de equipos. Se consideran las especificaciones físicas del equipo para el cálculo del transporte internacional:

CARGOS	COSTO	OBSERVACIONES
Flete	\$7 780,00	
Pick Up	\$1 050,00	
Cargos en Origen	\$1 095,00	
Inland	\$900,00	
Cargos de Naviera	\$640,00	
Transfer Fee	\$50,00	
Manejo DHY	\$120,00	
Seguro	\$441,00	
TOTAL	\$12 076,00	

Fuente: (Smart Industrial).

Figura 58. cotización de transporte internacional para los transformadores Hammond.

A continuación, se presenta un resumen del costo de transporte internacional por transformador según su capacidad y costo de flete recibido (\$12 076):

Tabla 17. Resumen de costos de transporte internacional por transformador.

Equipo	Costo	Flete	Total
Transformador seco de 300 kVA	\$5 999,00	\$9 031,74	\$15 030,74
Transformador seco de 75 kVA	\$2 022,04	\$3 044,26	\$5 066,30
Total (\$)	\$8 021,04	\$12 076,00	\$20 097,04

Fuente: Elaboración propia.

Para las mejoras a realizar en el tablero de baja tensión tipo *Switchboard* y el tablero tipo P5, se considera la cotización de la fábrica de Siemens en Guatemala para el interruptor principal del tablero, así como los precios específicos para Smart como distribuidor de los respectivos accesorios para el montaje en el tablero (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Para todo el montaje de equipos, suministro de cableado y reubicación de componentes existentes; se tiene el subcontrato de KVP ingeniería con la ayuda de Smart Field Services. Se realizaron 2 cotizaciones de parte de este proveedor con el fin de implementar todas las necesidades en media y baja tensión, se maneja preliminarmente un requerimiento en 2 partes con el fin de no afectar la producción por motivo de paros prolongados en la planta. Los costos de mano de obra, materiales y la cantidad de personal se considera en la cotización de KVP ingeniería como subcontrato y los tiempos de realización se acordaron en 2 días continuos luego de haber recibido todos los equipos, contemplando fines de semanas como mejor momento para estos paros (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

A continuación, se presenta un resumen de los tiempos de fabricación y entrega aproximados para cada uno de los equipos o servicios mencionados, con el fin de proceder con una cotización final hacia el cliente que se ajuste al presupuesto:

Tabla 18. Resumen de tiempos de entrega para equipos y servicios de rediseño.

Equipo o Servicio	Tiempo estimado
Celda Media tensión	30 SEMANAS
Transformador 1500k VA	30 SEMANAS
Transformadores Baja tensión	18 SEMANAS
Interruptores Switchboard	18 SEMANAS
Servicio de retiro de equipos existentes	2 DIAS
Servicio de puesta en marcha	2 DIAS

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar una oferta formal hacia el cliente, se tomaron en consideración primeramente los costos de las cotizaciones anteriormente mencionadas, así como el flete internacional en el caso de los transformadores que deben ser traídos desde Estados Unidos. También se incluyeron los impuestos y gastos de nacionalización con aduanas, los fletes nacionales hacia FHACASA, las garantías y riesgos previstos en cada proyecto, y una ganancia que permita cumplir con el presupuesto establecido.

Tabla 19. Oferta formal relacionada con el rediseño de FHACASA.

Pos.	Cant.	Proyecto	Descripción	Entrega	Precio Uni.	Precio Tot.
1	1	Siemens México	Celda Seccionador-Fusible con medidor integrado	30 SEMANAS	\$54 117,89	\$54 117,89
2	1	Siemens Brasil	Transformador de potencia de aluminio 1500k VA	30 SEMANAS	\$75 948,14	\$75 948,14
3	1	Hammond Power Sol.	Transformadores secos de aluminio de baja tensión	18 SEMANAS	\$28 127,01	\$28 127,01
4	1	Siemens Guatemala	Interruptores de tablero Switchboard de 480 V	18 SEMANAS	\$9 455,51	\$9 455,51

Pos.	Cant.	Proyecto	Descripción	Entrega	Precio Uni.	Precio Tot.
5	1	KPV ingeniería	Servicios de retiro de equipos obsoletos	2 DIAS	\$17 087,36	\$17 087,36
6	1	KPV ingeniería	Servicios de puesta en marcha	2 DIAS	\$56 302,85	\$56 302,85
					Subtotal:	\$241 038,75
					13% I.V.:	\$31 335,04
					Total I.V.I.:	\$272 373,79

Fuente: Elaboración propia.

Como en todas las ofertas de parte de Smart se tiene una vigencia de 30 días naturales a partir de la presentación, se cuenta con garantía a 12 meses a partir de la finalización del proyecto, y se contemplan todas las pólizas del INS necesarias sobre los trabajadores que realicen labores en planta. El lugar de entrega de equipos y servicios se acuerda en FHACASA y las condiciones de pago se plantean acordar a la hora de implementar dicho rediseño.

La rentabilidad del proyecto es positiva ya que se tiene un presupuesto por parte del cliente de \$250 000 sin impuestos y una oferta total del rediseño de \$241 038,75 antes de aplicar impuestos. Además de que se cumplió con los objetivos técnicos requeridos por FHACASA dentro del cuarto eléctrico presentados en la Tabla 5.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Tomando como base las revisiones del sistema actual, los diseños mejoras dentro del cuarto eléctrico, las mediciones de variables eléctricas y la finalización de una oferta formal; se obtienen las siguientes conclusiones del proyecto realizado en rediseño.

Se realizó un levantamiento completo de la planta por medio de visitas y distribuciones eléctricas existentes, en donde se lograron identificar necesidades en diseño y seguridad dentro del cuarto eléctrico de FHACASA basado en el NEC 2014.

Por medio de las necesidades y cálculos realizados se completaron diagrama unifilares preliminares para un rediseño, implementando mejoras con equipos actualizados y reajuste de otros existentes a partir de una carga máxima de 43,47 A.

El análisis comparativo de las variables eléctricas existentes y medidas durante el proyecto permite verificar los niveles tolerables según la norma de la ARESEP, y garantizar que hay necesidades en el sistema eléctrico actual al tener diferencias mayores al 3% indicado por la SUCAL.

La oferta económica final basada en los costos de las mejoras cumple con el presupuesto inicial indicado por FHACASA y los requerimientos de margen establecidos por la empresa Smart Industrial.

Así es como el desarrollo de una propuesta de rediseño se vuelve vital para la fábrica en su cumplimiento de seguridad y calidad de la energía, implemento mejoras al sistema basadas en reglamentos como el NEC 2014, la norma NFPA 70E y la norma SUCAL de la ARESEP a nivel nacional e internacional.

4.2. Recomendaciones

Durante el rediseño del sistema eléctrico dentro del cuarto eléctrico de FHACASA se lograron identificar algunas recomendaciones:

- Es importante realizar visitas de seguimiento al rediseño para garantizar la realización de este y brindar retroalimentación a corto plazo.

- Adquirir uno de los planes de mantenimiento de Smart Field Services para cubrir eventuales problemáticas en el sistema eléctrico en tiempo real.
- Programar una serie de capacitaciones para completar certificaciones con el CFIA, bomberos y entes internacionales a corto plazo.
- Integrar al sistema donde se requiera una serie de supresores para garantizar la integridad de los equipos presentes lo más pronto posible.
- Cumplir con la NFPA 70E en cuanto a rotulación o marcado de zonas según su potencial de arco eléctrico y riesgo en el corto plazo.

CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Legislativa de Republica de Costa Rica. (13 de enero de 2016). Decreto Ejecutivo 9333. Reforma Ley Orgánica del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. La Gaceta, (8).
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (05 de mayo de 2015). Resolución RJD-070-2015. Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión (norma técnica regulatoria AR-NT-SUCAL). La Gaceta, (85).
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (17 de noviembre de 2021). Manual para Redes Eléctricas de Distribución Subterránea. La Gaceta, (222).
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (28 de agosto de 2012). Acuerdo 24. Reforma Reglamento para el Trámite de Planos y la Conexión de los Servicios Eléctricos, Telecomunicaciones y de Otros en Edificios. La Gaceta, (165).
- Corporación Multi Inversiones. (2024). *Somos CMI*. <https://somoscmi.com>
- Hammond Power Solutions. (2024). *HPS Sentinel™ G general purpose distribution transformers*. <https://americas.hammondpowersolutions.com/products/low-voltage-distribution/general-purpose-transformers>
- National Fire Protection Association. (2014). *NFPA 70: National electrical code*. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-70-standard-development/70>
- National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace*. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-70e-standard-development/70e>
- National Fire Protection Association. (2024). *The National Fire Protection Association (NFPA)* <https://www.nfpa.org/es>
- Poder Ejecutivo de República de Costa Rica. (20 de mayo de 2014). Decreto Ejecutivo 38440. Reforma Reglamento de Oficialización del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad (RTCR 458:2011). La Gaceta, (95).
- Siemens (2024). *Celdas de media tensión aisladas en gas bajo envoltivo metálico*. Siemens Energy. <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/systems/8djh36.html>

Siemens México. (2024). *Tableros de alumbrado y distribución, centros de control de motores (CCM) y subestaciones eléctricas*. Siemens México. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:a83d6add-3253-4666-a425-e98801b90a44/version:1558630223/complementocattablersalydistmx019v1-0.pdf>

Siemens. (2024). *Transformando experiencia en alta tecnología de una sola mano*. Siemens Energy. <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/geafol-dry-type-distribution-transformers.html>

SiePortal: Industry Mall Siemens. (2024). *7KM4212-0BA00-2AA0*. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/7KM42120BA002AA0>

Smart Field Services. (2024). *Smart Field Services*. <https://www.smart-fieldservices.com/>

