



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Diseño de ingeniería, cotización y ejecución de proyectos eléctricos y
electrónicos de potencia en una empresa comercializadora y de
producción de equipamiento eléctrico**

Trabajo de Suficiencia Profesional presentado por:

Mendoza Alvarez, Cesar Fernando

ORCID: 0009-0004-2881-306X

para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico con Especialidad en
Automatización y Control

Asesor:

Mg. Rodriguez Gonzales, Pedro Alex

ORCID: 0000-0002-7706-6126

Arequipa - Perú

2026

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA ELECTRONICA
CON ESPECIALIDAD EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 06 de Marzo del 2024

Dictamen: 009131-C-EPIE-2024

Visto el borrador del expediente 009131, presentado por:

2011802351 - MENDOZA ALVAREZ CESAR FERNANDO

Titulado:

**DISEÑO DE INGENIERÍA, COTIZACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS ELÉCTRICOS Y
ELECTRÓNICOS DE POTENCIA EN UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA Y DE PRODUCCIÓN DE
EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO ELECTRONICO CON ESPECIALIDAD EN
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**29715414 - COAGUILA GOMEZ RONALD PERCING
DICTAMINADOR**



**29364669 - QUISPE YAUYO JUAN MEDARDO
DICTAMINADOR**



**29410027 - SULLA TORRES RAUL RICARDO
DICTAMINADOR**



DISEÑO DE INGENIERÍA, COTIZACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICO POTENCIA EN UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA Y DE PRODUCCIÓN DE EQUIPAMIENTO ELÉCT

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1 pt.scribd.com

Fuente de Internet

2 manualzz.com

Fuente de Internet

3 www.clubensayos.com

Fuente de Internet

4 gescel.com

Fuente de Internet

5 repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

6 Submitted to Tecsup

Trabajo del estudiante

7 docshare.tips

Fuente de Internet

8 1library.co

Fuente de Internet

9 idoc.tips

Fuente de Internet

10 dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

11 repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

12 www.ticportal.es

Fuente de Internet

13 addiehu.ehu.es

Fuente de Internet

14 vbook.pub

Fuente de Internet

repositorio.untels.edu.pe

RESUMEN

Este trabajo abarca el desarrollo de la ingeniería, enfocada en la electrónica de potencia y eléctrica e incluye el diseño, cotización y ejecución de proyectos en EECOL ELECTRIC S.A.C., dedicada a la venta e integración de soluciones eléctricas industriales. El principal propósito de este trabajo es el desarrollo de proyectos de media y baja tensión, considerando los aspectos técnicos, económicos y operativos para asegurar que los sistemas funcionen de manera segura y eficiente.

El trabajo cubre tres proyectos principales desarrollados durante la trayectoria profesional del autor: El diseño y ejecución de una subestación de media tensión, de un arrancador Softstarter de baja tensión y de un centro de control de motores de baja tensión. En cada proyecto se realizaron actividades relacionadas con el análisis de especificaciones técnicas, cálculos de diseño, el dimensionamiento de equipos, la selección de equipamiento, la preparación de presupuestos la elaboración de planos eléctricos, mecánicos y control y la supervisión de los trabajos de integración.

Además de lo anterior, se utilizaron las normas técnicas principales para garantizar la correcta selección de conductores, equipamiento de protección, potencia y de control. Los procesos permitieron el diseño y ejecución de proyectos que fueron tanto confiables como seguros en la operación de sistemas industriales.

Por último, este trabajo ilustra la importancia de la ingeniería electrónica de potencia aplicada en proyectos eléctricos industriales y su relevancia con la gestión de proyectos y el diseño de sistemas eléctricos para lograr soluciones viables a las exigencias del campo.

Palabras clave: Electrónica de potencia, subestación eléctrica, gestión de proyectos.

ABSTRACT

This professional proficiency report describes the development of engineering, focused on power electronics and electrical engineering, including the design, quoting, and execution of projects at EECOL ELECTRIC S.A.C., a company dedicated to the sale and integration of industrial electrical solutions. The primary purpose of this report is the development of medium- and low-voltage projects, considering technical, economic, and operational aspects to ensure that the systems function safely and efficiently.

The report addresses three main projects developed during the professional experience of the author: the design and execution of a medium-voltage substation, a low-voltage soft starter, and a low-voltage motor control center (MCC). In each project, activities were carried out regarding the analysis of technical specifications, design calculations, equipment sizing, component selection, quoting procedures, the development of electrical, mechanical, and control diagrams, and the supervision of integration tasks.

Furthermore, key technical standards were applied to guarantee the correct selection of conductors, as well as protection, power, and control equipment. These processes enabled the design and execution of projects that proved to be both reliable and safe within industrial system operations.

Finally, this report illustrates the importance of applied power electronics in industrial electrical projects and its relevance to project management and electrical system design in achieving viable solutions for field demands.

Keywords: Power electronics, electrical substation, project management.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.1.1. Formulación del problema.....	3
1.1.2. Sistematización del problema.....	3
1.2. Justificación.....	4
1.2.1. Justificación técnica.....	4
1.2.2. Justificación económica.....	4
1.2.3. Justificación operativa	4
1.2.4. Justificación académica	4
1.3. Metodología	4
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Organización de la empresa	5
1.6. Descripción de la empresa.....	6
1.7. Descripción del trabajo realizado	6
1.7.1. Subestación Eléctrica.....	6
1.7.2. Tablero Arrancador Softstarter de Baja Tensión en la marca Benshaw.....	7
1.7.3. Centro de control de motores de baja tensión.....	7
1.8. Alcances	8
1.9. Marco teórico	8
1.9.1. Proyectos de ingeniería.....	8
1.9.2. Gestión de proyectos	9
1.10. Subestaciones Eléctricas.....	14
1.10.1. Clasificación	15
1.10.2. Principales Componentes de una Subestación Eléctrica	16
1.10.3. Consideraciones de Diseño.....	16
1.11. Transformadores Eléctricos.....	16

1.11.1. Tipos de Transformadores	17
1.12. Celdas de Media Tensión	20
1.12.1. Principales Sistemas de Aislamiento en Celdas de Media Tensión	20
1.12.2. Tipos de Celdas de Media Tensión	22
1.12.3. Equipamiento de Protección en Subestaciones Eléctricas.....	25
1.13. Arranques Eléctricos	25
1.13.1. Arranque Directo	25
1.13.2. Arranque Estrella-Delta.....	26
1.13.3. Arranque con Variador	27
1.13.4. Arrancadores Suaves Soft Starters	28
CAPÍTULO II.....	30
DESARROLLO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	31
2.1. Resumen del proyecto	31
2.2. Datos de Entrada del Cliente:.....	31
2.3. Dimensionamiento de Componentes:.....	34
2.3.1. Cálculo de la Potencia Instalada de la Planta.	34
2.3.2. Potencia Instalada del Circuito de Fuerza Motriz	34
2.3.3. Potencia Instalada de los Circuitos de Alumbrado y Tomacorrientes.....	34
2.3.4. Potencia Instalada de la Planta	35
2.3.5. Cálculo de la Máxima Demanda de la Planta.....	36
2.3.6. Cálculo de la Potencia de la Subestación	37
2.3.7. Dimensionamiento del Conductor Alimentador a la Subestación.....	40
2.3.8. Dimensionamiento de los Seccionadores.	46
2.3.9. Dimensionamiento del Interruptor de Potencia de Media Tensión	48
2.3.10. Dimensionamiento de los Fusibles de Protección de los Transformadores. .	49
2.3.11. Para el transformador de 1000 kVA se tiene que:	49
2.3.12. Dimensionamiento de las Barras de Media Tensión.	50
2.4. Realización del Presupuesto del Proyecto:.....	57
2.5. Realización de Planos Eléctricos y Mecánicos:	59
2.6. Entrega del Proyecto al Cliente.....	59
CAPÍTULO III	61
DESARROLLO DEL TABLERO ARRANCADOR SOFTSTARTER.....	62
3.1. Resumen.....	62
3.2. Datos e Información suministrada por el Cliente.....	62

3.3. Cálculo para elegir el arrancador electrónico Benshaw adecuado.....	62
3.3.1. Cálculo de la Corriente de la Carga.....	62
3.3.2. Cálculo del Factor de Derrateo de Benshaw.	63
3.3.3. Cálculo de la Corriente de Derrateo.	63
3.4. Cálculos para Elegir el Interruptor Principal.....	64
3.4.1. Cálculo de la Potencia Derrateada.....	64
3.4.2. Cálculo de la Corriente Derrateada	65
3.5. Selección de equipamiento de Control para el Correcto Funcionamiento	66
3.5.1. Botoneras.....	66
3.5.2. Pilotos Luminosos.	66
3.5.3. Sistema de Calefacción.....	66
3.5.4. Supresor de Transitorios.....	67
3.6. Dimensionamiento del Envolvente.	68
3.7. Diseño de Ingeniería del Equipamiento dentro del Envolvente.....	68
3.8. Realización del Presupuesto del Proyecto.....	69
3.9. Realización de Planos Eléctricos y Mecánicos a ser aprobados	70
3.10. Ejecución del Proyecto.....	70
CAPÍTULO IV	71
DESARROLLO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE BAJA TENSIÓN.....	72
4.1. Resumen:.....	72
4.2. Evaluación de datos e información suministrada por el cliente.	72
4.3. Cálculo y selección de la protección general del MCC.	73
4.3.1. Cálculo del potencial total	73
4.3.2. Cálculo del Interruptor Principal:	73
4.4. Cálculo y selección de equipamiento de potencia de los arranques.....	74
4.4.1. Cálculo del equipamiento de potencia para 1 Hp.	74
4.4.2. Cálculo del equipamiento de potencia para 40 Hp.	75
4.4.3. Cálculo del equipamiento de potencia para 60 Hp.	76
4.4.4. Cálculo del equipamiento de potencia para 50 Hp.	77
4.4.5. Cálculo del equipamiento de potencia para 15 Hp.	78
4.4.6. Cálculo del equipamiento de potencia para 10 Hp.	79
4.5. Selección de equipamiento de control.....	80
4.5.1. Transformadores de Control.....	80
4.5.2. Pilotos Luminosos.	80

4.5.3. Pulsadores.....	81
4.5.4. Medidor Multifunción	81
4.5.5. Temporizadores	81
4.6. Ingeniería y diseño de la envolvente.	81
4.7. Realización del Presupuesto del Proyecto.....	82
4.8. Realización de planos eléctricos y mecánicos a ser aprobados.....	82
4.9. Ejecución del proyecto:	83
4.10. Entregar el proyecto al cliente.....	83
CAPÍTULO V	84
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Desafíos de la Gestión de proyectos	12
Figura 2	Beneficios de la gestión de proyectos	13
Figura 3	Subestación Eléctrica	14
Figura 4	Transformador Eléctrico	17
Figura 5	Transformador tipo seco	17
Figura 6	Transformador tipo seco	19
Figura 7	Celda de Media Tensión.....	20
Figura 8	Celda de Media Tensión GIS	21
Figura 9	Celda de Media Tensión AIS	22
Figura 10	Celda de Remonte	22
Figura 11	Celda de Medición	23
Figura 12	Celda de Protección de Transformador.....	23
Figura 13	Celda de Protección con Fusible	24
Figura 14	Celda con Interruptor Automático	24
Figura 15	Celda de seccionamiento.....	25
Figura 16	Arranque directo	26
Figura 17	Arranque Estrella-Delta	27
Figura 18	Variador de Frecuencia	27
Figura 19	Arrancador Softstarter.....	28
Figura 20	Cables en trébol.....	40
Figura 21	Tabla de datos para selección de barras de cobre.	55
Figura 22	Tabla de datos para selección de interruptor de baja tensión.....	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tablero de fuerza 1 (TF-1)	32
Tabla 3	Tablero de fuerza 2 (TF-2)	32
Tabla 4	Tablero de fuerza 3 (TF-3)	33
Tabla 5	Tablero de fuerza 4 (TF-4)	33
Tabla 6	Tablero de fuerza 5 (TF-5)	33
Tabla 7	Tabla de watts por metro cuadrado y factores de demanda.....	35
Tabla 8	Tabla de características eléctricas de transformadores.....	39
Tabla 9	Tabla de especificaciones de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv.....	41
Tabla 10	Tabla de parámetros eléctricos I de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv.....	41
Tabla 11	Tabla de parámetros eléctricos II de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv	42
Tabla 12	Tabla B.11 – Factores de corrección para temperaturas diferentes a 20°C.....	43
Tabla 13	Tabla B.15 – Factores de corrección para resistividad térmica diferente a 1,50. 44	
Tabla 14	Tabla B.21 – Factores de corrección para grupos	44
Tabla 15	Tabla B.13 – Factores de corrección para profundidad de tendido.....	45
Tabla 16	Tabla de datos para selección de seccionador.	47
Tabla 17	Tabla de datos para selección de interruptor de media tensión.	48
Tabla 18	Tabla de datos para selección de fusible.	49
Tabla 19	Tabla de datos para selección de barras de cobre.....	51
Tabla 20	Tabla de datos para selección de barras de cobre.....	54
Tabla 21	Presupuesto de transformador de 1000 KVA.....	57
Tabla 22	Presupuesto de transformador de 800 KVA.....	57
Tabla 23	Presupuesto del tablero principal de baja tensión – Transformador 800 KVA... 58	
Tabla 24	Presupuesto del tablero principal de baja tensión – Transformador 1000 KVA. 58	
Tabla 25	Presupuesto de la celda de media tensión.....	59
Tabla 26	Tabla de datos para selección de arrancador suave de Benshaw.....	64
Tabla 27	Tabla de datos para selección de Supresor de Transitorios de SOLA.....	67
Tabla 28	Presupuesto de Tablero arrancador Soft Starter de Bensshaw.	69
Tabla 29	Tabla de cargas del cliente	72
Tabla 30	Tabla de datos para selección de interruptor de baja tensión	73
Tabla 31	Tabla de datos para selección de guardamotores.	75
Tabla 32	Tabla de datos para selección de contactores.	76
Tabla 33	Tabla de datos para selección de guardamotores.	76

Tabla 34	Tabla de datos para selección de contactores.	77
Tabla 35	Tabla de datos para selección de guardamotores.	77
Tabla 36	Tabla de datos para selección de contactores.	78
Tabla 37	Tabla de datos para selección de guardamotores	78
Tabla 38	Tabla de datos para selección de contactores.	79
Tabla 39	Tabla de datos para selección de guardamotores.	80
Tabla 40	Tabla de datos para selección de contactores.	80
Tabla 41	Presupuesto de Centro de control de motores.	82

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Permiso de uso de los datos de la empresa EECOL ELECTRIC S.A.C.	90
Anexo 2 Plano Eléctrico de la Subestación Eléctrica de Media Tensión	91
Anexo 3 Plano mecánico de la subestación eléctrica de media tensión	92
Anexo 4 Plano mecánico de la subestación eléctrica de media tensión	93
Anexo 5 Plano eléctrico del tablero SoftStarter Benshaw de baja tensión.....	94
Anexo 6 Plano mecánico del tablero SoftStarter Benshaw de baja tensión	95
Anexo 7 Plano mecánico del Centro de Control de Motores de baja tensión	96
Anexo 8 Plano mecánico del Centro de Control de Motores de baja tensión	97
Anexo 9 Plano eléctrico del Centro de Control de Motores.....	98
Anexo 10 Plano de control: analizador de red del Centro de Control de Motores.....	99
Anexo 11 Plano de fuerza y control: Arranque directo del centro de control de motores	100
Anexo 12 Plano de fuerza y de control: Arranque estrella triángulo	101

INTRODUCCIÓN

El presente informe por suficiencia profesional tiene como finalidad describir y detallar tres proyectos realizados durante los cuatro años que laboré en la empresa EECOL ELECTRIC S.A.C. exponiendo las cualidades y competencias adquiridas en este tiempo habiendo participado en el rubro eléctrico, control de sistemas eléctricos y electrónica de potencia, en el cual fui participe de diversos proyectos desde el diseño, el presupuesto y entrega del proyecto.

Cada uno de los proyectos descritos a continuación fueron elaborados para distintos clientes industriales.

El primer proyecto desarrollará como se realizó una subestación eléctrica, desde la evaluación de datos suministrado por el cliente, diversos cálculos de diseño, realización de presupuesto, planos de ingeniería y como se llevó a cabo su ejecución.

El segundo proyecto abordará como se realizó un tablero arrancador Softstarter de baja tensión en la marca Benshaw, en el cual se explicarán las principales diferencias técnicas y principales virtudes frente a otras marcas y se describirá lo que EECOL ELECTRIC tiene para este tipo de soluciones. De igual forma se describirá un proyecto desde la evaluación de datos y parámetros suministrados por el cliente, los diversos cálculos de diseño, el presupuesto y entrega del proyecto.

En el tercer proyecto desarrollará como se realizó un centro de control de motores de baja tensión, desde la evaluación de datos suministrado por el cliente, diversos cálculos de diseño, realización de presupuesto, planos de ingeniería y como se llevó a cabo su ejecución.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Las empresas que comercializan e integran equipos eléctricos suelen enfrentar desafíos relacionados con el diseño de ingeniería, la presupuestación y la implementación de proyectos eléctricos de media y baja tensión en el curso de la ejecución de proyectos eléctricos industriales.

Los desafíos relacionados con la selección y dimensionamiento de equipos eléctricos (transformadores, conductores, disyuntores, interruptores de media tensión y equipos de arranque de motores) pueden resultar en sobrecargas y pérdidas, interrumpir el funcionamiento normal y acortar la vida útil de los equipos.

Además de esto, la gestión del diseño y ejecución del proyecto eléctrico se ve afectada negativamente en muchas empresas debido al control inadecuado de la ejecución en lo que respecta a la formulación de planos eléctricos, la selección de protecciones y el control de la ejecución.

Con respecto a los sistemas de electrónica de potencia, como los arranques suaves y los centros de control de motores, las dificultades en los sistemas industriales y la estabilidad del funcionamiento del sistema también se manifiestan debido al control de la corriente de arranque y a la coordinación del sistema de protección de control.

Para el contexto industrial, se requiere el desarrollo de metodologías para la ingeniería, cotización y ejecución de proyectos de energía eléctrica y electrónica para proporcionar soluciones de diseño que sean eficientes, seguras y técnicamente factibles.

1.1.1. Formulación del problema

¿Cómo permite la ingeniería, la cotización y la ejecución de proyectos de energía eléctrica y electrónica que una empresa que vende y fabrica equipos eléctricos ofrezca soluciones eficientes y seguras?

1.1.2. Sistematización del problema

¿Cuál es el impacto de analizar los requisitos técnicos del cliente en el diseño de un proyecto eléctrico industrial?

¿Cómo mejora la confiabilidad de los sistemas eléctricos el correcto dimensionamiento y selección del equipo eléctrico?

¿Cuál es el efecto de preparar presupuestos y cotizaciones en la viabilidad financiera de los proyectos eléctricos?

¿Cómo garantiza la supervisión de proyectos eléctricos que se cumplan los requisitos técnicos y funcionales?

¿Qué efecto tiene la aplicación de la electrónica de potencia en el funcionamiento de los arranques suaves y centros de control de motores?

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación técnica

Este trabajo es importante porque se necesita una comprensión sólida de la ingeniería eléctrica y las técnicas de electrónica de potencia para diseñar, seleccionar y dimensionar equipos de fuerza eléctrica industrial y para garantizar que los sistemas y equipos eléctricos estén diseñados para ser seguros, confiables y eficientes, según las normas técnicas aplicables.

1.2.2. Justificación económica

La estimación precisa y la mejor selección posible de herramientas pueden disminuir significativamente los costos operativos y las pérdidas económicas, además de permitir una mejor asignación de los recursos utilizados para realizar las actividades eléctricas industriales.

1.2.3. Justificación operativa

Las subestaciones eléctricas, los centros de control de motores y los arrancadores electrónicos correctamente implementados tienen un efecto positivo en la continuidad operacional de todos los procesos, y también disminuyen las fallas eléctricas y el tiempo de inactividad asociado.

1.2.4. Justificación académica

El conocimiento de la ingeniería eléctrica, la electrónica de potencia y los principios de gestión adquiridos en este trabajo brindarán una base para futuros trabajos y ofrecerán referencias para estudios y proyectos subsecuentes de esta naturaleza.

1.3. Metodología

La naturaleza de este trabajo es investigación descriptiva aplicada, ya que describe los procedimientos técnicos involucrados en el diseño, estimación e implementación de proyectos eléctricos industriales ejecutados en el contexto profesional.

La metodología utilizada involucró la recopilación de información técnica detallada de los clientes, análisis de especificaciones eléctricas, cálculo y dimensionamiento de equipos, preparación de planos eléctricos y mecánicos, elaboración de presupuestos y supervisión de la ejecución del proyecto.

Además, se utilizaron el Código Nacional de Electricidad y otras normas técnicas nacionales e internacionales, así como catálogos de fabricantes y normas de ingeniería eléctrica, para la selección de conductores, transformadores, interruptores automáticos y sistemas de protección eléctrica.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar la ingeniería, cotización y ejecución de proyectos eléctricos y electrónicos de potencia en una empresa comercializadora y de producción de equipamiento eléctrico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar la ingeniería analizando la información y parámetros brindados por el cliente para conocer los requerimientos de diseño del proyecto.
- Realizar los cálculos de dimensionamiento de los equipos, dispositivos que se van a emplear y de acuerdo a eso hacer una selección optima de equipamiento considerando varias alternativas.
- Elaborar la cotización y presupuesto del proyecto de acuerdo al diseño de ingeniería y datos proporcionados por el cliente.
- Comenzar con la etapa previa a la ejecución del proyecto que implica la elaboración de planos eléctricos, mecánicos y de control los cuales deberán ser aprobados para iniciar con la ejecución del proyecto.
- Iniciar la supervisión de la ejecución del proyecto lo cual incurre en estar al tanto del cronograma planteado del proyecto.

1.5. Organización de la empresa

Dentro de la empresa se tienen las siguientes áreas de trabajo:

- ISR. - Inside Sales Representative. Este cargo se divide en dos: Un grupo de personas que se encarga de cotizar material eléctrico como luminarias, cables, equipamiento eléctrico, etc; y otro grupo que se encarga de ver la ingeniería y cotizar proyectos integrales como salas eléctricas, subestaciones, accionamiento, etc.
- OSR: Outside Sales Representative. Este cargo está conformado por todos los vendedores externos de la empresa. Son los encargados de conseguir y cerrar los negocios de cara frente al cliente.
- División Industrial: Área encargada de ejecutar los proyectos integrales.

- Área de Compras: Está compuesta por todos los que se encargan de realizar las compras e importaciones de los negocios adjudicados a EECOL ELECTRIC.
- Product Manager: Son los encargados de impulsar los distintos productos que suministra EECOL ELECTRIC. Se encargan de que dichos productos sean diseñados, producidos y comercializados adecuadamente.

1.6. Descripción de la empresa

EECOL ELECTRIC S.A.C., es una empresa transnacional canadiense con más de 90 años de experiencia en el rubro de distribución de productos eléctricos. Empresa de soluciones integrales, comercializadores de productos eléctricos y producción de equipamiento eléctrico. Cuenta con 54 sucursales en Canadá, y con 4 sedes en Sudamérica; Chile, Ecuador, Argentina y Perú, actuando como socios estratégicos para los clientes y compañías más importantes del país, ofreciéndoles soluciones integrales para sus proyectos.

El 14 de diciembre del 2012, Wesco International Inc concretó la compra de EECOL ELECTRIC, con lo que pasó a ser parte de uno de los más grandes distribuidores independientes con operaciones en todo el mundo.

EECOL ELECTRIC tiene como cartera de productos lo siguiente: Accionamiento, baja tensión, media tensión, protección eléctrica, salas y subestaciones eléctricas, seguridad electrónica y comunicaciones y proyectos integrales.

Ofrece soluciones de arrancadores electrónicos de baja y media tensión, retrofit de arrancadores electrónicos de baja y media tensión, variadores de velocidad de baja y media tensión, variadores bajos en armónicos y regenerativos, integraciones locales; relés de protección para motor y alimentadores, falla a tierra, resistencia de puesta a tierra, arco eléctrico; sistema de video vigilancia, de control de accesos, cableado estructurado y fibra óptica, sistemas de detección y extinción de fuego, networking, sistemas de comunicación inalámbrica, data centers y soluciones integrales tanto en media y baja tensión como sistemas de distribución, transformación y protección eléctrica; sistemas de accionamiento para el control de motores, sistemas de compensación de energía reactiva y filtros activos/pasivos para la mitigación de armónicos, sistemas de iluminación, automatización y comunicación.

1.7. Descripción del trabajo realizado

1.7.1. Subestación Eléctrica.

- Evaluación de datos e información suministrada por el cliente.
- Cálculo de la potencia del transformador de media tensión a utilizar.
- Cálculos y diseño del tren de celdas de Media tensión.
- Cálculos y diseño de la celda de baja tensión.

- Realización de presupuesto del proyecto.
- Realización de planos eléctricos y mecánicos a ser aprobados para realizar su ejecución.
- Ejecución del proyecto: Realizar las compras del proyecto de acuerdo a cotización e ingeniería, supervisar tiempos de entrega y supervisar los trabajos de integración.
- Entregar el proyecto al cliente.

1.7.2. Tablero Arrancador Softstarter de Baja Tensión en la marca Benshaw.

- Evaluación de datos e información suministrada por el cliente.
- Cálculos para elegir las protecciones eléctricas necesarias.
- Cálculo para elegir el arrancador softstarter adecuado.
- Selección de equipamiento de control necesario para el correcto funcionamiento del tablero.
- Dimensionar las medidas adecuadas de la envolvente.
- Diseño de ingeniería del equipamiento dentro del envolvente.
- Realización de planos eléctricos y mecánicos a ser aprobados para realizar su ejecución.
- Ejecución del proyecto: Realizar las compras del proyecto de acuerdo a cotización e ingeniería, supervisar tiempos de entrega y supervisar los trabajos de integración.
- Entregar el proyecto al cliente.

1.7.3. Centro de control de motores de baja tensión.

- Evaluación de datos e información suministrada por el cliente.
- Cálculo y selección de la protección general del MCC.
- Cálculo y selección de equipamiento de potencia de los arranques directos.
- Selección de equipamiento de control.
- Ingeniería y diseño de la envolvente.
- Realización de planos eléctricos y mecánicos a ser aprobados para realizar su ejecución.
- Ejecución del proyecto: Realizar las compras del proyecto de acuerdo a cotización e ingeniería, supervisar tiempos de entrega y supervisar los trabajos de integración.
- Entregar el proyecto al cliente.

