



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS EN TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE SISTEMAS DE
REFRIGERACIÓN PARA PROPONER OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO
ENERGÉTICO EN PLANTA DE LÁCTEOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR:

Salía Aracely Espinoza Loaiza

Luis Orlando Yépez Vásquez

TUTOR:

Ing. Julio Manuel Silva Becherán, Msc.

Guayaquil - Ecuador

2022

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Salia Aracely Espinoza Loaiza con documento de identificación N°. 0705159127 y Luis Orlando Yépez Vásquez con documento de identificación N°. 0925743569, manifestamos que:

Somos los autores y responsables de presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana puede usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente;



Salia Aracely Espinoza Loaiza

0705159127



Luis Orlando Yépez Vásquez

0925743569

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Salia Aracely Espinoza Loaiza con documento de identificación N°. 0705159127 y Luis Orlando Yépez Vásquez con documento de identificación N°. 0925743569, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del proyecto técnico “Análisis en transformadores eléctricos de sistemas de refrigeración para proponer optimización del consumo energético en planta de lácteos”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en forma digital a la Biblioteca de Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente;



Salia Aracely Espinoza Loaiza

0705159127



Luis Orlando Yépez Vásquez

0925743569

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio Manuel Silva Becherán, con documento de identificación N°. 0959623422, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que, bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación “ANÁLISIS EN TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PARA PROPONER OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN PLANTA DE LÁCTEOS”, realizado por Salia Aracely Espinoza Loaiza con documento de identificación N°. 0705159127 y Luis Orlando Yépez Vásquez con documento de identificación N°. 0925743569, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de “Proyecto técnico”, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente;



Ing. Julio Manuel Silva Becherán, Msc.

0959623422

DEDICATORIAS

Quiero agradecer a Dios y dedicar este proyecto de titulación a mi mamá ***Isabel Loaiza Fernández***, mi hijo ***Liam Ayala Espinoza*** y mi familia, por su continua ayuda en todo este proceso de estudio para poder alcanzar este logro profesional, personal y que ellos se sientan orgullosos de lo que obtuve.

También quiero agradecer a los docentes por su continua enseñanza y a mis compañeros que siempre han estado presentes.

Salía Aracely Espinoza Loaiza.

Por todo lo realizado en este trabajo de titulación, quiero en primer lugar agradecer a Dios por el día a día permitirme mejorar mis expectativas y fortalezas para cumplir con éxito los logros que me propongo, siendo este uno de ellos, dedicar este esfuerzo con mucho orgullo a mi madre ***Juana Narcisa Vásquez Cordero***, por su constante apoyo en mi formación académica, mis hermanos, familia, docentes, amigos y compañeros, que me han brindado el apoyo necesario para ser un buen profesional y ser humano.

Luis Orlando Yépez Vásquez.

RESUMEN

Tema: ANÁLISIS EN TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PARA PROPONER OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN PLANTA DE LÁCTEOS.

Autores: Salia Aracely Espinoza Loaiza, Luis Orlando Yépez Vásquez

Director de tesis: Ing. Julio Manuel Silva Becherán, Msc.

El presente trabajo de tesis implica realizar un análisis del consumo de energía eléctrica en cuarto de transformadores eléctricos de equipos de refrigeración de una planta de lácteos para, proponer opciones de optimización energética.

Como parte inicial de este proyecto es necesario conocer la naturaleza de cada carga conectada, por lo que se realizará un levantamiento de datos del fabricante, actualización del diagrama unifilar y toma de datos con instrumentación bajo la normativa IEC 62053-21 / 62053-22 a los 3 transformadores de 2000 [KVA] – 13.8/0.46 [KV], que suministran energía a los equipos de refrigeración de planta.

Actualmente, se cuenta con medidores de energía por cada transformador a nivel de baja tensión 460 [v], por lo que no es posible conocer el consumo de cada equipo y controlar su actividad, como parte de la propuesta para la optimización de energía eléctrica, se instalará un analizador de energía múltiple PANASONIC KW2M con integración al SCADA de planta como plan piloto para monitorear el consumo del transformador de mayor demanda y limitar el funcionamiento de cada equipo únicamente en base a la necesidad del proceso.

Palabras clave: *Medidor de energía, Factor de potencia, Transformadores, Refrigeración, Demanda, Eficiencia energética.*

ABSTRACT

Topic: ANALYSIS OF ELECTRICAL TRANSFORMERS OF REFRIGERATION SYSTEMS TO PROPOSE OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN DAIRY PLANTS.

Authors: Salia Aracely Espinoza Loaiza, Luis Orlando Yépez Vásquez

Thesis director: Ing. Julio Manuel Silva Becherán, Msc.

The present thesis work implies an analysis of the consumption of electrical energy in the electrical transformer room of the refrigeration equipment of a dairy plant in order to propose energy optimization options based on this.

As an initial part of this project, it is necessary to know the nature of each connected load, for which a data survey of the manufacturer will be carried out, updating of the single-line diagram and data collection with instrumentation under the IEC 62053-21/62053-22 standard. the 3 transformers of 2000 [KVA] – 13.8/0.46 [KV], which supply energy to the plant refrigeration equipment.

Currently, there are energy meters for each transformer at the low voltage level 460 [v], so it is not possible to know the consumption of each equipment and control its activity, as part of the proposal for the optimization of electrical energy, A PANASONIC KW2M multiple energy analyzer will be installed with integration to the plant SCADA as a pilot plan to monitor the consumption of the transformer with the highest demand and limit the operation of each equipment solely based on the need of the process.

Keywords: *Energy meter, Power factor, Transformers, Refrigeration, Demand, Energy efficiency.*

CONTENIDO GENERAL

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
CONTENIDO GENERAL	viii
INDICE DE FIGURAS	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xvii
CAPITULO 1.....	1
1. EL PROBLEMA	1
1.1 Problema de estudio	1
1.2 Justificación.	1
1.3 Delimitación.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
CAPITULO 2.....	3
2. MARCO TEORICO	3
2.1 Electricidad	3
2.1.1 Generación.....	4
2.1.2 Transmisión	5
2.1.3 Distribución	5

2.1.4	Demanda o punto de entrega	6
2.1.5	Niveles de tensión de acuerdo a la normativa ecuatoriana.....	7
2.2	Parámetros eléctricos principales.....	8
2.2.1	Tensión eléctrica o voltaje.....	8
2.2.2	Resistencia eléctrica.....	9
2.2.3	Corriente Eléctrica	10
2.2.4	Potencia Eléctrica.....	13
2.2.5	Frecuencia Eléctrica.....	14
2.2.6	Capacitancia eléctrica.....	16
2.3	Características de cargas eléctricas	17
2.3.1	Cargas resistivas – Potencia activa o real.....	17
2.3.2	Cargas Inductivas – Potencia Reactiva	18
2.3.3	Cargas Capacitivas – Capacitor y Potencia Reactiva.....	19
2.3.4	Diferencia entre potencia activa y reactiva.....	20
2.3.5	Cargas Combinadas – Potencia aparente.....	21
2.3.6	Relación entre Potencia activa, reactiva y aparente.....	22
2.3.7	Factor de potencia (FP)	24
2.3.8	Triángulo de potencia.....	25
2.4	Motores eléctricos	26
2.4.1	Funcionamiento de un motor eléctrico.....	27
2.4.2	Motores eléctricos en base al tipo de corriente (AC/DC).....	29
2.4.3	Aspectos técnicos en los motores.....	31
2.4.4	Condiciones de operación.....	33
2.5	Transformadores eléctricos.....	34
2.5.1	Base de funcionamiento de un transformador eléctrico	36
2.5.2	Características constructivas del transformador	38