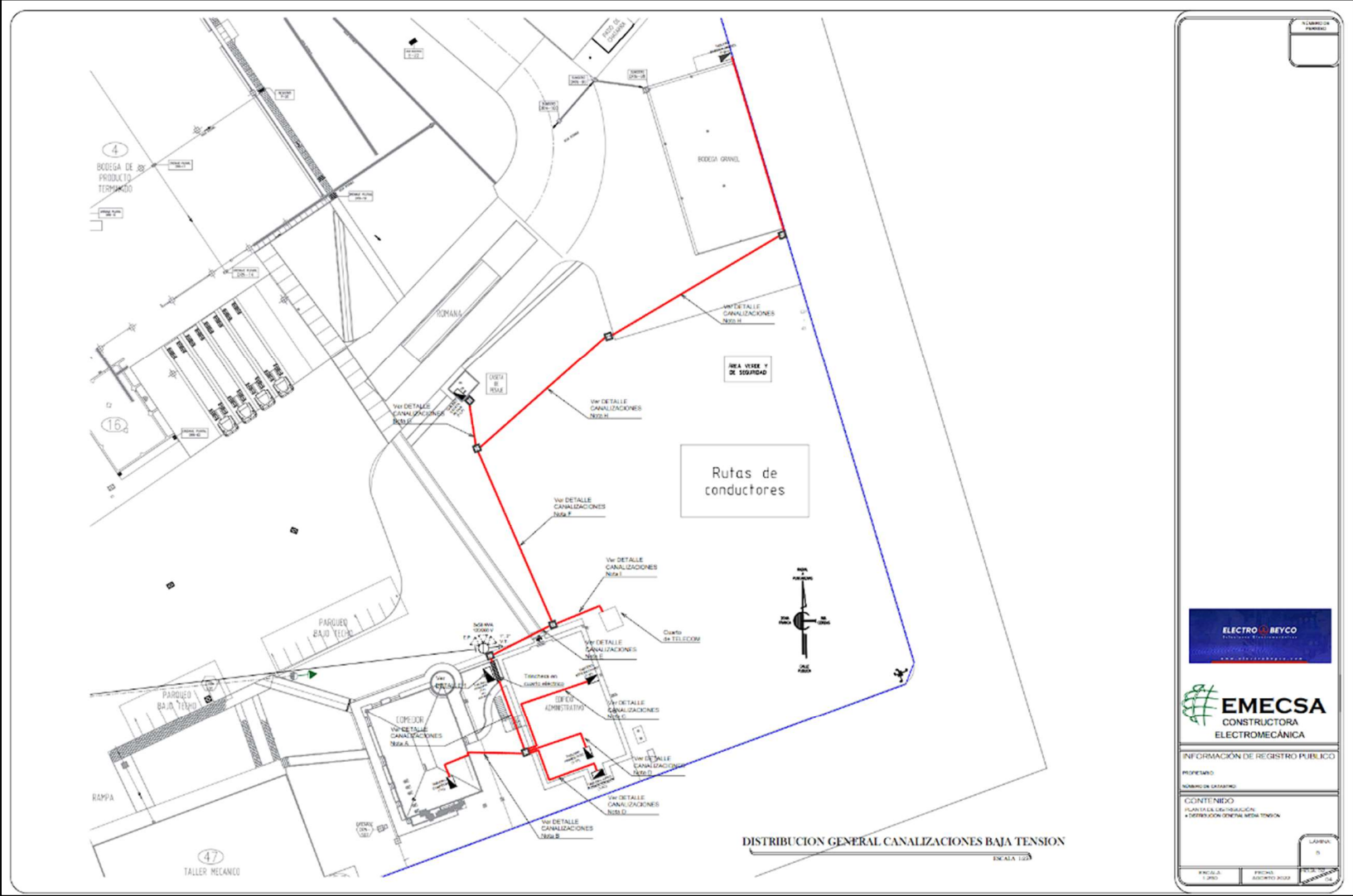
Smart Industrial. (2024). *Smart Master Dealer*. <https://www.smart-industrial.com>

APÉNDICES

Apéndice 1: Cronograma

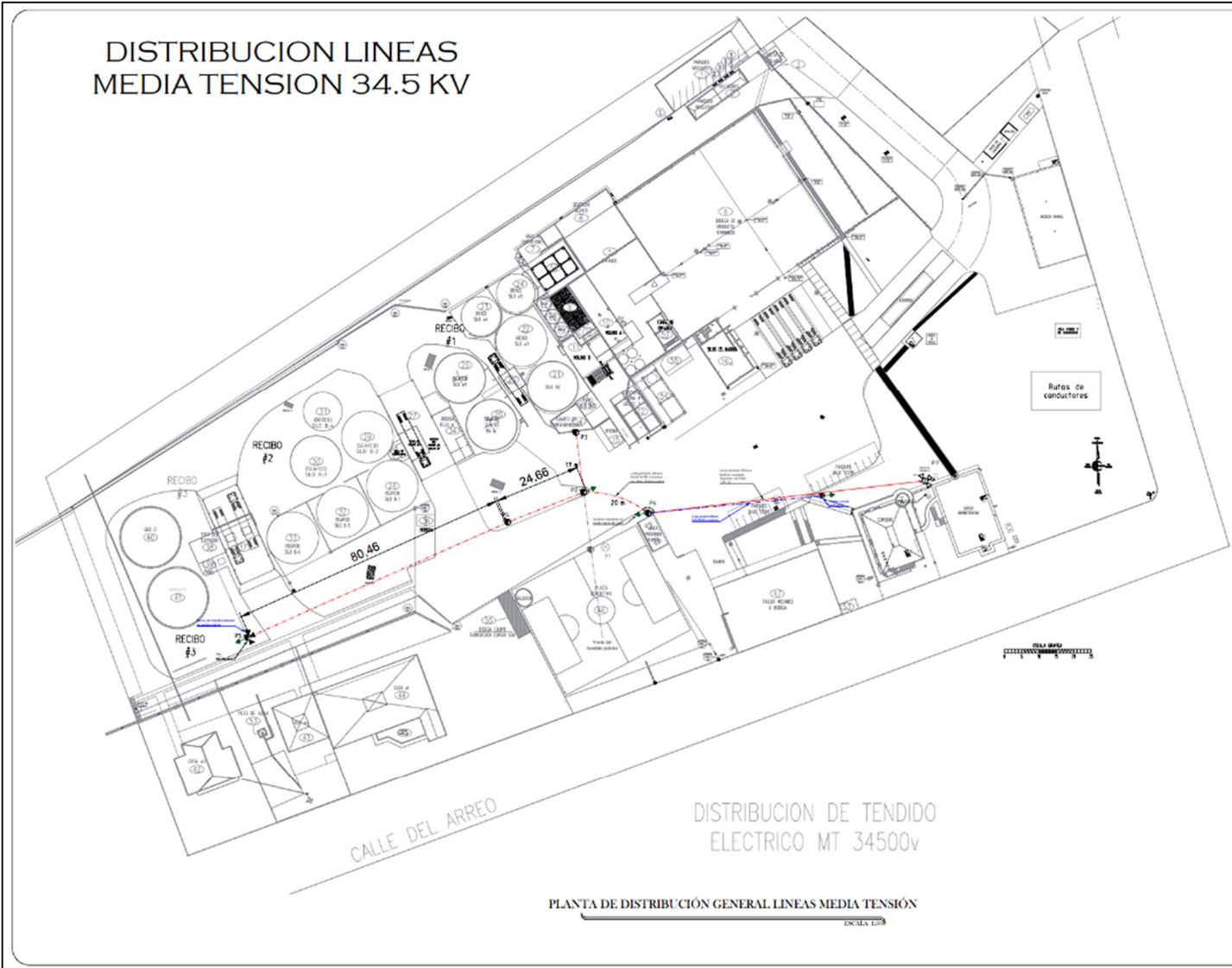
<i>Tarea</i>	<i>Semana 1</i>	<i>Semana 2</i>	<i>Semana 3</i>	<i>Semana 4</i>	<i>Semana 5</i>	<i>Semana 6</i>	<i>Semana 7</i>	<i>Semana 8</i>	<i>Semana 9</i>	<i>Semana 10</i>	<i>Semana 11</i>	<i>Semana 12</i>	<i>Semana 13</i>	<i>Semana 14</i>
<i>Definición de objetivos y alcances</i>	■	■												
<i>Determinación de actividades en planta</i>		■	■											
Estudios de planta con personal técnico calificado			■	■										
Revisión de planos actuales y diagramas				■	■									
Análisis crítico para la seguridad eléctrica					■	■								
Identificación de mejoras en el sistema eléctrico						■	■							
Mediciones de valores eléctricos en la instalación							■	■						
Comparación con la normativa de la ARESEP								■	■					
Evaluación del presupuesto real económico									■	■				
Elaboración de cotización en base al presupuesto										■	■			
Entrega del trabajo final de graduación												■	■	
Presentación del trabajo final de graduación													■	■

Apéndice 2: Planos actuales




INFORMACION DE REGISTRO PUBLICO PROPIETARIO: NOMBRADO CANTONERO:	
CONTENIDO: PLANTAS DE DISTRIBUCION + DISTRIBUCION GENERAL BAJA TENSION	
ESCALA: 1:200	FECHA: AGOSTO 2008
LAMINA: 05	