1.8. Alcances

- La integración, supervisión de integración, pruebas funcionales y elaboración de planos Asbuilt del proyecto serán realizados por el área de división industrial.
- Las compras del proyecto descritas en el presupuesto serán realizadas por el área de compras.
- El presente informe estará enfocado en tres proyectos los cuales se mencionan en la descripción del trabajo realizado.
- Se contará con acceso a la información lo que incluye: planos de diseño, cotizaciones.
- Con respecto a los planos se mantendrá la confidencialidad del cliente y se elaboraran planos referenciales de cada proyecto de acuerdo a los objetivos planteados.
- Con respecto a las cotizaciones se mantendrá la confidencialidad del cliente y la confidencialidad de los precios que maneja EECOL ELECTRIC y se elaborará una cotización referencial de cada proyecto de acuerdo a los objetivos planteados.
- Al hacer referencia a ejecución en el título del trabajo corresponderá únicamente a lo siguiente: supervisión de las compras del proyecto de acuerdo a la cotización e ingeniería, realización de planos para su aprobación frente al cliente, estar al tanto de la integración y utilización de recursos por parte de la división industrial.

1.9. Marco teórico

1.9.1. Proyectos de ingeniería

1.9.1.1. Ciclo

El autor Rojas (2015) basándose en el estudio de Miranda del 1997, los ciclos ocupan un lugar importante en la línea de tiempo del proyecto, como señalan los expertos es el tiempo que transcurre desde que se toma una decisión del proyecto hasta su intervalo final de finalización. Siguiendo el enfoque de Miranda, la importancia de las diferentes etapas depende del grado de certeza que brinde cada fase, por ejemplo, la fase creativa tiene menos certeza sobre el resultado del proyecto porque es la fase inicial y hasta ahora no se ha ganado nada.

Tanto Miranda (1997) como Mokate (2004) dividen el ciclo en tres pasos o fases que son muy similares, excepto que Miranda nombra las cuatro fases en lo que Mokate llama una fórmula, simplemente cambiando el significado de cada paso: generación de la idea, investigación de preinversión para medir la facilidad económica de implementar la idea, inversión en la implementación del proyecto y puesta en marcha y operación.

1.9.2. Gestión de proyectos

1.9.2.1. Concepto:

Según la empresa consultora europea Tic Portal (2022) es un conjunto de métodos para planificar y gestionar tareas y recursos de proyectos; es decir un conjunto específico de actividades destinadas a lograr objetivos específicos, medibles, alcanzables, relacionados e intermedios (SMART); cuyos objetivos son:

- Gestionar el inicio y desarrollo de proyectos;
- Supervisar y responder a los problemas que surjan durante el proyecto;
- Facilitar la finalización y aprobación de proyectos.

Según la *ISO 21500* de la International Organization for Standardization (ISO, 2017) los proyectos son independientes de las actividades comerciales diarias y para tener objetivos precisos del proyecto, es necesario realizar varias reuniones con resultados concretos la creación de una nueva sede; reubicación de empleados; reducir el costo de los locales o metas estratégicas como duplicar los resultados de la empresa en tres años.

Hay 3 variables a considerar cuando se diseña un proyecto: tiempo, costo y alcance garantizan la calidad del proyecto. Juntas, estas variables forman el triángulo de calidad (Tic Portal, 2022).

1.9.2.2. Fases

Una organización dispone de ocho tipos de certificados para acreditar los conocimientos en gestión de proyectos. El proyecto PMI según se divide en 5 fases:

- Análisis de viabilidad del proyecto (feasibility study)
Es la primera fase del proyecto y se basa en un análisis de si el proyecto debe continuar. Este paso se da porque la empresa suele ganar más con la ejecución del proyecto de lo que invierte. Factores como el tiempo, los recursos y el costo deben tenerse en cuenta al examinar la viabilidad de un proyecto. El estudio de factibilidad del proyecto debe incluir:
 - Registrar un seguimiento de proyectos en software comercial
 - Análisis preliminar del alcance del proyecto (qué método debe implementarse, qué departamentos deben involucrarse, etc.)
 - Análisis de riesgos para la implementación del proyecto
 - Análisis de beneficios y costes esperados, viabilidad de los plazos acordados y calidad requerida.
- Si el balance del análisis de viabilidad es positivo, se puede proceder a la segunda fase.
- Planificación detallada del trabajo a realizar

- Se detalla todas aquellas tareas a realizar y los recursos necesarios, sin una definición se gana repercusiones negativas para la empresa y para que se dé con la mayor precisión se debe:
- Revisar el análisis del alcance del proyecto;
- Realizar estimaciones de esfuerzo, costes y recursos;
- Definir el plan de proyecto.
- Si el proyecto sigue adelante, se debe redactar toda esta información en los términos de acuerdo.

- Ejecución del proyecto:

Aquí las empresas utilizan todo su conocimiento gestionando los recursos planteando un método para gestionar el proceso, con ayuda de un software que permita generar informes automáticamente; los problemas suelen ocurrir en esta etapa. En esta etapa se siguen los siguientes pasos:

- Configuración del entorno de trabajo (equipos y flujos de trabajo);
 - Asignación de tareas programadas a los recursos disponibles;
 - Completar las tareas programadas.
 - Gestionar solicitudes de cambio.
 - Seguimiento y control del trabajo:
 - Esta etapa, al igual que la anterior, es una de las más importantes del proyecto ya que verifica que se hayan cumplido todos los planes y que se hayan superado todas las exigencias de calidad. Respondiendo eficientemente a cualquier problema, realizando un seguimiento del proceso, incluido el progreso, el tiempo y el costo. Llevándose a acabo cuatro tipos principales de actividades:
 - ✓ Evaluación de tareas e hitos planificados
 - ✓ Gestionar suministros (además del control de calidad)
 - ✓ Incidentes que han ocurrido y pueden haber ocurrido en el proceso de gestión (por ejemplo, los flujos de trabajo no están bien conectados o relacionados);
 - ✓ Crear informes de seguimiento (los gerentes de proyecto informan si el proyecto está dentro del cronograma).
 - Cierre del proyecto.
- En la etapa final, antes de cerrar el proyecto, se evalúa y verifica todo para asegurarse de que todo esté en orden. El análisis de los fracasos de los proyectos en el futuro permitirá tomar decisiones más realistas y seguras. Las listas de verificación (o listas de verificación

de control en español) se utilizan comúnmente para esta evaluación. Las tareas en esta etapa son:

- Todos los empleados relevantes (partes interesadas) finalizan oficialmente el proyecto;
- Implementación de respaldo del proyecto;
- análisis de resultados relacionados con estimaciones preliminares;
- Actualizar todo el conocimiento en la base de conocimiento.

1.9.2.3. Características

- Objetivos múltiples

Explica Wallace (2014) que, los objetivos pueden considerarse como criterios de éxito del proyecto porque determinan si el resultado final del proyecto puede considerarse exitoso; los objetivos más obvios para proyectos grandes son: tiempo, costo, rendimiento, riesgo, seguridad. En la mayoría de los casos, las restricciones de tiempo y costo las establece una entidad más grande antes de que comience el proyecto; en el caso de un sistema interno de gestión de proyectos el director del proyecto puede ser responsable de establecer las limitaciones de tiempo y costo, según lo acordado por la junta (Wallace, 2014).

En un sistema de gestión de proyectos externo, es probable que el cliente establezca las restricciones de tiempo y costo; los límites de desempeño y seguridad pueden ser impuestos en parte por la alta gerencia o los clientes y en parte por las regulaciones, como en el caso de la calidad y los estándares de diferentes materiales según los diseñadores o regulaciones; en el caso de cementos estructurales se establecen mediante reglamentos en forma de normas nacionales y códigos de práctica, el diseñador tiene un cierto grado de libertad de diseño, ante los riesgos, las empresas individuales pueden asumir más del mínimo legal para evitar los riesgos; en todos los casos, el director del proyecto debe ser capaz de equilibrar estos objetivos y llegar a un compromiso en el que cada objetivo se alcance por completo para que los resultados sean aceptables; en algunos casos, es necesario equilibrar dos objetivos o incluso analizar la relación funcional directa entre dos objetivos para equilibrar un objetivo frente al otro (Wallace, 2014).

1.9.2.4. Desafíos

Las organizaciones que implementan proyectos con regularidad se enfrentan a importantes desafíos de dotación de personal. Algunos de ellos se enumeran a continuación:

Figura 1

Desafíos de la Gestión de proyectos

➡	• Para que el sistema de gestión de proyectos sea funcional, el personal se traslada parcialmente de las áreas funcionales. Si no se controla adecuadamente, puede ser perjudicial para el funcionamiento de la función, especialmente si se emplea personal clave en el proyecto.
➡	• Es casi seguro que el proyecto competirá (al menos hasta cierto punto) con la función por los recursos financieros y de otro tipo. Los proyectos seleccionados pueden ser ricos en recursos, mientras que los proyectos de bajo perfil pueden ser pobres en recursos.
➡	• Los gerentes funcionales pueden resentir los proyectos porque a veces los ven como una desviación de recursos del negocio central de la organización.
➡	• A veces, los empleados se resienten de ser contratados en un equipo de proyecto porque sienten que el proyecto es menos importante que el resultado de su función.
➡	• Debido a que los equipos de proyecto son multidisciplinarios, son más difíciles de administrar y desarrollar y son más propensos a los conflictos.
➡	• La gestión de proyectos es una disciplina compleja y exigente. No se puede aprender rápida ni fácilmente, y se necesitan años de experiencia para desarrollar las habilidades necesarias para gestionar de manera significativa la ejecución del proyecto.
➡	• La gestión de proyectos depende cada vez más del uso de métodos y herramientas de planificación y control que pueden ser bastante complejas y requieren capacitar al personal antes de que los equipos de proyecto puedan usarlas de manera segura.
➡	• En general, los empleados que trabajan en un sistema de gestión de proyectos interno deben ser más flexibles que los que trabajan en un sistema puramente funcional. En general, las personas deben ser más adaptables y más capaces de hacer frente al cambio.

Nota. Tabla descriptiva de los desafíos de la gestión de proyectos. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

1.9.2.5. Beneficios

Algunos de los beneficios claros de usar la gestión de proyectos son:

Figura 2

Beneficios de la gestión de proyectos

➡	• Los proyectos son esenciales para el crecimiento de una organización, y la gestión de proyectos es un conjunto de herramientas que permiten que los proyectos cumplan con los criterios de éxito.
➡	• La gestión de proyectos permite que una organización produzca una gama más amplia de productos con el mismo nivel de recursos.
➡	• La gestión de proyectos internos alienta a los empleados multifuncionales a comunicarse entre sí y con objetivos comunes. Trasciende, al menos hasta cierto punto, los límites funcionales que separan las diferentes unidades funcionales.
➡	• La gestión de proyectos puede animar a las organizaciones a desarrollar nuevos productos más rápido. La innovación y la I+D a menudo pueden progresar más rápidamente cuando existen equipos de proyecto interdisciplinarios.
➡	• El director del proyecto considera todo el ciclo de vida del proyecto y asesora en todos los aspectos.
➡	• Los equipos de proyecto y los equipos funcionales suelen competir amistosamente. Mientras la competencia sea discreta, es bueno para la moral y la motivación.
➡	• La gestión de proyectos promueve la gestión eficaz del cambio. Esto permite a las organizaciones completar proyectos complejos con bajas tolerancias que, de otro modo, serían demasiado arriesgados.
➡	• La capacidad de equilibrar múltiples criterios de éxito mientras conduce el proyecto hacia un rango objetivo aceptable de resultados brinda a los gerentes de proyecto una gran flexibilidad para tratar de lograr los mejores resultados.
➡	• Un enfoque estandarizado para la gestión de proyectos establecido por estándares como BS 6079:2010 e ISO 21500:2012 es muy beneficioso para el enfoque regulatorio en todas las industrias y sectores. Esto hace que la industria sea más fluida y flexible, ya que los directores de proyectos de diferentes países e industrias hablan el mismo "lenguaje" de gestión de proyectos.

Nota. Tabla descriptiva de los beneficios de la gestión de proyectos. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

1.9.2.6. Gestión de proyectos en la actualidad

Como explica Wallace (2014) los métodos actuales de gestión de proyectos brindan oportunidades sin precedentes para la evaluación y comparación. Por ejemplo, utilice un plan de proyecto estratégico (PEP) para documentar cuidadosamente todos los aspectos del desarrollo del proyecto y preparar con precisión los informes pertinentes. Esta práctica estandarizada abarca el desarrollo, la implementación, el despliegue y el uso y permite comparaciones que antes no eran posibles. Un caso es cuando un buen PEP alcanza de manera inmediata y directa la acción de los consultores de diseño. PEP es una técnica de evaluación para optar por la mejor firma de consultoría de gestión de proyectos.

La gestión de proyectos como profesión ha tenido mucho éxito. Las organizaciones comerciales de gestión de proyectos en el Reino Unido y EE. UU. están creciendo más rápido que cualquier organización comercial equivalente en estos países. Organizaciones profesionales más tradicionales dan razón del impacto de la gestión de proyectos y

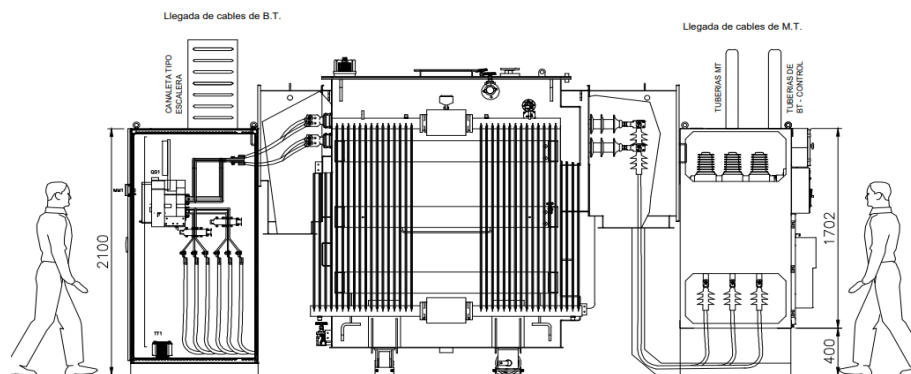
establecen sus propios departamentos para ofrecer especialización en esta área. Como resultado, la Royal Institution of Public Surveyors (RICS), que es responsable de la formación y los estándares de los topógrafos profesionales en Gran Bretaña, ha introducido una especialización en gestión de proyectos como uno de sus departamentos especializados. Como tal, RICS reconoce que la gestión de proyectos como profesión afecta el desempeño de los miembros hasta tal punto que es necesario abordar esta amenaza. RICS optó por crear su propia versión de gestión de proyectos para sus "supervisores". Muchas organizaciones profesionales hacen algo similar (Wallace, 2014).

Como tema, tiene más presencia en cursos de programas de ciencia e ingeniería, por lo que hay más conocimiento de qué es la gestión de proyectos y para qué se utiliza. A mayor competencia, aumenta la necesidad de mayor eficiencia y presión sobre las organizaciones, junto con la necesidad de herramientas de planificación y control, como la gestión de proyectos en sus operaciones diarias. Debido a que la gestión de proyectos es internacional y aplicable a todos los sectores e industrias, es líder en el desarrollo de la práctica profesional (Wallace, 2014).

1.10. Subestaciones Eléctricas

Para definir de manera adecuada, Tecsup (2022) refiere que, una subestación eléctrica está dedicada a la transformación de la tensión eléctrica, es decir, son las que se encargan de que la tensión recibida por los usuarios finales, sea reducida, ya sea en media o baja tensión. Tecsup también menciona que, para un buen dimensionamiento y selección del equipamiento a utilizar, es indispensable saber el funcionamiento en conjunto del sistema y que es de suma importancia, que la subestación eléctrica, lleve en efecto ciertas condiciones mínimas de confiabilidad, seguridad y optimización en su dimensionamiento.

Figura 3
Subestación Eléctrica



Nota. Subestación eléctrica formada por una celda de baja tensión, un tren de celdas de media tensión y un transformador en aceite de media tensión. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

1.10.1. Clasificación

Las subestaciones eléctricas pueden ser clasificadas de la siguiente manera Tecsup (2014):

1.10.1.1. De acuerdo a su Función:

- Subestación de Transformación
- Es aquella provista ya sea en el lado primario y secundario, de equipamiento de control y transformadores, protección y maniobra con el fin de una transformación de una tensión nominal a otra.
- Subestación de Seccionamiento
- Este tipo de subestación, es aquella provista de equipos de maniobra, protección control.

1.10.1.2. Por su ubicación en el sistema eléctrico:

- Subestación elevadora:
Este tipo de subestación es aquella que tiene como función, subir el nivel de tensión para su distribución.
- Subestación intermedia de transformación:
Es aquella que tiene como función disminuir los niveles de tensión.
- Subestación final de transformación:
Este tipo de subestación tiene como función reducir los niveles de tensión a sistemas de distribución.

1.10.1.3. Por su manera de Instalación:

- Interior:
Todo su equipamiento es de tipo interior, y requiere ser protegida del medio ambiente de manera adecuada.
- Intemperie:
Todo el equipamiento de este tipo de subestaciones debe estar preparado para el exterior y sus condiciones.
- Aérea:
Son subestaciones las cuales son soportadas en postes y las cuales también deben estar preparadas para el exterior y sus condiciones.
- Compacta subterránea:
Este tipo de subestaciones, se utilizan solo para bajas potencias de distribución y van de manera subterránea.

Compacto pedestal:

Este tipo de subestaciones son muy parecidas a las subterráneas, con la diferencia de que se hacen sobre el nivel del piso.

1.10.2. Principales Componentes de una Subestación Eléctrica

Las subestaciones eléctricas están compuestas por un conjunto de equipos como interruptores, aisladores, instrumentos de medición, conductores tanto de baja como de media tensión, transformadores, seccionadores, fusibles, etc. Dicho equipamiento tiene como objetivo configurar los parámetros de energía eléctrica (Tecsop, 2022).

1.10.3. Consideraciones de Diseño

En este apartado, Tecsop (2022) refiere que, las principales consideraciones para el diseño de una subestación son: la confiabilidad, flexibilidad y seguridad.

- **Confiabilidad**

Un sistema es confiable cuando se produce una falla en cualquier elemento y se puede proseguir con la entrega de energía, luego de realizar una maniobra interna, durante la corrección de dicha falla.

- **Flexibilidad**

Un sistema es flexible cuando este es capaz de adaptarse a cualquier cambio o modificación, por ejemplo: una ampliación.

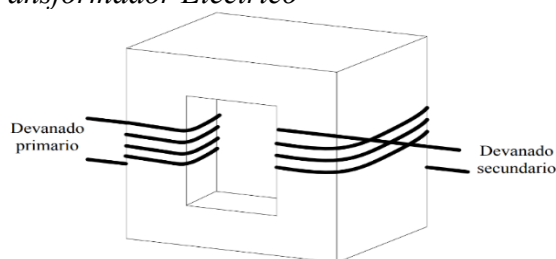
- **Seguridad**

Para definir que un sistema es seguro, es cuando se da la continuidad del servicio frente a una probabilidad muy baja de falla.

1.11. Transformadores Eléctricos

Para definir a un transformador eléctrico, Pérez y López (2018) refiere que, un transformador se rige bajo el fundamento de la inducción electromagnética entre bobinas fijas con la finalidad de que los niveles de tensión, corriente y frecuencia, cambien. Los autores también dicen que, básicamente un transformador está estructurado por dos bobinas, las cuales se representan en la siguiente figura, en la cual se puede visualizar dos devanados: primario y secundario, los cuales están aislados eléctricamente y comparten un mismo núcleo.

Figura 4
Transformador Eléctrico



Nota. Representación de una configuración básica de un transformador. Adaptado de "Transformadores Eléctricos" por S. Milena, J. López, 2018, *Universidad Tecnológica de Pereira*, p. 19.

1.11.1. Tipos de Transformadores

Generalmente se tienen dos tipos de transformadores, de acuerdo a sus características de fabricación: Los transformadores secos y los transformadores sumergidos en aceite.

1.11.1.1. Transformador Seco:

Este tipo de transformadores, CH Transformadores (2019) refiere que son utilizados en interiores, y como método de refrigeración y de aislamiento de sus componentes, utilizan el aire del ambiente, lo que le da también su principal característica ya que no utiliza aceite o cualquier tipo de líquido aislante y esto hace que su instalación y mantenimiento sea mucho más sencillo. Su labor es la de ajustar los niveles de la tensión primaria para su utilización ya sea en la industria, residencial, etc (WEG, 2023). Este tipo de transformadores son usados más que nada por su confiabilidad y por el menor impacto ambiental que poseen (CH Transformadores, 2019).

Figura 5
Transformador tipo seco



Nota. Imagen real de un transformador tipo seco o en resina. Adaptado de "Transformadores en Resina" por Legrand, 2012, *Legrand Ticino del Perú S.A.*, p. 9.

Hay algunos aspectos los cuales Legrand (2017) hace referencia:

- Aplicaciones

Este tipo de transformadores pueden ser utilizados para diferentes fines ya sea en el sector de servicios como hospitales y colegios, en data centers, en infraestructuras como aeropuertos o terminales terrestres y en el sector industrial como industrias químicas, mecánicas, etc.

- Principales Ventajas

Sus principales ventajas se dan en tres ámbitos en particular: Disminución a la contaminación ambiental, una instalación más sencilla y una utilización más flexible.

- Disminución a la Contaminación Ambiental.

- Posee menos riesgo de incendio al no estar expuesto a ningún tipo de aceite o aislante refrigerante y al estar fabricado con materiales que son auto extingüibles
- Al no contar con líquido refrigerante, los transformadores secos no poseen riesgo de contaminación
- Cuando el transformador seco llega al final de su vida útil, se pueden reciclar varios de sus componentes, como la resina y las bobinas

- Instalación más Sencilla.

- Los transformadores secos, no necesitan de obras civiles como depósitos colectores o corta fuegos separadores para su instalación, lo cual también supone un menor coste.
- Debido a que no necesita obras civiles complicadas para su instalación, su falta de aislantes refrigerantes y su baja probabilidad de incendio, es que se pueden instalar dentro de edificios

- Una Utilización más Flexible.

- Debido a que los transformadores secos son refrigerados por aire, su nivel de aguante frente a una sobre carga es mayor, lo cual los hace los adecuados para alimentar cargas las cuales poseen corrientes de arranques frecuentes.
- Costos de mantenimiento reducidos, debido a que solo se tiene que revisar que no se haya acumulado polvo o suciedad.

1.11.1.2. Transformador Sumergido en Aceite:

Los transformadores sumergidos en aceite, CH Transformadores (2019) refiere que son aquellos, cuyo circuito magnético y arrollamientos, se encuentran en el interior de una

envoltura, que en la mayoría de los casos es de aceite mineral, pero también puede ser de silicona, éster o vegetal, y su selección dependerá netamente del usuario. CH Transformadores también menciona que el aceite mineral tiene como objetivo garantizar un correcto aislamiento entre los devanados y las masas del transformador y también como dispersor de calor. Al igual que el transformador seco su principio de funcionamiento es el mismo.

Figura 6
Transformador tipo seco



Transformador con
aislamiento en aceite

Nota. Imagen real de un transformador sumergido en aceite. Adaptado de '' Transformadores en Resina'' por Legrand, 2012, *Legrand Ticino del Perú S.A.*, p. 19.

- Naturaleza

La naturaleza del aceite de los transformadores, Ras (1994) refiere que es mineral, el cual es una combinación de hidrocarburos. El autor también menciona que el aceite posee una rigidez dieléctrica en el orden de los 200 KV/cm, el cual debe ser vigilado y conservado de manera adecuada ya que cualquier pequeña cantidad de impureza, hace descender su valor a una décima parte e incluso menos.

- Envejecimiento del Aceite

Con respecto al envejecimiento del aceite Ras (1994) refiere lo siguiente:

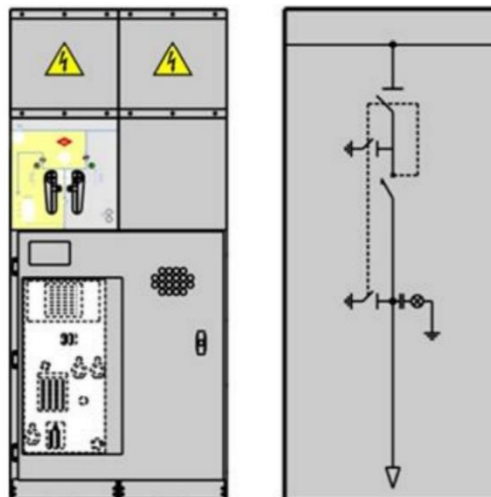
- Con el transcurrir del tiempo, el aceite sufre cambios y alteraciones ya que puede oxidarse, formar productos ácidos o incluso puede llegar a crear lodos. El autor también menciona que estas alteraciones pueden ser producidas por diversas causas como: el aire, la temperatura frente a sobrecargas o calentamientos locales, la luz y la radiación ultra violeta.

- El aceite empeora con el envejecimiento, viéndose afectadas sus capacidades aislantes y refrigerantes, llegando a ser inútil. En la actualidad, para retrasar este envejecimiento, se emplean diversos productos químicos como el topanol o el paranox.
- Una buena conservación del aceite evita una variedad de problemas, ya sea para evitar sobrecargas importantes o una mala refrigeración.

1.12. Celdas de Media Tensión

Para definir las celdas de media tensión, ITESA (2023) dice que son aquellas donde podemos ubicar el equipamiento tanto de maniobra como de protección, los cuales pueden ser distribuidos en diferentes secciones. Son utilizadas mayormente en subestaciones eléctricas con el fin de poder manejar los transformadores de potencias y las líneas de alimentación.

Figura 7
Celda de Media Tensión



Nota. Diagrama mecánico y eléctrico de una celda de media tensión. Adaptado de "Modulari di media tensione con involucro metallico equipaggiati con ims isolato in sf6" por Adriática, 2017, p. 11.

1.12.1. Principales Sistemas de Aislamiento en Celdas de Media Tensión

- Celdas de Media tensión GIS con Gas SF₆

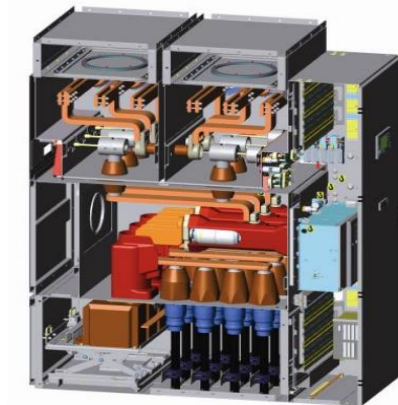
El hexafluoruro de azufre mejor conocido como SF₆, Huamani (2018) refiere que entrega un aislamiento eléctrico y una gran resistencia a los arcos eléctricos de manera muy competente. Gracias a sus propiedades, es muy útil como refrigerante, el cual es capaz de extinguir el arco eléctrico dentro de la cámara de un interruptor. Huamani dice que entre las cualidades principales del SF₆ se tiene que: no es tóxico, no es inflamable, con las condiciones adecuadas de presión y temperatura es un gas incoloro

y que no presenta ningún tipo de olor, tiene la ventaja de ser reutilizado y en el caso de aplicaciones eléctricas, como es el caso de las celdas de media tensión, solo se utiliza en sistemas cerrados. El autor también menciona que el SF6 es utilizado en las celdas de media tensión GIS, como un aislante y como un medio de extinción en el interruptor principal de media tensión.