2.5.3	Clasificación de transformadores.....	40
2.5.4	Aplicaciones de los transformadores industriales.....	41
2.5.5	Algunas capacidades de transformadores industriales	42
2.6	Sistemas de refrigeración.....	43
2.6.1	Proceso de refrigeración por compresión	43
2.6.2	Sistema de refrigeración por absorción	45
2.6.3	Clasificación de sistemas de refrigeración	46
2.6.4	Componentes de un sistema de refrigeración Industrial	48
2.7	Consumo de energía eléctrica	49
2.7.1	Energía eléctrica.....	49
2.7.2	Calidad de energía.....	50
2.7.3	Eficiencia del consumo de energía eléctrica en la industria	51
2.7.4	Medición de potencia - energía.....	54
2.8	Analizadores de red eléctrica convencionales	55
2.8.1	Analizador de Red SIEMENS SENTRON PAC-3200	55
2.8.2	Analizador de red SCHNEIDER PM 5100	56
2.8.3	Analizador de red ABB M2M	56
2.8.4	Transformadores de corriente	57
2.8.5	Analizador de energía eléctrica Fluke 434-II/435-II/437-II	57
2.8.6	Conexión de analizadores de red eléctrica.....	58
2.9	Analizador de red múltiple Panasonic Eco-Power KW2M	60
2.9.1	Esquema de medición.....	61
2.9.2	Ventajas en referencia a los analizadores de red individuales.....	61
2.9.3	Diagramas de cableado.....	63
2.9.4	Software de monitoreo KW-WATCHER.....	65
2.9.5	Comunicación industrial.....	66

CAPITULO 3.....	67
3. MARCO METODOLOGICO.....	67
3.1 Descripción general de cuarto eléctrico de sistemas de refrigeración.	67
3.2 Actualización diagrama eléctrico unifilar.....	67
3.2.1 Diagrama unifilar distribución de 13.8 KV a cuarto eléctrico CE-01.....	68
3.2.2 Diagrama unifilar cuarto eléctrico CE-01 de 13.8 a 0.46 KV	69
3.2.3 Actualización de diagramas eléctricos unifilares.....	69
3.3 Levantamiento de cargas conectadas en cuarto eléctrico CE-01	72
3.3.1 Levantamiento de datos fabricante de equipos	72
3.3.2 Planilla de gabinetes eléctricos y cargas conectadas.....	79
3.4 Medición de parámetros eléctricos.....	81
3.4.1 Instrumentación a utilizar.	82
3.5 Instalación de analizador de energía múltiple.....	86
3.5.1 Instalación en gabinete eléctrico	86
3.5.2 Instalación de transformadores de corriente	87
3.5.3 Diagrama eléctrico de instalación.	88
3.5.4 Instalación de software KW Watcher (Análisis de datos).....	89
3.5.5 Comunicación con PC para análisis.	90
3.5.6 Monitoreo de parámetros y extracción de datos	92
3.6 Integración datos al SCADA de planta	92
3.6.1 Comunicación serial RS-485	93
3.6.2 Visualización de datos.....	94
CAPITULO 4.....	95
4. ANALISIS Y RESULTADOS.....	95
4.1 Análisis de transformadores en base a datos obtenidos	95
4.1.1 Demanda de energía eléctrica por equipo.....	96

4.1.2	Consumo en cargas por circuito en gabinete eléctrico	97
4.1.3	Consumo de cargas por transformador.....	97
4.1.4	Análisis de equipos conectados en base al uso de planta	98
4.1.5	Consumo de equipos conectados a TR-02, datos tomados de multimedidor Panasonic KW2M-X	99
4.1.6	Estadística de consumo de transformadores CE-01	100
4.2	Descripción de los sistemas de refrigeración.....	101
4.2.1	Sistema de refrigeración de cámaras de congelado (-34°C).....	102
4.2.2	Sistema de refrigeración túneles de congelación (-43°C)	102
4.2.3	Sistema de refrigeración Climatización Evaporadores (-8°C).....	103
4.2.4	Sistema refrigeración Climatización UMA (+2°C)	103
4.2.5	Sistema refrigeración Agua helada proceso (-1.5 °C).....	103
4.2.6	Sistema de torres de enfriamiento	104
4.2.7	Sistemas de refrigeración Chiller Trane.....	104
4.3	Determinación transformador mayor demanda	104
4.4	Propuesta para optimización de energía.....	105
4.4.1	Ajustes de controladores (arrancadores) de equipos.....	105
4.4.2	Cambio de arrancadores suaves por variadores de frecuencia	105
4.4.3	Presupuesto económico por plan piloto instalado.....	106
4.4.4	Presupuesto por instalación completa cuarto eléctrico CE-01.....	106
CAPITULO 5.....		108
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
5.1	Conclusiones.....	108
5.2	Recomendaciones.....	108
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS		113

INDICE DE FIGURAS

Figura 01.	Ciclo del consumo de la Electricidad.....	3
Figura 02.	Principio de generación eléctrica	4
Figura 03.	Generador eléctrico INDAR-Energía hidroeléctrica.....	4
Figura 04.	Torres de transmisión de electricidad.....	5
Figura 05.	Punto de entrega de conexión de alto voltaje.	6
Figura 06.	Diferencia de potencial.....	8
Figura 07.	Resistencia eléctrica	9
Figura 08.	Resistencia de un conductor	9
Figura 09.	Electrones libres.....	11
Figura 10.	Circulación de la corriente.....	11
Figura 11.	Corriente continua.....	12
Figura 12.	Corriente continua variable.....	12
Figura 13.	Corriente variable de pulsos y sinusoidal.....	13
Figura 14.	Distintos tipos de periodos	15
Figura 15.	Frecuencia eléctrica.....	15
Figura 16.	Capacitores diferentes formas.....	16
Figura 17.	Carga resistiva, Fasores, Medición potencia	17
Figura 18.	Grafica de la potencia activa.....	18
Figura 19.	Potencia reactiva – Inductiva, fasores.....	18
Figura 20.	Grafica de la potencia reactiva – inductiva	19
Figura 21.	Carga Capacitiva.....	20
Figura 22.	Cargas combinadas – Potencia aparente.....	21
Figura 23.	Medición de cargas combinadas	22
Figura 24.	Instrumentación para medir E, I, Q y P.....	23
Figura 25.	Diagrama fasorial – lecturas de instrumentos.....	23