DISTRIBUCION LINEAS MEDIA TENSION 34.5 KV

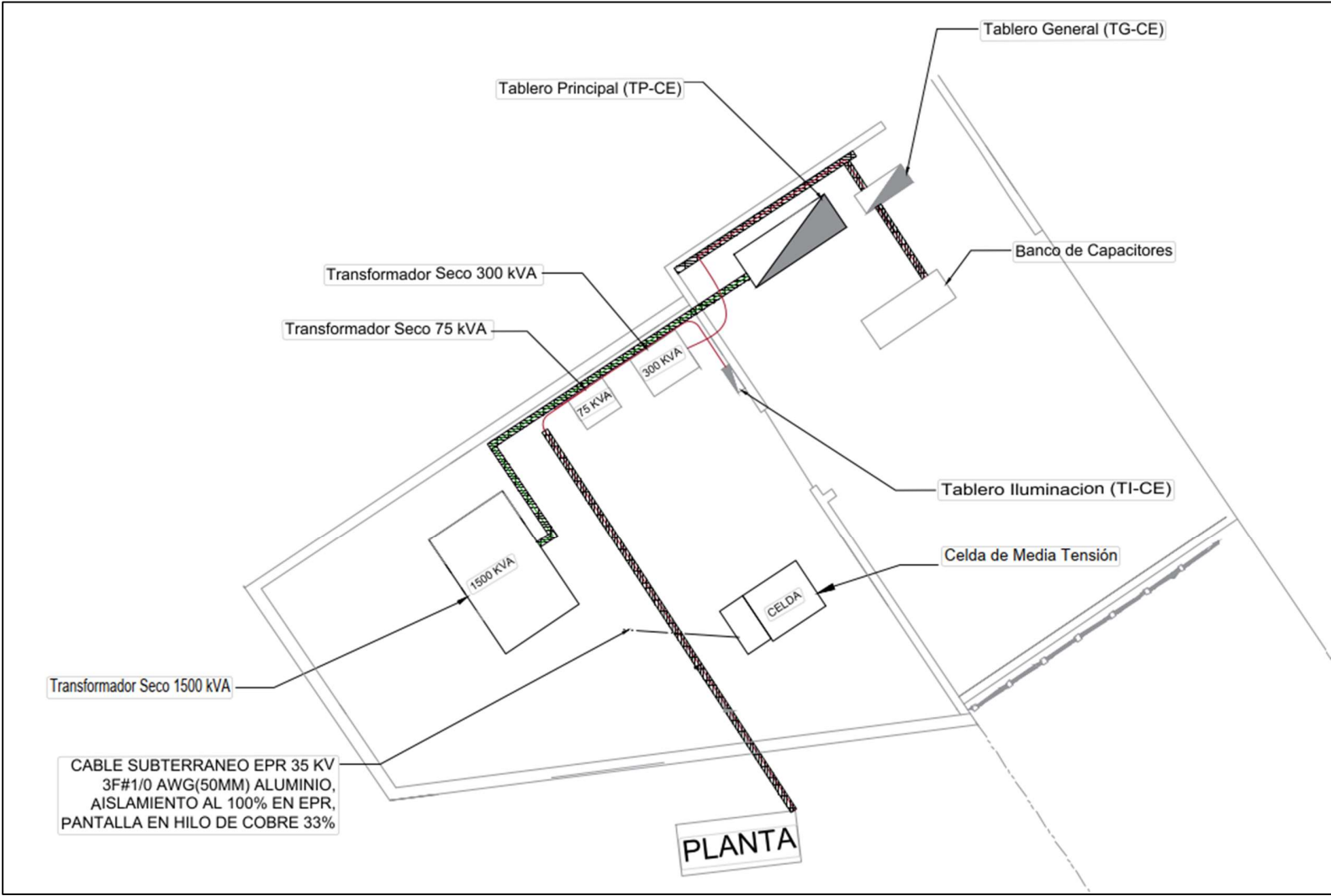


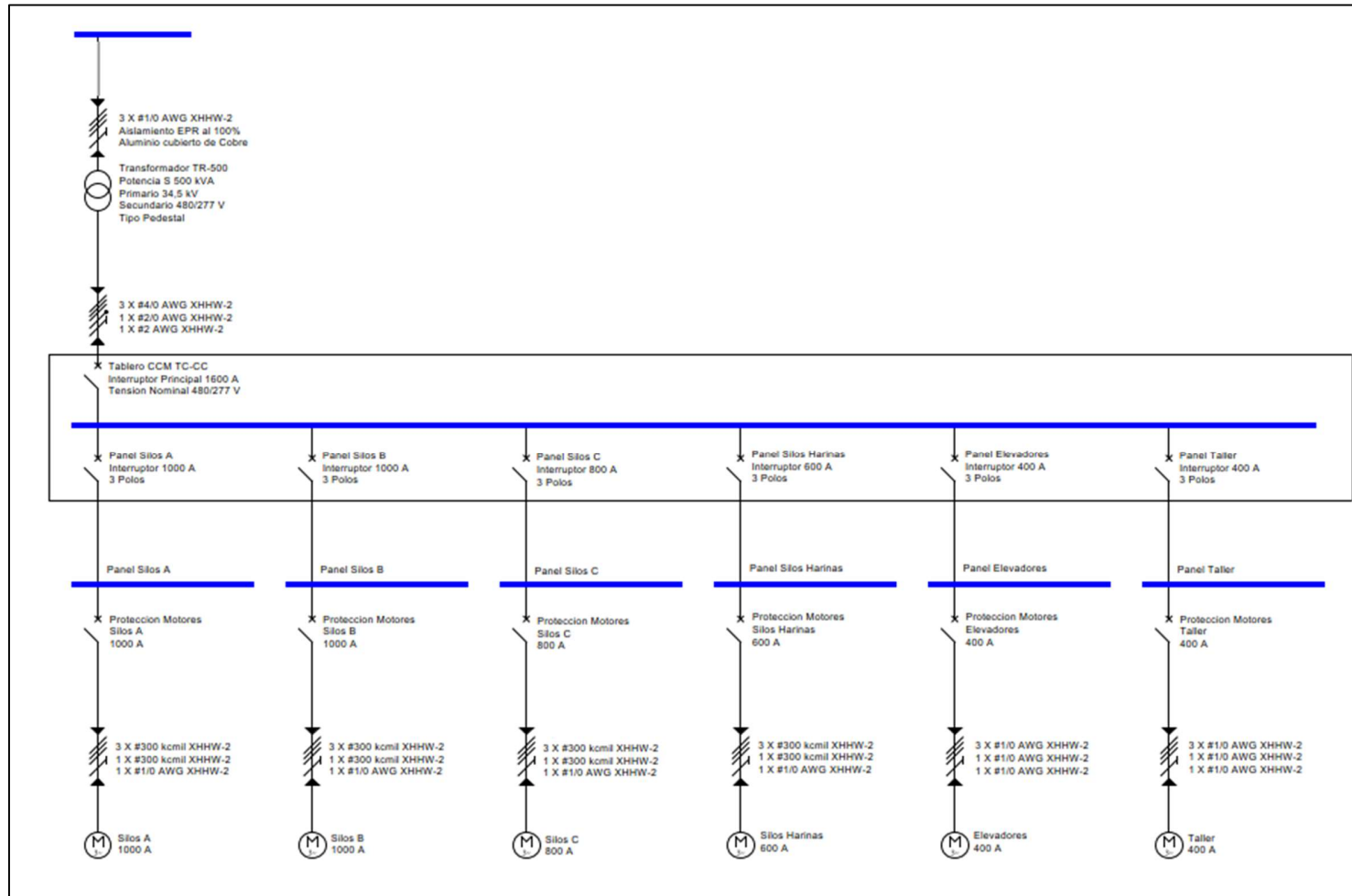
DISTRIBUCION DE TENDIDO
ELECTRICO MT 34500v