- Tomando a Quintana (2017), las celdas GIS poseen menor probabilidad de arco interno, lo cual, hace que este tipo de celdas sea más confiable. El autor menciona que los factores ambientales, no serán un problema y no afectarán en nada al equipo, gracias al compartimiento sellado de SF6. El autor también dice que este tipo de celdas tienen un diseño más compacto y también representan un ahorro en cuestiones de mantenimiento debido a que no lo requieren durante el tiempo de vida útil de la celda.

Figura 8

Celda de Media Tensión GIS



Nota. Diagrama mecánico de una celda de media tensión GIS. Adaptado de " Soluciones Celdas Gis " por C. Quintana, 2017, ABB, p. 10.

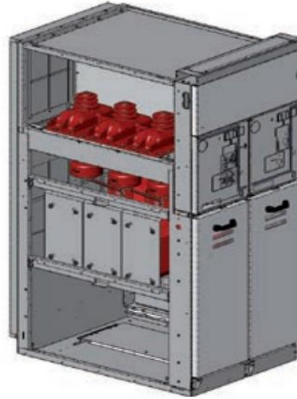
- Celdas de Media tensión con Aislamiento de Aire AIS

Las celdas de media tensión AIS, tal como hace referencia Beta (2015), utilizan el aire como aislamiento en un sistema revestido de metal. Este tipo de celdas tal como refiere ABB (2011), suelen tener un tiempo de vida bastante prolongado, por lo cual se tiene que tener un plan de mantenimiento y de servicio bien estructurado para que se pueda garantizar su fiabilidad.

Entre las características que poseen las celdas AIS Quintana (2017) menciona que: su interruptor es extraíble, que posee un sistema de puesta a tierra independiente, el medio ambiente influye en su capacidad de aislamiento y su durabilidad depende al

plan de mantenimiento al cual estará sometida, a las condiciones ambientales y a las condiciones de aislamiento.

Figura 9
Celda de Media Tensión AIS



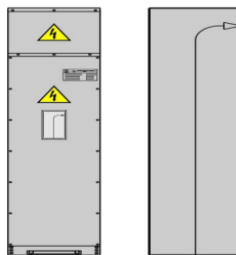
Nota. Diagrama mecánico de una celda de media tensión AIS. Adaptado de “Celdas de media tensión aisladas en aire para la distribución secundaria hasta 24 kV, 1250 A, 25 kA” por ABB, 2017, ABB, p. 9.

1.12.2. Tipos de Celdas de Media Tensión

- Celdas de Remonte:

Esta celda es la de entrada, donde se albergan los puntos de conexión para los cables de alimentación (Promelsa, 2021).

Figura 10
Celda de Remonte

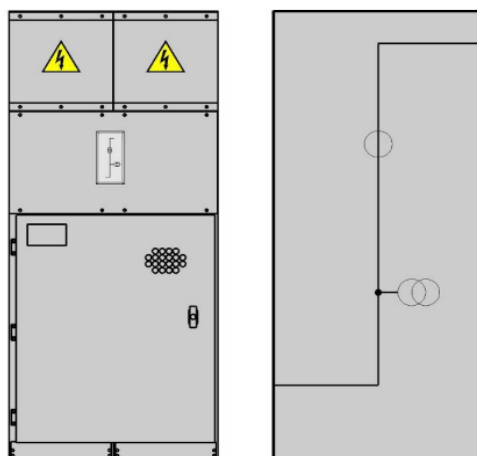


Nota. Diagrama mecánico y eléctrico de una celda de remonte. Adaptado de “Modulari di media tensione con involucro metallico equipaggiati con ims isolato in sf6” por Adriática, 2017, p. 5.

- Celdas de Medición:

Esta celda alberga tanto los transformadores de corriente como los transformadores que energizan a los equipos de medición, lo cuales también se encuentran en esta celda (Ronquillo, 2022).

Figura 11
Celda de Medición

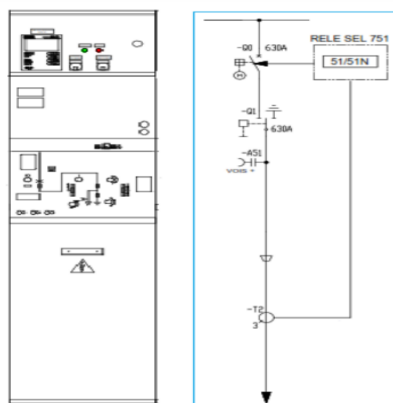


Nota. Diagrama mecánico y eléctrico de una celda de medición. Adaptado de "Modulari di media tensione con involucro metallico equipaggiati con ims isolato in sf6" por Adriática, 2017, p. 12.

- Celda de protección de transformador:

Formada por componentes, cuyo objetivo es actuar frente a cualquier daño que se pueda producir en los transformadores. Estos componentes pueden ser: interruptores, relés de protección o fusibles (Ronquillo, 2022).

Figura 12
Celda de Protección de Transformador



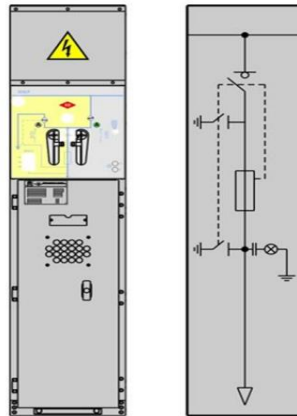
Nota. Diagrama mecánico y eléctrico de una celda de protección de transformador. Adaptado de "Diseño y simulación de un sistema de protección en celdas de media tensión con monitoreo SCADA en subestaciones eléctricas" por A. Ronquillo, 2022, Universidad Politécnica Salesiana, p. 20.

- Celda de Protección con Fusible:

Celdas que albergan fusibles con el fin de proteger al transformador (Ronquillo, 2022).

Figura 13

Celda de Protección con Fusible



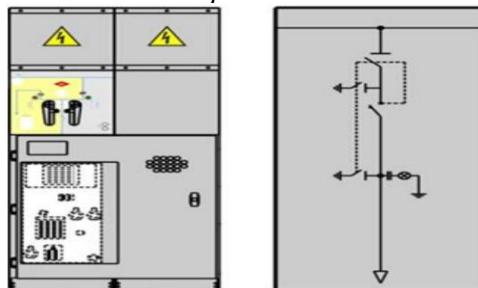
Nota. Diagrama mecánico y eléctrico de una celda de protección con fusible. Adaptado de "Modulari di media tensione con involucro metallico equipaggiati con ims isolato in SF6" por Adriática, 2017, p. 10.

- Celda con Interruptor Automático:

De no ser suficiente la protección dada por una celda de protección con fusibles, debido a la potencia del sistema, se utiliza la celda con protección mediante interruptor (Ronquillo, 2022).

Figura 14

Celda con Interruptor Automático



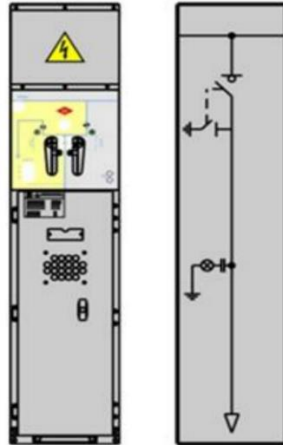
Nota. Diagrama mecánico y eléctrico de una celda con interruptor automático. Adaptado de "Modulari di media tensione con involucro metallico equipaggiati con ims isolato in SF6" por Adriática, 2017, p. 11.

- **Celda de Seccionamiento:**

Esta celda, puede suspender el suministro de energía de manera independiente. Dependiendo de la potencia del sistema, puede estar compuesta por un seccionador o un interruptor (Ronquillo, 2022).

Figura 15

Celda de seccionamiento



Nota. Diagrama mecánico y eléctrico de una celda de seccionamiento. Adaptado de "Modulari di media tensione con involucro metallico equipaggiati con ims isolato in SF6" por Adriática, 2017, p. 9.

1.12.3. Equipamiento de Protección en Subestaciones Eléctricas

Las celdas de media tensión, de acuerdo con Tecsup (2022), están conformadas por diferentes componentes, los cuales tendrán como objetivo, hacer que el sistema funcione de manera óptimo y que cumpla sus funciones sin ningún tipo de problema. Tecsup también menciona que, entre los distintos componentes, los cuales conforman la celda de media tensión, se tienen desde fusibles, Interruptores de potencia de media tensión, seccionadores, relés de protección, transformador tanto de corriente como de control, medidores multifunción, barras de media tensión, etc.

1.13. Arranques Eléctricos

1.13.1. Arranque Directo

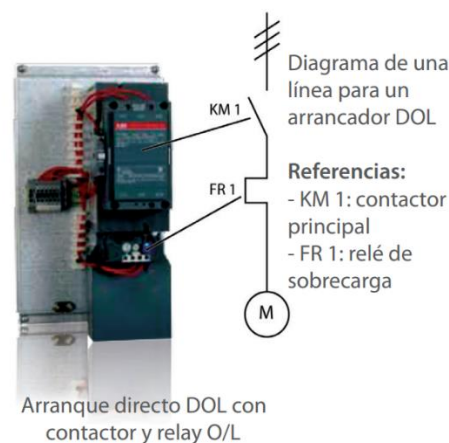
Es el método más utilizado debido a su simpleza y bajo costo. Caputo (2015).

Para este tipo de arranques, Viego et al. (2017) mencionan que se lleva al motor a un punto de operación en un periodo muy corto, debido a que se produce en el momento máximo de aceleración, lo cual, también conlleva a que se produzcan diversos problemas,

los cuales pueden ser consecuencias muy negativas. De acuerdo a Viego et al. (2017), estas pueden ser:

- En el momento del arranque se pueden producir picos elevados de corriente, lo cual es sumamente dañino para el motor.
- En el sistema de alimentación de la red podría dañar los equipos instalados, debido a los picos de corriente y caídas de tensión producidas por este tipo de arranques.
- Este tipo de arranques, debido a los problemas que presenta, deberá tener un correcto dimensionamiento tanto en las protecciones, conductores u otros elementos más relacionados, para que estos puedan aguantar, de manera eficiente, las elevadas corrientes producidas, lo que también tendrá un impacto en el costo.

Figura 16
Arranque directo



Nota. Imagen real y un diagrama eléctrico simple de un arranque directo conformado por un interruptor, un contacto y un relé de sobrecarga. Adaptado de "Motores, conceptos básicos y métodos de arranque" por R. Caputo, 2015, ABB Argentina S.A., p. 50.

1.13.2. Arranque Estrella-Delta

Este tipo de arranque se da en dos etapas de aceleración: la primera consiste en una conexión en estrella, en el cual se toma una corriente reducida; y la segunda etapa se da luego de un tiempo preestablecido en el cual se realiza la conmutación a triángulo. En esta etapa es donde la corriente y el torque serán absorbidas por el motor (Caputo, 2015).

Figura 17
Arranque Estrella-Delta



Nota. Imagen real y un diagrama eléctrico simple de un arranque directo conformado por un interruptor, tres contactores y un relé de sobrecarga. Adaptado de "Motores, conceptos básicos y métodos de arranque" por R. Caputo, 2015, *ABB Argentina S.A.*, p. 51.

1.13.3. Arranque con Variador

El arranque variador de velocidad o también conocido como variador de frecuencia, es un tipo de arranque que básicamente, lo que hace es convertir la corriente alterna en continua y nuevamente en alterna, pero esta última con la frecuencia variable, esto con el fin de poder variar la velocidad del motor, debido a que la velocidad de un motor depende solamente de la frecuencia.

Para aplicaciones en las cuales se tienen que realizar paradas suaves del motor, como en el caso de uso de bombas o fajas transportadoras, o para aplicaciones en las cuales se necesite regular la velocidad. Este tipo de soluciones son más costosas, requieren de más espacio, son más pesados y debido a la variación de frecuencia, introduce armónicos a la red (Caputo, 2015).

Figura 18
Variador de Frecuencia



Nota. Imagen real de un variador de frecuencia de la marca ABB. Adaptado de "Motores, conceptos básicos y métodos de arranque" por R. Caputo, 2015, *ABB Argentina S.A.*, p. 52.

1.13.4. Arrancadores Suaves Softstarters

Este tipo de arrancadores son utilizados para poder controlar la corriente y el par de arranque de motores asíncronos, a diferencia del variador de velocidad, Caputo (2015) refiere que este no modifica la frecuencia, lo que hace es aumentar de manera progresiva la tensión y de esa forma va liberando más torque hasta el punto de lograr vencer el torque de carga y de esa forma el motor comienza a acelerar. Caputo también menciona que un arrancador suave está conformado prácticamente por tiristores conectados en antiparalelo, a esta configuración se le conoce como control en tres y dos fases.

Figura 19
Arrancador Softstarter



Sofstarter (arrancador suave)

Nota. Imagen real de un arrancador Softstarter de la marca ABB. Adaptado de “ Motores, conceptos básicos y métodos de arranque” por R. Caputo, 2015, ABB Argentina S.A., p. 53.

1.13.4.1. Composición de un Arrancador Suave o Softstarter

Los arrancadores suaves, de acuerdo con Caputo (2015), refiere que generalmente están compuestos por tiristores, placa de control, disipadores y ventiladores, transformadores de corriente, un display y un teclado.

Los tiristores se encargan de que la tensión efectuada en el motor sea regulada, la placa de control es la encargada de controlar a los tiristores, los disipadores y ventiladores son los que van a encargarse de disminuir el calor generado, los transformadores de corriente son utilizados para poder hacer las mediciones requeridas, el display para poder visualizar lo que está realizando el arrancador suave y el teclado para poder insertar valores o parámetros y para poder controlar configurar al arrancador.

Para minimizar las pérdidas de potencia, los arrancadores suaves saben incorporar un by-pass interno y algunos arrancadores más completos poseen comunicación.

1.13.4.2.Principales Funciones

Las principales funciones de un arrancador softstarter, según la empresa WEG (2020), son las siguientes:

- Kick Start: Un softstarter es ideal, cuando se exige un esfuerzo adicional en el arranque.
- Pump Control: Utilizado en sistemas de bombeo, donde se da una aceleración y desaceleración, la cual es establecida por una rampa de tensión.
- Paradas por Inercia: El motor irá disminuyendo velocidad debido a que los softstarters llevan la tensión de salida de manera inmediata a cero.
- Limitación de Corriente: El softstarter solamente provee la corriente necesaria.
- Reducción del Golpe de Ariete: Debido a que el softstarter provee una parada suave al motor, esto hace que se reduzca la probabilidad de que se produzca el golpe de ariete.
- Rampa de Tensión en la Desaceleración: Los softstarter tienen la capacidad de poder reducir de manera paulatina la tensión de salida en un tiempo preestablecido.

1.13.4.3.Principales Aplicaciones

Tiene como principales aplicaciones: los sistemas de ventilación y de extracción, en la industria del azúcar y el alcohol, minería, agroindustria. Industria química y la petroquímica (WEG, 2020).

CAPÍTULO II

DESARROLLO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

2.1. Resumen del proyecto

El desarrollo de una subestación eléctrica de media tensión se vuelve esencial en el proceso de distribución eficiente y segura de la energía eléctrica. Su objetivo principal radica en recibir la electricidad de media tensión proveniente de las líneas de transmisión y adecuar su voltaje para su posterior distribución. Estas subestaciones desempeñan un papel crucial al asegurar que la electricidad llegue a hogares, negocios e industrias de manera confiable. El comportamiento de una subestación de media tensión implica la transformación de voltaje, la protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Una subestación eléctrica es parte integral del campo de la electrónica de potencia. La electrónica de potencia se enfoca en el control y la conversión de la energía eléctrica, como las que se encuentran en el nivel de transmisión y distribución de la red eléctrica, donde se manejan y distribuyen grandes cantidades de energía eléctrica. En una subestación eléctrica, se utilizan componentes y equipos de electrónica de potencia para realizar diversas funciones críticas, como la conversión de tensiones, la regulación de corrientes y la protección contra fallas. Algunos ejemplos de dispositivos de electrónica de potencia que se encuentran en una subestación eléctrica incluyen transformadores, interruptores, rectificadores, inversores, relés de protección, etc. El enfoque electrónico en las subestaciones eléctricas se refiere a la aplicación de tecnología electrónica para controlar, monitorear, proteger y gestionar eficientemente los equipos y componentes en una subestación eléctrica. Este enfoque busca mejorar la precisión, la confiabilidad y la eficiencia de las operaciones en las subestaciones eléctricas. En este caso se está utilizando un relé electrónico de protección en el lado de media tensión y un medidor multifunción en el tablero de baja tensión con el fin de monitorizar constantemente los parámetros eléctricos.

Dicho esto, se procede a explicar a detalle las etapas que se llevaron a cabo para realizar el proyecto y en la cual se tuvo una participación constante en cada una de ellas.

2.2. Datos de Entrada del Cliente:

- Tensión de la red de distribución primaria: 22,9 kV.
- Tensión secundaria: 400 V con neutro.
- Área techada de la planta: 3500 m².
- Potencia de corto circuito: 580 MVA.
- Tiempo de apertura de la protección: 0.20 s
- Distancia desde el punto de suministro: 400 m.

- Potencia instalada de los circuitos de tomacorrientes 15%
- Factor de demanda para circuitos de fuerza motriz 0.7
- Factor de simultaneidad para circuitos de fuerza motriz 0.85
- Factor de demanda para circuitos de alumbrado 1
- Factor de simultaneidad para circuitos de alumbrado 0.85
- Factor de demanda para circuitos de tomacorrientes 0.6
- Factor de simultaneidad para circuitos de tomacorrientes 0.85
- Conductor: Deberán ser tres conductores juntos en trébol subterráneos.
- Cargas de fuerza motriz:

Tabla 1

Tablero de fuerza 1 (TF-1)

TABLERO DE FUERZA 1 (TF1)			
DESCRIPCIÓN	POTENCIA UNITARIA (KW)	COS Φ	POTENCIA TOTAL (KW)
Máquina 1	114.94	0.85	114.94
Máquina 2	116.70	0.85	116.70
Máquina 3	30.50	0.80	30.50
Máquina 4	126.00	0.72	126.00
Máquina 5	30.00	0.80	30.00
Máquina 6	15.00	0.72	15.00
Máquina 7	4.40	0.80	4.40
Máquina 8	7.00	0.72	7.00
Máquina 9	19.75	0.80	19.75
Máquina 10	7.40	0.75	7.40
TOTAL TF-1			471.69

Nota. Tabla de cargas del tablero de fuerza 1. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 2

Tablero de fuerza 2 (TF-2)

TABLERO DE FUERZA 2 (TF-2)			
DESCRIPCIÓN	POTENCIA UNITARIA (KW)	COS Φ	POTENCIA TOTAL (KW)
Máquina 11	52.50	0.85	52.50
Máquina 12	52.50	0.85	52.50
Máquina 13	6.30	0.75	6.30
Máquina 14	2.50	0.75	2.50
Máquina 15	222.00	0.85	222.00
Máquina 16	2.25	0.75	2.25
Máquina 17	240.45	0.85	240.45
Máquina 18	20.00	0.78	20.00
Máquina 19	18.50	0.76	18.50
Máquina 20	157.50	0.85	157.50
TOTAL TF-2			774.5

Nota. Tabla de cargas del tablero de fuerza 2. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 3*Tablero de fuerza 3 (TF-3)*

TABLERO DE FUERZA 3 (TF-3)			
DESCRIPCIÓN	POTENCIA UNITARIA (KW)	COS Φ	POTENCIA TOTAL (KW)
Máquina 20	157.50	0.85	157.50
Máquina 22	5.50	0.75	5.50
Máquina 23	5.50	0.75	5.50
Máquina 24	5.60	0.75	5.60
Máquina 25	37.50	0.8	37.50
Máquina 26	35.10	0.82	35.10
Máquina 27	26.75	0.76	26.75
Máquina 28	15.61	0.75	15.61
Máquina 29	10.00	0.80	10.00
Máquina 30	22.50	0.76	22.50
TOTAL TF-3			321.56

Nota. Tabla de cargas del tablero de fuerza 3. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 4*Tablero de fuerza 4 (TF-4)*

TABLERO DE FUERZA 4 (TF-4)			
DESCRIPCIÓN	POTENCIA UNITARIA (KW)	COS Φ	POTENCIA TOTAL (KW)
Máquina 31	11.25	0.8	11.25
Máquina 32	3.60	0.75	3.60
Máquina 33	1.00	0.75	1.00
Máquina 34	1.00	0.75	1.00
Máquina 35	0.75	0.72	0.75
Máquina 36	3.00	0.75	3.00
Máquina 37	1.50	0.75	1.50
Máquina 38	7.50	0.8	7.50
TOTAL TF-4			29.6

Nota. Tabla de cargas del tablero de fuerza 4. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 5*Tablero de fuerza 5 (TF-5)*

TABLERO DE FUERZA 5 (TF-5)			
DESCRIPCIÓN	POTENCIA UNITARIA (KW)	COS Φ	POTENCIA TOTAL (KW)
Máquina 39	2.00	0.75	2.00
Máquina 40	10.00	0.85	10.00
Máquina 41	1.00	0.75	1.00
Máquina 42	3.60	0.75	3.60
Máquina 43	1.00	0.75	1.00
Máquina 44	1.00	0.75	1.00
Máquina 45	0.75	0.72	0.75
Máquina 46	3.00	0.75	3.00
Máquina 47	1.50	0.75	1.50
Máquina 48	7.50	0.8	7.50
Máquina 49	2.00	0.75	2.00
Máquina 50	10.00	0.85	10.00
TOTAL TF-5			43.35

Nota. Tabla de cargas del tablero de fuerza 5. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

2.3. Dimensionamiento de Componentes:

2.3.1. Cálculo de la Potencia Instalada de la Planta.

$$PI = PI_{FM} + PI_{AL} + PI_{TO} \quad (1)$$

Donde:

PI: Potencia instalada de la planta

PIFM: Potencia instalada de fuerza motriz

PIAL: Potencia instalada de alumbrado

PITO: Potencia instalada de tomacorriente

2.3.2. Potencia Instalada del Circuito de Fuerza Motriz

Se tienen que sumar las potencias instaladas de cada tablero para poder obtener la potencia instalada de fuerza motriz.

$$PI_{FM} = PI_{TF-1} + PI_{TF-2} + PI_{TF-3} + PI_{TF-4} + PI_{TF-5} \quad (2)$$

$$PI_{FM} = (471.69 + 774.5 + 321.56 + 29.6 + 43.35)KW$$

$$PI_{FM} = 1640.7 KW$$

2.3.3. Potencia Instalada de los Circuitos de Alumbrado y Tomacorrientes

2.3.3.1. Potencia Instalada del Circuito de Alumbrado

Para determinar la potencia instalada del circuito de alumbrado se utiliza la siguiente fórmula dada por el Código Nacional de Electricidad CNE. Según el CNE la carga unitaria para instalaciones industriales es 25 W/m².

$$PI_{AL} = \text{ÁREA TECHADA} * \text{CARGA UNITARIA} \quad (3)$$

Según el CNE la carga unitaria para instalaciones industriales es 25 W/m².

Tabla 6

Tabla de watts por metro cuadrado y factores de demanda.

Tipo de actividad	Watts por metro cuadrado	Factor de demanda %	
		Conductores de acometida	Alimentadores
Bodegas, Restaurantes, Oficina:	30	100	100
• Primeros 930 m ²	50	90	100
• Sobre 930 m ²	50	70	90
Industrial, Comercial	25	100	100
Iglesias	10	100	100
Garajes	10	100	100
Edificios de Almacenaje	5	70	90
Teatros	30	75	95
Auditorios	10	80	100
Bancos	25	100	100
Barberías y Salones de Belleza	30	90	100
Clubes	20	80	100
Cortes de Justicia	20	100	100
Hospedajes	15	80	100
Viviendas	25	100	100

Nota. Tabla de watts por metro cuadrado y factores de demanda para acometidas y alimentadores para predio según actividad. Adaptado de "Código Nacional de Electricidad", 2006, *Ministerio de Energía y Minas*, p. 595.

$$PI_{AL} = (3500m^2)(25 W/m^2)$$

$$PI_{AL} = 87.5 kW$$

2.3.3.1.1. Potencia Instalada del Circuito de Tomacorrientes

Dependiendo de la empresa se toma entre el 10 % al 20 % de la potencia instalada de alumbrado.

$$PI_{TO} = (15.0\%)PI_{AL} \quad (4)$$

$$PI_{TO} = (15.0\%)(87.5 kW)$$

$$PI_{TO} = 13.13 kW$$

2.3.4. Potencia Instalada de la Planta

Para determinar la potencia instalada de la planta se debe de sumar la potencia instalada de fuerza motriz, la de alumbrado y la de tomacorrientes.

$$PI = PI_{FM} + PI_{AL} + PI_{TO}$$

$$PI = (1640.7 + 87.5 + 13.13)kW$$

$$PI = 1741.33 kW$$

Es la potencia utilizada si es que todos los equipos estuviesen funcionando a plena carga.