Figura 26.	Triángulo de potencia.....	26
Figura 27.	Motor eléctrico y sus partes.....	27
Figura 28.	Estator – parte fija.....	28
Figura 29.	Forma de un rotor de un motor eléctrico.....	29
Figura 30.	Pérdidas de un motor eléctrico.....	31
Figura 31.	Principio de funcionamiento de un transformador monofásico.....	35
Figura 32.	Transformadores monofásicos. a) De columnas, b) Acorazado.....	36
Figura 33.	Transformadores trifásicos de 3 columnas a y b.....	36
Figura 34.	Explicación ley de inducción.....	37
Figura 35.	Fenómeno de inducción electromagnética entre conductores.....	38
Figura 36.	Configuración básica de un transformador con núcleo ferromagnético.....	38
Figura 37.	Transformador de potencia.....	40
Figura 38.	Transformador de potencia en subestación.....	42
Figura 39.	Transformador tipo Padmounted.....	43
Figura 40.	Ciclo simple de refrigeración.....	44
Figura 41.	Ciclo de refrigeración por absorción.....	46
Figura 42.	Esquema general de una auditoría de energía.....	53
Figura 43.	Vatímetro.....	54
Figura 44.	Conexiones de vatímetro.....	54
Figura 45.	Multimedidor SENTRON PAC 3200.....	55
Figura 46.	Analizador de red Schneider Electric PM 1500.....	56
Figura 47.	Analizador de redes ABB M2M.....	56
Figura 48.	Transformadores de corriente – Gabinetes eléctricos.....	57
Figura 49.	Analizador de red Fluke 434 y 435.....	58
Figura 50.	Tipo 3P4W, sin TP, con TC.....	59
Figura 51.	Tipo 3P4W, con TP, con TC.....	59

Figura 52.	Tipo 1P2W, sin TP, con un TC.....	60
Figura 53.	Analizador de red múltiple Panasonic Eco-Power KW2M.....	60
Figura 54.	Instalación 4 puntos de medición 3F con analizadores convencionales	62
Figura 55.	Instalación 4 puntos 3F en analizador múltiple Panasonic Eco-Power	63
Figura 56.	Medición de una carga - sistema monofásico.....	64
Figura 57.	Medición de una carga – 3 fases	64
Figura 58.	Medición 3 fases – Sistema 4 cables.....	65
Figura 59.	Software KW-Watcher – Monitoreo de parámetros	65
Figura 60.	Comunicación industrial – Ethernet.....	66
Figura 61.	Diagrama unifilar distribución 13.8 KV a CE-01 (Existente)	68
Figura 62.	Diagrama unifilar cuarto eléctrico CE-01 (13800 V) – Existente.	69
Figura 63.	Diagrama eléctrico unifilar CE01	70
Figura 64.	Diagrama eléctrico unifilar GE-TR01/GE-TR02.....	70
Figura 65.	Diagrama eléctrico unifilar GR-TR03-CMM01	71
Figura 66.	Diagrama eléctrico unifilar GE-TR03-CMM2/CMM3	71
Figura 67.	Cuarto de transformadores (TR-01, TR-02 y TR-03)	72
Figura 68.	Transformador Padmounted 2000 KVA	73
Figura 69.	Cuarto de protecciones de transformadores (TR-01, TR-02 y TR-03)	74
Figura 70.	Gabinetes eléctricos CE-01.....	75
Figura 71.	Pinza amperimétrica Fluke 375FC.....	83
Figura 72.	Medición monitoreo Wifi Fluke 375 FC.....	83
Figura 73.	Medición Compresor NH3-01	84
Figura 74.	Multimedidor Siemens SENTRON PAC-3200	84
Figura 75.	Transformador de corriente 1000/5 [A].	85
Figura 76.	Medición parámetros Analizador Siemens Sentron PAC-3200	85
Figura 77.	Instalación de multimedidor Panasonic MW2M-X	86

Figura 78.	Analizador de red múltiple instalado	87
Figura 79.	Instalación TC núcleo partido 4 circuitos GE-TR-02	87
Figura 80.	Diagrama eléctrico instalación de analizador de red.....	88
Figura 81.	Inicie configuración – Seleccionar lenguaje.....	89
Figura 82.	Configuración de parámetros comunicación Ethernet	90
Figura 83.	Web Server – Monitoreo de parámetros de medida en tiempo real.....	91
Figura 84.	Extracción de datos CSV KW-Watcher	91
Figura 85.	Configuración, monitoreo en tiempo real y extracción de datos	92
Figura 86.	Paquetes de licencias Indusoft	93
Figura 87.	Pantalla principal SCADA consumos energía eléctrica planta.....	94
Figura 88.	Diseño anterior de Scada cargas de GE-TR02.....	94
Figura 89.	Diseño final de pantalla con parámetros de consumo.....	95
Figura 90.	Promedio potencia transformadores CE-01 Semestre 01-2022	98
Figura 91.	Consumos de equipos conectados a TR-02 (Panasonic KW2M-X)	99
Figura 92.	Monitoreo en tiempo real CH-01 (Compresor SSS-05/Evaporadores).....	100
Figura 93.	Historial de consumos de CE-01.....	101
Figura 94.	Presupuesto instalación analizador múltiple 4 punto de monitoreo.....	106
Figura 95.	Cantidad de puntos de monitoreo CE-01.....	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 01.	Resistividad de algunos materiales	10
Tabla 02.	Cantidad de polos y velocidad de sincronía de motores	30
Tabla 03.	Distribución típica de pérdidas de un motor abierto	32
Tabla 04.	Ahorros potenciales de acuerdo a costos de inversión y tiempos de pagos	52
Tabla 05.	Unidad principal, unidad de expansión (medición de potencia).....	61
Tabla 06.	Unidad de expansión (entrada analógica múltiple).....	61
Tabla 07.	Unidad de expansión (E/S digital)	61
Tabla 08.	Transformadores Padmounted 13800v/460-226 V – CE-01	73
Tabla 09.	Celdas de media tensión 13800 V – Cuarto eléctrico CE-01	74
Tabla 10.	Gabinetes eléctricos de distribución CE-01.....	75
Tabla 11.	Cargas conectadas a Gabinete eléctrico TR-01	77
Tabla 12.	Cargas conectadas a Gabinete eléctrico TR-02	77
Tabla 13.	Cargas conectadas a Gabinete eléctrico TR-03	78
Tabla 14.	Cálculo de la demanda Cuarto Eléctrico CE-01	79
Tabla 15.	Porcentaje de cargas gabinetes eléctricos principales	80
Tabla 16.	Porcentaje de cargas referente a CE-01 y por transformador.....	80
Tabla 17.	Cargas eléctricas a medir.....	81
Tabla 18.	Medición de parámetros equipo Gabinete eléctrico TR-01	96
Tabla 19.	Medición de parámetros equipo Gabinete eléctrico TR-02.....	96
Tabla 20.	Medición de parámetros equipo Gabinete eléctrico TR-03.....	96
Tabla 21.	Presupuesto total instalación de monitoreo en GE-CE01.....	107

CAPITULO 1

1. EL PROBLEMA

1.1 Problema de estudio

Para la elaboración de productos derivados de lácteos es muy importante los sistemas refrigeración, ya que son los encargados de proporcionar energía calorífica para diferentes procesos en elaboración como por ejemplo suministro de agua helada para pasteurización y almacenamiento, climatización de áreas de procesos y envasado para mantener la inocuidad alimentaria, así como cámaras de congelación para la conservación del producto terminado hasta su despacho, considerando la magnitud de capacidad de producción y demanda de la empresa, los equipos encargados de los suministros de refrigeración son de gran potencia y en base a esto representa aproximadamente el 40 % del consumo de energía eléctrica total de planta.

Los transformadores que suministran energía eléctrica a los equipos de los sistemas de refrigeración cuentan con un analizador de red conectado en el lado de baja tensión (460VAC), con el que se puede conocer el consumo de energía eléctrica por transformador, pero no se tiene los parámetros de cada una de las cargas puntuales para monitorear, analizar y optimizar el uso de cada uno en la proporción de demanda de planta de los diferentes sistemas.