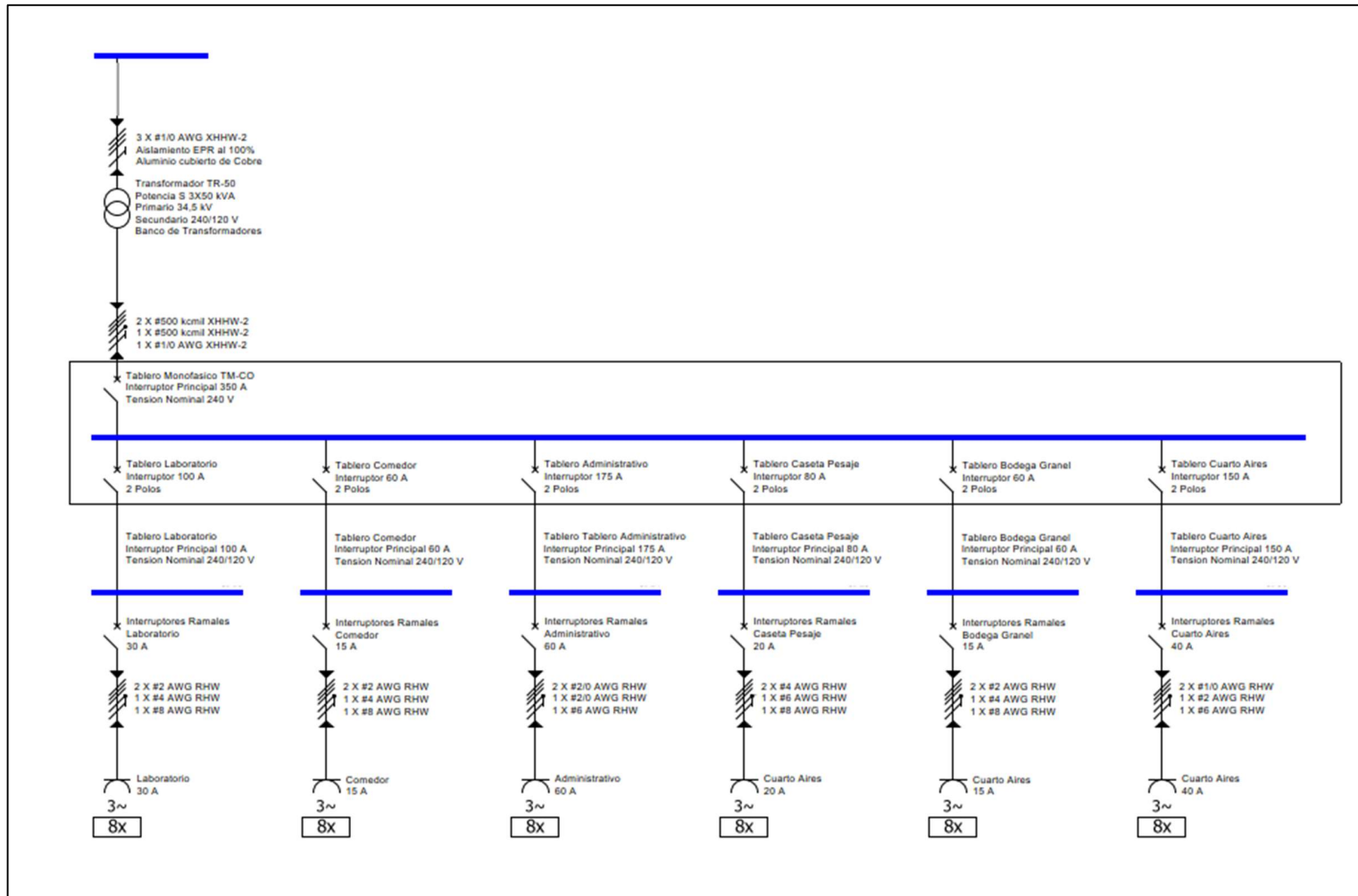
PLANTA DE DISTRIBUCIÓN GENERAL LINEAS MEDIA TENSIÓN
ESCALA 1:50

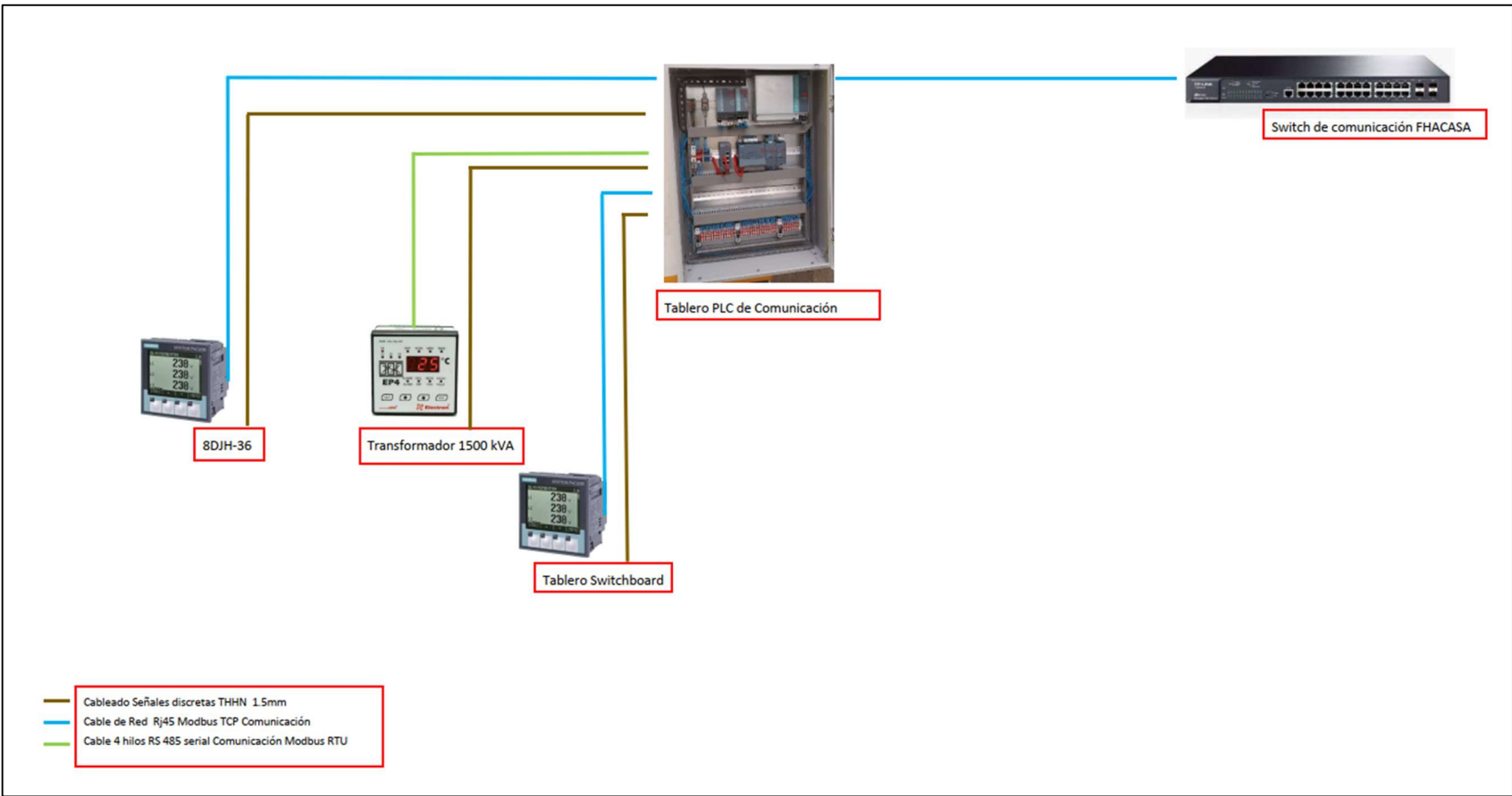
ELECTRO BEYCO	
 EMECSA CONSTRUCTORA ELECTROMECÁNICA	
INFORMACIÓN DE REGISTRO PÚBLICO	
PROYECTO:	
NÚMERO DE CATASTRO:	
CONTENIDO	
PLANTA DE DISTRIBUCIÓN + DISTRIBUCIÓN LINEAS MEDIA TENSÓN	
ESCALA 1:50	FECHA AGOSTO 2022
T. LAMINA A	

Apéndice 3: Planos nuevos








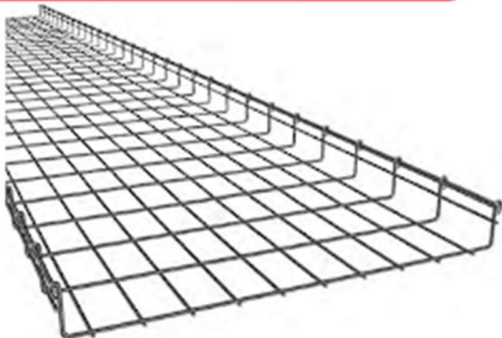


ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica de canastas



VISTA 3D



MODELO
 Peralte/54 mm - Ancho/ 500 mm

NORMAS DE REFERENCIA

CERTIFICACIÓN OFICIAL MEXICANA ANCE
 NOM-J-511-2011

APROBACIÓN NORMA OFICIAL MEXICANA DE INSTALACIONES ELECTRICAS
 NOM-001-SEDE-2012

NORMAS DE REFERENCIA NACIONALES

NMX-I-279	NMX-I-248
NMX-D-122	NMX-H-074
NMX-004	NMX-013

NORMAS DE REFERENCIA INTERNACIONALES

ANSI/TIA 569	NFPA 70E
ASTM 635A	NF A 91-122
NF A 91-102	NF A 91-121
NFX 41002	NFEN 12330
NEMA VE 1	NEMA VE2

CARACTERÍSTICAS

TIPOS DE ACABADO.

- Electrozincado
- Galvanizado por inmersión en caliente
- Recubrimiento en Epóxico
- Tropicalizado
- Recubrimiento de PVC

ALEACIONES.

- Acero inoxidable (304L y 316L)
- Zinc + Aluminio

TOTAL DE HILOS POR CHAROLA

- 31 Hilos sentido corto
- 16 Hilos sentido largo

CÓDIGO.


- CH-54-500EZ
- CH-54-500EP
- CH-54-500GAC
- CH-54-500I304L
- CH-54-500I316L
- CH-54-500TRO
- CH-54-500BM

CAPACIDAD DE CARGA

- 183.50 Kg/m entre apoyos a 1.50 m
- 92.50 Kg/m entre apoyos a 1.80 m

INFORMACIÓN FÍSICA


- Longitud por tramo: 3000 mm
- Hilo longitudinal: Ø 4.9 cada 50 mm
- Hilo transversal: Ø 4.9 cada 100 mm
- Peso neto: 11.244 Kg.




DIFERENCIAS COMPETITIVAS

VISTA FRONTAL


Doble hilo




Uniones rápidas

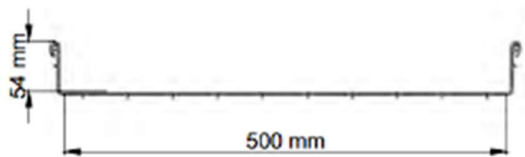


Borde de seguridad




Mayor área de cableado






R-IN-01

Anexo 2: Fichas técnicas del cableado



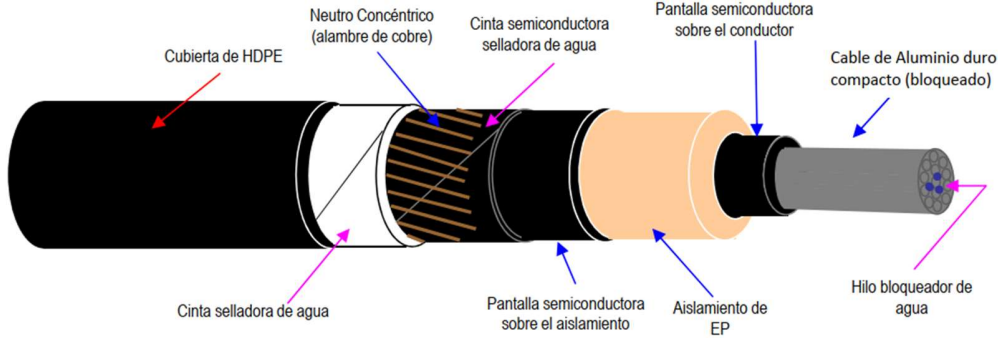
phelps
dodge
International Corp
a General Cable company

**CABLE DE MEDIA TENSIÓN
EPR AI Neutro concéntrico
Cubierta HDPE**



General Cable

Construcción del Cable:



Descripción

Los cables de potencia monopolares son formados por conductor de aluminio duro compacto bloqueado, con pantalla semiconductora sobre el conductor, aislamiento de EPR, pantalla sobre el aislamiento extruída, cinta semiconductora bloqueadora de agua, neutro concéntrico a base de alambres de cobre, cinta bloqueadora de agua y cubierta de HDPE negro.

1. **Conductor:**
Conductor de aluminio 1350 duro compacto clase B, bloqueado al paso longitudinal de agua mediante hilos bloqueadores.
2. **Pantalla semiconductora sobre el conductor:**
Compuesto semiconductor extruído termoestable.
3. **Aislamiento:**
Etileno- propileno (EPR) extruído en un proceso de triple extrusión verdadera.
4. **Pantalla semiconductora sobre el aislamiento:**
Compuesto semiconductor extruído termoestable, con adecuada adhesión al aislamiento, lo cual facilita retirar la pantalla.
5. **Cinta W/B semiconductora**
Aplicada helicoidalmente bajo la pantalla electrostática, evitando la penetración longitudinal de humedad.
6. **Neutro concéntrico**
Alambres de cobre desnudos suaves aplicados helicoidalmente. La sección total asignada para cada calibre cumple con lo indicado en la norma ICEA S 94 649.
7. **Cinta W/B no conductora**
Aplicada helicoidalmente sobre la pantalla electrostática, evitando la penetración transversal de humedad.
8. **Cubierta exterior:**
Cubierta de polietileno de alta densidad (HDPE) extruído de color negro, con excelentes propiedades mecánicas y químicas.

INTERNATIONAL
ISO 9001
CERTIFICATION

INTERNATIONAL
TL 9000
CERTIFICATION

**CABLE DE MEDIA TENSIÓN
EPR AI Neutro concéntrico
Cubierta HDPE**



Especificaciones y Características Especiales:

- ICEA S 94- 649 Standard for concentric neutral cables rated 5 through 46 kV
- ASTM B3 Standard specification for soft or Annealed Copper Wire.
- NMX-J-027 Conductores- Alambre de aluminio duro para usos eléctricos- Especificaciones
- NMX-J-036 Conductores- Alambre de cobre suave para usos eléctricos- Especificaciones
- Temperatura máxima de operación: 90°C.
- Temperatura máxima de operación en emergencia: 130°C
- Temperatura de cortocircuito: 250°C

Aplicaciones:

- Estos cables son para uso en ambientes principalmente húmedos y son utilizados preferentemente en redes de distribución de energía urbanas. Son adecuados para ser instalados directamente enterrados, en zanjas, en ductos, escalerillas o tuberías eléctricas.

Embalaje:

- En carretes de madera no retornables. Tolerancia en la longitud de $\pm 5\%$.