2.3.5. Cálculo de la Máxima Demanda de la Planta

Para el cálculo de la máxima demanda de la planta se deberá de multiplicar el factor de demanda, el factor de simultaneidad y la potencia instalada anteriormente hallada. El factor de demanda, en el caso de una máquina, es la potencia real a la que trabaja la carga, en el caso de una lámpara el factor de demanda será del 100%. El factor de simultaneidad es la cantidad de cargas que estarán trabajando de forma simultánea en un intervalo de tiempo. En este caso, cada empresa ya tiene sus propios factores de simultaneidad y de demanda dados por su proyectistas o expertos.

$$MD = FD * FS * PI \quad (5)$$

Donde:

MD: Máxima demanda de la planta

FD: Factor de demanda

FS: Factor de simultaneidad

10.2.5.1 *Máxima Demanda del Circuito de Fuerza Motriz*

FD = 0.7

FS = 0.85

$$MD_{FM} = (0.7)(0.85)(1640.7)kW$$

$$MD_{FM} = 976.22 \text{ kW}$$

2.3.5.1. Máxima demanda de los Circuitos de Alumbrado y Tomacorrientes

2.3.5.1.1. Máxima Demanda del Circuito de Alumbrado

FD = 1.0

FS = 0.85

$$MD_{AL} = (1.0)(0.85)(1640.7)kW$$

$$MD_{AL} = 74.38 \text{ kW}$$

2.3.5.1.2. Máxima Demanda del Circuito de Tomacorrientes

FD = 0,6

FS = 0,85

$$MD_{TO} = (0.6)(0.85)(13.13)kW$$

$$MD_{TO} = 6.70 \text{ kW}$$

2.3.5.1.3. Máxima Demanda de la Planta

$$MD = MD_{FM} + MD_{AL} + MD_{TO}$$

$$MD = (976.22 + 74.38 + 6.70)kW$$

$$MD = 1057.3 \text{ kW}$$

2.3.6. Cálculo de la Potencia de la Subestación

Para el cálculo de la potencia de la subestación, se utiliza como base el triángulo de potencias. En la siguiente fórmula se está dividiendo la potencia activa que viene a ser la máxima demanda de fuerza motriz entre el factor de potencia de fuerza motriz más la suma de las máximas demandas de alumbrado y tomacorriente entre el factor de potencia de alumbrado y tomacorriente. Con esta relación se está pasando la potencia activa a potencia aparente. También se deben de prever futuras ampliaciones en las instalaciones de la planta, para lo cual utilizamos un factor de 1.25, de esta forma consideramos que la planta puede crecer en un 25%.

$$S_T = \left(\frac{MD_{FM}}{\cos \theta_{FM}} + \frac{MD_{AL \text{ y } TO}}{\cos \theta_{AL \text{ y } TO}} \right) \times 1.25 \quad (6)$$

2.3.6.1. Cálculo del Factor de Potencia Promedio del Circuito de Fuerza Motriz.

$$\cos \theta_{FM} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times \cos \theta}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (7)$$

$$\cos \theta_{FM} = \frac{114.94(0.85) + 116.70(0.85) + \dots + 10(0.85)}{114.94 + 116.70 + \dots + 10}$$

$$\cos \theta_{FM} = 0.82$$

2.3.6.1.1. Factor de Potencia de Promedio de Alumbrado y Tomacorrientes.

Para el valor de factor de potencia promedio de alumbrado y tomacorriente, los expertos o personas con mucha experiencia en este tipo de diseños, nos recomiendan utilizar 0.6 de factor de potencia.

$$\cos \theta_{AL \text{ y } TO} = 0.6 \text{ (Valor recomendado por expertos)} \quad (8)$$

2.3.6.1.2. Cálculo de la Potencia de la Subestación.

$$S_T = \left(\frac{MD_{FM}}{\cos \theta_{FM}} + \frac{MD_{AL \text{ y } TO}}{\cos \theta_{AL \text{ y } TO}} \right) \times 1.25 \quad (9)$$

$$S_T = \left(\frac{976.22}{0.82} + \frac{81.08}{0.6} \right) \times 1.25$$

$$S_T = 1657 \text{ kVA}$$

Para el valor de factor de potencia promedio de alumbrado y tomacorriente, los expertos o personas con mucha experiencia en este tipo de diseños, nos recomiendan utilizar 0.6 de factor de potencia.

Se ha considerado de 25% de reserva para el transformador.

Con la potencia hallada, se escoge el transformador o transformadores que se van a tener en la subestación. Para este caso se eligió uno de 1000 kVA y otro de 800 kVA. Luego tendremos una potencia total de la subestación de 1800 kVA; las características de los transformadores son:

- Tensión primaria: 22.9 kV
- Tensión secundaria: 400 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Altura instalación: 1000 msnm
- Grupo de conexión Dyn5
- Tensión de cortocircuito 6 % (se obtiene de la tabla dada por el fabricante)

Tabla 7*Tabla de características eléctricas de transformadores.*

Potencia (kVA)	50	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Pérdidas en vacío (W ₀)	190	320	460	650	930	1300	1550	1700	2130	2600	3100	3800
Pérdidas en carga (W _c) a 75°C	1100	1750	2350	3250	4600	6500	8100	10500	13500	17000	20200	26500
Tensión de cortocircuito % a 75°C	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
Rendimiento cos φ=1 (4/4 P.C.)	97,48	97,97	98,27	98,46	98,64	98,78	98,81	98,79	98,77	98,79	98,84	98,8
Rendimiento cos φ=1 (3/4 P.C.)	97,89	98,29	98,53	98,7	98,84	98,96	99	99	98,97	99	99,04	99,01
Rendimiento cos φ=1 (2/4 P.C.)	98,17	98,51	98,7	98,84	98,98	99,07	99,12	99,14	99,13	99,16	99,18	99,18
Rendimiento cos φ=1 (1/4 P.C.)	97,97	98,31	98,51	98,65	98,8	98,93	98,98	99,07	99,06	99,09	99,14	99,13
Rendimiento cos φ=0,8 (4/4 P.C.)	96,88	97,48	97,85	98,09	98,3	98,47	98,52	98,5	98,46	98,5	98,56	98,51
Rendimiento cos φ=0,8 (3/4 P.C.)	97,37	97,87	98,17	98,37	98,56	98,7	98,75	98,75	98,72	98,76	98,8	98,77
Rendimiento cos φ=0,8 (2/4 P.C.)	97,73	98,14	98,38	98,56	98,72	98,84	98,91	98,93	98,91	98,95	98,98	98,97
Rendimiento cos φ=0,8 (1/4 P.C.)	97,48	97,9	98,14	98,32	98,5	98,66	98,73	98,84	98,82	98,87	98,92	98,92
Caída Tensión plena carga cos φ=1	2,26	1,81	1,54	1,37	1,22	1,1	1,18	1,22	1,25	1,23	1,18	1,23
Caída Tensión plena carga cos φ=0,8	3,77	3,58	3,43	3,33	3,25	3,18	4,44	4,47	4,49	4,48	4,44	4,48
Nivel de Ruido, Potencia acústica dB(A)	52	56	59	62	65	67	68	68	70	71	73	76

Nota. Tabla de características eléctricas de transformadores en aceite. Adaptado de "Transformadores de Distribución", *Alkargo*, p. 6.

2.3.7. Dimensionamiento del Conductor Alimentador a la Subestación.

2.3.7.1. Distancia desde el Punto de Suministro hasta la Subestación.

$L=0.40$ km

2.3.7.1.1. Distancia desde el Punto de Suministro hasta la Subestación.

- Temperatura del suelo: 20 °C
- Temperatura del aire: 30 °C
- Resistividad térmica del suelo: 1.5 K.m/W
- Profundidad del tendido: 0.8 m
- Temperatura del conductor N2XSY: 90°C

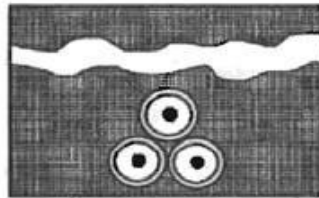
2.3.7.1.2. Condiciones Reales para la Instalación del Alimentador.

- Temperatura del suelo: 25 °C
- Resistividad térmica del suelo: 2.5 K.m/W.
- Profundidad de tendido: 1.0 m.

2.3.7.1.3. Forma de Instalación del Alimentador.

Configuración tres cables en trébol, con los conductos en contacto en toda su longitud.

Figura 20
Cables en trébol



Nota. Tres cables en trébol, en contacto en toda su longitud. Adaptado de ‘‘Norma técnica peruana’’, 2009, p. 69.

2.3.7.1.4. Cálculo de la Corriente Nominal.

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} * U} \quad (10)$$

$$I_N = \frac{1800 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 22.9 \text{ KV}}$$

$$I_N = 45.4 \text{ A}$$

2.3.7.1.5. Conductor

Cable Unipolar N2XSY 18/30 KV, 90°C

Tabla 8

Tabla de especificaciones de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv

Sección [mm²]	N° total alambres	Diam. Conductor [mm]	Esp. nom. aislación [mm]	Diám. sobre aislam. [mm]	Diám. sobre pantalla [mm]	Diám. sobre cubierta [mm]	Peso aprox. [kg/km]
50	19	8,15	8	23,8	25,2	28,4	1093
70	19	9,78	8	25,43	26,8	30,3	1352
95	19	11,55	8	27,2	28,6	32	1655
120	37	13	8	28,65	30	33,7	1942
150	37	14,41	8	30,06	31,4	35,1	2240
185	37	16,16	8	31,81	33,2	37,1	2664
240	37	18,51	8	34,16	35,5	39,5	3274
300	37	20,54	8	36,2	37,9	41,3	3853
400	61	23,51	8	39,16	40,5	44,7	4802
500	61	26,36	8	42,02	43,8	47,6	5830

Nota. Tabla de datos dimensionales de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv. Adaptado de "Distribución y subtransmisión subterránea de energía", 2016, Indeco, p. 3.

Tabla 9

Tabla de parámetros eléctricos I de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv

Sección [mm²]	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Resistencia del conductor en CA a 90° C - formación plana [Ohm/km]	Resist. Conduct. CA 90° C - form. triang. [Ohm/km]	React. Induct. 60 Hz - formac. plana [Ohm/km]	React. Induct. 60 Hz - formac. triang. [Ohm/km]
50	0,387	0,4937	0,4938	0,237	0,1673
70	0,268	0,3421	0,3422	0,2281	0,1584
95	0,193	0,2466	0,2468	0,2197	0,15
120	0,153	0,1958	0,1961	0,2137	0,144
150	0,124	0,159	0,1594	0,209	0,1393
185	0,0991	0,1275	0,1281	0,2045	0,1348
240	0,0754	0,0976	0,0985	0,199	0,1293
300	0,0601	0,0785	0,0797	0,1945	0,1249
400	0,047	0,0624	0,064	0,1899	0,1202
500	0,037	0,05	0,052	0,186	0,117

Nota. Tabla de datos eléctricos I de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv. Adaptado de "Distribución y subtransmisión subterránea de energía", 2016, Indeco, p. 3.

Tabla 10*Tabla de parámetros eléctricos II de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv*

Sección [mm ²]	Ampac. enter. 20°C - formac. plana [A]	Ampac. Enter. 20°C - formac. triang. [A]	Ampac. aire 30°C - formac. plana [A]	Ampac. aire 30°C - formac. triang. [A]
50	203	196	286	238
70	246	239	356	296
95	293	285	434	361
120	332	323	500	417
Sección [mm ²]	Ampac. enter. 20°C - formac. plana [A]	Ampac. Enter. 20°C - formac. triang. [A]	Ampac. aire 30°C - formac. plana [A]	Ampac. aire 30°C - formac. triang. [A]
150	366	361	559	473
185	410	406	637	543
240	470	469	745	641
300	524	526	846	735
400	572	590	938	845
500	631	652	1080	945

Nota. Tabla de datos eléctricos II de conductores tipo N2XSY 18/30 Kv. Adaptado de "Distribución y subtransmisión subterránea de energía", 2016, *Indeco*, p. 4.

Bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura del Suelo: 20°C
- Temperatura del Aire: 30°C
- Resistividad del Suelo: 1,5 K.m/W
- Profundidad de Instalación: 800 mm.

2.3.7.1.6. Capacidad de Corriente del Conductor (ICu) N2XSY 18/30 kV, en formación Tripolar agrupadas en triángulo.

50 mm²: 196 A

2.3.7.1.7. Capacidad de Corriente del Conductor (ICu) N2XSY 18/30 kV, en formación Tripolar agrupadas en triángulo.

$$I_{CU\ CO} = I_{CU} \times FC \quad (11)$$

Factores de Corrección

$$FC = FCt * FCrtt * FCpc * FCpt \quad (12)$$

- FCt: Por temperatura del terreno.
- FCrtt: Por resistividad térmica del terreno.
- FCpc : Por proximidad de otros grupos (ternas) de cables.
- FCpt : Por profundidad de tendido.

Por temperatura del Suelo (25°C): 0.96

Tabla 11

Tabla B.11 – Factores de corrección para temperaturas diferentes a 20°C

Temperatura máxima del conductor °C	Temperatura ambiente del terreno °C							
	10	15	25	30	35	40	45	50
90	1,07	1,04	0,96	0,93	0,89	0,85	0,8	0,76

Nota. Tabla de factores de corrección para temperaturas del terreno diferentes a 20°C. Adaptado de EECOL ELECTRIC, 2023.

Por resistividad térmica del terreno (2.5 K.m/W): 0.84

Tabla 12

Tabla B.15 – Factores de corrección para resistividad térmica diferente a 1,50 K.m/W para cables unipolares en conductores enterrados.

Sección nominal del conductor mm ²	Valor de la Resistividad Térmica del Terreno Km/W						
	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
16	1,2	1,17	1,14	1,11	0,92	0,85	0,79
25	1,21	1,17	1,14	1,12	0,91	0,85	0,79
35	1,21	1,18	1,15	1,12	0,91	0,84	0,79
50	1,21	1,18	1,15	1,12	0,91	0,84	0,78
70	1,22	1,19	1,15	1,12	0,91	0,84	0,78
95	1,23	1,19	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
120	1,23	1,2	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
150	1,24	1,2	1,16	1,13	0,91	0,83	0,78
185	1,24	1,2	1,17	1,13	0,91	0,83	0,78
240	1,25	1,21	1,17	1,14	0,9	0,83	0,77
300	1,25	1,21	1,17	1,14	0,9	0,83	0,77
400	1,25	1,21	1,17	1,14	0,9	0,83	0,77

Nota. Tabla de factores de corrección para resistividad térmica del terreno diferente a 1,50 K.m/W para cables unipolares en conductor enterrados. Adaptado de EECOL ELECTRIC, 2023.

Por proximidad de otros grupos de cables (1 agrupación de cables): 1.0

Tabla 13

Tabla B.21 – Factores de corrección para grupos

Número de agrupaciones de cables	Distancia entre centros de los grupos de conductos mm				
	En contacto	200	400	600	800
2	0,78	0,85	0,89	0,91	0,93
3	0,66	0,75	0,81	0,85	0,88
4	0,59	0,7	0,77	0,82	0,86
5	0,55	0,66	0,74	0,8	0,84
6	0,51	0,64	0,72	0,78	0,83
7	0,48	0,61	0,71	0,77	0,82
8	0,46	0,6	0,7	0,76	-
9	0,44	0,58	0,69	0,76	-
10	0,43	0,57	0,68	-	-
11	0,42	0,56	0,67	-	-
12	0,4	0,55	0,67	-	-

Nota. Tabla de factores de corrección para grupo de cables unipolares de circuitos trifásicos enterrados bajo conductos. Adaptado de EECOL ELECTRIC, 2023.

Por profundidad de tendido en ducto (1.0): 0.98

Tabla 14

Tabla B.13 – Factores de corrección para profundidad de tendido diferente a 0,80m

Profundidad del tendido (m)	Cables Unipolares		Cables tripolares
	Sección nominal del conductor mm2		
	≤185 mm2	>185 mm2	
0,5	1,04	1,05	1,03
0,6	1,02	1,03	1,02
1	0,98	0,97	0,99
1,25	0,96	0,95	0,97
1,5	0,95	0,93	0,96
1,75	0,94	0,92	0,95
2	0,93	0,91	0,94
2,5	0,91	0,89	0,93
3	0,9	0,88	0,92

Nota. Tabla de factores de corrección para profundidad de tendido diferente a 0,80 m para cables dentro de tubo. Adaptado de EECOL ELECTRIC, 2023.

Luego:

$$FC50 = (0.96) (0.84) (1.0) (0.98) = 0,79$$

Las corrientes corregidas para cada sección de conductor considerado:

$$ICu\ co(50) = 196\ A \times 0.79 = 154.8\ A$$

Observamos que:

$$ICu\ co(50) > IN$$

$$154.8\ A > 45.4\ A$$

Luego por capacidad de corriente se selecciona el conductor de 50 mm2 con

$$R = 0.4938\ \Omega/Km\ y\ X = 0,1673\ \Omega/Km$$

2.3.7.1.8. Selección del Alimentador por Caída de Tensión.

Según el CNE suministro, para alimentadores en zonas urbanas la caída de tensión máxima es de 3,5 % de la tensión nominal.

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_N * L (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (13)$$

$$\cos \theta = 0.82$$

$$\theta = \arccos 0.82 = 34.92$$

$$\sin \theta = 0.57$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * (45.4)(0.40)[(0.4938)(0.82) + (0.1673)(0.57)]$$

$$\Delta U = 15.74\ V$$

$$\Delta U_{MAX} = \% \Delta U * U = 3.5\%(22900\ V) = 801.5\ V$$

$$\Delta U < \Delta U_{MAX}$$

$$S_C = \frac{I_{CC} * \sqrt{t}}{K}$$

Como la caída de tensión es menor que el 3.5%, también por caída de tensión se selecciona el conductor N2XSY de 50 mm²

2.3.7.1.9. Selección del Alimentador por Corriente de Corto Circuito.

$$S_{Cu} = \frac{I_{CC} * \sqrt{t}}{K} \quad (14)$$

Como la caída de tensión es menor que el 3.5%, también por caída de tensión se selecciona el conductor N2XSY de 50 mm²

Donde:

I_{CC} : Corriente de cortocircuito (kA)

t : Tiempo de disparo del dispositivo de protección (0.2 s)

K : Constante de conductor (N2XSY = 0.143)

Hallando la corriente de corto circuito:

$$I_{CC} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} * U} \quad (15)$$

$$I_{CC} = \frac{580 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 22.9 \text{ KV}}$$

$$I_{CC} = 14.6 \text{ KA}$$

Reemplazando el valor de I_{CC} en la fórmula, tendremos:

$$S_C = \frac{I_{CC} * \sqrt{t}}{k}$$

$$S_C = \frac{14.6 \text{ KA} * \sqrt{0.2s}}{0.143}$$

$$S_C = 46.66 \text{ mm}^2$$

Luego por corriente de cortocircuito se selecciona el conductor N2XSY de 50mm²

2.3.7.1.10. Selección del Alimentador.

Comparando los tres resultados obtenidos se selecciona el conductor de mayor sección:

N2XSY 3 - 1 x 50 mm² 18/30 kV

2.3.8. Dimensionamiento de los Seccionadores.

Se debe tener en cuenta que se está trabajando con una red de 22.9kV, entonces los equipos que debemos tener en el lado primario del transformador, deben de ser para un nivel de tensión mayor a 22.9 kV. Entonces en la tabla del seccionador debemos observar la tensión y se escoge la que es inmediatamente mayor a la de nuestro sistema

Tabla 15*Tabla de datos para selección de seccionador.*

MODELO	TENSION KV	CORRIEN TE NOMINAL A	CORRIEN TE DE BREVE DURACIO N (1s) KA	CORRIEN TE DINAMIC A (cresta) KA	TENSIONES DE ENSAYO			
					FRECUENCIA INDUSTRIAL		IMPULSO	
					TIERRA A POLOS	ENTRE POLOS	TIERRA A POLOS	ENTRE POLOS
AC15-600	15	630	15	40	45	60	95	110
AC27-600	27	630	15	40	55	75	125	150
AC33-600	33	630	15	40	75	100	170	195

Nota. Tabla de datos para la elección de seccionador. Adaptado de "Catálogos de Materiales Distribución/Seguridad", 2019, *SICAME ARGENTINA.*, p. 15.

2.3.8.1. Cálculo de la Corriente en Régimen Continuo (Régimen Nominal)

Ahora determinamos la corriente nominal del seccionador. La corriente nominal en régimen continuo debe ser dos veces la corriente de la subestación.

$$I = 2 * I_n \quad (16)$$

$$I = 2(45.4)A$$

$$I = 90.8 A$$

2.3.8.1.1. Cálculo de Cortocircuito (de breve duración)

Ahora se debe de calcular la corriente de corto circuito se utiliza la formula expresada a continuación. La potencia de corto circuito nos las da el cliente.

$$I_{CC} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} * U}$$

$$I_{CC} = \frac{580 MVA}{\sqrt{3} * 22.9 KV}$$

$$I_{CC} = 14.6 KA$$

Corriente de Choque (Corriente Dinámica)

$$I_{CH} = (\sqrt{2}) * (r)(I_{CC}) \quad (17)$$

$r=2$; en la práctica y según resultados experimentales se toma 1,8.

$$I_{CH} = (\sqrt{2})(1.8)(14.6)$$

$$I_{CH} = 37.17 KA$$

Luego escogemos tres seccionadores unipolares simples a cuchilla de 27 KV, corriente nominal 630 A, corriente de cortocircuito 15 kA y corriente de choque de 40 kA.

2.3.9. Dimensionamiento del Interruptor de Potencia de Media Tensión

De acuerdo a lo indicado por el cliente se escogerá un interruptor con tecnología de corte al vacío.

Tabla 16

Tabla de datos para selección de interruptor de media tensión.

Interruptor		VD4/R 12			VD4/R 17			VD4/R 24		
Normas		IEC 62271-100			·			·		
		CEI EN 62271-100 (fascículo 7642)			·			·		
Tensión asignada	Ur [kV]	12			17,5			24		
Tensión asignada de aislamiento	Us [kV]	12			17,5			24		
Tensión de ensayo a 50 Hz	Ud (1 min) [kV]	28			38			50		
Tensión soportada a impulso	Up [kV]	75			95			125		
Frecuencia asignada	fr [Hz]	50-60			50-60			50-60		
Corriente térmica asignada (40 °C)	Ir [A]	630	800	1250	630	800	1250	630	800	1250
		12,5	-	-	12,5	-	-	12,5	-	-
		16	16	16	16	16	16	16	16	16
		20	20	20	20	20	20	20	20	20
		25	25	25	25	25	25	-	-	-
Poder de corte asignado (corriente asignada simétrica de cortocircuito)	Isc [kA]	12,5	-	-	12,5	-	-	12,5	-	-
		16	16	16	16	16	16	16	16	16
		20	20	20	20	20	20	20	20	20
		25	25	25	25	25	25	-	-	-
		12,5	-	-	12,5	-	-	12,5	-	-
Corriente asignada admisible de corta duración (3 s)	Ik [kA]	16	16	16	16	16	16	16	16	16
		20	20	20	20	20	20	20	20	20
		25	25	25	25	25	25	-	-	-
		31,5	-	-	31,5	-	-	31,5	-	-
		40	40	40	40	40	40	40	40	40
Poder de cierre	Ip [kA]	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		63	63	63	63	63	63	-	-	-

Nota. Tabla de selección de interruptores de media tensión ABB. Adaptado de “VD4/R Interruptores MT en vacío para la Distribución Secundaria”, 2016, ABB, p. 12.

Con los cálculos realizados anteriormente para hallar el seccionador, se selecciona un interruptor con corte en vacío, marca ABB modelo VD4/R 24, versión frontal fija, tensión nominal 24 kV, corriente nominal 630 A, poder de apertura 16 kA.

2.3.10. Dimensionamiento de los Fusibles de Protección de los Transformadores.

Los fusibles que se necesitan son fusibles limitadores de corriente.

2.3.11. Para el transformador de 1000 kVA se tiene que:

Se debe de calcular la corriente que va a pasar por el fusible, es decir, la corriente nominal del lado primario del transformador de 1000 kVA.

$$S_T = 1000 \text{ kVA}$$

$$U_{cc} = 6\%$$

$$I_{NT} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 22.9 \text{ KV}}$$

$$I_{NT} = 25.2 \text{ A}$$

La corriente de diseño del fusible está comprendida entre 1,3 a 2,5 veces la corriente nominal del transformador.

En este caso el fusible estará comprendido aproximadamente entre 33 A a 63 A.

Si vemos una guía para la protección de transformadores seleccionamos el fusible limitador de corriente para montaje interior, tensión asignada de 24 kV, corriente nominal 63A.

Tabla recomendada de los fabricantes

Tabla 17

Tabla de datos para selección de fusible.

Tens. d'esercizio (kV) Service Voltage (kV)	Potenza nominale del trasformatore (kVA) / Transformer rating (kVA)																
	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
	Corrente termica nominale I del fusibile (A) I rated thermal current I of the fuse (A)																
3	25	40	40	63	63	100	100	100	100	100	160						
5	16	25	25	40	40	63	63	100	100	100	100	100	160				
6	16	25	25	40	40	40	63	63	100	100	100	100	100	160			
10	10	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	100	100	100	100	160	
12	6	16	16	16	25	25	40	40	40	63	63	100	100	100	100	160	160
15	6	10	16	16	25	25	25	40	40	40	63	63	100	100	100	100	
17,5	6	6	10	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	100	100	100	100
20	6	6	10	16	16	16	25	25	40	40	40	63	63	63	100	100	100
24	6	6	6	10	16	16	16	25	25	40	40	40	63	63	100	100	100
30	6	6	6	6	10	16	16	16	25	25	40	40	40				
36	6	6	6	6	10	10	16	16	25	25	25	40	40				

Nota. Tabla de selección de fusibles. Adaptado de "Modulari di media tensione con involucro metallico equipaggiati con ims isolato in sf6" por Adriática, 2017, p. 20.

2.3.11.1. Para el transformador de 800 kVA se tiene que:

Se debe de calcular la corriente que va a pasar por el fusible, es decir, la corriente nominal del lado primario del transformador de 1000 kVA.

$$S_T = 800 \text{ kVA}$$

$$U_{cc} = 6\%$$

$$I_{NT} = \frac{800 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 22.9 \text{ KV}}$$

$$I_{NT} = 20.17 \text{ A}$$

En este caso el fusible estará comprendido aproximadamente entre 26.2 A 50.4 A.

Si vemos una guía para la protección de transformadores seleccionamos el fusible limitador de corriente para montaje interior, tensión de 24 kV, corriente nominal 40A.

2.3.12. Dimensionamiento de las Barras de Media Tensión.

2.3.12.1. Consideraciones para un Montaje Horizontal de Barras:

Se tiene que:

$$I_N = 45.4 \text{ A}$$

$$I_{CC} = 14.6 \text{ KA}$$

$$I_{CH} = 37.17 \text{ KA}$$

La separación mínima (d_{min}) de las barras es:

$$d_{min} = 10 \text{ cm} + 1 \text{ cm/kv}$$

$$d_{min} = (10 + 22.9) \text{ cm}$$

$$d_{min} = 32.9 \text{ cm}$$

A nivel industrial se emplea la separación de 35 cm a 40 cm.

$$d = 40 \text{ cm}$$

Es usual emplear la longitud entre apoyos (aisladores) (l) entre 100 cm a 200 cm.

$$l = 200 \text{ cm}$$

Tabla 18

Tabla de datos para selección de barras de cobre.