1.2 Justificación.

Al ser la energía eléctrica un recurso necesario para las operaciones de planta, representa un costo con tarifas establecidas por ARCONEL que se agregará al costo del producto terminado.

Toda empresa necesita tener optimización en el uso de sus recursos para su sustentabilidad, y en este caso la energía eléctrica representa un área de análisis y estudio para ahorrar, siendo necesario establecer indicadores para verificar el estado actual de consumo, y posterior verificar las mejoras que se puedan realizar.

1.3 Delimitación

El trabajo de investigación se lo realizará en el cuarto eléctrico (CE-01) de transformadores de servicios industriales de la empresa de lácteos Tonicorp, dedicada al procesamiento y manufactura de lácteos, considerando que aquí están conectados los sistemas de refrigeración.

El estudio se centrará en los equipos de los sistemas de refrigeración para lo cual es necesario realizar el levantamiento de información, análisis de parámetros de consumo energético de cargas, actualización de diagrama unifilar, plantilla de cargas para lo cual se utilizará un analizador de red múltiple de 4 canales como método de innovación de este tipo de dispositivos.

Finalmente, el analizador múltiple quedará conectado al transformador de mayor exigencia como plan piloto para optimizar el consumo de energía eléctrica del área.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar un levantamiento y evaluación de cargas eléctricas en los transformadores que alimentan los equipos de refrigeración para proponer una optimización del consumo energético en planta de lácteos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Levantamiento de datos, actualización de diagrama unifilar y análisis de resultados de parámetros eléctricos tomados con instrumentación basado en normativa IEC 62053-21 / 62053-22.
- Instalación de un analizador de red múltiple PANASONIC KW2M-X para monitoreo de parámetros eléctricos en transformador de mayor exigencia.
- Integración de parámetros de energía a SCADA de planta y propuesta para optimizar el consumo energético.

CAPITULO 2

2. MARCO TEORICO

2.1 Electricidad

La electricidad es la capacidad que tienen los electrones situados en la capa externa de un material conductor para realizar un trabajo, como tal es una forma de energía.

La materia y la vida están directamente conectados con la electricidad, ya que todo lo que existe está integrado con átomos y a su vez, estos contienen electrones que al ponerse en movimiento liberan energía.

Cuando se aplica una diferencia de potencial (Tensión eléctrica) entre dos elementos conductores, se genera un movimiento de cargas (electrones), denominado corriente eléctrica. (gencat, 2022)

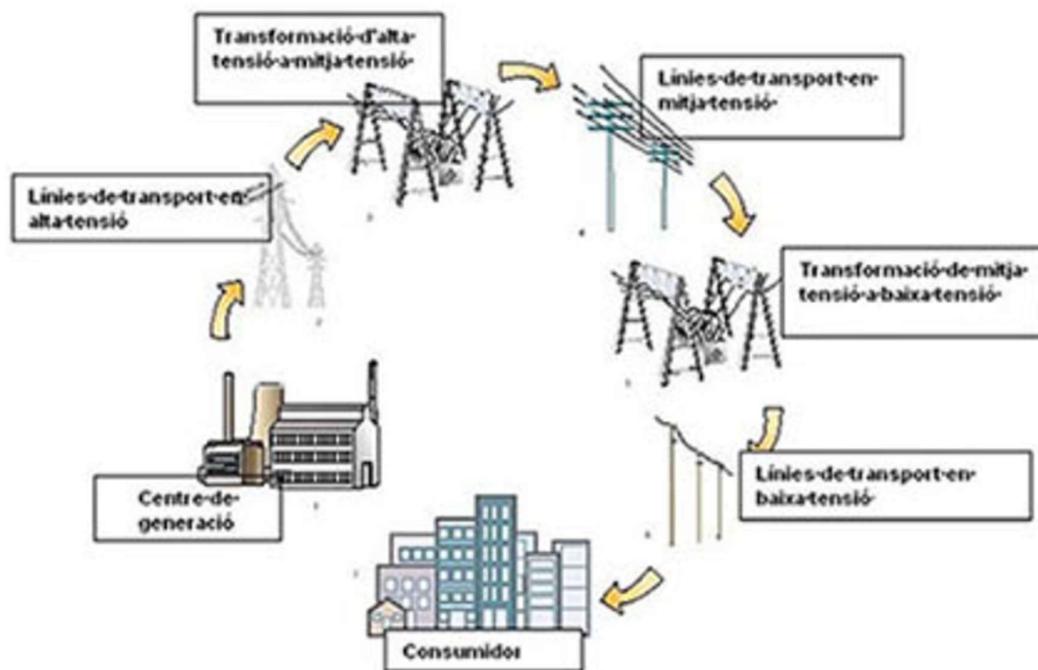


Figura 01. Ciclo del consumo de la Electricidad

Fuente: (gencat, 2022)

2.1.1 Generación

Al ponerse en movimiento un material conductor (considerar cobre o aluminio), generalmente cables o bobinas alado de un material con características magnéticas como por ejemplo un imán, en los extremos del material conductor se genera una tensión eléctrica o también llamado diferencia de potencial. Ahora considérese varios conductores eléctricos en serie, los efectos se suman y normalmente a esto se le llaman bobinas.

El mismo caso se da, si ahora el que se mueve es el imán en los conductores eléctricos, es decir realizar el proceso invertido. Este es el principio de funcionamiento de los generadores eléctricos por el principio d funcionamiento del magnetismo (Rela, 2010)

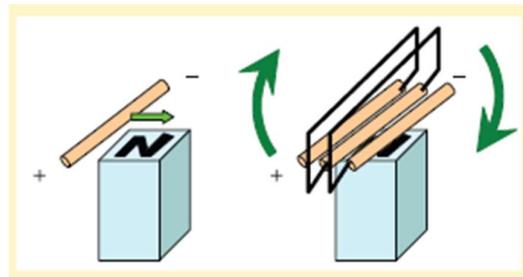


Figura 02. Principio de generación eléctrica

Fuente: (Rela, 2010)

A la actualidad, existen varias formas de generar energía eléctrica a través de otras fuentes de energía, sin embargo, las máquinas basadas en el principio del magnetismo se convierten en las más eficientes y prácticas para el uso a gran demanda. (Rela, 2010)



Figura 03. Generador eléctrico INDAR-Energía hidroeléctrica.

Fuente: (Ingeteam, 2022)

2.1.2 Transmisión

Debido a factores como aislamiento eléctrico y espacio de operación de maquinaria, la generación de energía eléctrica no supera los 20 [KV], por lo que es necesario aumentar este parámetro para poder transmitir la potencia a grandes distancias, ya que las centrales eléctricas, generalmente están lejos del punto de demanda. Considerándose que los conductores que se utilizan para transmitir energía ofrecen resistencia y por lo tanto caída de tensión eléctrica, existen transformadores elevadores de tensión eléctricas hasta los 500 [KV], y diferentes puntos donde se realizan transformación, distribución y control de la energía hasta el punto de uso.