Información técnica:

Calibre	Tensión	Área nominal de la sección transversal	Diámetro del conductor Nominal	Número de alambres	Resistencia conductor Nominal a 20°C	Espesor Nominal del aislamiento 100% NA	Diámetro sobre el aislamiento aproximado	Pantalla NC 1/3	Diámetro total aprox.	Peso Total aprox.	
								(No. Alambres /AWG)			
		mm ²	mm	No.	Ohm/km	mm	mm		mm	kg/km	
1/0	AWG	35 KV	53.5	8.5	18	0.539	8.8	27	6H/14 AWG	39	1329
2/0	AWG	35 KV	67.4	9.6	18	0.428	8.8	28	7H/14 AWG	40	1443
3/0	AWG	35 KV	85	10.7	18	0.338	8.8	30	9H/14 AWG	41	1586
4/0	AWG	35 KV	107	12.1	18	0.269	8.8	31	11H/14 AWG	44	1854
250	kcmil	35 KV	127	13.2	35	0.228	8.8	32	13H/14 AWG	46	2007
300	kcmil	35 KV	152	14.5	35	0.19	8.8	33	15H/14 AWG	47	2194
350	kcmil	35 KV	177	15.6	35	0.162	8.8	34	18H/14 AWG	48	2367
400	kcmil	35 KV	203	16.7	35	0.142	8.8	35	20H/14 AWG	49	2544
500	kcmil	35 KV	253	18.7	35	0.114	8.8	37	16H/12 AWG	52	2885
600	kcmil	35 KV	304	20.7	58	0.0948	8.8	41	19H/12 AWG	56	3373
750	kcmil	35 KV	380	23.1	58	0.0759	8.8	43	24H/12 AWG	58	3847
1000	kcmil	35 KV	507	26.9	58	0.0563	8.8	47	20H/10 AWG	63	4682

Los valores aquí indicados son aproximados y de acuerdo a tolerancias de normas de fabricación, por lo cual pueden sufrir variaciones.



Cable de Aluminio AA-8000 tipo XHHW-2 LS RoHS SR 600V 90°C

VIKON®

Una marca Viakable

ALAMBRES Y CABLES PARA BAJA TENSION

DESCRIPCIÓN GENERAL

Cable formado por un conductor de aleación de aluminio AA-8000, cinta separadora poliéster (opcional), con aislamiento termofijo de polietileno de cadena cruzada (XLPE).

ESPECIFICACIONES

- NOM-001-SEDE Instalaciones eléctricas (utilización).
- NOM-063-SCFI Productos eléctricos – Conductores - Requisitos de seguridad.
- NMX-J-451-ANCE Cables de energía de baja tensión con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o a base de etileno propileno para instalaciones hasta 600V.
- Directiva RoHS 2002/95/CE Directiva de la Comunidad Europea para el control del uso de sustancias peligrosas.

PRINCIPALES APLICACIONES

- Los cables de aluminio Viakon® 8000 XHHW-2 LS son productos de uso general empleados en sistemas de distribución de baja tensión e iluminación, en edificios públicos, instalaciones industriales, centros recreativos y comerciales.
- Por sus excelentes características de no propagación de incendio, baja emisión de humos y bajo contenido de gas ácido, se recomiendan para lugares de reunión donde se concentran grandes cantidades de personas como teatros, oficinas, hospitales, etc.
- Puede instalarse en canalizaciones y ductos.
- Aprobados para instalarse en charolas portacables y en lugares expuestos a la luz solar, portan las marcas CT y SR respectivamente, de acuerdo con los requisitos de la NOM-001-SEDE.

CARACTERÍSTICAS

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperaturas máximas de operación en el conductor:
 - 90 °C En ambiente seco y mojado.
 - 130 °C En emergencia.
 - 250 °C En corto circuito.
- Notas: La condición de emergencia se limita a 500 h acumulativas durante la vida del cable y no más de 100 h en periodos de doce meses consecutivos. La condición de cortocircuito en el conductor se basa en lo indicado por la norma ICEA P-32-382.
- Se fabrican en calibres de 13,3 a 380,0 mm² (6 AWG a 750 kcmil), cableado compacto.
- Aislamiento color negro que lo hace resistente a la luz solar.
- Para cables con aislamiento de color diferente al negro consultar a nuestro departamento de ventas.
- La marca SR aplica en todos los calibres, solamente en color negro.
- La marca CT aplica en calibres 4 AWG y mayores, en todos los colores.
- La marca RoHS aplica en todos los calibres y todos los colores.

VENTAJAS

- Satisfacen la prueba de resistencia a la propagación de incendio (NMX-J-093), de baja emisión de humos (NMX-J-474) y de bajo contenido de gas ácido (NMX-J-472).
- Apropriados para instalarse en lugares mojados, húmedos o secos.
- Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas.
- Menor diámetro que permite la instalación de un mayor número de cables en un mismo tubo conduit.
- Su aislamiento termofijo ofrece mayor estabilidad térmica.
- Cumplen la prueba de resistencia a la propagación de la flama en conductores eléctricos colocados en charola vertical (NMX-J-498-ANCE).
- Cumplen con la prueba de resistencia a la intemperie del aislamiento de conductores eléctricos (NMX-J-553-ANCE).

COMPONENTES:

1. Cable de aluminio AA-8000.
2. Cinta separadora.
3. Aislamiento de XLPE.

CERTIFICACIÓN:



ATRIBUTOS:

- CT* Aprobado para uso en charolas portacables.
- LS Resistente a la propagación del incendio, baja emisión de humos y bajo contenido de gas ácido.
- SR Resistente a la intemperie y a la luz solar.
- RoHS Restricción de sustancias peligrosas.

*Revisar calibres aplicables en la sección de características.

CABLE DE ALUMINIO VIAKON® 8000 XHHW-2 LS, XLPE, 600 V, 90°C												
Números de artículo	Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente ¹ (A)					
							Canalización ²			Al aire libre ³		
							60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
ST50	6	13.3	7	1.14	6.8	7	40	50	55	-	-	-
ST51	4	21.2	7	1.14	7.9	9	55	65	75	80	100	115
ST52	2	33.6	7	1.14	9.3	14	75	90	100	110	135	150
ST54	1/0	53.5	19	1.40	11.6	21	100	120	135	150	180	205
ST55	2/0	67.4	19	1.40	12.6	25	115	135	150	175	210	235
ST56	3/0	85.0	19	1.40	13.8	31	130	155	175	200	240	270
ST57	4/0	107.2	19	1.40	15.2	38	150	180	205	235	280	315
ST58	250	126.7	37	1.65	16.8	45	170	205	230	265	315	355
ST59	300	152.0	37	1.65	18.1	53	195	230	260	290	350	395
ST60	350	177.3	37	1.65	19.3	60	210	250	280	330	395	445
ST61	400	202.7	37	1.65	20.3	68	225	270	305	355	425	480
ST62	500	253.4	37	1.65	22.3	84	260	310	350	405	485	545
ST63	600	304.0	61	2.03	25.1	101	285	340	385	455	454	615
ST64	750	380.0	61	2.03	27.5	124	320	385	435	515	620	700

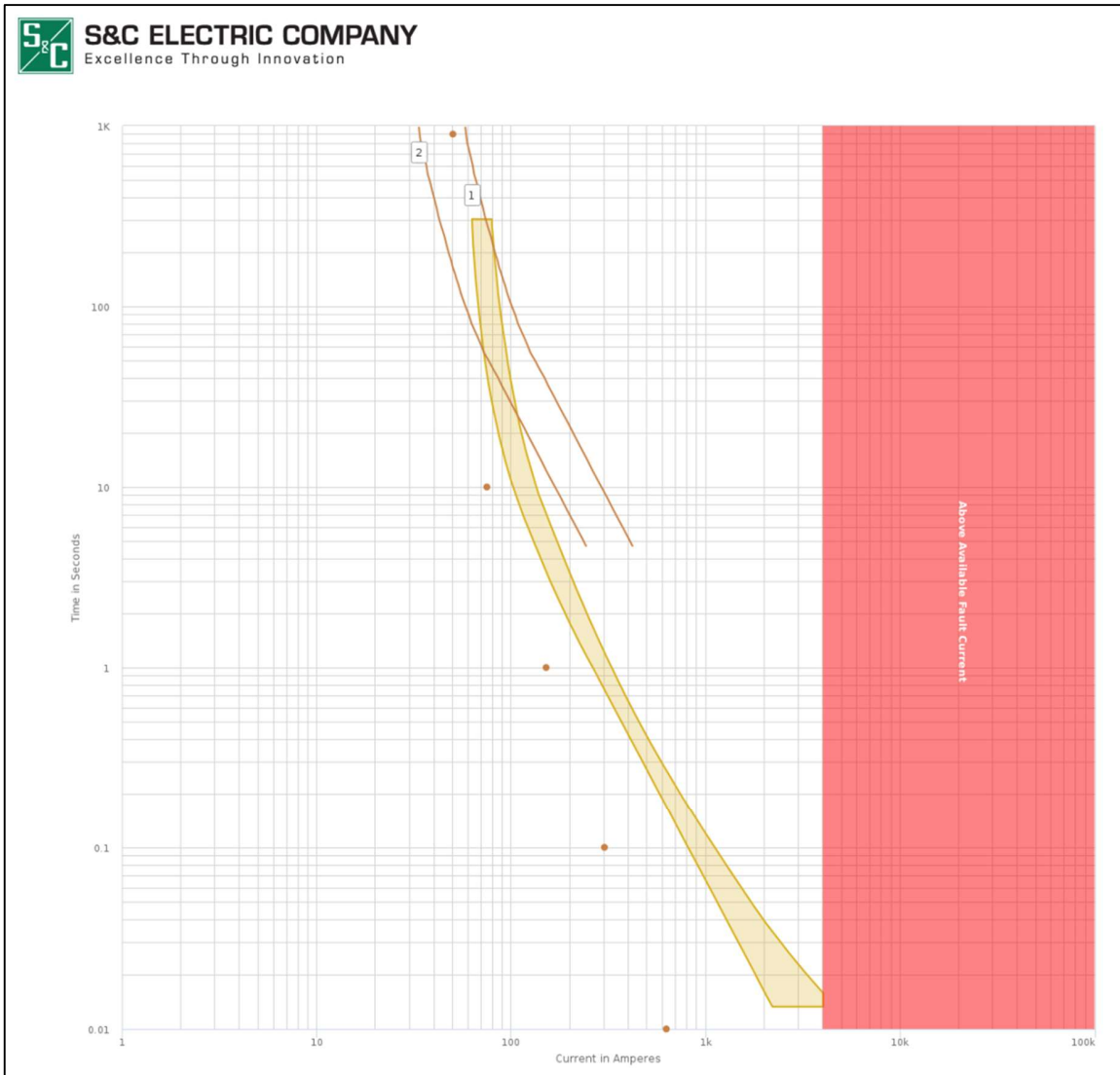
Nota: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