Corriente alterna hasta 60Hz									Corriente continua y alterna 16 2/3 Hz								Características Estáticas					
Ancho x Espesor	Pintado				Brillante				Pintado				Brillante									
Largura x Espesura	1 I	2 II	3 III	4 II II	1 I	2 II	3 III	4 II II	1 I	2 II	3 III	4 II II	1 I	2 II	3 III	4 II II	Jx (cm4)	Wx (cm3)	Ix (cm)	Jx (cm4)	Wx (cm3)	Ix (cm)
12 x 2	123	202	228		108	182	216		123	202	233		108	182	220		0.0288	0.048	0.346	0.0008	0.008	0.0577
15 x 2	148	240	261		128	212	247		148	240	267		128	212	252		0.0563	0.075	0.433	0.001	0.01	0.0577
15 x 3	187	316	381		162	282	361		187	316	387		162	282	365		0.0844	0.113	0.433	0.00338	0.0225	0.0866
20 x 2	189	302	313		162	264	298		189	302	321		162	266	303		0.133	0.133	0.577	0.00133	0.0133	0.0577
20 x 3	237	394	454		204	348	431		237	394	463		204	348	437		0.2	0.2	0.577	0.0045	0.03	0.0866
20 x 5	319	560	728		274	500	690		320	562	729		274	502	687		0.333	0.333	0.577	0.0208	0.0833	0.144
20 x 10	497	924	1320		427	825	1180		499	932	1300		428	832	1210		0.667	0.667	0.577	0.167	0.333	0.289
25 x 3	287	470	525		245	412	498		287	470	536		245	414	506		0.391	0.313	0.722	0.00563	0.0375	0.0866
25 x 5	384	662	869		327	586	795		384	664	841		327	590	794		0.651	0.521	0.722	0.026	0.104	0.144
30 x 3	337	544	593		285	476	564		337	546	608		286	478	575		0.675	0.45	0.866	0.00675	0.045	0.0866
30 x 5	447	760	944		379	672	896		448	766	950		380	676	897		1.13	0.75	0.866	0.0313	0.125	0.144
30 x 10	676	1200	1670		573	1060	1480		683	1230	1630		579	1080	1520		2.25	1.5	0.866	0.25	0.5	0.289
40 x 3	435	692	725		366	600	690		436	696	748		367	604	708		1.6	0.8	1.15	0.009	0.06	0.0866
40 x 5	573	952	1140		482	836	1090		576	966	1160		484	848	1100		2.67	1.33	1.15	0.0417	0.167	0.144
40 x 10	850	1470	2000	2580	715	1290	1770	2280	865	1530	2000		728	1350	1880		5.33	2.67	1.15	0.333	0.667	0.289
50 x 5	697	1140	1330	2010	583	994	1260	1920	703	1170	1370		588	1020	1300		5.21	2.08	1.44	0.0521	0.208	0.144
50 x 10	1020	1720	2320	2950	852	1510	2040	2600	1050	1830	2360		875	1610	2220		10.4	4.17	1.44	0.417	0.833	0.289
60 x 5	826	1330	1510	2310	688	1150	1440	2210	836	1370	1580	2060	696	1190	1500	1970	9	3	1.73	0.0625	0.25	0.144
60 x 10	1180	1960	2610	3290	985	1720	2300	2900	1230	2130	2720	3580	1020	1870	2570	3390	18	6	1.73	0.5	1	0.289
80 x 5	1070	1680	1830	2830	885	1450	1750	2720	1090	1770	1990	2570	902	1530	1890	2460	21.3	5.33	2.31	0.0833	0.333	0.144
80 x 10	1500	2410	3170	3930	1240	2110	2790	3450	1590	2730	3420	4490	1310	2380	3240	4280	42.7	10.7	2.31	0.667	1.33	0.289
100 x 5	1300	2010	2150	3300	1080	1730	2050	3190	1340	2160	2380	3080	1110	1810	2270	2960	41.7	8.33	2.89	0.104	0.417	0.144
100 x 10	1810	2850	3720	4530	1490	2480	3260	3980	1940	3310	4100	5310	1600	2890	3900	5150	83.3	16.7	2.89	0.833	1.67	0.289
120 x 10	2110	3280	4270	5130	1740	2860	3740	4500	2300	3900	4780	6260	1890	3390	4560	6010	144	24	3.46	1	2	0.289
160 x 10	2700	4130	5360	6320	2220	3590	4680	5530	3010	5060	6130	8010	2470	4400	5860	7110	341	42.7	4.62	1.33	2.67	0.289
200 x 10	3290	4970	6430	7490	2690	4310	5610	6540	3720	6220	7460	9730	3040	5390	7150	9390	667	66.7	5.77	1.67	3.33	0.289

Nota. Tabla de selección de barras de cobre. Adaptado de "Pletinas de Cobre para Aplicaciones Eléctricas según en 13601", Bronmetal, p. 1.

2.3.12.2.Esfuerzo Electrodinámico (F):

$$F = (2.04) \frac{(I_{CH})^2(l)}{d} \quad (18)$$

$$F = (2.04) \frac{(37.17 \text{ kA})^2(2m)}{40cm}$$
$$F = 140.9 \text{ kg}$$

2.3.12.3.Momento Flector:

$$M = \frac{(F)(l)}{16} \quad (19)$$

$$M = \frac{(140.9 \text{ kg})(200 \text{ cm})}{16}$$
$$M = 1761.3 \text{ kg} - m$$

2.3.12.4.Momento Resistente Necesario:

$$W = \frac{M}{k} \quad (20)$$

Para el cobre $k = (1000 \text{ a } 1200 \text{ kg/cm}^2)$ cuando la barra es rectangular.

$$W = \frac{1761.3 \text{ kg} - m}{1050 \text{ kg/cm}^2}$$
$$W = 1.68 \text{ cm}^3$$

2.3.12.5.Momento Resistente de la Barra de Sección Rectangular:

$$W_x = \frac{(h)(b^2)}{6} \quad (21)$$

Para el cobre $k = (1000 \text{ a } 1200 \text{ kg/cm}^2)$ cuando la barra es rectangular.

Para que el valor del momento resistente resultante sea correcto, se debe cumplir:

$$W < W_x$$
$$1.68 \text{ cm}^3 < W_x$$

Buscamos en la tabla de capacidad de carga para pletinas y barras en cobre electrolítico y encontramos que:

$$1.68 \text{ cm}^3 < 2.08 \text{ cm}^3$$
$$W_x < 2.08 \text{ cm}^3$$

Luego escogemos la barra de cobre electrolítico pintado de 697 A, 50mm x 5mm.

2.3.12.6.Comprobación de la Frecuencia de Resonancia de la Barra:

Debemos comprobar que la frecuencia natural de oscilación de la barra no se encuentre entre $\pm 10\%$ de la frecuencia de la red 60 Hz y el doble de la frecuencia.

$$f_r = \frac{112}{L^2} * \sqrt{\frac{E * J}{G}} \text{ Hz} \quad (22)$$

- f_r = Frecuencia natural de oscilación de la barra.
- E = Módulo de elasticidad (cobre: $1.25 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$).
- J = Momento de inercia (5.21 cm^4).
- G = Peso platina cobre ($2.22 \text{ Kg/m} = 0,0222 \text{ kg/cm}$).
- L = Longitud libre de barra (200 cm).

Tabla 19*Tabla de datos para selección de barras de cobre.*

ANCHO x ESPESOR	ÁREA mm2	PESO kg/m	Corriente alterna hasta 60Hz											
			PINTADA				DESNUDA				Características Estáticas			
			1	2	1	2	Ix (cm4)	Wx (cm3)	Iy (cm4)	Wy (cm3)				
			I	II	I	II								
12 x 2	23,5	0,209	123	202	108	182	0.0288	0.048	0.0008	0.008				
15 x 2	29,5	0,262	148	240	128	212	0.0563	0.075	0.001	0.01				
15 x 3	44,5	0,396	187	316	162	282	0.0844	0.113	0.00338	0.0225				
20 x 2	39,5	0,351	189	302	162	264	0.133	0.133	0.00133	0.0133				
20 x 3	59,5	0,529	237	394	204	348	0.2	0.2	0.0045	0.03				
20 x 5	99,1	0,882	319	560	274	500	0.333	0.333	0.0208	0.0833				
20 x 10	199	1,77	497	924	427	825	0.667	0.667	0.167	0.333				
25 x 3	74,5	0,663	287	470	245	412	0.391	0.313	0.00563	0.0375				
25 x 5	124	1,11	384	662	327	586	0.651	0.521	0.026	0.104				
30 x 3	89,5	0,796	337	544	285	476	0.675	0.45	0.00675	0.045				
30 x 5	149	1,33	447	760	379	672	1.13	0.75	0.0313	0.125				
30 x 10	299	2,66	676	1200	573	1060	2.25	1.5	0.25	0.5				
40 x 3	119	1,06	435	692	366	600	1.6	0.8	0.009	0.06				
40 x 5	199	1,77	573	952	482	836	2.67	1.33	0.0417	0.167				
40 x 10	399	3,55	850	1470	715	1290	5.33	2.67	0.333	0.667				
50 x 5	249	2,22	697	1140	583	994	5.21	2.08	0.0521	0.208				

Nota. Tabla de selección de barras de cobre. Adaptado de "Capacidad amperimétrica de Barrajes Rectangulares de Cobre para Armarios Eléctricos" por L. Rojas, CIPERMI, p. 1.

$$f_r = 47.96 \text{ Hz}$$

- $\pm 10\%$ (60 Hz) = [54 Hz a 66 Hz]
- $\pm 10\%$ (120 Hz) = [108 Hz a 132 Hz]

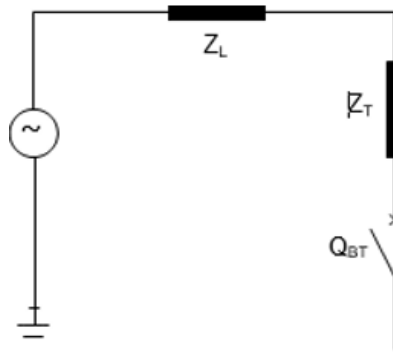
La frecuencia natural de oscilación de la barra no se encuentra dentro de los intervalos.

2.3.13. Dimensionamiento del Interruptor Termomagnético General del Tablero de Baja Tensión.

Para calcular estos interruptores termomagnéticos, se tiene que aplicar un teorema de Thevenin. El transformador será representado como una impedancia Z_T y todo lo que se encuentra aguas arriba en el lado primario, será representado como una impedancia de línea Z_L .

Figura 21

Tabla de datos para selección de barras de cobre.



Nota. Circuito de Thevenin aplicado al dimensionamiento de los interruptores termomagnéticos de baja tensión. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Teorema de Thevenin el transformador es una impedancia Z_T , todo lo que esta atrás es una impedancia de línea Z_L .

2.3.13.1. Impedancia de la línea de MT:

$$Z_L = \frac{U}{(\sqrt{3})(I_{CC})} \quad (23)$$

$$Z_L = \frac{22.9 \text{ kV}}{(\sqrt{3})(14.6 \text{ kA})}$$

$$Z_L = 0.906 \, \Omega$$

2.3.13.2. Impedancia del Transformador de 800 kVA referido al lado de MT:

$$Z_T = (U_{CC}) \frac{U^2}{S} \quad (24)$$

$$Z_T = \left(\frac{6}{100}\right) \frac{(22.9 \text{ kV})^2}{0.8 \text{ MVA}}$$

$$Z_T = 39.33 \, \Omega$$

2.3.13.3. Corriente de Cortocircuito en el lado Primario:

$$I_{CC1} = \frac{U}{(\sqrt{3})(Z_T)} = \frac{U}{(\sqrt{3})(Z_L + Z_T)} \quad (25)$$
$$I_{CC1} = \frac{22.9 \text{ kV}}{(\sqrt{3})(0.906 \Omega + 39.33 \Omega)}$$
$$I_{CC1} = 328.59 \text{ A}$$

2.3.13.4. Corriente de Cortocircuito en el lado Secundario:

$$I_{CC2} = (I_{CC1}) \frac{U_1}{U_2} \quad (26)$$
$$I_{CC2} = (328.59) \frac{22.9 \text{ kV}}{400 \text{ V}}$$
$$I_{CC2} = 18.81 \text{ kA}$$

2.3.13.5. Corriente Nominal del Lado de BT:

$$I_{N2} = \frac{S}{(\sqrt{3})(U_2)} \quad (27)$$
$$I_{N2} = \frac{800 \text{ kVA}}{(\sqrt{3})(0.40 \text{ kV})}$$
$$I_{N2} = 1155 \text{ A}$$

Luego escogemos un interruptor automático en caja moldeada de 1250 A, 50 kA y 400V.

2.3.13.6. Impedancia del Transformador de 1000 kVA referido al lado de MT:

$$Z_T = (U_{CC}) \frac{U^2}{S}$$
$$Z_T = \left(\frac{6}{100}\right) \frac{(22.9 \text{ kV})^2}{1.0 \text{ MVA}}$$
$$Z_T = 31.46 \Omega$$

2.3.13.7. Corriente de Cortocircuito Referido al Lado Secundario:

$$I_{CC2} = (I_{CC1}) \frac{U_1}{U_2}$$
$$I_{CC2} = (408.49) \frac{22.9 \text{ kV}}{400 \text{ V}}$$
$$I_{CC2} = 23.39 \text{ kA}$$

2.3.13.8. Corriente Nominal del lado de BT:

$$I_{N2} = \frac{S}{(\sqrt{3})(U_2)}$$
$$I_{N2} = \frac{1000 \text{ kVA}}{(\sqrt{3})(0.40 \text{ kV})}$$
$$I_{N2} = 1443 \text{ A}$$

Luego escogemos un interruptor automático en caja moldeada de 2000 A, 50 kA y 400V.

2.4. Realización del Presupuesto del Proyecto:

Tabla 20

Presupuesto de transformador de 1000 KVA.

CANT	U/M	COD. EECOL	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO
Transformador 1000 KVA					
Listado de equipos:					
1	UND		WEG	Transformador trifásico en aceite mineral de 1000kVA.	\$ 35,000.00
Servicios					
1	UND		EECOL	Servicio de transporte hacia almacenes de EECOL	\$ 700.00
Gastos internos					
1	UND		EECOL	Riesgo y Contingencia	\$ 535.50

Nota. Hoja de costos del transformador de 1000 KVA. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 21

Presupuesto de transformador de 800 KVA.

CANT	U/M	COD. EECOL	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO
Transformador 1000 KVA					
Listado de equipos:					
1	UND		WEG	Transformador trifásico en aceite mineral de 800kVA.	\$ 30,000.00
Servicios					
1	UND		EECOL	Servicio de transporte hacia almacenes de EECOL	\$ 700.00
Gastos internos					
1	UND		EECOL	Riesgo y Contingencia	\$ 460.50

Nota. Hoja de costos del transformador de 800 KVA. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 22*Presupuesto del tablero principal de baja tensión – Transformador 800 KVA.*

CANT	U/M	COD. EECOL	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO
				Listado de equipos:	
				ENVOLVENTE	
1	UND	-	EECOL	Tablero autosoportado con grado de certificación NEMA4 de medidas aproximadas de 2000mm[ALT] x 800mm[ANCH] x 750mm[PROF]. RAL 7035. Incluye mandil de frente muerto, zócalos y cierre por candado.	\$ 2,500.00
				DISTRIBUCIÓN	
1	UND	-	SCHNEIDER	Interruptor Automático en caja moldeada de 1250 A, 50 kA a 400 VAC.	\$ 6,909.48
1	UND	-	AUDAX	Transformador de control de 500VA / 440 a 220 VAC	\$ 310.00
1	UND	-	PANDUIT	Verificador de ausencia de tensión	\$ 250.00
				MEDICION	
1	UND	-	SCHNEIDER	PM5110 CL 0.5S, Arm ind 15 con Modbus	\$ 521.86
1	UND	-	SCHNEIDER	Miniature Circuit Breaker - 2P - C - 4 A	\$ 10.71
3	UND	-	CIRCUTOR	Transformador de corriente 1250/5	\$ 172.33
1	UND	-	-	Jgo de borneras seccionables	\$ 200.00
				INTEGRACIÓN Y ACCESORIOS	
1	UND	-	EECOL	Accesorios de control	\$ 350.00
1	UND	-	EECOL	Accesorios de integración	\$ 500.00
				GASTOS INTERNOS	
1	UND	-	EECOL	Riesgo y Contingencia	\$ 583.26

Nota. Hoja de costos del tablero de baja tensión - transformador de 800kVA. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 23*Presupuesto del tablero principal de baja tensión – Transformador 1000 KVA.*

CANT	U/M	COD. EECOL	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO
				Listado de equipos:	
				ENVOLVENTE	
1	UND	-	RITTAL	Tablero autosoportado de fabricación nacional en plancha laf de 2mm de espesor de medidas aproximadas de 2000mm[ALT] x 800mm[ANCH] x 750mm[PROF]. RAL 7035. Incluye mandil de frente muerto, zócalos y cierre por candado.	\$ 2,755.00
				DISTRIBUCIÓN	
1	UND	-	SCHNEIDER	Interruptor Automático en caja moldeada de 2000 A, 50 kA a 400 VAC.	\$ 6,909.48
1	UND	-	AUDAX	Transformador de control de 500VA / 440 a 220 VAC	\$ 310.00
1	UND	-	PANDUIT	Verificador de ausencia de tensión	\$ 250.00
				MEDICION	
1	UND	-	SCHNEIDER	PM5110 CL 0.5S, Arm ind 15 con Modbus	\$ 521.86
1	UND	-	SCHNEIDER	Miniature Circuit Breaker - 2P - C - 4 A	\$ 10.71
3	UND	-	CIRCUTOR	Transformador de corriente 1250/5	\$ 172.33
1	UND	-	-	Jgo de borneras seccionables	\$ 200.00
				INTEGRACIÓN Y ACCESORIOS	
1	UND	-	EECOL	Accesorios de control	\$ 350.00
1	UND	-	EECOL	Accesorios de integración	\$ 3,500.00
				GASTOS INTERNOS	
1	UND	-	EECOL	Riesgo y Contingencia	\$ 603.26

Nota. Hoja de costos del tablero de baja tensión - transformador de 1000kVA. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

Tabla 24*Presupuesto de la celda de media tensión.*

CANT	U/M	COD. EECOL	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO
				Listado de equipos:	
1	UND	-	ADRIATICA	CELDA DE PROTECCIÓN GENERAL PG	\$ 4,200.00
2	UND	-	ADRIATICA	CELDA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADOR	\$ 2,500.00
1	UND	-	ABB	Interruptor VD4/R 24 de 24kV - 630A - 16kA	\$ 2,800.00
3	UND	-	EISSA	Fusibles 24kV 63A	\$ 150.00
3	UND	-	EISSA	Fusibles 24kV 40A	\$ 150.00
1	UND	-	ABB	RELÉ DE PROTECCIÓN 50, 51, 50N/G, 51N/G, ENTRADA 1A FASE Y TIERRA, CÓDIGO: REF-601	\$ 235.00
				GASTOS INTERNOS	
1	UND		EECOL	Riesgo y Contingencia	\$ 186.75

Nota. Hoja de costos celda de media tensión. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

2.5. Realización de Planos Eléctricos y Mecánicos:

En el anexo 2, se podrá visualizar el plano eléctrico de la subestación eléctrica de media tensión.

En el anexo 3, se podrá visualizar el plano mecánico de la subestación eléctrica de media tensión, visto desde las celdas de media tensión.

En el anexo 4, se podrá visualizar el plano mecánico de la subestación eléctrica de media tensión, visto desde el tablero de baja tensión.

- Ejecución del Proyecto

A continuación, una vez aceptados los planos de ingeniería por el cliente, se procede a organizar el equipamiento, ferretería, integradores y todo lo necesario para poder ejecutar el proyecto. Para esto se necesita un control del presupuesto, el cual se realiza utilizando un Excel.

Una vez establecido todo lo que se tiene que comprar y a las personas que se tienen que contratar, se hace un seguimiento al tiempo de entrega del equipamiento y de la ejecución para poder llegar a la fecha comprometida con el cliente.

Para la supervisión de las fechas de entrega del equipamiento requerido, nos apoyamos en el área de logística, para asegurar que todo llegue a su debido tiempo. Una vez que se tiene todo, se hacen los planos finales as-built, para la ejecución total del proyecto, la cual se supervisará para que se cumplan los tiempos de entrega comprometidos y donde al final se harán pruebas de funcionamiento FAT y se llenaran protocolos de funcionamiento, los cuales certifiquen el correcto funcionamiento de la subestación eléctrica.

2.6. Entrega del Proyecto al Cliente

Una vez realizadas las pruebas FAT, las cuales son corroboradas por los protocolos de pruebas realizados y una carta de garantía otorgada por Eecol Electric hacia el cliente,

ver que el proyecto está funcionando correctamente, cumpliendo con lo solicitado por el cliente y asegurándonos de su buen ensamblaje, se procede a empaquetar y embalar los taleros de baja tensión y las celdas de media tensión para ser enviado al lugar de entrega puesto por el cliente. Para el caso del transformador de media tensión, a este se le hacen las pruebas FAT desde la fábrica de origen, el cual ya se nos es entregado para que sea entregado directamente al cliente.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TABLERO ARRANCADOR SOFTSTARTER DE BAJA TENSIÓN DE LA MARCA BENSCHAW

3.1. Resumen

El desarrollo de un tablero arrancador Softstarter de baja tensión tiene como objetivo principal controlar el arranque suave de motores eléctricos en aplicaciones industriales. Este dispositivo reduce el impacto inicial en el sistema eléctrico al disminuir gradualmente la corriente durante el arranque, lo que evita picos de energía y minimiza el desgaste mecánico del motor. El comportamiento de un tablero Softstarter implica proporcionar una transición suave y controlada desde el estado de reposo al funcionamiento normal, limitando el estrés eléctrico y mecánico tanto en el motor como en la red eléctrica. Esto contribuye a una mayor eficiencia, durabilidad y confiabilidad en los procesos industriales que dependen de motores eléctricos de baja tensión.

Un tablero arrancador Softstarter de baja tensión contiene varios componentes electrónicos, incluido un controlador de microprocesador, sensores, circuitos de potencia y características de protección. Estos componentes trabajan juntos para lograr un arranque suave y controlado de motores eléctricos de baja tensión, lo que reduce el estrés en el motor y mejora la eficiencia del sistema.

Dicho esto, se procede a explicar a detalle las etapas que se llevaron a cabo para realizar el proyecto y en la cual se tuvo una participación constante en cada una de ellas.

3.2. Datos e Información suministrada por el Cliente.

- Aplicación: Bombas.
- Potencia: 125 HP.
- Voltaje del sistema: 460 Vac.
- Altura de trabajo: 4000 m.s.n.m.
- Tensión de control: 120 Vac.
- Utilización: Exterior.
- Envolvente: Autosoportado.

3.3. Cálculo para elegir el arrancador electrónico Benschaw adecuado.

3.3.1. Cálculo de la Corriente de la Carga.

Utilizando la potencia entregada por el cliente, se halla la corriente nominal de la carga, lo cual nos va ayudar a determinar la nueva corriente derrateada.

Donde:

I_n : Corriente nominal

P : Potencia nominal.

V : Voltaje del sistema.

Reemplazando:

$$I_n = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (28)$$

Donde:

I_n : Corriente nominal

P : Potencia nominal.

V : Voltaje del sistema.

Reemplazando:

$$I_n = \frac{110 * 1000}{460 * \sqrt{3} * 0.8}$$
$$I_n = 172,6 \text{ Amp}$$

3.3.2. Cálculo del Factor de Derrateo de Benshaw.

La fórmula del factor de derrateo de Benshaw es una fórmula especial dada por la misma fábrica, la cual solo aplica para equipos de la marca Benshaw.

$$F_D = \frac{Alt_t - 1000}{250} \quad (29)$$

Donde:

F_D = Factor de derrateo.

Alt_t = Altura de trabajo.

$$F_D = \frac{4000 - 1000}{250}$$

$$F_D = \frac{4000 - 1000}{250}$$

$$F_D = 12\% = 1.12$$

3.3.3. Cálculo de la Corriente de Derrateo.

En la fórmula de corriente de derrateo, reemplazo tanto la corriente de carga, como el factor de derrateo, se obtiene la nueva corriente derrateada, la cual nos va a ayudar a determinar la correcta selección y dimensionamiento del arrancador electrónico Softstarter.

Una vez hallada la corriente derrateada, se escoge el arrancador electrónico de acuerdo a la tabla de selección de Benshaw.

$$I_D = I_N * F_D \quad (30)$$

$$I_D = 172.6 * 1.12$$

$$I_D = 193.3 \text{ Amp}$$

Una vez hallada la corriente derrateada, se escoge el arrancador electrónico de acuerdo a la tabla de selección de Benshaw.

Tabla 25

Tabla de datos para selección de arrancador suave de Benshaw.

Standard Duty (350% current for 30 seconds, 115% Continuous)						
MODEL NUMBER	NOMINAL AMPS	HORSEPOWER RATING				
		200-208V	230-240V	380-400V	440-480V	575-600V
RB3-1-S-027A-11C	27	7.5	10	15	20	25
RB3-1-S-040A-11C	40	10	15	25	30	40
RB3-1-S-052A-12C	52	15	20	30	40	50
RB3-1-S-065A-12C	65	20	25	40	50	60
RB3-1-S-077A-13C	77	25	30	40	60	75
RB3-1-S-096A-13C	96	30	40	50	75	100
RB3-1-S-125A-14C	125	40	50	75	100	125
RB3-1-S-156A-14C	156	50	60	75	125	150
RB3-1-S-180A-14C	180	60	75	100	150	200
RB3-1-S-180A-15C	180	60	75	100	150	200
RB3-1-S-240A-15C	240	75	100	150	200	250
RB3-1-S-302A-15C	302	100	125	150	250	300
RB3-1-S-361A-16C	361	125	150	200	300	400
RB3-1-S-414A-17C	414	150	150	250	350	400
RB3-1-S-477A-17C	477	150	200	300	400	500
RB3-1-S-515A-17C	515	200	200	300	450	500
RB3-1-S-590A-18C	590	200	250	350	500	600
RB3-1-S-720A-19C	720	250	300	400	600	700
RB3-1-S-838A-20C	838	300	350	500	700	800

Nota. Tabla de selección de arrancadores Benshaw Estándar Duty. Adaptado de "RediStart Solid State Starter MX3 Control RBE, RC3, RX3E Models User Manual", 2006, *Benshaw*, p. 15.

Se usa la tabla Estándar Duty, debido a que la aplicación será para una bomba. El arrancador electrónico elegido es el modelo RB3-1-S-240A-15C-03: 200HP/460 Vac, 115% sobrecarga continuo, 350% 30seg, fabricado bajo normas nema y con certificación UL, CSA y Cul, trabajo en altura de 4000msnm, con contactor de bypass incluido, display para montaje en puerta.

3.4. Cálculos para Elegir el Interruptor Principal

3.4.1. Cálculo de la Potencia Derrateada

Se debe de calcular la potencia derrateada para poder calcular la corriente derrateada, para lo cual utilizamos la siguiente fórmula:

$$P_D = P_N * \frac{Alt_t - 1000}{10000} + 1 \quad (31)$$

Donde:

P_D = Potencia derrateada.

P_N = Potencia nominal.

Alt_t = Altura de trabajo.

$$P_D = 91.93 * \frac{4000 - 1000}{10000} + 1$$

$$P_D = 120 \text{ Kw}$$

3.4.2. Cálculo de la Corriente Derrateada

Una vez hallada la potencia derrateada, la reemplazamos en la siguiente fórmula para poder hallar la nueva corriente derrateada. La cual nos va a ayudar a dimensionar el interruptor adecuado.

$$I_{DITM} = \frac{P_{DITM}}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (32)$$

Donde:

I_{DITM} : Corriente derrateada.