Se utiliza una tensión eléctrica muy alta (Depende de la distancia y potencia a transmitir), para que, considerando la misma potencia, la intensidad de la corriente sea de menor valor; por lo tanto el cableado eléctrico será de menor sección, teniendo como ventaja menor peso para las estructuras y costos en montaje, aunque los aisladores deban tener una mayor longitud. (Rela, 2010)



Figura 04. Torres de transmisión de electricidad

Fuente: (Internacional, 2022)

2.1.3 Distribución

La distribución es la parte posterior a la generación y transmisión de la energía eléctrica, siendo esto posible mediante transformadores que reducen los parámetros de voltaje de

500 [KV] a valores muchos más bajos como por ejemplo 13.8, 69, 138 [KV], con lo que es posible distribuir energía a diferentes consumidores de una ciudad, finalmente el consumo. En cada punto de demanda, ya sea residencial, comercial o industrial, existen transformadores que reducen el voltaje a valores de 120, 220 o 460 [V]. (Rela, 2010)

2.1.4 Demanda o punto de entrega

Es el punto donde se hará uso de la energía eléctrica, esto depende de la cantidad a necesitar por los equipos instalados que pueden ser residenciales, comerciales o industriales.

El ente distribuidor establecerá, posterior a la información suministrada por el solicitante, la ubicación física del punto de uso de energía eléctrica, así como la medición. Para esto, se debe establecer lo siguiente: el valor de tensión eléctrica, localización, diagrama de conexión, metodología de medición, sistema de corte y protección, la instalación a tierra y todo lo referente a obras civiles, es necesario para proceder con el suministro eléctrico manteniendo las normativas de seguridad, eficiencia, continuidad, calidad y costo reducido. (ARCONEL, 2020)

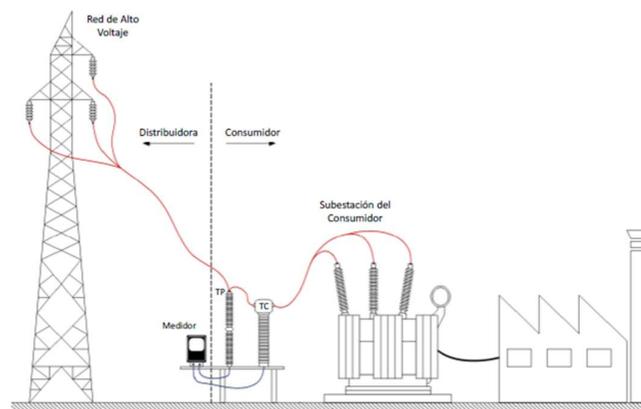


Figura 05. Punto de entrega de conexión de alto voltaje.

Fuente: (ARCONEL, 2020)

En la Figura 05, se indica un ejemplo para el requerimiento de suministro de energía y la adquisición y montaje de componentes eléctricos, considerando los transformadores corrientes y de potencial para la medición del consumo, el cual será monitoreado por la

distribuidora pertinentes, no representando un costo y siendo responsable de la operatividad y mantenimiento del sistema

La empresa encargada del suministro de energía eléctrica se encargará de realizar evaluación y análisis de confiabilidad y calidad de la energía suministrada de la red que alimenta al usuario, así como implementar obras si la demanda aumenta.

Dentro de la jurisdicción ecuatoriana, para nuevas implementaciones de suministro de energía eléctrica, se atenderán en los diferentes valores de tensión eléctrica, de acuerdo a lo propuesto:

- a) Para usuarios con demanda establecida menor o igual a 12 kW se los instalarán dentro del rango de bajo voltaje.
- b) Los usuarios con demanda establecida mayor a 12 kW, se los instalará en bajo, medio o alto voltaje, de acuerdo a la determinación del ente distribuidor, en función a los estudios de instalación que se menciona en esta regulación.

Una vez dado el punto eléctrico, termina la responsabilidad de ente distribuidor, referente a la propiedad de los equipos, la parte administrativa, el mantenimiento del sistema y los servicios que puedan prestarse de energía eléctrica. Ver la Figura 05, se muestra un esquema indicativo de punto de entrega. (ARCONEL, 2020)

2.1.5 Niveles de tensión de acuerdo a la normativa ecuatoriana

Los niveles de voltaje están determinados en función a la etapa que se cumple dentro de circuito eléctrico, normalmente los niveles de tensión aumentan para disminuir la intensidad de corriente eléctrica y sea más eficiente cumplir con la demanda y mantenimiento de equipos.

En la jurisdicción de Ecuador, se definen los siguientes niveles de voltaje según la regulación Nro. ARCONEL 001/2020. (ARCONEL, 2020)

- Nivel de baja tensión: tensión eléctrica menor o igual a 600 [V].
- Nivel media tensión: tensión eléctrica mayor a 600 [V] y menor o igual a 40 [KV].
- Nivel alta tensión G1: tensión eléctrica mayor a 40 y menor o igual a 138 [KV].
- Nivel alta tensión G2: tensión eléctrica mayor a 138 [KV].

2.2 Parámetros eléctricos principales

2.2.1 Tensión eléctrica o voltaje

La electricidad parte directamente del estudio de la física, siendo directamente relacionado a la energía. Por ejemplo, la energía potencia se da cuando se tiene un objeto de masa determinada con referencia de una altura. De igual manera, un componente eléctrico como batería o pila, esta en la capacidad de realizar un trabajo, ya que entre sus extremos existe un voltaje que, al conectarlo a un material conductor, las cargas eléctricas se mueven generándose una corriente eléctrica. La unidad esta energía eléctrica potencial o voltaje es el Voltio [V], y está dterminado de la siguiente manera según (Perolini, 2007):

“1 volt es la diferencia de potencial que hay que aplicar entre dos puntos para mover una carga de 1 coulomb intercambiando 1 joule de energía.”

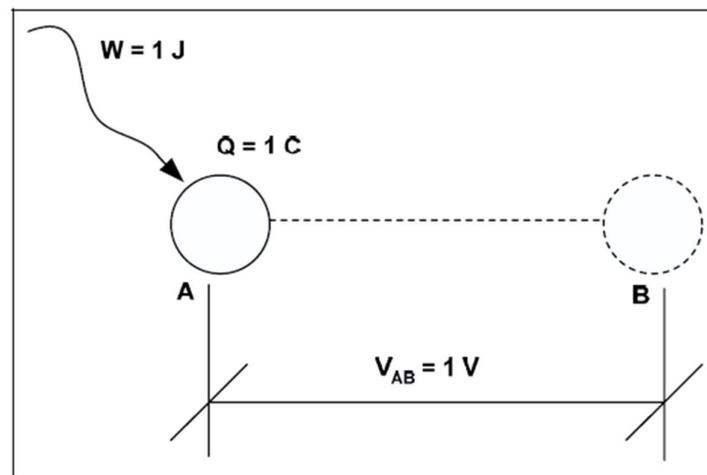


Figura 06. Diferencia de potencial

Fuente: (Perolini, 2007)

$$V = \frac{W}{Q} \rightarrow W = VxQ$$

(1)

- V: Voltios – Potencial eléctrico
- W: Joule - Trabajo
- Q: Coulomb – Carga eléctrica.

2.2.2 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica, es la oposición que presenta un material, sea conductor o no al paso de la corriente eléctrica cuando a este se le aplica una diferencia de potencial. Generalmente se utilizan este estudio para mejores los buenos conductores y también los buenos aislantes(omega).