1. Ampacidad.

2. Basada en la Tabla 310-15(b) (16) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30°C.

3. Basada en la Tabla 310-15(b) (17) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30°C.

Anexo 3: Protecciones celda de media tensión





System Settings

Frequency	Voltage	Available Fault Current
60 Hz	34.5 kV	4000 A

1.Fuse Link

Curve	Property	Value
Fuse Link	Manufacturer	Chance
	Speed	T
	Ampere Rating	30T
	Include 25% Setback Allowance?	false

2.Transformer (Damage Curve)

Curve	Property	Value
Transformer (Damage Curve)	Connection:	Delta-Grd.Y
	3-Phase Secondary kV	0.48
	3-Phase Rating kVA	1500
	Impedance	6
	Display Magnetizing Inrush Points?	true
	@ 0.01 second	25
	Magnetizing Inrush	627.55
	@ 0.1 second	12
	Magnetizing Inrush	301.224
	@ 1 second	6
	Cold-Load Pickup Inrush	150.612
	@ 10 second	3
	Cold-Load Pickup Inrush	75.306
	@ 900 second	2
	Cold-Load Pickup Inrush	50.204
	Primary_kV/Full Load Amps	34.5/25.102
	Secondary_kV/Full Load Amps	0.48/1804.22

Anexo 4: Ficha técnica de transformador GEAFOL

SIEMENS ENERGY Siemans Energy é uma marca licenciada da Siemens AG
TRANSFORMADOR SECO - GEAFOL

AV. ENG.º JOÃO FERNANDES GIMENES MOLINA 1745 - JUNDIAÍ - SÃO PAULO - INDÚSTRIA BRASILEIRA
 C.G.C. 44.013.159/0031-31 INSCRIÇÃO ESTADUAL 407.057.544.110 CREA-SP 0198356

N.º TIPO **GEAFOL** FECHA FABR. NORMA **IEC 60076-11**

POT. **1500** kVA FASES **3** FREQ. **60** Hz NIVELES DE AISLAMENTO TENSIONES SUPORTABLES AT BT

CLASE TEMP. MAT. AISL. AT/BT **F/F** REFR. FRECUENCIA INDUSTRIAL(kV) **70** 3

LIMITES ELEV. TEMP. DEVANADOS AT/BT **100/100** °C IMPULSO ATMOSFÉRICO (kV) **145** -

IMPEDANCIA A 120 °C E V % TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA **40** °C

ALTITUD MÁXIMA DE INSTALACIÓN **1000** m GRADO DE PROTECCIÓN DE LA CELDA

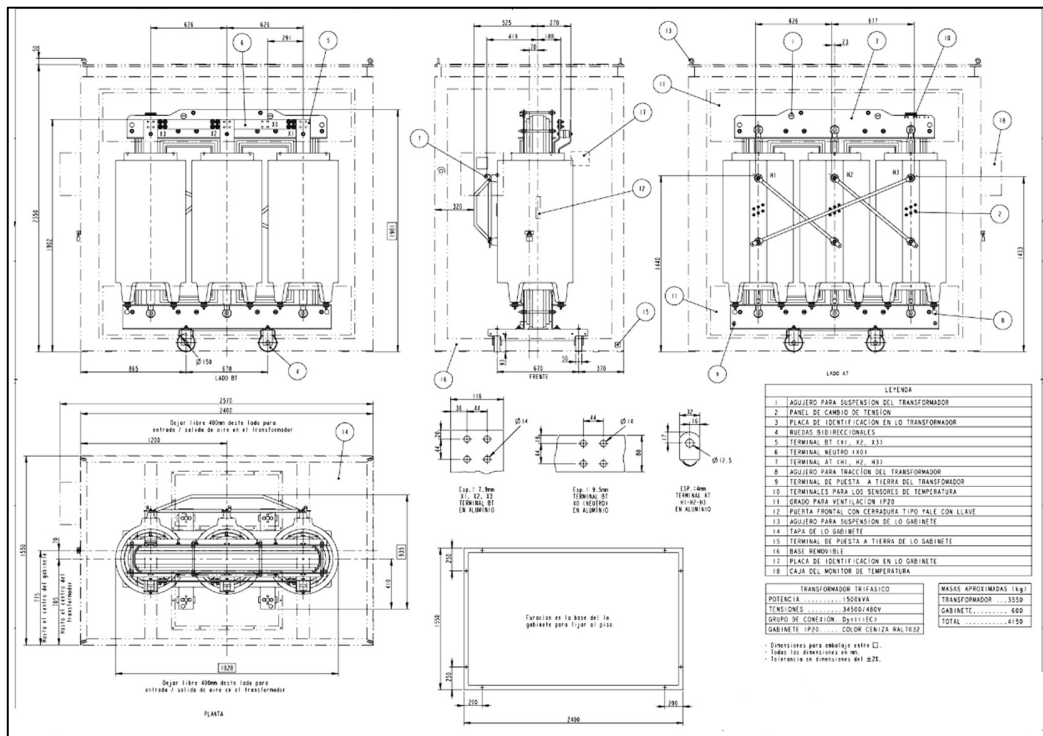
ALTA TENSION H1-H2-H3			
VOLTS	AMPERES	POS.	LIGAR
36225	23.9	1	5-6
35363	24.5	2	4-6
34500	25.1	3	4-7
33638	25.7	4	3-7
32775	26.4	5	3-8