P_{DITM} : Potencia derrateada.

V : Voltaje del sistema.

Reemplazando:

$$I_{DITM} = \frac{120 * 1000}{460 * \sqrt{3} * 0.8}$$

$$I_{DITM} = \frac{120 * 1000}{460 * \sqrt{3} * 0.8}$$

$$I_{DITM} = \frac{120 * 1000}{460 * \sqrt{3} * 0.8}$$

$$I_{DITM} = 188.3 \text{ Amp}$$

Para elegir el interruptor, se agrega un rango de protección del 20% a la corriente de derrateo hallada.

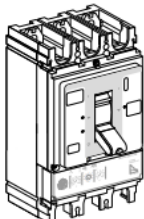
$$I_{ITM} = 188.3 \text{ Amp} * 1.2$$

$$I_{ITM} = 226 \text{ Amp}$$

Utilizando la corriente hallada, se escoge el interruptor adecuado.

Figura 22

Tabla de datos para selección de interruptor de baja tensión.

ComPacT NSX400/630N			
unidad de control electrónica MicroLogic 2.3 (protección LS ₀ I)			
			3P 3R
			4P 3R, 4R, 3R + N/2
	ComPacT NSX400N (50 kA a 380/415 V)	250 A	C40N32D250
		400 A	C40N32D400
ComPacT NSX630N (50 kA a 380/415 V)	630 A	C63N32D630	C63N42D630

Nota. Tabla de selección de interruptor de baja tensión. Adaptado de "Catálogo Schneider Electric", 2023, *Schneider Electric*, p. 381.

Se escoge un interruptor electrónico de 400 Amperios de la marca Schneider.

3.5. Selección de equipamiento de Control para el Correcto Funcionamiento del Tablero.

3.5.1. Botoneras

Debido a que el cliente solicita una aplicación en exterior, se escogen botoneras para el control de arranque manual del Softstarter con un grado de protección NEMA 4. Este grado de protección es idóneo para este tipo de aplicaciones debido a que este estándar es el adecuado para resistir el ingreso de agua y polvo. Por lo tanto, se elegirán botoneras en la marca Square-D de Schneider.

3.5.2. Pilotos Luminosos.

Debido a que el cliente solicita una aplicación en exterior, se escogen pilotos led con un grado de protección NEMA 4. Este grado de protección es idóneo para este tipo de aplicaciones debido a que este estándar es el adecuado para resistir el ingreso de agua y polvo. Por lo tanto, se elegirán pilotos led en la marca Square-D de Schneider. Estos serán usados para identificar el estado actual del softstarter, ya sea que este en arranque o en stop.

3.5.3. Sistema de Calefacción

Se usará un sistema de calefacción con el fin de evitar la condensación y acumulación de humedad que puedan dañar los componentes y afectar el rendimiento del sistema eléctrico. El sistema de calefacción estará conformado por una resistencia calefactora y un higróstato.

3.5.4. Supresor de Transitorios.

Con el fin de proteger los equipos eléctricos y electrónicos de los daños causados por transitorios eléctricos, como sobretensiones o picos de tensión, se utiliza un supresor de transitorios. En este caso se elegirá uno de la marca Sola.

La elección del supresor de transitorios, se realiza revisando la hoja de datos y de selección del fabricante.

Tabla 26

Tabla de datos para selección de Supresor de Transitorios de SOLA.

STV 100K Specifications										
Description	STV 100K-10S	STV 100K-10N	STV 100K-24L	STV 100K-10Y	STV 100K-23Y	STV 100K-27Y	STV 100K-24D	STV 100K-48D	STV 100K-10D4	STV 100K-24D4
Nominal Input Vac	120/240 V	120 V	240 V	120/208 V	230/400 V	277/480 V	240 V	480 V	120/240 V	240/480 V
System Configuration	Single Phase 3 wire + Ground	Single Phase 2 wire + Ground	Single Phase 2 wire + Ground	Three Phase Wye 4 wire + Ground	Three Phase Wye 4 wire + Ground	Three Phase Wye 4 wire + Ground	Three Phase Delta 3 wire + Ground	Three Phase Delta 3 wire + Ground	Three Phase Delta High Leg 4 wire + Ground	Three Phase Delta High Leg 4 wire + Ground
Maximum continuous Operating Voltage (MCOV)	125% of nominal level for 120V; 115% all other									
Line Frequency	47-63 Hz									
Response Time	< 0.5 nsec									
A/C Rating	65 kAIC									
Fusing	Thermal and Fault Current									
Nominal Discharge Current Rating	3 kA									
Modes of Protection	All Mode: L-N, L-L, L-G, N-G									
Operating Temperature	-40°C to +60°C									
Operating Humidity	0% to 95% Non-condensing									
Noise Attenuation	40 dB Max									
Dimensions - W x D x H - in. (mm)	6.00 x 4.00 x 3.20 (152.4 x 101.6 x 81.3)									
Net Weight - lbs (kg)	8.0 lbs (3.63kg) max.									
Enclosure	Metal, UL Listed/NEMA Type 12 Enclosure									
Connection/Mounting Type	Parallel/Flange									
Status Indication	Red and green LED indicators, audible alarm, Form C contacts									
Warranty	10 year limited warranty									
UL 1449 3rd Edition, Type 2 Voltage Protection Ratings (VPRs) Vpeak										
Line to Neutral	600 V	600 V	N/A	600 V	1200 V	1200 V	N/A	N/A	600 V	1200 V
Line to Line	1000 V	N/A	1000 V	1000 V	2000 V	2000 V	2000 V	2000 V	1000 V	2000 V
Line to Ground	700 V	700 V	1200 V	700 V	1200 V	1200 V	1200 V	2000 V	700 V	1200 V
Neutral to Ground	700 V	700 V	N/A	700 V	1200 V	1200 V	N/A	N/A	700 V	1200 V
High Leg to Neutral	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1200 V	2000 V
High Leg to Line	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1500 V	2500 V
High Leg to Ground	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1200 V	2000 V
Peak Surge Current Capability										
Per Phase	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA	100 kA
Line to Neutral	50 kA	50 kA	N/A	50 kA	50 kA	50 kA	N/A	N/A	50 kA	50 kA
Line to Line	50 kA	N/A	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA
Line to Ground	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA	50 kA
Neutral to Ground	50 kA	50 kA	N/A	50 kA	50 kA	50 kA	N/A	N/A	50 kA	50 kA

Nota. Tabla de selección de supresor de transitorios. Adaptado de "Power Protection and Conditioning", 2023, SOLA, p. 2.

Donde se elige el supresor de transitorios STV100K-48D, ya que, debido al nivel de tensión dado por el cliente, se denota un sistema de tres fases en delta, y ya que el voltaje es de 460 Vac, se utiliza el inmediato superior de 480 Vac

3.6. Dimensionamiento del Envolvente.

Para la dimensión de la envolvente, los dos componentes principales a tener en cuenta son el interruptor principal y el arrancador electrónico ya que son los componentes más grandes que se tienen, para lo cual, revisando sus fichas técnicas, obtenemos sus dimensiones y se realiza el dimensionamiento e ingeniería del tablero en Autocad.

Ya que el cliente solicita un tablero autosoportado, se tomará una medida estándar inicial, para ver si es que el equipamiento seleccionado entra sin ningún problema.

3.7. Diseño de Ingeniería del Equipamiento dentro del Envolvente

Se seleccionó un envolvente con dimensiones de 2000x800x800, con un grado de protección NEMA4 debido a que el cliente solicita un uso exterior. Ahora se procede con el dimensionamiento de los demás componentes dentro del envolvente.

3.8. Realización del Presupuesto del Proyecto

Tabla 27

Presupuesto de Tablero arrancador Soft Starter de Bensshaw.

CANT	U/M	COD. EECOL	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO
1	UND		EECOL	Listado de equipos:	
				FUERZA	
1	UND	-	SCHNEIDER	Interruptor Automático ComPacT NSX400H MicroLogic 2.3 400 A 3P3D	\$ 585.84
1	UND	-	SCHNEIDER	Manija de operación, código: 9422A1	\$ 73.85
1	UND	-	SCHNEIDER	Mecanismo de operación	\$ 145.97
1	UND	-	BENSHAW	Arrancador electrónico de 200HP/460Vac, 115% sobrecarga continuo, 350% 30seg, fabricado bajo normas nema y con certificación UL, CSA y Cul, trabajo en altura de 4000msnm, con contactor de bypass incluido, display para montaje en puerta, modelo: RB3-1-S-240A-15C-03	\$ 3,465.00
1	UND	-	BENSHAW	Transformador para protección de falla a tierra	\$ 450.00
1	UND	-	BENSHAW	EtherNET/IP, Modbus/TCP communications	\$ 1,136.00
1	UND	-	BENSHAW	Test plug, 120Vac para test BIST, Selector Normal/Test	\$ 174.00
1	UND	-	BENSHAW	Cubierta Nema4 para panel HMI	\$ 185.00
				CONTROL	
8	UND	-	ABB	Interruptor bipolar 2x4A, 10KA, 220V, código: 2CDS212001R0044	\$ 13.10
1	UND	-	AUDAX	Transformador de voltaje 460/120Vac, de 500VA a 1000msnm	\$ 380.00
1	UND	-	SCHNEIDER	Pulsador rasante IP66, UL nema 4 color rojo 1NA, 30mm	\$ 27.21
1	UND	-	SCHNEIDER	Pulsador rasante IP66, UL nema 4 color verde 1NA, 30mm	\$ 27.21
1	UND	-	SCHNEIDER	Pulsador rasante IP66, UL nema 4 color negro 1NA, 30mm	\$ 27.21
1	UND	-	SCHNEIDER	Piloto con led de alta luminosidad 120Vac, color verde, 30mm	\$ 48.83
1	UND	-	SCHNEIDER	Piloto con led de alta luminosidad 120Vac, color rojo, 30mm	\$ 48.52
1	UND	-	SCHNEIDER	Piloto con led de alta luminosidad 120Vac, color amarillo, 30mm	\$ 48.37
1	UND	-	SCHNEIDER	Pulsador de parada de emergencia, 1NC	\$ 31.44
1	UND	-	SCHNEIDER	Selector 3 posiciones M-0-A	\$ 48.72
10	UND	-	ABB	Mini contactor 2NA+2NC, bobina 100-127VAC	\$ 12.48
1	UND	-	LEGRAND	Horómetro electromecánico 120Vac	\$ 121.94
1	UND	-	RITTAL	Higrostat	\$ 632.00
1	UND	-	RITTAL	Resistencia calefactora	\$ 893.00
1	UND	-	SCHNEIDER	Interruptor Automático ComPacT NSX100F TMD40 Regulable 28-40 A 3P3D	\$ 134.52
1	UND	-	SOLA	Supresor de transitorios	\$ 542.24
				INTEGRACIÓN	
1	UND	-	EECOL	Tablero autosoportado 2000x800x750mm aprox, encajonado en puerta, armazón de armario, plancha LAF 1.5mm de espesor, con palanca de accionamiento vertical para Interruptor principal, suelo, dorsal: chapa de acero, pintada, puerta 2 mm, zócalo de 100mm, placa de montaje, pintados exterior e interiormente con resina de polyester epoxi color RAL 2004, grado de protección Nema 4, incluye señalética reflectiva de "PELIGRO RIESGO ELÉCTRICO 440V", barra de puesta a tierra ubicada en la parte inferior del tablero	\$ 2,800.00
1	UND	-	EECOL	Cajuela de ingreso y salida de cables	\$ 1,200.00
				INGENIERÍA DE SERVICIOS	
1	UND		EECOL	Servicio de ingeniería	\$ 150.00
1	UND		EECOL	Servicio de embalaje de madera	\$ 1,200.00
1	UND		EECOL	Servicio de transporte de Eecol hacia almacenes de lima de cliente	\$ 250.00
				GASTOS INTERNOS	
1	UND		EECOL	Riesgo y Contingencia	\$ 295.55

Nota. Hoja de costos tablero de baja tensión Soft Starter de Benshaw. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023

3.9. Realización de Planos Eléctricos y Mecánicos a ser aprobados para realizar su Ejecución.

Una vez realizada la ingeniería de diseño, se procede a enviar los planos, tanto eléctricos y mecánicos al cliente para poder proceder con la ejecución de proyecto.

- En el anexo 5, se podrá visualizar el plano eléctrico del tablero SoftStarter Benshaw de baja tensión.
- En el anexo 6, se podrá visualizar el plano mecánico del tablero SoftStarter Benshaw de baja tensión.

3.10. Ejecución del Proyecto

A continuación, una vez aceptada los planos de ingeniería por el cliente, se procede a organizar el equipamiento, ferretería, integradores y todo lo necesario para poder ejecutar el proyecto. Para esto se necesita un control del presupuesto, el cual se realiza utilizando un Excel.

Una vez establecido todo lo que se tiene que comprar y a las personas que se tienen que contratar, se hace un seguimiento al tiempo de entrega del equipamiento y de la ejecución para poder llegar a la fecha comprometida con el cliente.

Para la supervisión de las fechas de entrega del equipamiento requerido, nos apoyamos en el área de logística, para asegurar que todo llegue a su debido tiempo. Una vez que se tiene todo, se hacen los planos finales as-built, para la ejecución total del proyecto, la cual se supervisará para que se cumplan los tiempos de entrega comprometidos y donde al final se harán pruebas de funcionamiento FAT y se llenaran protocolos de funcionamiento, los cuales certifiquen el correcto funcionamiento del arrancador electrónico Softstarter.

- Entrega del Proyecto al Cliente

Una vez realizadas las pruebas FAT, las cuales son corroboradas por los protocolos de pruebas realizados y una carta de garantía otorgada por Eecol Electric hacia el cliente, ver que el proyecto está funcionando correctamente, cumpliendo con lo solicitado por el cliente y asegurándonos de su buen ensamblaje, se procede a empaquetar y embalar el tablero para ser enviado al lugar de entrega puesto por el cliente.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE BAJA TENSIÓN

4.1. Resumen:

El desarrollo de un centro de control de motores de baja tensión tiene como objetivo principal administrar y supervisar eficientemente un grupo de motores eléctricos en aplicaciones industriales o comerciales. Este sistema centralizado permite el arranque, paro y protección de los motores de manera coordinada y segura.

En un centro de control de motores, la electrónica de potencia desempeña un papel importante para garantizar el funcionamiento adecuado y seguro de los motores eléctricos, como lo contactores, relés térmicos, interruptores, protección del circuito, transformadores de control, etc. En conclusión, un MCC incorpora componentes de electrónica de potencia esenciales, los cuales garantizan un funcionamiento seguro y confiables de los motores.

Dicho esto, se procede a explicar a detalle las etapas que se llevaron a cabo para realizar el proyecto y en la cual se tuvo una participación constante en cada una de ellas.

4.2. Evaluación de datos e información suministrada por el cliente.

- a) Voltaje del sistema: 460 Vac.
- b) Altura de Trabajo: 1000 m.s.n.m.
- c) Tensión de control: 220 Vac
- d) Utilización: Interior.
- e) Las cargas de menos de 15Hp deberán ser arranques directos.
- f) Las cargas de más de 15Hp deberán ser arranques estrella-triángulo
- g) Cargas:

Tabla 28

Tabla de cargas del cliente

DESCRIPCIÓN	POTENCIA (HP)	COSΦ
DOSIFICADOR ZINC	1	0.79
BOMBA DE SOLUCIÓN RICA 50-20001	40	0.81
AGITADOR DE DIATOMITA	60	0.8
FILTRO CLARIFICADOR	60	0.8
BOMBA DE SOLUCIÓN CLARIFICADORA 50-20001	50	0.8
BOMBA DE SOLUCIÓN RICA 50-20002	40	0.81
BOMBA DE SOLUCIÓN CLARIFICADORA 50-20002	40	0.81
BOMBA DE SOLUCIÓN PRECAP 6001	40	0.81
BOMBA DE SOLUCIÓN PRECAP 6002	40	0.81
FILTRO PRENSA	40	0.81
BOMBA DE VACÍO 001	15	0.82
BOMBA DE VACÍO 002	15	0.82
COMPRESOR AEREO 01	10	0.78
FILTRO CALRIFICADORA XM	60	0.8
FILTRO CALRIFICADORA GZ	60	0.8

Nota. Tabla de cargas, potencias y factores de potencia. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

4.3. Cálculo y selección de la protección general del MCC.

4.3.1. Cálculo del potencial total

Primero se debe de calcular la potencia total del sistema. Para esto se deben sumar todas las potencias entregadas por el cliente.

Se convierten los 571HP a Kw

$$\begin{aligned} P_T &= P_1 + P_2 + \dots + P_{14} + P_{15} \\ P_T &= 1HP + 40HP + \dots + 60HP + 60HP \\ P_T &= 1HP + 40HP + \dots + 60HP + 60HP \\ P_T &= 571HP \end{aligned} \quad (33)$$

Se convierten los HP a KW

$$571 \text{ Hp} = 420 \text{ Kw}$$

4.3.2. Cálculo del Interruptor Principal:

Utilizando la siguiente fórmula y reemplazando la Potencia total anteriormente hallada, se calcula el interruptor principal.

$$\begin{aligned} I_{ITM} &= \frac{P_T}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \\ I_{ITM} &= \frac{420K}{460 * \sqrt{3} * 0.8} \\ I_{ITM} &= 637.4 \text{ A} \end{aligned} \quad (34)$$

Se utiliza un 20% adicional para escoger el interruptor adecuado.

$$I_{ITM} = 764.88 \text{ A}$$

Tabla 29

Tabla de datos para selección de interruptor de baja tensión

Relé electrónico	In (A)	1SDA...R1				
		Icu (415 V)	N 36 kA	S 50 kA	H 70 kA	L 100 kA
PR221DS-LS/I	800		60268	60278	60289	60299
PR221DS-I	800		60269	60279	60290	60300
PR222DS/P-LSI	800		60270	60280	60291	60301
PR222DS/P-LSIG	800		60271	60281	60292	60302
PR223DS	800		60272	60282	60293	60303

Nota. Tabla de selección de interruptores regulables caja moldeada de baja tensión de ABB. Adaptado de "Tmax. Geración T Interruptores automáticos en caja moldeada de baja tensión hasta 1600 A", 2011, ABB, p. 7/16.

De acuerdo a la tabla, se escoge un interruptor electrónico de caja moldeada de 3P - 800A - 45kA, modelo 1SDA060278R1.

4.4. Cálculo y selección de equipamiento de potencia de los arranques.

4.4.1. Cálculo del equipamiento de potencia para 1 Hp.

4.4.1.1. Conversión de la Potencia a Watts.

$$1 \text{ Hp} = 0.74 \text{ Kw}$$

Y se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$I_{GM} = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (35)$$

$$I_{GM} = \frac{0.74 \text{ kW}}{460 * \sqrt{3} * 0.79}$$

$$I_{GM} = 1.16$$

$$I_{GM} = 1.16$$

Se utiliza un 20% adicional para escoger el guardamotor adecuado.

$$I_{GM} = 1.4 \text{ A}$$

Tabla 30

Tabla de datos para selección de guardamotores

Referencia para pedido	Modelo	Rango de protección (A)	I cu (kA) a 400 V	HP		Cantidad por paquete
				HP 220 V	HP 440 V	
Guardamotor: Manual Motor Starter Serie MS116						
1SAM250000R1004	MS116-0.63	0.40 ... 0.63	50	0.66	0.33	1
1SAM250000R1005	MS116-1.0	0.63 ... 1.0	50	0.25	0.5	1
1SAM250000R1006	MS116-1.6	1.0 ... 1.6	50	0.3	0.75	1
1SAM250000R1007	MS116-2.5	1.6 ... 2.5	50	0.5	1.5	1
1SAM250000R1008	MS116-4.0	2.5 ... 4.0	50	1	2	1
1SAM250000R1009	MS116-6.3	4.0 ... 6.3	50	2	4	1
1SAM250000R1010	MS116-10.0	6.3 ... 10.0	50	3	5.5	1

Nota. Tabla de selección de guardamotores de baja tensión de ABB. Adaptado de "Control y protección de motores, contactores, relés de sobrecarga y guardamotores", 2016, ABB, p. 2/6.

De acuerdo a la tabla, se escoge un guardamotor con el rango de protección 1.0...1.6 modelo 1SAM250000R1006.

4.4.1.2. Elección del contactor.

Tomando en cuenta la corriente encontrada, elegimos el contactor adecuado.

Tabla 31

Tabla de datos para selección de contactores.

Referencia para pedido	Modelo	Cont. Aux.		Corriente [A]		UL/CSA		Cant. por paquete
		NA	NC	AC3	AC1	Uso general [a](*)	Tamaño nema	
BOBINA: 100-250 Vac, 50/60Hz /Vdc (bobina R13)								
1SBL137001R1301	AF09-30-01-13	0	1	9	25	25	00	1
1SBL137001R1310	AF09-30-10-13	1	0	9	25	25	00	1
1SBL157001R1301	AF12-30-01-13	0	1	12	28	28	0	1
1SBL157001R1310	AF12-30-10-13	1	0	12	28	28	0	1
1SBL177001R1301	AF16-30-01-13	0	1	18	30	30	-	1
1SBL177001R1310	AF16-30-10-13	1	0	18	30	30	-	1
■1SBL237001R1300	AF26-30-00-13	0	0	26	45	45	1	1
■1SBL277001R1300	AF30-30-00-13	0	0	32	50	50	-	1
■1SBL297001R1300	AF38-30-00-13	0	0	38	50	50	-	1

Nota. Tabla de selección de contactores de baja tensión de ABB. Adaptado de “Productos para distribución de energía y automatización”, 2023, ABB, p. 5/6.

De acuerdo a la tabla, se selecciona el contactor modelo 1SBL137001R1301 de 9A en AC3 con una bobina de 100-250 VAC.

4.4.2. Cálculo del equipamiento de potencia para 40 Hp.

4.4.2.1. Conversión de la Potencia a Watts.

$$40 \text{ Hp} = 29.42 \text{ Kw}$$

Y se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$I_{GM} = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (36)$$

$$I_{GM} = \frac{29.42 \text{ kW}}{460 * \sqrt{3} * 0.81}$$

$$I_{GM} = 46.16$$

Se utiliza un 20% adicional para escoger el guardamotor adecuado.

$$I_{GM} = 55.4 \text{ A}$$

Tabla 30

Tabla de datos para selección de guardamotores.

MS497 guardamotores					
15	22...32	50	416	MS497-32	1SAM580000R1004
18.5	28...40	50	520	MS497-40	1SAM580000R1005
22	36...50	50	650	MS497-50	1SAM580000R1006
30	45...63	50	819	MS497-63	1SAM580000R1007
37	57...75	50	975	MS497-75	1SAM580000R1008
45	70...90	50	1170	MS497-90	1SAM580000R1009
55	80...100	50	1235	MS497-100	1SAM580000R1010

Nota. Tabla de selección de guardamotores de baja tensión de ABB. Adaptado de “Control y protección de motores, contactores, relés de sobrecarga y guardamotores”, 2016, ABB, p. 2/19.

De acuerdo a la tabla, se escoge un guardamotor con el rango de protección 45...63 modelo 1SAM580000R1007.

4.4.2.2. Elección de los contactores.

Tomando en cuenta la corriente encontrada, elegimos los contactores adecuados.

Tabla 31

Tabla de datos para selección de contactores.

Referencia para pedido	Modelo	Cont. Aux.		Corriente [A]		UL/CSA		Cant. por paquete
		NA	NC	AC3	AC1	Uso general [A](*)	Tamaño NEMA	
BOBINA: 100-250 Vac/dc, 50/60 Hz (bobina R13)								
1SBL347001R1300	AF40-30-00	0	0	40	70	60	2	1
1SBL367001R1300	AF52-30-00	0	0	53	100	80	2	1
1SBL387001R1300	AF65-30-00	0	0	65	105	90	-	1
1SBL397001R1300	AF80-30-00	0	0	80	125	105	3	1
1SBL407001R1300	AF96-30-00	0	0	96	130	115	-	1

Nota. Tabla de selección de contactores de baja tensión de ABB. Adaptado de “Productos para distribución de energía y automatización”, 2023, ABB, p. 10/6.

De acuerdo a la tabla, se selecciona el contactor modelo 1SBL387001R1300 de 65A en AC3 con una bobina de 100-250 VAC.

4.4.3. Cálculo del equipamiento de potencia para 60 Hp.

4.4.3.1. Conversión de la Potencia a Watts.

Se convierte Hp a Kw.

$$60 \text{ Hp} = 44.13 \text{ Kw}$$

Y se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$I_{GM} = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (37)$$

$$I_{GM} = \frac{44.13 \text{ kW}}{460 * \sqrt{3} * 0.8}$$

$$I_{GM} = 69.2 \text{ A}$$

Se utiliza un 20% adicional para escoger el guardamotor adecuado.

$$I_{GM} = 83.04 \text{ A}$$

Tabla 32

Tabla de datos para selección de guardamotores.

MS497 guardamotores					
15	22...32	50	416	MS497-32	1SAM580000R1004
18.5	28...40	50	520	MS497-40	1SAM580000R1005
22	36...50	50	650	MS497-50	1SAM580000R1006
30	45...63	50	819	MS497-63	1SAM580000R1007
37	57...75	50	975	MS497-75	1SAM580000R1008
45	70...90	50	1170	MS497-90	1SAM580000R1009
55	80...100	50	1235	MS497-100	1SAM580000R1010

Nota. Tabla de selección de guardamotores de baja tensión de ABB. Adaptado de “Control y protección de motores, contactores, relés de sobrecarga y guardamotores”, 2016, ABB, p. 2/19.

De acuerdo a la tabla, se escoge un guardamotor con el rango de protección 70...90 modelo 1SAM580000R1009.

4.4.3.2. Elección de los Contactores.

Tomando en cuenta la corriente encontrada, elegimos los contactores adecuados.

Tabla 33

Tabla de datos para selección de contactores.

Referencia para pedido	Modelo	Cont. Aux.		Corriente [A]		UL/CSA		Cant. por paquete
		NA	NC	AC3	AC1	Uso general [A](*)	Tamaño NEMA	
BOBINA: 100-250 Vac/dc, 50/60 Hz (bobina R13)								
1SBL347001R1300	AF40-30-00	0	0	40	70	60	2	1
1SBL367001R1300	AF52-30-00	0	0	53	100	80	2	1
1SBL387001R1300	AF65-30-00	0	0	65	105	90	-	1
1SBL397001R1300	AF80-30-00	0	0	80	125	105	3	1
1SBL407001R1300	AF96-30-00	0	0	96	130	115	-	1

Nota. Tabla de selección de contactores de baja tensión de ABB. Adaptado de ‘‘Productos para distribución de energía y automatización’’, 2023, ABB, p. 10/6.