Figura 07. Resistencia eléctrica

Fuente: (Perolini, 2007)

El valor de la resistencia eléctrica es un parámetro que determina la cantidad de oposición que tiene un conductor cuando circula una corriente, para ellos es muy importante la resistividad específica del material conductor, y adicional la temperatura que se encuentra. Basado en esto se tiene la siguiente identidad y su media es el Ohm, en honor a su descubridor Simon Ohm (Perolini, 2007):

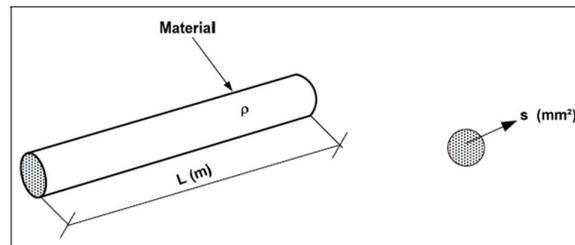


Figura 08. Resistencia de un conductor

Fuente: (Perolini, 2007)

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (2)$$

- **R:** Resistencia eléctrica en Ohm (Ω)
- **l:** Largo en metros (M)
- **s:** Sección del conductor ($[mm]^2$)
- **ρ :** Resistividad, característica propia de cada material. ($(\Omega [mm]^2)/m$)

La temperatura se convierte en un factor muy importante al momento de analizar la resistencia de un conductor ya que, al estar en temperaturas altas, hay un movimiento mayor de electrones y por consiguiente el valor de la resistencia aumenta considerablemente, Ver tabla 01. Valores de resistividad específica de algunos materiales conductores usados normalmente (Perolini, 2007).

Tabla 01. Resistividad de algunos materiales

Material	Simbolo	Resistividad $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Plata	Ag	0,01645
Cobre	Cu	0,01723
Oro	Au	0,02443
Aluminio	Al	0,02825
Tungsteno	W	0,05485
Níquel	Ni	0,07811
Hierro	Fe	0,123
Tantalio	Ta	0,1554
Nicromo (aleación de níquel (65%), hierro (23%) y cromo (12%))	Ni+Fe+Cr	0,9972
Estaño	Sn	2,50
Carbono	C	35

Fuente: (Perolini, 2007)

2.2.3 Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica se manifiesta como el movimiento de electrones a través de un material conductor, siendo específicamente los de la última capa del átomo los que se liberan o ganan. En estado normal los electrones pueden estar en reposo o dependiendo de la temperatura y otros factores que intervienen en sus movimientos teniendo en cuenta que, si gana un electrón el átomo, sería un ion positivo y si lo pierde es un ion negativo (ver figura 09).

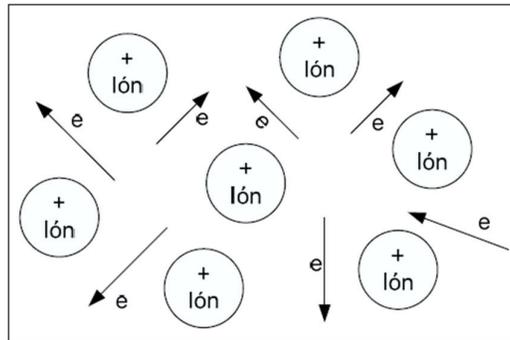


Figura 09. Electrones libres

Fuente: (Perolini, 2007)

Tales desplazamientos se deben a colisiones entre ellos y la fuerza de repulsión que se tiene en referencia a la carga electrónica que se tiene. Si en cambio se conecta a cable entre una batería y una lámpara, mismo que se puede ver en la Figura 10.

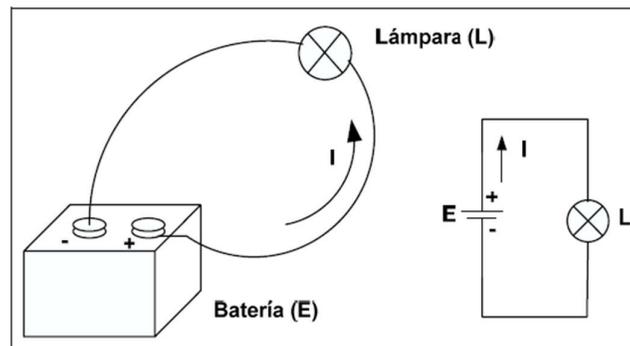


Figura 10. Circulación de la corriente

Fuente: (Perolini, 2007)

Cálculo de la corriente eléctrica en el circuito Figura 10.

$$I = \frac{V}{R} \quad (3)$$

- **I:** Intensidad de corriente (A – Amperios)
- **V:** Tensión eléctrica (V – Voltios)
- **R:** Resistencia (Ω - Ohm)

En base a la forma del movimiento de cargas, se conoce los siguientes tipos de corriente eléctrica:

- a) **La corriente eléctrica de tipo continua (DC).** – Se considera un movimiento de cargas (electrones) de manera constante en todo el tiempo, siendo más utilizados en maquinaria de control y precisión. Por ejemplo: una batería.

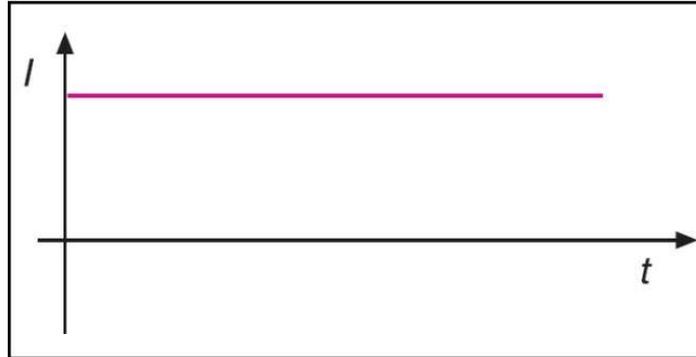


Figura 11. Corriente continua

Fuente: (Autores, 2022)

- b) **Las corrientes eléctricas cuya intensidad es variable.** - Cuando el flujo de cargas no es constante en el tiempo se denominan corrientes variables. Se puede citar algunos tipos de esta corriente que va a depender de su sentido y variación en el tiempo.
- Si el sentido de circulación de la corriente eléctrica es siempre el mismo, se trata de una **corriente continua variable** en el tiempo. (Fraile Mora, 2012)

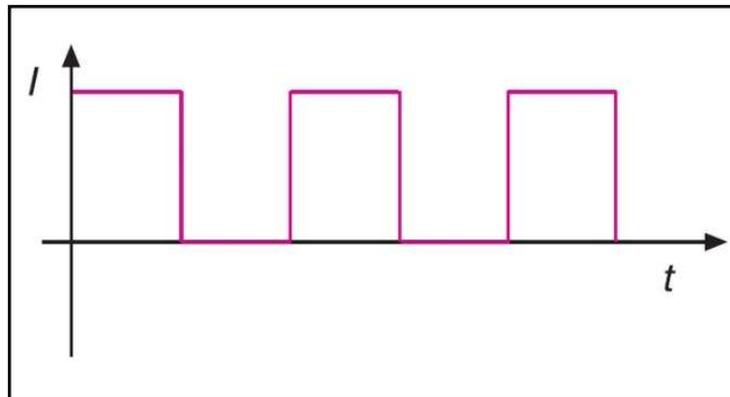


Figura 12. Corriente continua variable

Fuente: (Autores, 2022)

- Manteniendo un valor variable, y aun teniendo el mismo sentido, también es posible tener una corriente continua pero variable en el tiempo.