BAJA TENSION X0-X1-X2-X3	
VOLTS	AMPERES
480/277	1804

GRUPO DE CONEXIÓN
 Dyn1 - IEC

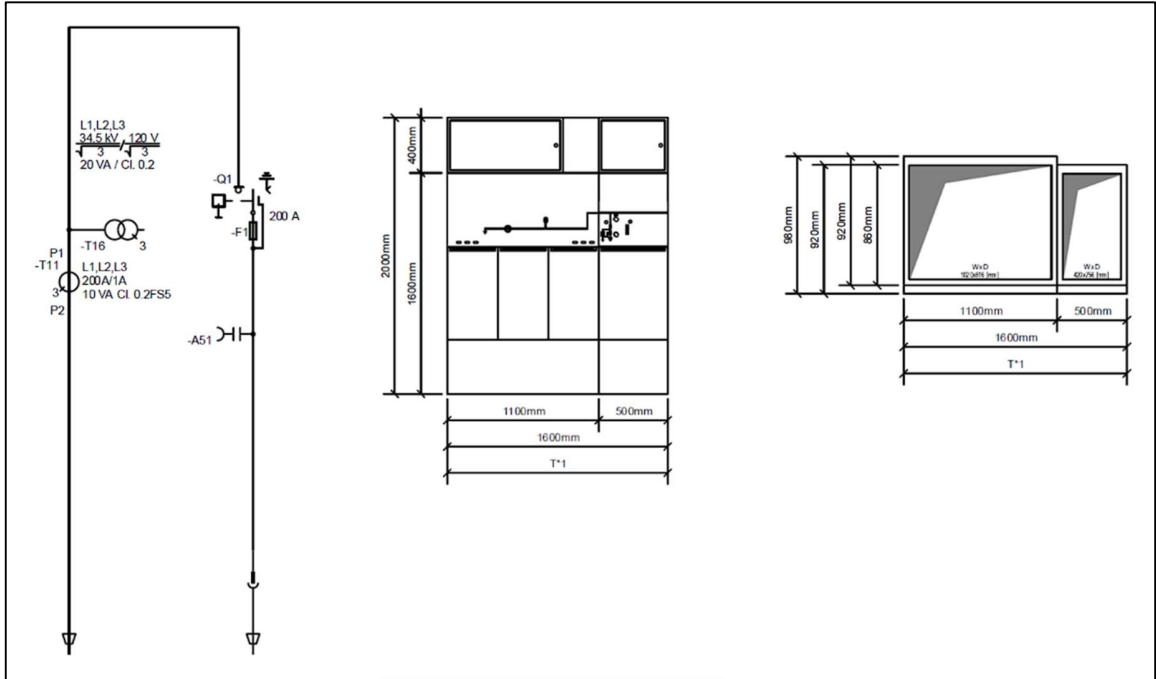
MASA DE LA CELDA kg INSTRUCCIONES

MASA TOTAL kg PLACA N.º **T3047496** FATOR K



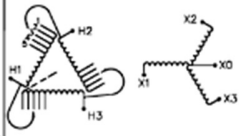


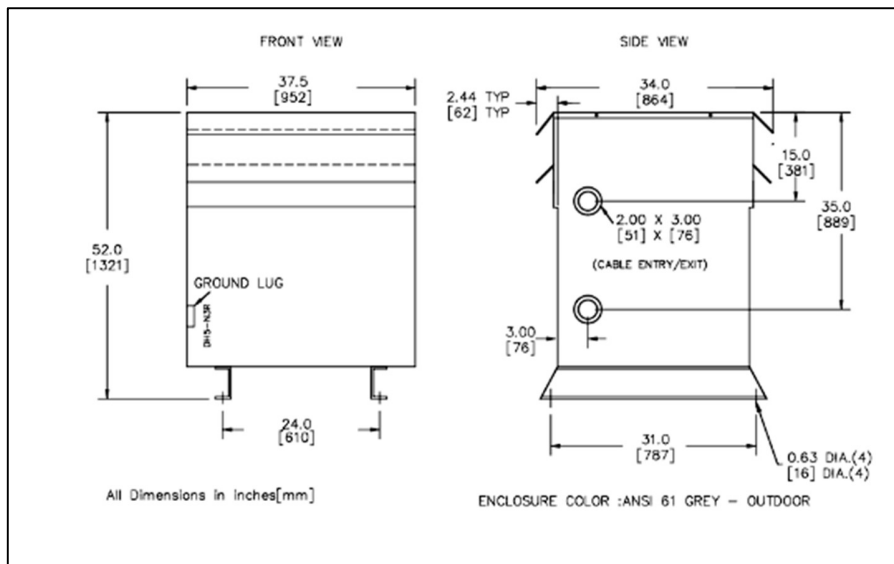
Anexo 5: Ficha técnica de celda 8DHJ 36


Voltages	
Rated voltage	36.0 kV
Test voltage.....	36.0 kV
Operating voltage	34.5 kV
Rated short-duration power-frequency withstand voltage	70.0 kV
Rated lightning impulse withstand voltage.....	170.0 kV
Rated frequency.....	60 Hz
Short-circuit ratings	
Rated short-time withstand current I_k	20.0 kA
Rated duration of short circuit.....	1 s
Rated peak withstand current I_p	52.0 kA
Current ratings	
Rated normal current of the busbar.....	630 A
Dimensions	
Switchgear height (without pressure absorber, low-voltage compartment).....	1600 mm
Panel depth (standard).....	920 mm
Depending on the associated typical and its cable connection versions, the panel depth can be >920 mm; for dimensions, see the associated typicals	
Lateral wall distance	≥ 50 mm
Lateral wall distance for lined up panels.....	≥ 200 mm
Rear wall distance for wall-standing arrangement	≥ 30 mm
Width of control aisle (depending on national specifications)	
• Recommended for Germany.....	≥ 800 mm
• Recommended for extension or panel replacement.....	≥ 1000 mm
Depth of cable basement or cable trench (according to cable bending radius).....	≥ 600 mm
Switchgear enclosure	
Partition class	PM
Degree of protection of gas-insulated panels (primary part).....	IP 3X
Degree of protection of the switchgear vessel.....	IP65
Degree of protection of the low-voltage compartment.....	IP 4X
Loss of service continuity	
Loss of service continuity category: LSC	
Panels with switching device (type R, T and L)	LSC 2
Panels without switching devices (type K and M).....	LSC 1
Operating conditions (according to IEC 62271-1)	
Site altitude	≤ 1000 m
Ambient air temperature for operation min./max.....	-5 °C / +55 °C
Ambient air temperature for storage and transport min./max.	-25 °C / 70 °C
The temperature range depends on the secondary equipment and low-voltage devices used and their operating conditions. The rated currents apply to an ambient air temperature of 40° C (24-hour mean value max. 35° C)	
Insulation	
Rated filling level (absolute) for insulation p_{re}	150 kPa
Minimum filling level (absolute) for insulation p_{re}	130 kPa
Endurance classes of the switching devices	
Three-position switch-disconnector	
• Disconnecting, mechanically (IEC 62271-102).....	M0
• Load breaking, mechanically (IEC 62271-103).....	M1
• Load breaking, electrically (IEC 62271-103).....	E3
• Earthing, mechanically (IEC 62271-102).....	M0
• Earthing, electrically (IEC 62271-102).....	E2



Anexo 6: Fichas técnicas de transformadores Hammond


 Hammond Power Solutions MONTERREY, MX GUELPH, ONT. BARABOO, WI COMPTON, CA		 DRY TYPE TRANSFORMER 7718 C12515 LISTED																								
HPS EXPRESS™ L TRANSFORMADOR TIPO SECO BARNIZADO VARNISHED DRY TYPE TRANSFORMER																										
Modelo Part Number No. de Serie Serial Number		XEL1A0300MBAC																								
AT/AV NBAI BIL TERM.	480V 361A — H1 H2 H3	Ref. de Cliente Customer Reference Fase Phase Tipo TYPE Enfriamiento Cooling																								
		3 K ANN																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>VOLTIOS VOLTS</th> <th>CORRIENTE CURRENT AMPS</th> <th>VOLTAJE NOMINAL & RATED VOL. TAJE.</th> <th>CONEXIÓN POR FASE CONNECTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>504</td> <td>344</td> <td>105</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>480</td> <td>361</td> <td>100</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>460</td> <td>377</td> <td>96</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>440</td> <td>394</td> <td>92</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>418</td> <td>413</td> <td>87</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	VOLTIOS VOLTS	CORRIENTE CURRENT AMPS	VOLTAJE NOMINAL & RATED VOL. TAJE.	CONEXIÓN POR FASE CONNECTION	504	344	105	1	480	361	100	2	460	377	96	3	440	394	92	4	418	413	87	5	kVA Incremento de Temp. Temp. Rise Clase de Temp. Temp. Class Frecuencia Frequency Impedancia % Impedance % # 170 Ω Tipo de Gabinete Encl. Type Masa Del Núcleo y Devanados C&C Wt. Masa Total Total Wt. Material de Conductores de Devanados Winding Material
VOLTIOS VOLTS	CORRIENTE CURRENT AMPS	VOLTAJE NOMINAL & RATED VOL. TAJE.	CONEXIÓN POR FASE CONNECTION																							
504	344	105	1																							
480	361	100	2																							
460	377	96	3																							
440	394	92	4																							
418	413	87	5																							
		300 150 °C 220 °C 60 HZ 6 3R 1320/599 1500/681 AL																								
BT/AV NBAI BIL TERM.	208Y/120V 833A — X0 X1 X2 X3																									
 <p>SPACINGS BETWEEN ANY VENTILATED ENCLOSURE PANEL AND ANY ADJACENT WALL SHALL BE A MINIMUM OF 5 INCHES</p>																										
FABRICADO EN/MADE IN MEXICO																										





Hammond Power Solutions

MONTERREY, MX GUELPH, ONT. BARABOO, WI COMPTON, CA

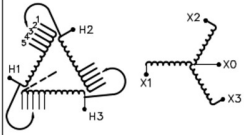


HPS EXPRESS™ L

TRANSFORMADOR TIPO SECO BARNIZADO
VARNISHED DRY TYPE TRANSFORMER

Modelo Part Number	EL1A0075MB		
No. de Serie Serial Number			
AT/HV	480V 90.2A	Ref. de Cliente Customer Reference	
NBAI BIL	-	Fase Phase	3
TERM.	H1 H2 H3	Tip. o TYPE	K
		Enfriamiento Cooling	ANN
		kVA	75
		Incremento de Temp. Temp. Rise	150 °C
		Close de Temp. Temp. Class	220 °C
		Frecuencia Frequency	60 Hz
		Impedancia % Impedance % @ 170 °C	6.6
		Tip. de Gabinete Encl. Type	1
BT/LV	208Y/120V 208A	Masa Del Nucleo Y Devanados C&C Wt.	446/203
NBAI BIL	-	Masa Total Total Wt. lbs/kg	544/247
TERM.	X0 X1 X2 X3	Material de Conductores de Devanados Winding Material	AL

VOLTIOS VOLTS	CORRIENTE CURRENT AMPS	% VOLTAJE NOMINAL % RATED VOLTAGE	CONEXIÓN POR FASE CONNECTION
504	85.9	105	1
480	90.2	100	2
459	94.3	95.7	3
439	98.7	91.4	4
418	103.6	87.1	5



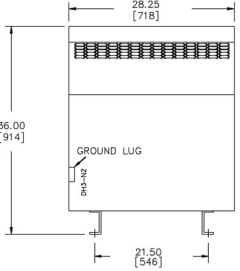
LOS ESPACIOS ENTRE CUALQUIER PANEL DEL GABINETE VENTILADO Y CUALQUIER PARED ADYACENTE DEBEA SER DE UN MÍNIMO DE 76 MM (3 IN)

SPACINGS BETWEEN ANY VENTILATED ENCLOSURE PANEL AND ANY ADJACENT WALL SHALL BE A MINIMUM OF 76 MM (3 IN)

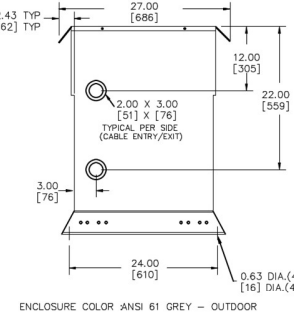
TRANSFORMADOR REDUCTOR
STEP-DOWN TRANSFORMER

FABRICADO EN/MADE IN MÉXICO

FRONT VIEW



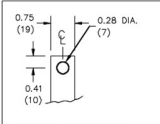
SIDE VIEW



All Dimensions in inches[mm]

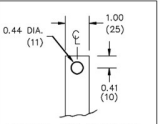
ENCLOSURE COLOR: ANSI 61 GREY - OUTDOOR

HV TERMINAL DETAIL



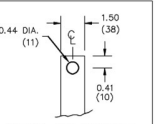
MATERIAL: 1/8" (6) THICK AL.

LV TERMINAL DETAIL



MATERIAL: 1/4" (6) THICK AL.

X0 TERMINAL DETAIL



MATERIAL: 1/4" (6) THICK AL.

CUSTOMER NOTES:

- HV TERMINATED AT TOP FRONT
- LV TERMINATED AT TOP FRONT
- X0 TERMINATED AT TOP FRONT

Anexo 7: Cotización del proveedor Siemens en México


Item	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
10	Celda Protección Interruptor (8DJH36-34827_R4) 2 Panels, 36.0 kV, 20.0 kA / 1 s, 630 A consisting of:	1 pcs	43,735.55 USD	43,735.55 USD
10.10	=HZ00 8DJH36 Accessory	1 pcs		
10.20	=HZ01 Circuit-breaker feeder L2 (590 mm)	1 pcs		
10.30	=HZ02 Cable feeder (430 mm)	1 pcs		
20	Option: Celda Protección Seccionador-Fusible (8DJH36-38452_R0) 2 Panels, 36.0 kV, 20.0 kA / 1 s, 630 A consisting of:	1 pcs	36,340.75 USD	
20.10	=HZ00 8DJH36 Accessory	1 pcs		
20.20	=HZ01 Billing metering panel (1100 mm, air-insulated)	1 pcs		
20.30	=HZ01 Transformer feeder (500 mm)	1 pcs		
			Total:	43,735.55 USD

Anexo 8: Cotización del proveedor Siemens en Brasil

Especificación	Unidad	Datos
ÍTEM		A.1
Cantidad	Un.	1
Normas		IEC 60076-11
Potencia Nominal en Servicio Continuo	kVA	1500
Potencia con Ventilación Forzada	kVA	NA
Sistema de Enfriamiento		ANAN
Tensión nominal de AT	V	34500
Derivaciones AT		+/- 2 x 2,5%
Tensión nominal de BT	V	480
Derivaciones BT		N.A.
Posición de los Terminales		AT = Superior BT = Superior
Tensión aplicada / impulso	kV	AT= 145/70 BT= 3/0
Grupo de conexión		Dyn1
Fases		03
Frecuencia nominal	Hz	60
Clases: Ambiente / Clima / Fuego		E2 / C2 / F1 (en conformidad con IEC 60076-11)
Altitud de instalación		Hasta 1000 msnm
Local de instalación		Interior
Grado de protección		IP20
Clase térmica del material aislante		Clase F (155°C)
Calentamiento de los arrollamientos		100°C (máxima temperatura ambiente 40°C)
Temperatura ambiente	°C	Máxima 40°C (Menor que 30°C para media 24h)
Nivel de descargas parciales	pC	EXENTO DE DESCARGAS PARCIALES
Sistema de protección		Relevador con contactos para alarma, desconexión y indicación de temperatura + 4 sensores PT100
Pérdidas en vacío a tensión nominal (120°C)	W	Después del proyecto final
Pérdidas totales a potencia / tensión nominal (120°C)	W	Después del proyecto final
Impedancia a potencia / tensión nominal	%	6,0
Corriente en vacío a tensión nominal	%	Después del proyecto final
Nivel de ruido (presión acústica)	dB	Después del proyecto final
Esquema de Pintura		Adecuado para atmosfera agresiva
Construcción		Factor K=1
Dimensiones (Largo x Ancho X Altura)	mm	Después del proyecto final
Masa total con gabinete	kg	Después del proyecto final