De acuerdo a la tabla, se selecciona el contactor modelo 1SBL407001R1300 de 96A en AC3 con una bobina de 100-250 VAC.

4.4.4. Cálculo del equipamiento de potencia para 50 Hp.

4.4.4.1. Conversión de la Potencia a Watts

$$50 \text{ Hp} = 36.77 \text{ Kw}$$

Y se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$I_{GM} = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (38)$$

$$I_{GM} = \frac{36.77 \text{ kW}}{460 * \sqrt{3} * 0.8}$$

$$I_{GM} = 57.7 \text{ A}$$

Se utiliza un 20% adicional para escoger el guardamotor adecuado.

$$I_{GM} = 69.24 \text{ A}$$

Tabla 34

Tabla de datos para selección de guardamotores.

MS497 guardamotores					
15	22...32	50	416	MS497-32	1SAM580000R1004
18.5	28...40	50	520	MS497-40	1SAM580000R1005
22	36...50	50	650	MS497-50	1SAM580000R1006
30	45...63	50	819	MS497-63	1SAM580000R1007
37	57...75	50	975	MS497-75	1SAM580000R1008
45	70...90	50	1170	MS497-90	1SAM580000R1009
55	80...100	50	1235	MS497-100	1SAM580000R1010

Nota. Tabla de selección de guardamotores de baja tensión de ABB. Adaptado de ‘‘Control y protección de motores, contactores, relés de sobrecarga y guardamotores’’, 2016, ABB, p. 2/19.

De acuerdo a la tabla, se escoge un guardamotor con el rango de protección 57...75 modelo 1SAM580000R1008.

4.4.4.2. Elección de los Contactores

Tomando en cuenta la corriente encontrada, elegimos los contactores adecuados.

Tabla 35

Tabla de datos para selección de contactores.

Referencia para pedido	Modelo	Cont. Aux.		Corriente [A]		UL/CSA		Cant. por paquete
		NA	NC	AC3	AC1	Uso general [A](*)	Tamaño NEMA	
BOBINA: 100-250 Vac/dc, 50/60 Hz (bobina R13)								
1SBL347001R1300	AF40-30-00	0	0	40	70	60	2	1
1SBL367001R1300	AF52-30-00	0	0	53	100	80	2	1
1SBL387001R1300	AF65-30-00	0	0	65	105	90	-	1
1SBL397001R1300	AF80-30-00	0	0	80	125	105	3	1
1SBL407001R1300	AF96-30-00	0	0	96	130	115	-	1

Nota. Tabla de selección de contactores de baja tensión de ABB. Adaptado de "Productos para distribución de energía y automatización", 2023, ABB, p. 10/6.

De acuerdo a la tabla, se selecciona el contactor modelo 1SBL397001R1300 de 80A en AC3 con una bobina de 100-250 VAC.

4.4.5. Cálculo del equipamiento de potencia para 15 Hp.

4.4.5.1. Conversión de la Potencia a Watts

$$15 \text{ Hp} = 11.03 \text{ Kw}$$

Y se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$I_{GM} = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (39)$$

$$I_{GM} = \frac{11.03 \text{ kW}}{460 * \sqrt{3} * 0.81}$$

$$I_{GM} = 17.1 \text{ A}$$

Se utiliza un 20% adicional para escoger el guardamotor adecuado.

$$I_{GM} = 20.76 \text{ A}$$

Tabla 36

Tabla de datos para selección de guardamotores

Guardamotor: Manual Motor Starter Serie MS132						
1SAM350000R1006	MS132-1.6	1.0 ... 1.6	100	0.3	0.75	
1SAM350000R1007	MS132-2.5	1.6 ... 2.5	100	0.5	1.5	
1SAM350000R1008	MS132-4.0	2.5 ... 4.0	100	1.0	2.0	
1SAM350000R1009	MS132-6.3	4.0 ... 6.3	100	2.0	4.0	
1SAM350000R1010	MS132-10.0	6.3 ... 10.0	100	3.0	5.5	
1SAM350000R1012	MS132-12.0	8.0 ... 12.0	100	4.0	7.5	
1SAM350000R1011	MS132-16.0	10.0 ... 16.0	100	5.0	10.0	
1SAM350000R1013	MS132-20.0	16.0 ... 20.0	100	7.5	15.0	
1SAM350000R1014	MS132-25.0	20.0 ... 25.0	50	10.0	20.0	
1SAM350000R1015	MS132-32.0	25.0 ... 32.0	25	12.0	25.0	

Nota. Tabla de selección de guardamotores de baja tensión de ABB. Adaptado de "Productos para distribución de energía y automatización", 2023, ABB, p. 20/6.

De acuerdo a la tabla, se escoge un guardamotor con el rango de protección 16.0...20.0 modelo 1SAM350000R1013.

4.4.5.2. Elección de los Contactores.

Tomando en cuenta la corriente encontrada, elegimos los contactores adecuados.

Tabla 37

Tabla de datos para selección de contactores.

Referencia para pedido	Modelo	Cont. Aux.		Corriente [A]		UL/CSA		Cant. por paquete
		NA	NC	AC3	AC1	Uso general [a](*)	Tamaño nema	
BOBINA: 100-250 Vac, 50/60Hz /Vdc (bobina R13)								
1SBL137001R1301	AF09-30-01-13	0	1	9	25	25	00	1
1SBL137001R1310	AF09-30-10-13	1	0	9	25	25	00	1
1SBL157001R1301	AF12-30-01-13	0	1	12	28	28	0	1
1SBL157001R1310	AF12-30-10-13	1	0	12	28	28	0	1
1SBL177001R1301	AF16-30-01-13	0	1	18	30	30	-	1
1SBL177001R1310	AF16-30-10-13	1	0	18	30	30	-	1
■1SBL237001R1300	AF26-30-00-13	0	0	26	45	45	1	1
■1SBL277001R1300	AF30-30-00-13	0	0	32	50	50	-	1
■1SBL297001R1300	AF38-30-00-13	0	0	38	50	50	-	1

Nota. Tabla de selección de contactores de baja tensión de ABB. Adaptado de "Productos para distribución de energía y automatización", 2023, ABB, p. 5/6.

De acuerdo a la tabla, se selecciona el contactor modelo 1SBL237001R1300 de 26A en AC3 con una bobina de 100-250 VAC.

4.4.6. Cálculo del equipamiento de potencia para 10 Hp.

4.4.6.1. Conversión de la Potencia a Watts.

$$10 \text{ Hp} = 7.35 \text{ Kw}$$

Y se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$I_{GM} = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (40)$$

$$I_{GM} = \frac{7.35 \text{ kW}}{460 * \sqrt{3} * 0.78}$$

$$I_{GM} = 11.53 \text{ A}$$

Se utiliza un 20% adicional para escoger el guardamotor adecuado.

$$I_{GM} = 13.84 \text{ A}$$

Tabla 38*Tabla de datos para selección de guardamotores.*

Guardamotor: Manual Motor Starter Serie MS132					
1SAM350000R1006	MS132-1.6	1.0 ... 1.6	100	0.3	0.75
1SAM350000R1007	MS132-2.5	1.6 ... 2.5	100	0.5	1.5
1SAM350000R1008	MS132-4.0	2.5 ... 4.0	100	1.0	2.0
1SAM350000R1009	MS132-6.3	4.0 ... 6.3	100	2.0	4.0
1SAM350000R1010	MS132-10.0	6.3 ... 10.0	100	3.0	5.5
1SAM350000R1012	MS132-12.0	8.0 ... 12.0	100	4.0	7.5
1SAM350000R1011	MS132-16.0	10.0 ... 16.0	100	5.0	10.0
1SAM350000R1013	MS132-20.0	16.0 ... 20.0	100	7.5	15.0
1SAM350000R1014	MS132-25.0	20.0 ... 25.0	50	10.0	20.0
1SAM350000R1015	MS132-32.0	25.0 ... 32.0	25	12.0	25.0

Nota. Tabla de selección de guardamotores de baja tensión de ABB. Adaptado de ‘‘Productos para distribución de energía y automatización’’, 2023, ABB, p. 20/6.

De acuerdo a la tabla, se escoge un guardamotor con el rango de protección 10.0...16.0 modelo 1SAM350000R1011.

4.4.6.2. Elección de los Contactores.

Tomando en cuenta la corriente encontrada, elegimos los contactores adecuados.

Tabla 39*Tabla de datos para selección de contactores.*

Referencia para pedido		Cont. Aux.		Corriente [A]		UL/CSA		Cant. por paquete
		NA	NC	AC3	AC1	Uso general [a](*)	Tamaño nema	
BOBINA: 100-250 Vac, 50/60Hz /Vdc (bobina R13)								
1SBL137001R1301	AF09-30-01-13	0	1	9	25	25	00	1
1SBL137001R1310	AF09-30-10-13	1	0	9	25	25	00	1
1SBL157001R1301	AF12-30-01-13	0	1	12	28	28	0	1
1SBL157001R1310	AF12-30-10-13	1	0	12	28	28	0	1
1SBL177001R1301	AF16-30-01-13	0	1	18	30	30	-	1
1SBL177001R1310	AF16-30-10-13	1	0	18	30	30	-	1
■1SBL237001R1300	AF26-30-00-13	0	0	26	45	45	1	1
■1SBL277001R1300	AF30-30-00-13	0	0	32	50	50	-	1
■1SBL297001R1300	AF38-30-00-13	0	0	38	50	50	-	1

Nota. Tabla de selección de contactores de baja tensión de ABB. Adaptado de ‘‘Productos para distribución de energía y automatización’’, 2023, ABB, p. 5/6.

De acuerdo a la tabla, se selecciona el contactor modelo 1SBL177001R1310 de 18A en AC3 con una bobina de 100-250 VAC.

4.5. Selección de equipamiento de control.

4.5.1. Transformadores de Control.

Se utilizan transformadores de control de 500 VA por cada columna del MCC, con una relación de transformación de 460-220 Vac. A la entrada y salida de los transformadores se utilizan interruptores riel din de 2x6A.

4.5.2. Pilotos Luminosos.

Se utilizarán pilotos led para identificar el estado actual del arrancador, ya sea que este en arranque o en stop.

4.5.3. Pulsadores.

Se utilizan pulsadores para el control de arranque, ya sea para detener o iniciar el arranque.

4.5.4. Medidor Multifunción

Se utiliza un medidor multifunción para obtener los parámetros de consumo más importantes y en tiempo real. De esta manera se podrá visualizar la corriente, voltaje, frecuencia, potencia, etc. Se necesitan agregar transformadores de corriente para poder sensar la corriente.

4.5.5. Temporizadores

Se utilizarán temporizadores para poder controlar el tiempo de conmutación entre los dos modos de conexión.

4.6. Ingeniería y diseño de la envolvente.

Se dimensionó un máximo de cinco arranques estrella-triángulo por columna y uno por cubículo y dos arranques directos por cubículo. Teniendo esto en cuenta cada envolvente tendrá un ancho de 700mm, una profundidad de 600mm y un largo de 2000mm. Tendrá un zócalo de 100mm lo que le dará una altura total de 2100mm de largo. En total serán 4 columnas, para poder albergar todo el equipamiento, lo que dará una dimensión total de 2100mm x 2800mm x 600mm. Ya que el cliente pide que sea de uso interior se consideró un grado de protección tipo NEMA 12.

4.7. Realización del Presupuesto del Proyecto

Tabla 40

Presupuesto de Centro de control de motores.

CANT	U/M	COD. FÁBRICA	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO
Listado de equipos:					
1	UND	1SDA060278R1	ABB	C.BREAKER TMAX T6S 800 FIXED THREE-POLE WITH FRONT TERMINALS AND SOLID-STATE RELEASE IN AC PR221DS-LS/I R 800	\$3,200.00
1	UND	1SAM250000R1006	ABB	MS116-1.6 Manual Motor Starter 1.0 ... 1.6 A	\$ 172.00
1	UND	1SBL137001R1301	ABB	AF09-30-01-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	\$ 95.00
6	UND	1SAM580000R1007	ABB	MS497-63 Manual Motor Starter 45 ... 63 A	\$ 350.00
12	UND	1SBL387001R1300	ABB	AF65-30-00-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	\$ 594.00
4	UND	1SAM580000R1009	ABB	MS497-90 Manual Motor Starter 70 ... 90 A	\$ 400.00
8	UND	1SBL407001R1300	ABB	AF96-30-00-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	\$ 936.00
1	UND	1SAM580000R1008	ABB	MS497-75 Manual Motor Starter 57 ... 75 A	\$ 380.00
1	UND	1SBL397001R1300	ABB	AF80-30-00-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	\$ 730.00
2	UND	1SAM350000R1013	ABB	MS132-20 Manual Motor Starter 16 ... 20 A	\$ 291.00
2	UND	1SBL237001R1300	ABB	AF26-30-00-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	\$ 205.00
1	UND	1SAM350000R1011	ABB	MS132-16 Manual Motor Starter 10 ... 16 A	\$ 258.00
1	UND	1SBL177001R1310	ABB	AF16-30-10-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor	\$ 153.00
11	UND	1SVR550107R4100	ABB	CT-ERE Time relay, ON-delay 1c/o, 0.3-30s, 24VAC/DC 220-240VAC	\$ 201.00
1	UND	CVM C10	CIRCUTOR	Analizador de redes trifásico	\$ 144.78
1	UND	-	ABB	Pulsador Luminoso Rojo de 220 Vac	\$ 76.38
1	UND	-	ABB	Pulsador Luminoso Verde de 220 Vac	\$ 654.36
1	UND	-	ABB	TRANSFORMADOR DE VOLTAJE DE 460/220VAC, DE 500VA	\$ 110.58
8	UND	2CDS212001R0044	ABB	Interruptor bipolar 2x4A, 10KA, 220V	\$ 84.00
INTEGRACIÓN Y ENVOLVENTE					
4	UND	-	EECOL	Tablero auto soportado 2000x700x700mm tipo cubicular, plancha LAF 1.5mm de espesor, suelo, dorsal: chapa de acero, pintada, puerta 1.5 mm, zócalo de 100mm, placa de montaje, pintados exterior e interiormente con resina de polyester epoxi color RAL 2004, grado de protección Tipo IP66, incluye señalética reflectiva de "PELIGRO RIESGO ELÉCTRICO 440V", barra de puesta a tierra ubicada en la parte inferior del tablero	\$4,000.00
4	UND	-	EECOL	Acople entre tableros	\$ 200.00
1	UND	-	EECOL	Servicio de integración	\$2,500.00
SERVICIOS					
3	UND	-	EECOL	Servicio de ingeniería	\$ 100.00
3	UND	-	EECOL	Servicio de embalaje de madera	\$1,200.00
3	UND	-	EECOL	Servicio de transporte de Eecol hacia almacenes de lima de cliente	\$ 350.00
GASTOS INTERNOS					
1	UND	-	EECOL	Riesgo y Contingencia	\$ 638.87

Nota. Hoja de costos de centro de control de motores de baja tensión. Adaptación propia en base a la investigación propia, 2023.

4.8. Realización de planos eléctricos y mecánicos a ser aprobados para realizar su ejecución.

- En el anexo 7, se podrá visualizar el plano mecánico del Centro de Control de Motores de baja tensión.
- En el anexo 8, se podrá visualizar el plano mecánico del Centro de Control de Motores de baja tensión.
- En el anexo 9, se podrá visualizar el plano eléctrico del Centro de Control de Motores.
- En el anexo 10, se podrá visualizar el plano de control del analizador de red del Centro de Control de Motores.
- En el anexo 11, se podrá visualizar el plano de fuerza y de control del arranque directo del Centro de Control de Motores.
- En el anexo 12, se podrá visualizar el plano de fuerza y de control del arranque estrella triángulo del Centro de Control de Motores.

4.9. Ejecución del proyecto:

A continuación, una vez aceptada los planos de ingeniería por el cliente, se procede a organizar el equipamiento, ferretería, integradores y todo lo necesario para poder ejecutar el proyecto. Para esto se necesita un control del presupuesto, el cual se realiza utilizando un Excel.

Una vez establecido todo lo que se tiene que comprar y a las personas que se tienen que contratar, se hace un seguimiento al tiempo de entrega del equipamiento y de la ejecución para poder llegar a la fecha comprometida con el cliente.

Para la supervisión de las fechas de entrega del equipamiento requerido, nos apoyamos en el área de logística, para asegurar que todo llegue a su debido tiempo. Una vez que se tiene todo, se hacen los planos finales as-built, para la ejecución total del proyecto, la cual se supervisará para que se cumplan los tiempos de entrega comprometidos y donde al final se harán pruebas de funcionamiento FAT y se llenaran protocolos de funcionamiento, los cuales certifiquen el correcto funcionamiento del centro de control de motores.

4.10. Entregar el proyecto al cliente.

Una vez realizadas las pruebas FAT, las cuales son corroboradas por los protocolos de pruebas realizados y una carta de garantía otorgada por Eecol Electric hacia el cliente, ver que el proyecto está funcionando correctamente, cumpliendo con lo solicitado por el cliente y asegurándonos de su buen ensamblaje, se procede a empaquetar y embalar el tablero para ser enviado al lugar de entrega puesto por el cliente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Debido a avances en ingeniería, el diseño y la implementación de proyectos de energía eléctrica y electrónica, hemos introducido soluciones seguras y eficientes para sistemas industriales de media y baja tensión. Estas soluciones cumplen con las demandas operativas y regulatorias del cliente. Además, demostramos la necesidad de incorporar ingeniería eléctrica, electrónica de potencia y gestión de proyectos en el proceso para ofrecer soluciones confiables y funcionales.
- El análisis adecuado de la información técnica del cliente permitió el dimensionamiento correcto de transformadores, conductores, interruptores, celdas de media tensión y sistemas de protección eléctrica, lo que facilitó la elección adecuada del equipo asegurando la continuidad operativa de las instalaciones eléctricas industriales.
- El diseño de la subestación eléctrica creó un sistema confiable para la transformación y distribución de energía eléctrica. Esto se logró considerando la capacidad de carga, la corriente de cortocircuito y la caída de tensión, así como la protección del sistema, cumpliendo con el Código Nacional de Electricidad y la legislación y normas técnicas vigentes en el sector industrial.
- La instalación del panel de control Softstarter redujo los efectos negativos causados por el arranque de motores eléctricos. Esto incluyó una reducción en la corriente de arranque y sobreesfuerzo mecánico, además de mejorar el nivel de disturbios en la red eléctrica. También se verificó que el uso de soft starters mejora significativamente la estabilidad operativa y la vida útil del equipo electromecánico.
- El desarrollo del Motor Control Center (MCC) proporcionó un medio para centralizar y optimizar el control de varias cargas industriales, permitiendo la supervisión, protección y control de motores eléctricos utilizados en el proceso de producción industrial. La selección adecuada de dispositivos protectores y de control contribuyó a mejorar la protección y confiabilidad del sistema eléctrico.
- Se elaboró presupuestos y cotizaciones técnicas para evaluar los costos asociados a cada proyecto. Esto ayudó a planificar compras, integración y ejecución. Se evitaron riesgos financieros y retrasos en el desarrollo de proyectos eléctricos mediante el uso optimizado de recursos.
- La ejecución del proyecto mediante supervisión garantizó que los planos eléctricos, cronogramas y especificaciones técnicas de ingeniería se cumplieran. La supervisión

también aseguró que la integración y la instalación de los equipos cumplieran con los estándares de calidad requeridos.

- El uso de electrónica de potencia y automatización industrial incrementó la eficiencia de los sistemas eléctricos contruidos, permitiendo monitorear, proteger y controlar el funcionamiento de las unidades industriales con el mayor, más efectivo uso de energía y asegurando la continuidad del proceso productivo.
- La coordinación de la integración, ingeniería, compras y supervisión demostró que el éxito de los proyectos eléctricos industriales fue relevante, ya que optimizó los tiempos de ejecución, disminuyó errores operativos y aumentó la satisfacción del cliente.
- Lo más importante es el aprendizaje trabajando en EECOL ELECTRIC S.A.C. para gestionar las habilidades propias de ingeniería en el diseño de proyectos eléctricos y electrónica de potencia moderna. Ahora se cuenta con mayores habilidades para crear soluciones relevantes para el mercado industrial.

RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo una evaluación exhaustiva de la información y los parámetros proporcionados por el cliente al emprender el proceso de diseño de ingeniería. Esto es fundamental para obtener una comprensión completa de los requisitos de diseño del proyecto.

Es aconsejable llevar a cabo cálculos de dimensionamiento exhaustivos para los equipos y dispositivos a utilizar, seguidos de una cuidadosa selección de equipamiento considerando diferentes opciones, con el objetivo de garantizar una elección adecuada y eficiente de los elementos necesarios.

Se recomienda elaborar la cotización y presupuesto del proyecto en función del diseño de ingeniería y los datos proporcionados por el cliente.

Se recomienda comenzar con la fase inicial del proyecto, dedicándose a la creación y aprobación de los planos eléctricos, mecánicos y de control. De esta manera, se establece una sólida base alineada para la implementación del proyecto, reduciendo riesgos y mejorando la eficiencia en general.

Es recomendable comenzar a supervisar la ejecución del proyecto y mantenerse informado sobre el cronograma establecido.

Se recomienda enfocarse en el diseño de ingeniería, cotización precisa y ejecución eficiente del proyecto para obtener resultados exitosos y satisfacer las expectativas de los clientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (2011). *ABB*. Obtenido de library.e.abb.com:
[https://library.e.abb.com/public/66dcaf6cd03be7f1c12579dd00435e78/BR_Service-AIS-LifeCycleServices\(ES\)-_1VCP000430-1110_GS.pdf](https://library.e.abb.com/public/66dcaf6cd03be7f1c12579dd00435e78/BR_Service-AIS-LifeCycleServices(ES)-_1VCP000430-1110_GS.pdf)
- BETA. (30 de septiembre de 2015). Obtenido de betaengineering.com:
<https://www.betaengineering.com/news/5-differences-between-air-insulated-substations-and-gas-insulated-substations>
- Caputo, R. (4 de abril de 2015). *ABB Argentina S.A.* Obtenido de editores.com.ar:
https://www.editores.com.ar/sites/default/files/ie297_caputo_motores_conceptos_basicos.pdf
- CH Transformadores. (2019). Obtenido de transformadores.cl:
<https://www.transformadores.cl/blog/transformadores-de-energia-seco-y-en-aceite/>
- Huamani, M. (2018). *CITE energía*. Obtenido de issuu.com:
https://issuu.com/citeenergia/docs/el_sf6
- ITESA. (2023). Obtenido de itesa.com.pe: <https://www.itesa.com.pe/celdas-de-media-tension/>
- Legrand. (2017). Obtenido de legrand.es: <https://www.legrand.es/documentos/Catalogo-Encapsulados-de-resina-CRT-Legrand.pdf>
- Miranda, J. (1997). *Gestión de proyectos*. MB Editores.
- Mokate, K. (2004). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Alfaomega Colombiana.
- Norma ISO 21500. (2017). Obtenido de www.isotools.org:
<https://www.isotools.org/2017/07/11/norma-iso-21500-guia-gestion-proyectos/>
- Pérez, S., & López, J. (2018). *Transformadores Eléctricos*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Promelsa. (2021). Obtenido de promelsa.com.pe:
https://www.promelsa.com.pe/media/PDF/fichastecnicas/celdas/CELDAS_AISLA_MIENTO_MIXTO.pdf

- Quintana, C. (11 y 12 de abril de 2017). *ABB*. Obtenido de new.abb.com:
<https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/jjts-2017/presentaciones-chile/gis-solutions-cristian-quintana.pdf?sfvrsn=2>
- Ras, E. (1994). *Transformadores de potencia de medida y de protección*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Rojas, M. (2015). *Evaluación de proyectos para ingenieros*. Ecoe Ediciones.
- Ronquillo, A. (2022). *Diseño y Simulación de un Sistema de Protección en Celdas de Media Tensión con Monitoreo Scada en Subestaciones Eléctricas*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Tecsup. (2022). *Diseño de Subestaciones Eléctricas de Distribución*. Lima: Tecsup.
- Tic Portal. (01 de Septiembre de 2022). Obtenido de www.ticportal.es:
<https://www.ticportal.es/glosario-tic/gestion-proyectos>
- Viego, E. (2017). Recomendaciones sobre el Uso de Arrancadores Suaves para Ahorrar Energía en motores Asíncronos con Cargas Parciales. *ESPACIOS*, 1-10.
- Wallace , W. (2014). *Gestión de Proyectos*. EH14 4AS Gran Bretaña.
- WEG. (julio de 2020). Obtenido de static.weg.net:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h2a/h43/WEG-arrancadores-suaves-SSW-50024195-catalog-es.pdf>
- WEG. (2023). Obtenido de weg.net:
https://www.weg.net/catalog/weg/KR/es/Generaci%C3%B3n%2CTransmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Transformadores-Seco/Transformador-a-Seco/p/MKT_WTD_SMALL_DRY_TYPE_TRANSFORMER_UP_TO_300KVA#:~:text=Los%20transformadores%20tipo%20seco%20son,sus%20devanados%20y%20

ANEXOS

Anexo 1 Permiso de uso de los datos de la empresa EECOL ELECTRIC S.A.C.

De: Mendoza Alvarez, Cesar Fernando <cmendoza@eecol.com.pe>
Enviado el: martes, 6 de diciembre de 2022 15:48
Para: Garcia, Manuel <mgarcia@eecol.com.pe>
Asunto: TESIS SUFICIENCIA PROFESIONAL

Estimado Sr Manuel que tal,

De acuerdo a lo conversado le doy el alcance y limitaciones con respecto a la **tesis** que pienso elaborar.

Voy a explicar tres proyectos:

- Una subestación eléctrica, donde, en resumen, se abordará lo siguiente:

Desde la evaluación de datos suministrados, diversos cálculos de diseño, realización de presupuesto, planos de ingeniería y como se llevó a cabo su ejecución.

- Un centro de control de motores MCC, donde, en resumen, se abordará lo siguiente:

Desde la evaluación de datos suministrados, diversos cálculos de diseño, realización de presupuesto, planos de ingeniería y como se llevó a cabo su ejecución.

- Un arrancador soft starter de la marca BENSRAW, donde, en resumen, se abordará lo siguiente:

Se explicarán las principales diferencias técnicas y principales virtudes frente a otras marcas. De igual forma se describirá un proyecto desde la evaluación de datos y parámetros suministrados, los diversos cálculos de diseño, el presupuesto y como se llevó a cabo el proyecto.

Con respecto a las limitaciones y alcances que pondré en el informe son las siguientes:

- Se contará con planos de diseño y cotizaciones.
- Con respecto a los planos, se mantendrá la confidencialidad del cliente y se elaborarán planos referenciales de cada proyecto de acuerdo a los objetivos planteados.
- Con respecto a las cotizaciones, se mantendrá la confidencialidad del cliente y la confidencialidad de los precios que maneja EECOL ELECTRIC y se elaborará una cotización referencial de cada proyecto de acuerdo a los objetivos planteados.
- El nombre de cualquier cliente que haya trabajado con EECOL ELECTRIC no será mencionado en el informe de **tesis**.