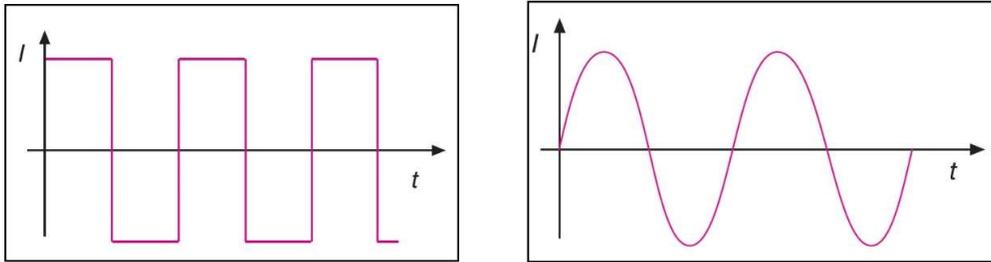


Figura 13. Corriente variable de pulsos y sinusoidal

Fuente: (Autores, 2022)

2.2.4 Potencia Eléctrica

La potencia de forma general es un parámetro utilizado para indicar la cantidad de trabajo necesario en la unidad de tiempo y es aplicable a cualquier sistema. Es decir, si se lo analiza dentro de los equipos eléctricos como por ejemplo un motor de gran tamaño, este desarrollará más potencia que un motor pequeño porque es capaz de transformar una mayor dimensión de energía eléctrica a energía mecánica considerando la misma unidad de tiempo. La energía dentro de la física y para el estudio en general, se mide en [Nm] o [Joules (J)] y la unidad de tiempo en segundos [s], por lo tanto, la potencia tiene unidad en [J/s]. (BOYLESTAD, 2004).

Si este análisis se lo considera en un modelo matemático, se tiene lo siguiente:

$$1 \text{ Watt (W)} = \text{Joule/segundo (J/s)} \quad (4)$$

En forma de ecuación la potencia es determinada por:

$$P = \frac{W}{t} \quad (\text{watts, W o } \frac{\text{Joules}}{\text{segundo}}, \text{J/s}) \quad (5)$$

La unidad internacional de medida es el Watt, en honor al Ingeniero mecánico James Watt, quien fue participe en los estudios para estandarizar los sistemas de medida para la potencia. James fue quién dio el nombre de caballo de potencia (Horse Power - HP), haciendo relación al trabajo que puede entregar en promedio un caballo en transcurso de un día como tiempo, considerando este valor un poco más del 50% original que puede entregar en trabajo el animal promedio. El HP y los Watts están se pueden relacionar de la siguiente manera:

$$\text{Caballo de potencia (HP)} = 746 \text{ watts} \quad (6)$$

En un sistema eléctrico, para un equipo o máquina, la potencia que entrega o absorbe de la línea se puede calcular si se tiene conocimiento de la tensión eléctrica aplicada y la corriente que consume, considerando esto, esto se tiene lo siguiente:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Q \times V}{t} = V \left(\frac{Q}{t} \right) \quad (7)$$

Pero:

$$I = \frac{Q}{t} \rightarrow P = V \times I \text{ (watts)} \quad (8)$$

Considerando la ley de Ohm y sustituyendo, la potencia como educación se pueden escribir de la siguiente manera:

$$P = V \times I = V \left(\frac{V}{R} \right) = \frac{V^2}{R} \text{ (watts)} \quad (9)$$

O viene en función de corriente:

$$P = V \times I = (R \times I) \times I = R \times I^2 \text{ (watts)} \quad (10)$$

2.2.5 Frecuencia Eléctrica

Antes de definir la frecuencia eléctrica, es necesario tener claro el concepto de parámetros que lo determinan según (Perolini, 2007):

- **Período.** El periodo en la cantidad de tiempo que durará repetirse dos puntos establecidos de una onda. Su unidad de medida es el Segundo y se lo indica con la letra [T].
- **Ciclo.** Conjunto de valores paramétricos de una forma de onda dentro de un periodo.

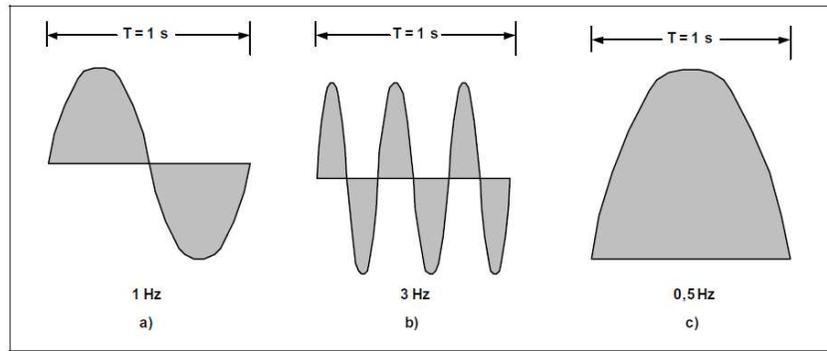


Figura 14. Distintos tipos de periodos

Fuente: (Perolini, 2007)

La frecuencia de la corriente alterna, es la cantidad de veces en el tiempo (segundos) que oscila una onda sinusoidal. De otra manera la frecuencia eléctrica es la cantidad de veces que cambia la dirección la corriente en 1 segundo. En el sistema internacional de medida se utiliza el **hercio (Hz)**.

Generalmente y dependiendo del sistema establecido, comúnmente se utilizan frecuencias entre los 50 y 60 Hz para generación, transmisión y distribución de energía y esto significa que la corriente eléctrica cambia de sentido entre los 50 y 60 veces al segundo.

Considerando un ejemplo sencillo: Si se tiene un sistema que indica una frecuencia de 5 Hz, esto indica que se repite la forma de onda 5 veces en 1 segundo. (Fluke, Fluke Corporation, 2022)

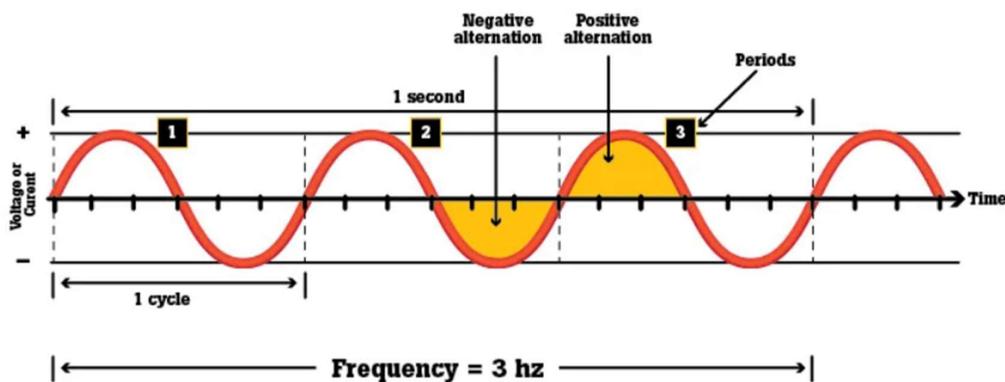


Figura 15. Frecuencia eléctrica

Fuente: (Fluke, Fluke Corporation, 2022)

2.2.6 Capacitancia eléctrica

Utilizada en diferentes circuitos para complementar funcionamientos y consiste en componentes que permiten almacenar energía eléctrica presentadas como cargas. Esta variable se define como la cantidad de carga almacenado relacionada con la tensión del circuito.

La unidad de medida de la capacitancia y en SI está establecida como **Faradios [F]**; en honor a Michael Faraday (1791-1867), físico inglés. (Fluke, Fluke Corporation, 2022)

Los condensadores o capacitores son componentes eléctricos que tiene la función de almacenar energía, y se los encuentra en el mercado en formas y tamaños diferentes dependiendo del uso. Están contruidos generalmente de placas con material conductor, cubiertas entre un material aislador como cerámica, vidrio, películas u otros materiales, también puede ser aire.