A.	GEAFOL	Cant	Precio Unitario USD	Precio Total USD
A.1	GEAFOL LITE, 1500 kVA – 34500/480 V IP20	1	51.000,00	51.000,00

Anexo 9: Cotizaciones del proveedor Hammond Power Solutions

Line Number	Label	Part Number / Description	Quantity	UOM	Net Price	Net Total
1		Transformers EL1A0300MBAC: 3ph 300kVA 480,460,440V-208Y/120V 60Hz AL Product Line: Express Commercial Distribution Transformer Duty: General Duty Non-Linear Load (K-Factor Rating): General Purpose Phase: 3 Rating: 300 kVA Primary Voltage: 4800 : 4600 : 4400 Primary Connection: Delta Primary FCAN(Std): None Primary FCBN(Std): None Primary Termination (Std): Mounting Pads Primary Termination (Std): Mounting Pads Primary Termination (Std): Mounting Pads Secondary Voltage: 208Y/120 Secondary Connection: Wye-N Secondary Termination (Std): Mounting Pads Material: Aluminum Frequency: 60Hz Vector Configuration: Dyn1 (-30°) Temperature Rise: 150° C Ambient Temp Rating: 40° C Insulation Class: 220° C Sound Level: NEMA ST-20 Efficiency Regulation: None Approval: CSA, UL Seismic Compliance: IBC 2018 (Sds=2.0, z/h=0, Ip=1.5) Nameplate: HPS Standard Enclosure Type: Type 3R / IP24 Enclosure Finish: ANS1 61 Grey, UL50 Enclosure PN (Std): DHS-N3R Enclosure Dimensions: 52in/1321mm(H), 37.5in/953mm(W), 34in/864mm(D) Testing: C9 Test (Included) Typical Lead Time: 95-100 dias laborables - (No retornable) Freight: Freight Allowed \$1750 Catalog Product Only Product Configuration (EQv2-Lite): https://enqprd01.hammondpowersolutions.com/EQv2-Lite/EL1A0300MBAC Engineering Drawing (PDF): https://enqprd01.hammondpowersolutions.com/info/es/pn/EL1A0300MBAC	1	ea	5,999.00	5,999.00

EL1A0075MBAC	Express L - Transformador baja tensión tipo seco trifásico (Delta/Estrella) 75 kVA, 480D-208Y para uso interior/exterior, embobinado de Aluminio	\$ 2 022,04
--------------	--	-------------

Anexo 10: Cotizaciones del proveedor Siemens en Guatemala

No.	Referencia	Cantidad	Pr.Unitario	Precio Total
1	<p>3WA1120-2AE03-7HA3-Z S07+S33+T40</p> <p>interruptor automático de montaje fijo, IEC 60947-2, tamaño 1, 3 polos, In=2000 A hasta 690 V AC 50/60 Hz, poder de corte N, Icu=55/42 KA a 500/690 V, unidad de disparo ETU600 LSI actualizable, display en color, Bluetooth, interfaz USB, protección principal LT, ST, INST, la protección de neutro requiere un sensor de corriente de neutro externo, bloque de señalización de disparado (1 CO), conexión frontal taladro doble, sin comunicación, sin función de medida Con accionamiento manual con acumulador con activación mecánica electroimán de cierre (CC) servicio continuo 110-127 V AC/110-125 V DC, apto para servicio ininterrumpido, bobina de rearme remoto (RR) 110-127 V AC/110-125 V DC para servicio temporal, sin 2.º disparador auxiliar, disparador de apertura (ST) servicio continuo 110-127 V AC/110-125 V DC, apto para servicio ininterrumpido, opción S07 = dispositivo de cierre contra cierre no autorizado para candados; candados no incluidos. opción S33 = dispositivo de cierre para palanca de accionamiento manual para candados. Candados no incluidos. opción T40 = marco obturador para la puerta IP41.</p> <p>Price Group 1CE / 1CE Exportar Regulaciones de Control AL:N/ ECCN:EAR99 Commodity code 85362090 Peso Neto (kg) 44.751 País de origen CZ Fecha solicitada de entrega 05.01.2023 Non-binding delivery days 46 días</p>	1 pieza	Precio de Lista Unitario 12531.55 USD Precio Neto 4761.99 USD Descuento (1CE / 1CE) 62.00 %	4761.99 USD

No.	Material ID	Quantity	Description	Availability	Price	Price Unit	HQ price group	Discount	Price p. pos.
1	JXD63B400 MX:JXD63B400 > US2:JXD63B400	2 Piece	Breaker JD 3P 400A 600V 25KA FX NL		Price On Request	1	1CD		1081.22 \$
2	SJ2D > US2:SJ2D	1 Piece	JD FR BKR MTG KIT TWIN MTG P5/S5/SPP PNL SER.6 BRANCH, S4/S5		Price On Request	1	1US		271.26 \$
3	SL6D MX:SL6D > US2:SL6D	1 Piece	LDS BKR MTG KIT FOR P5/S5/SPP PNLBD MERCHANDISE KIT ASSY NO.12-D-5702-05		Price On Request	1	1US		235.01 \$

Anexo 11: Cotizaciones del proveedor KVP Ingeniería

Cliente: SMART FIELD SERVICES SFS SOCIEDAD		Condición de Venta: Contado										
Ident. Jurídica: 3-101-797099												
Teléfono: +(506) 4108-5000												
Correo: luis.herra@smartsfs.com												
Dirección: Santa Verde, La Aurora Heredia		Destinatario: Luis Herra										
		Medio de Pago: Efectivo										
Cantidad	Descripción del producto/Servicio	Descuento	Precio Unitario	SubTotal								
1.00	Materiales para instalación de media y baja tensión ver en Descripción.	0.00	26,100.00	26,100.00								
1.00	Servicio de instalación de media tensión y baja tensión, elaboración de bases y conexiones hasta Switich board.	0.00	10,900.00	10,900.00								
1.00	Uso de grúa para desinstalación e instalación de sistema de potencia Proyecto Fhacasa. Incluye transporte y 8 horas de uso.	0.00	2,600.00	2,600.00								
1.00	Uso de sistema de iluminación con equipo de alimentación eléctrica.	0.00	800.00	800.00								
Notas: Descripción: Materiales Para instalación media y baja tensión hasta switchoard proyecto FHACASA. Cable media tensión, herrajería en poste, Tubería metálica, canaleta, conectores tipo codo, mufas, cortacircuitos, pararrayos, conectores tipo ojo, canasta y cable de baja tensión hasta switchoard 6 líneas x fase de 400 MCM aluminio, puesta a tierra nueva, planos, confección de basa para celda, materiales confección canalización media tensión, cable 350 mcm aluminio 3 x fase Transformador seco y terminales tipo ojo e insumos.				<table border="1"> <tr> <td>Subtotal</td> <td>\$40,400.00</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Neto</td> <td>\$ 40,400.00</td> </tr> <tr> <td>Total Descuentos</td> <td>\$0.00</td> </tr> <tr> <td>Total Impuesto</td> <td>\$5,252.00</td> </tr> </table>	Subtotal	\$40,400.00	Subtotal Neto	\$ 40,400.00	Total Descuentos	\$0.00	Total Impuesto	\$5,252.00
Subtotal	\$40,400.00											
Subtotal Neto	\$ 40,400.00											
Total Descuentos	\$0.00											
Total Impuesto	\$5,252.00											

Cliente: SMART FIELD SERVICES SFS SOCIEDAD		Condición de Venta: Contado										
Ident. Jurídica: 3-101-797099												
Teléfono: +(506) 4108-5000												
Correo: luis.herra@smartsfs.com												
Dirección: Santa Verde, La Aurora Heredia		Destinatario: Luis Herra										
		Medio de Pago: Efectivo										
Cantidad	Descripción del producto/Servicio	Descuento	Precio Unitario	SubTotal								
1.00	Reconexión de banco de capacitores Mano de obra	0.00	1,655.00	1,655.00								
1.00	Instalación transformador de 75 kVA	0.00	2,780.00	2,780.00								
1.00	Instalación tablero 42 espacios con canalización y cable	0.00	3,100.00	3,100.00								
1.00	Instalación transformador seco de 150 kVA	0.00	1,666.00	1,666.00								
1.00	Reubicación de transferencia	0.00	960.00	960.00								
1.00	Levantamiento de pared en B line mano de obra y materiales	0.00	2,100.00	2,100.00								
Notas: Item 1) No incluye materiales únicamente mano de obra de cableado. EL cable debe ser suficiente para dicha reconexión (el trabajo de condenar el banco es por parte de Simmens) Item 2) Incluye cable aluminio canasta anclajes y mano de obra (NO INCLUYE BREAKERS) Item 3) Incluye power block de empalme y tramos de cable adicional Item 4) Incluye mano de obra y accesorios de conexión tales como anclajes y terminales siletas y o de ojo, incluye la barra de tierras y de neutro, incluye la puesta a tierra con materiales y mano de obra. NO INCLUYE el transformador los breakers estos son suministrados por Fhacasa/CMI. No incluye cable este debe ser suficiente el existente y de ser necesario reutilizaremos el cable sobrante del banco de transformadores de distribución a desmantelar. Item 5) incluye mano de obra y materiales adicionales de los solicitados en primera oferta Item 6) Pared en B line o riel strut de 3.5 mts por 4.5 de altura . Incluye materiales anclajes antisísmicos y mano de obra PARED NO FORRADA				<table border="1"> <tr> <td>Subtotal</td> <td>\$12,261.00</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Neto</td> <td>\$ 12,261.00</td> </tr> <tr> <td>Total Descuentos</td> <td>\$0.00</td> </tr> <tr> <td>Total Impuesto</td> <td>\$1,593.93</td> </tr> </table> <p>Total Proforma: \$ 13,854.93</p> <p>trece mil ochocientos cincuenta y cuatro US DOLLAR con 93/100</p> <p>El monto total facturado es equivalente a: €7,511,173.20</p>	Subtotal	\$12,261.00	Subtotal Neto	\$ 12,261.00	Total Descuentos	\$0.00	Total Impuesto	\$1,593.93
Subtotal	\$12,261.00											
Subtotal Neto	\$ 12,261.00											
Total Descuentos	\$0.00											
Total Impuesto	\$1,593.93											