A la espera de su pronta respuesta,

Saludos Cordiales,
César Mendoza

De: Garcia, Manuel <mgarcia@eecol.com.pe>
Enviado: miércoles, 7 de diciembre de 2022 17:03
Para: Mendoza Alvarez, Cesar Fernando <cmendoza@eecol.com.pe>
Cc: Moquillaza, Daniel <dmoquillaza@eecol.com.pe>
Asunto: RE: TESIS SUFICIENCIA PROFESIONAL

Hola César,

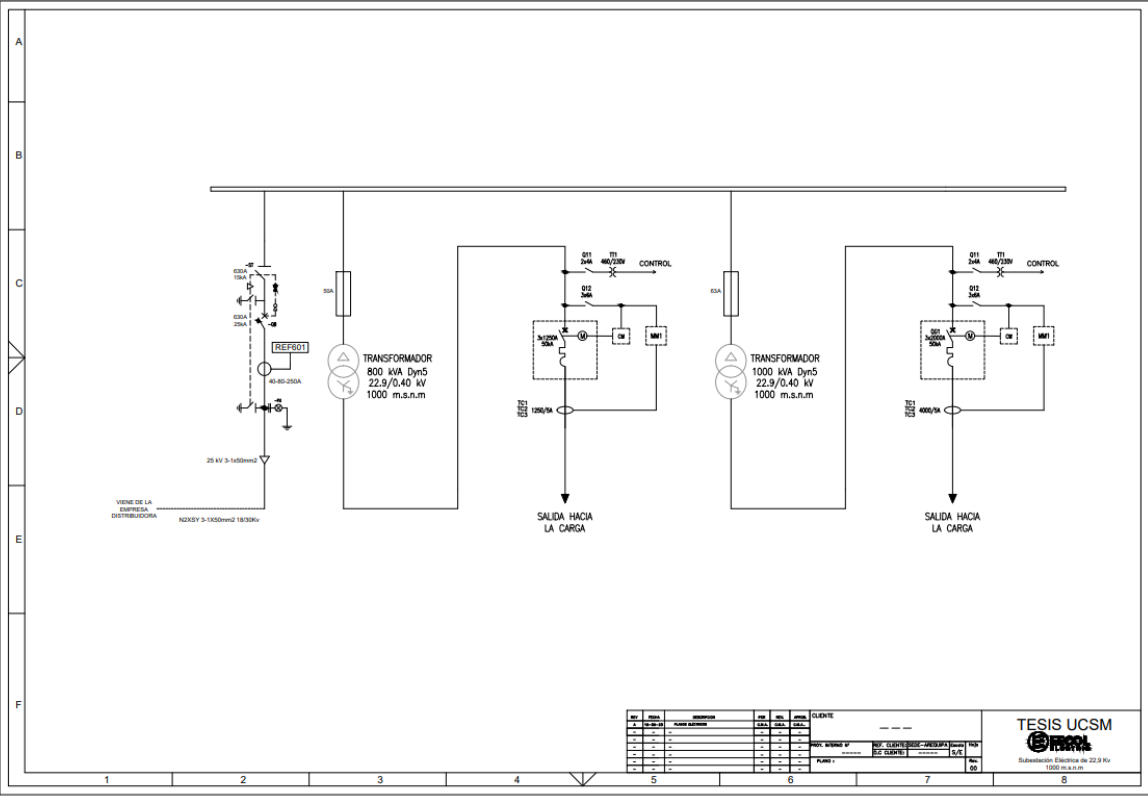
Por nuestra parte está bien, considerando lo que hablamos, que no se podría utilizar información de los clientes ni información clasificada.

Esperamos que te vaya muy bien en la obtención de tu título

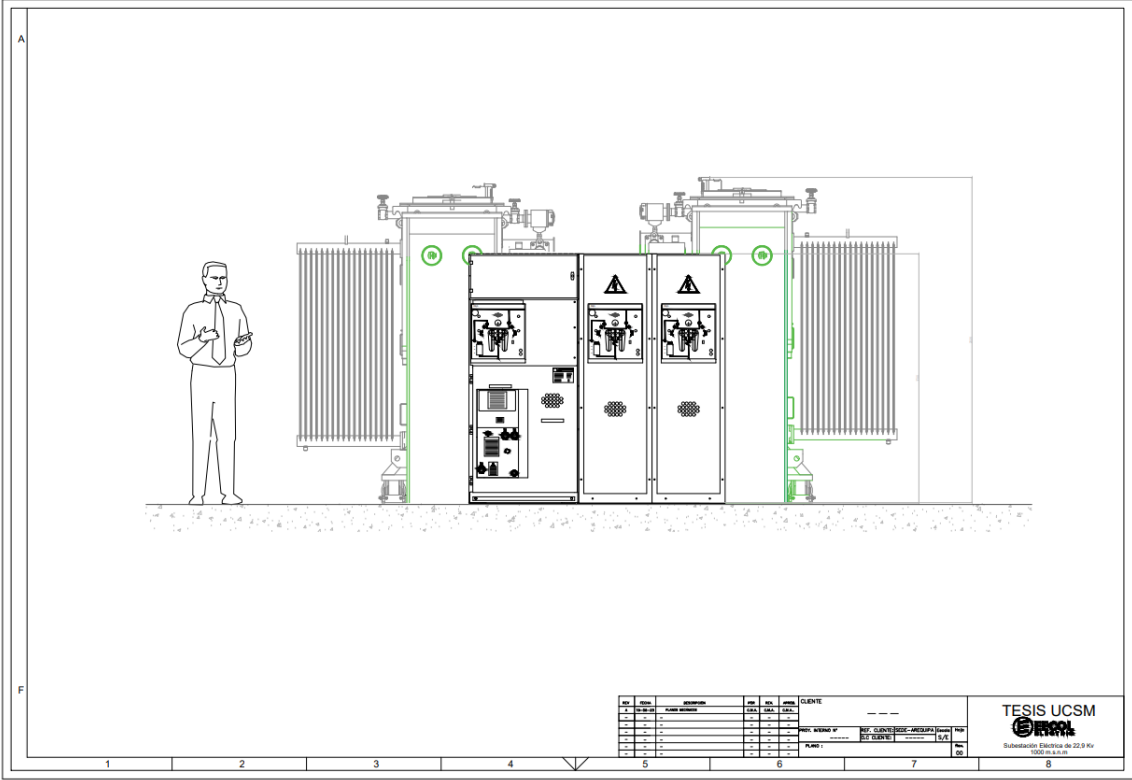
Saludos

Manuel

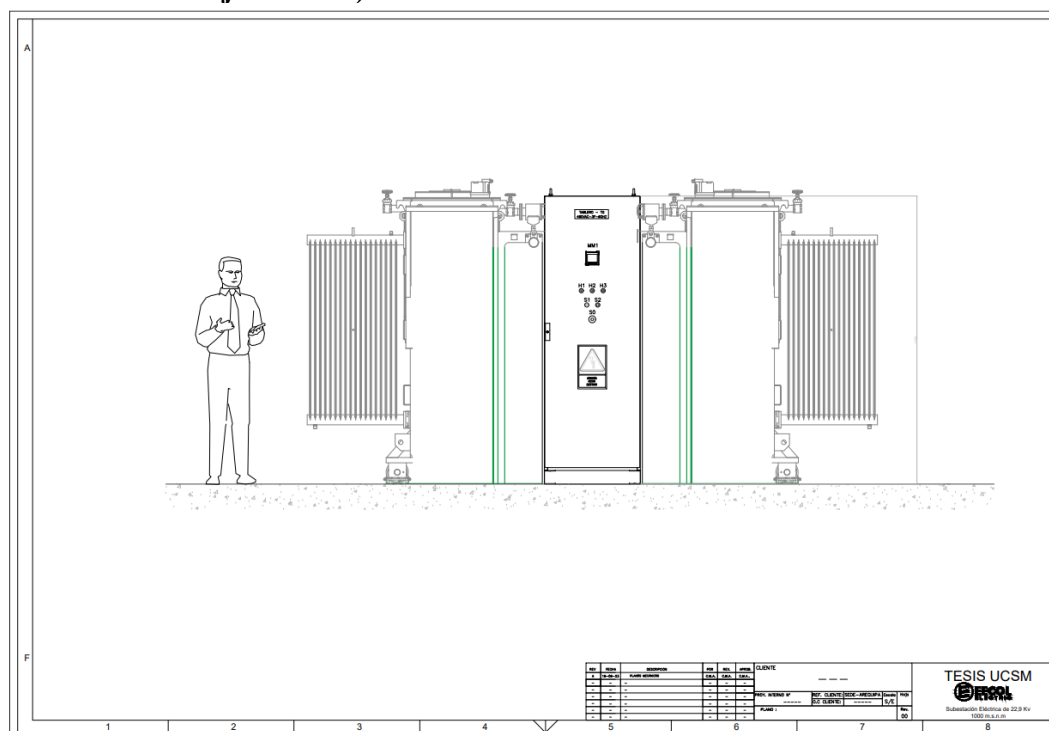
Anexo 2 Plano Eléctrico de la Subestación Eléctrica de Media Tensión



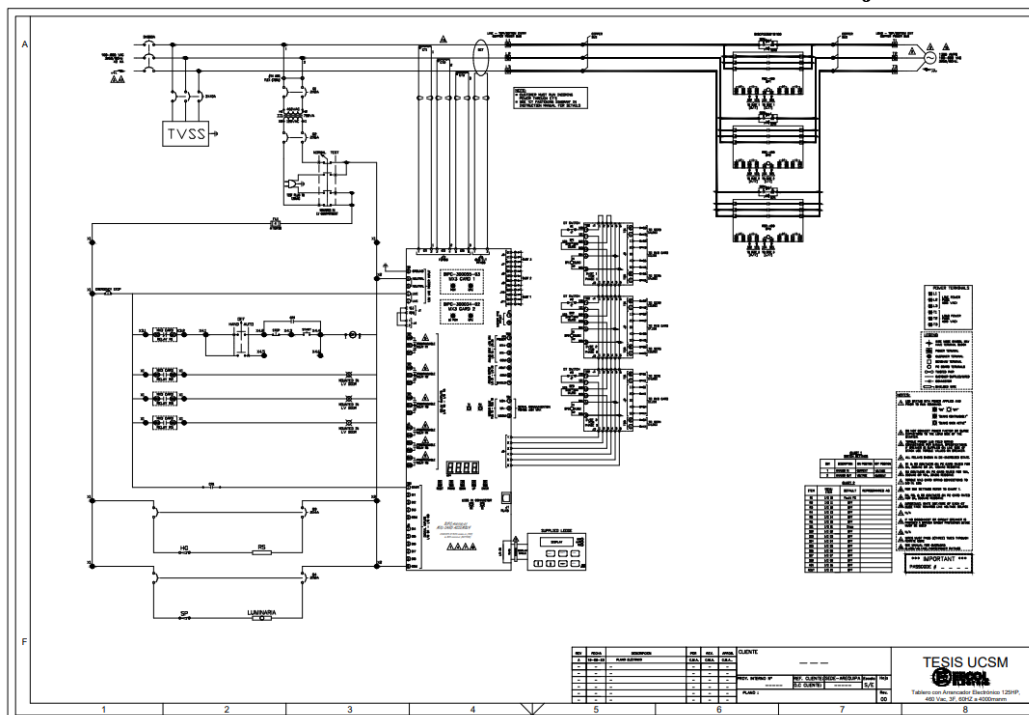
Anexo 3 Plano mecánico de la subestación eléctrica de media tensión (Vista desde las celdas de media tensión)



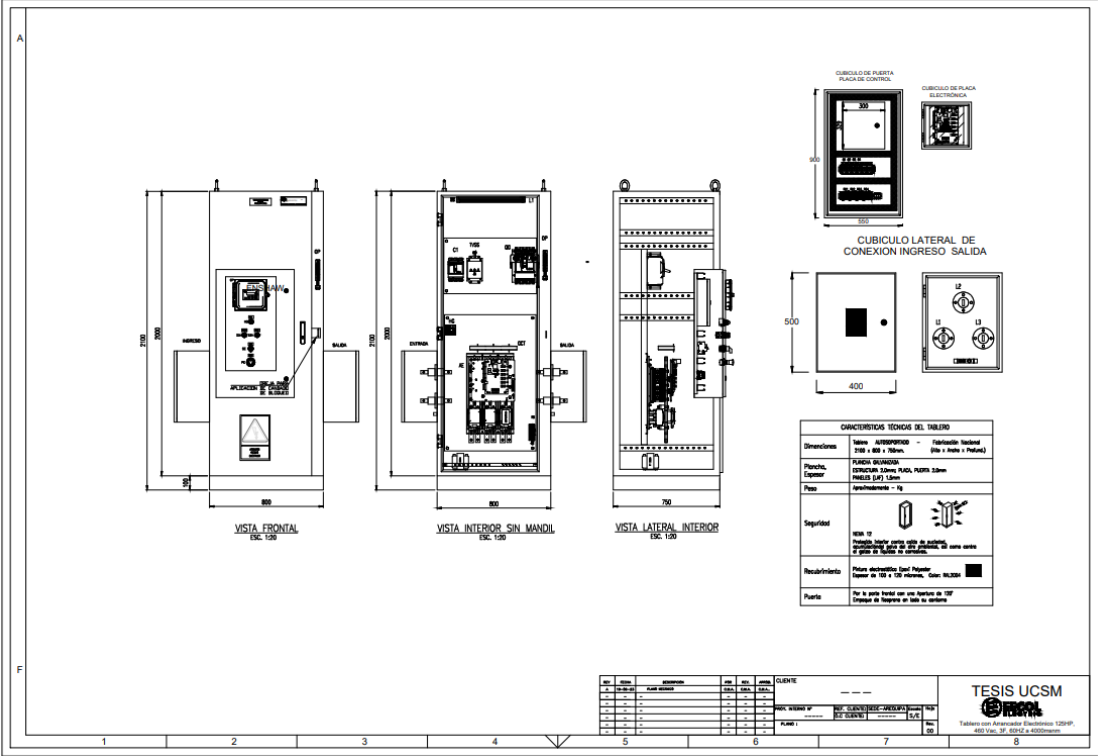
Anexo 4 Plano mecánico de la subestación eléctrica de media tensión (Visto desde el tablero de baja tensión)



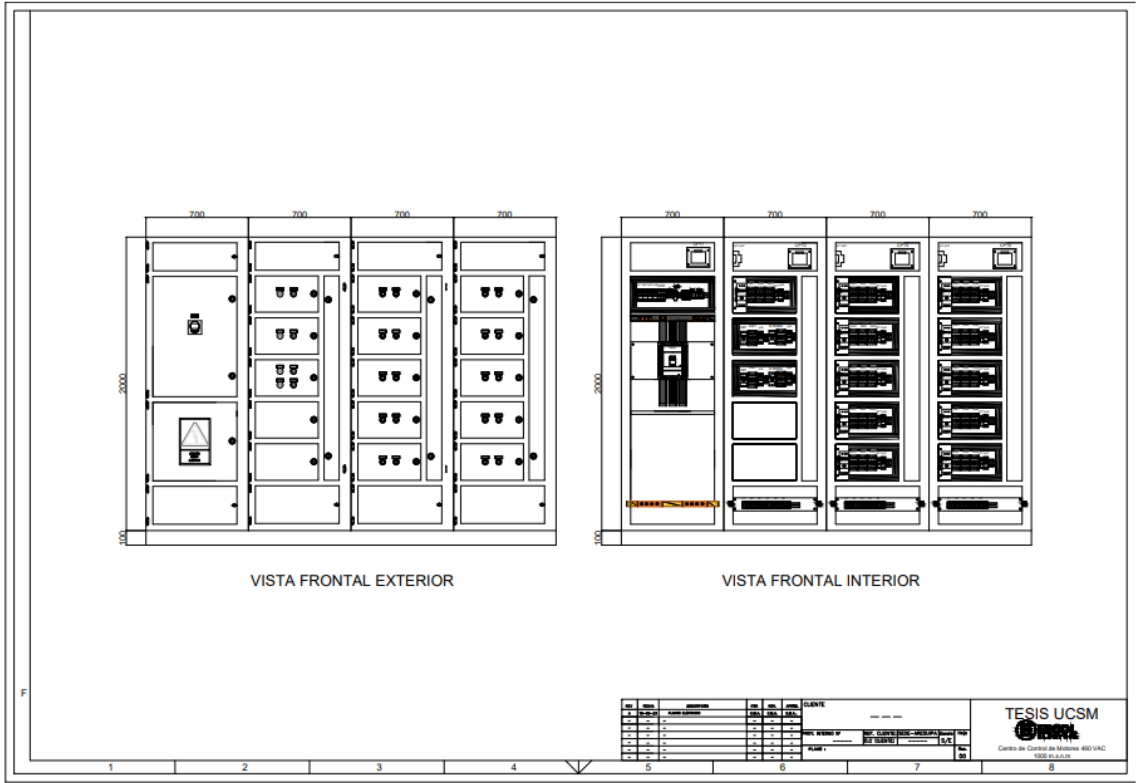
Anexo 5 Plano eléctrico del tablero SoftStarter Benshaw de baja tensión



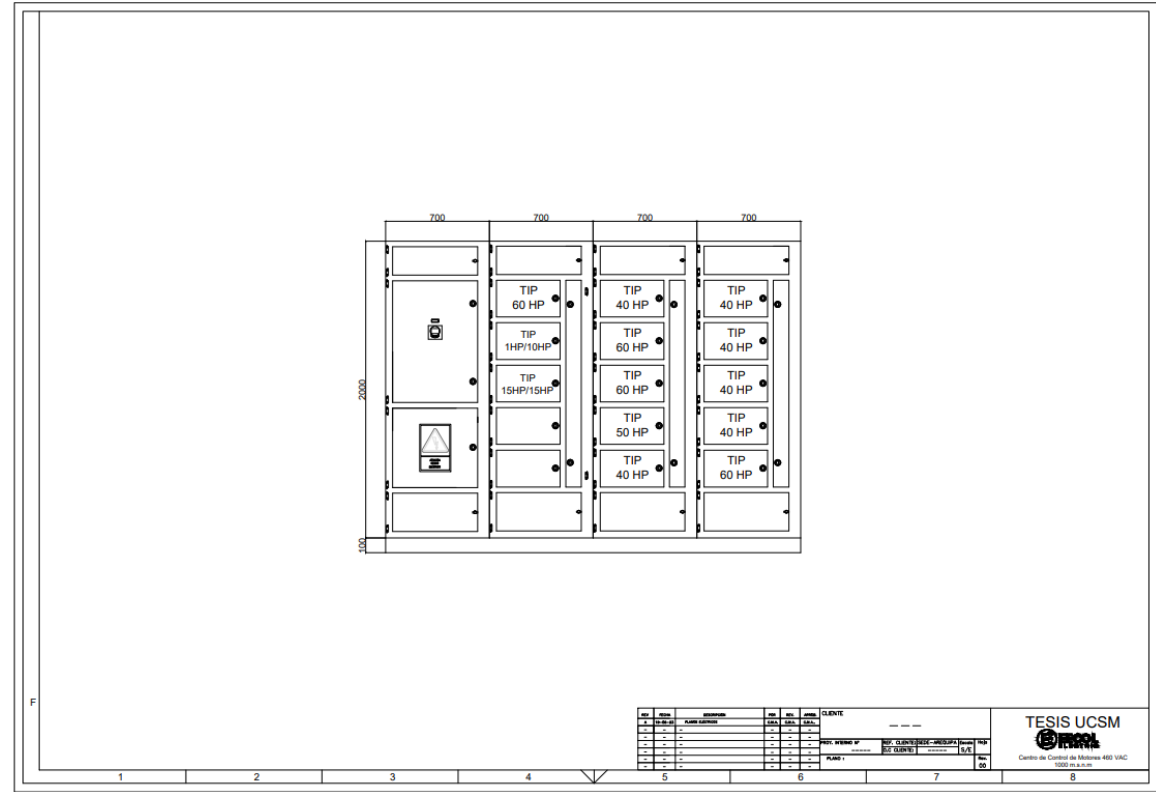
Anexo 6 Plano mecánico del tablero SoftStarter Benshaw de baja tensión



Anexo 7 Plano mecánico del Centro de Control de Motores de baja tensión



Anexo 8 Plano mecánico del Centro de Control de Motores de baja tensión



Anexo 9 Plano eléctrico del Centro de Control de Motores

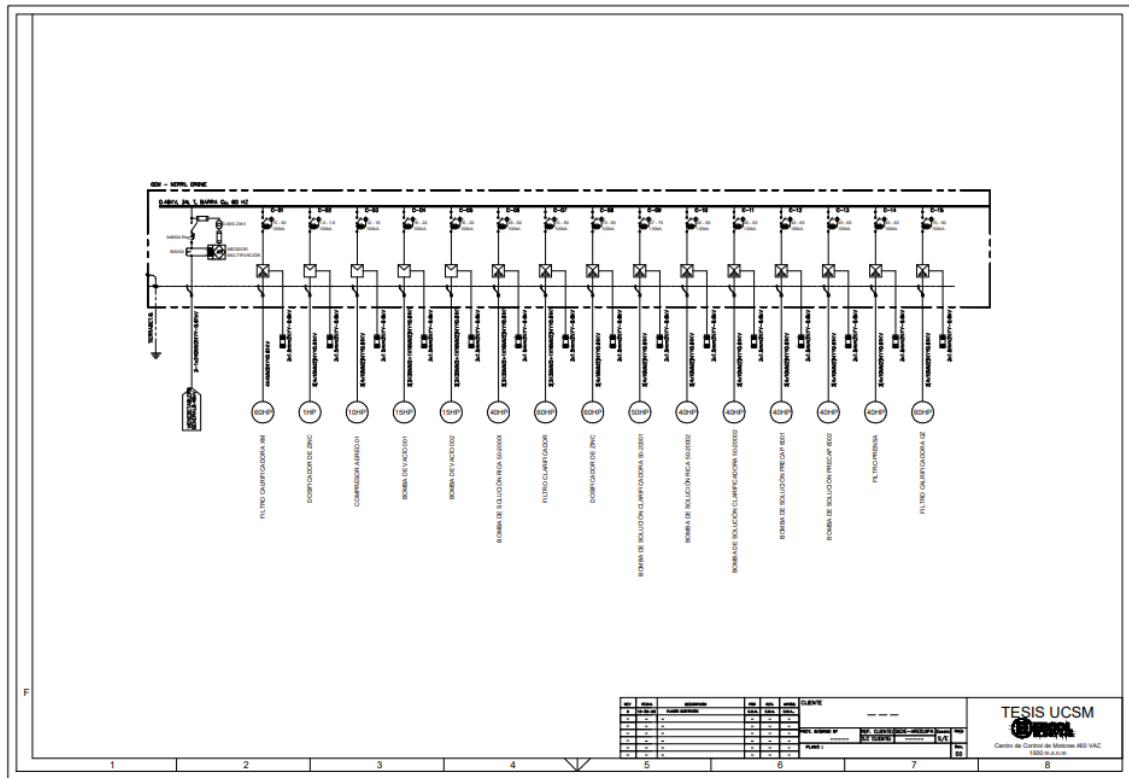
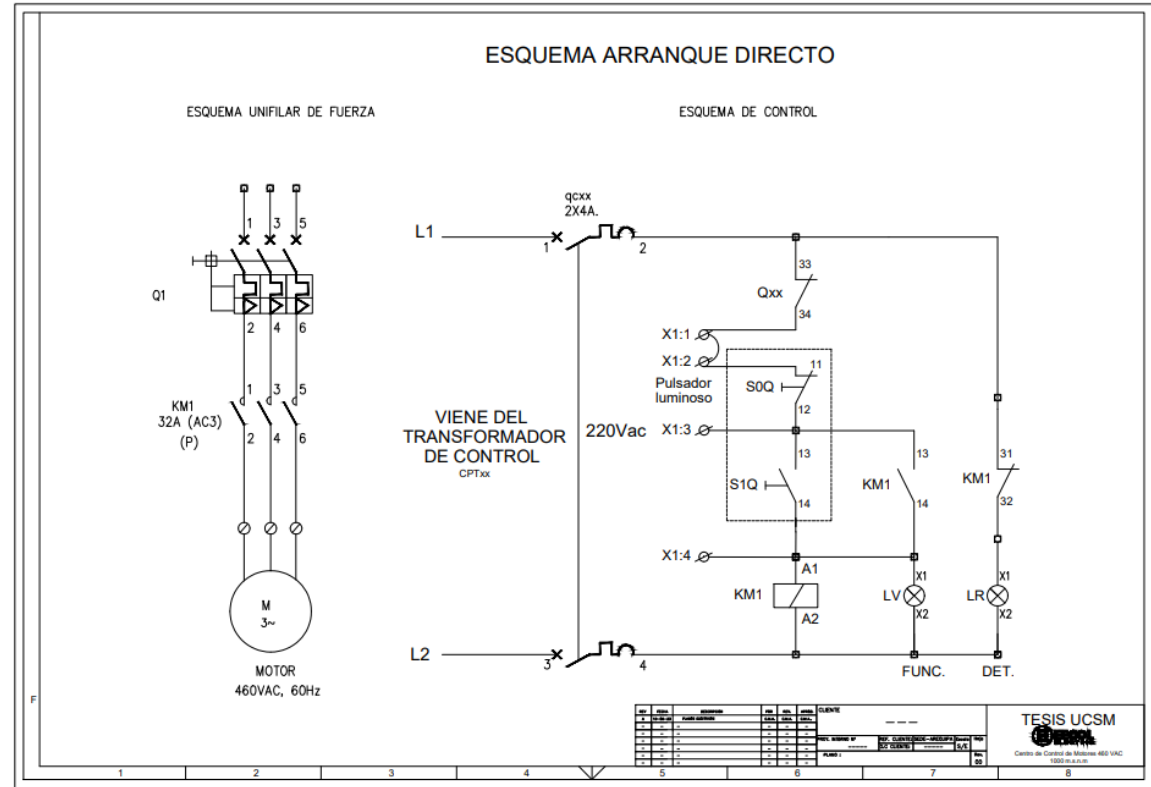


Diagrama de conexión para el Analizador de Red CVM-C10. El diagrama muestra la conexión de un VMD de 34720-900VA a un analizador de red. El analizador tiene terminales para fases (A, B, C), neutro (N), tierra (PE), y mediciones de potencia (P1, P2, P3). Se detallan las conexiones de los cables de control y de potencia.

Anexo 11 Plano de fuerza y control: Arranque directo del centro de control de motores



Anexo 12 Plano de fuerza y de control: Arranque estrella triángulo del centro de control de motores