El material que funciona como aislante entre los conductores se conoce como dieléctrico y su función es aumentar la capacidad de carga. Como se indica ya anteriormente, a los capacitores también se los conoce con el nombre de condensadores, esto para el área de manufactura industrial, automotriz, aeronáutica, entre otros.



Figura 16. Capacitores diferentes formas

Fuente: (Fluke, Fluke Corporation, 2022)

Las placas ubicadas en el interior del capacitor, están conectadas a dos terminales externos, y son parecidas a pequeñas antenas o pines metálicos, siendo estos terminales diseñados para conectarse a un circuito en el que se utilizará el dispositivo. Se debe tener claro que los capacitores y las baterías cumplen la función de almacenar energía, manteniendo la diferencia que, en el caso de las baterías, éstas descargan energía de

manera constante de a poco, mientras que los capacitores liberan energía de inmediato. (Fluke, Fluke Corporation, 2022)

2.3 Características de cargas eléctricas

La carga eléctrica en un circuito, es el componente que ofrece menor o mayor resistencia a la circulación de la corriente, considerándose que, al conectarse a una diferencia de potencial, desarrolla un trabajo considerándose el consumidor de la energía eléctrica.

Consideraciones a estudiar de cargas eléctricas en un circuito:

- Cargas resistivas – Potencia activa o real
- Cargas Inductivas – Potencia Reactiva
- Cargas Capacitivas – Potencia Reactiva
- Diferencia entre potencia activa y reactiva
- Cargas Combinadas – Potencia aparente
- Factor, relación y triangulo de potencia

2.3.1 Cargas resistivas – Potencia activa o real

El circuito de la figura 17, está compuesto de una resistencia conectada a una fuente de energía eléctrica de AC. La tensión y la corriente eléctrica eficaz se representan con la letra [E] e [I] respectivamente, considerando que en la gráfica se observa un circuito netamente resistivo, los fasores de la tensión [E] y la corriente [I], se encuentran en la misma fase (17-b). Si se conecta un vatímetro (17-c) a la línea, dará una lectura $P = E \times I$ [Watts]. (WILDI, 2007)

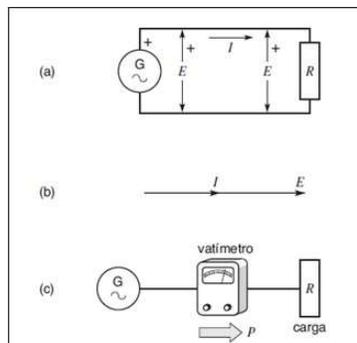


Figura 17. Carga resistiva, Fasores, Medición potencia

Fuente: (WILDI, 2007)

Para tener mayor claridad de lo que sucede en el circuito anteriormente indicado, se puede observar en la figura 18, las ondas sinusoidales correspondientes a $[E]$ e $[I]$, donde los niveles pico se obtiene por $\sqrt{2}E$ [V] y $\sqrt{2}I$ [A] respectivamente, ya que estos son valores eficaces.

Para referirse a la potencia activa ese utiliza la letra $[P]$ y la unidad de medida es el Watt [W], considerando los diferentes niveles que se maneja en función de la cantidad de demanda, se utiliza [KW], [MW], que son Kilowatts y Megawatt respectivamente. (WILDI, 2007)

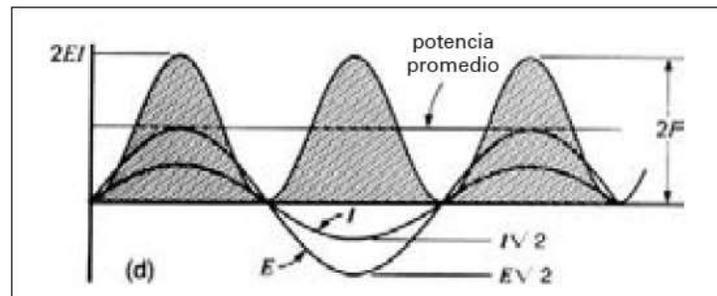


Figura 18. Grafica de la potencia activa

Fuente: (WILDI, 2007)

2.3.2 Cargas Inductivas – Potencia Reactiva

El circuito de la Figura 19, es igual que el anterior, ahora se tiene una carga inductiva, siendo $[X_L]$ una reactancia, y por tal motivo, el vector corriente $[I]$, tiene un retraso de 90° en referencia a la tensión $[E]$, ver 19-b. (Figura 20). (WILDI, 2007)

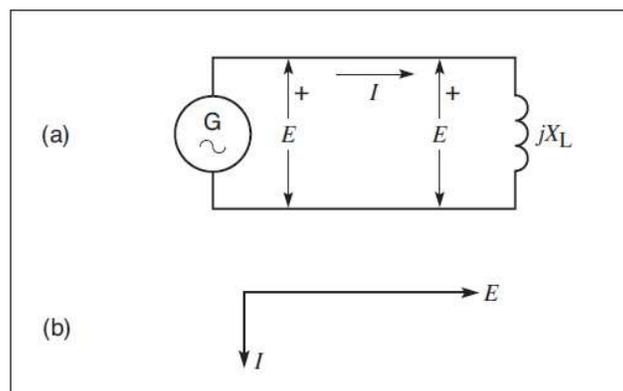


Figura 19. Potencia reactiva – Inductiva, fasores

Fuente: (WILDI, 2007)

Esta potencia producida por una reactancia, se la conoce como potencia reactiva y se la nombra con la letra [Q], y su unidad de medida es el [Var] que indica “Voltios amperios reactivos”, así mismo sus múltiplos son el KiloVar [KVar] y el MegaVar [MVar] y se pueden utilizar múltiplos de mayor cantidad como en [GVar]. (WILDI, 2007)

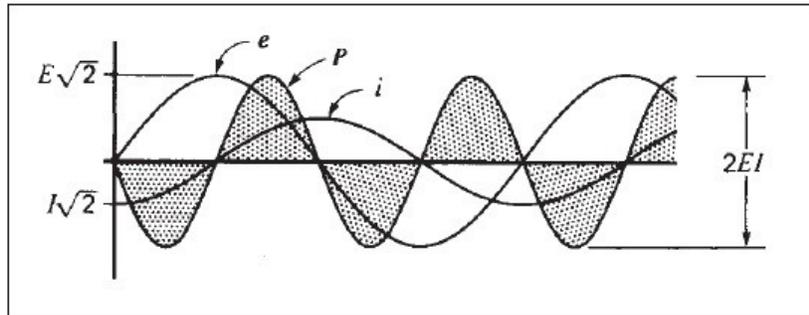


Figura 20. Grafica de la potencia reactiva – inductiva

Fuente: (WILDI, 2007)

Actualmente existen una variedad de instrumentos para medir este parámetro, pero para tener la idea es un varímetro el cual capta el producto de la tensión y corriente eficaz de una línea y el seno del ángulo que forman entre ellos. La lectura es únicamente posible cuando existe un ángulo entre estos dos parámetros, si este es cero o 180° , el valor registrado del vatímetro también es cero (WILDI, 2007)

2.3.3 Cargas Capacitivas – Capacitor y Potencia Reactiva

Cuando se habla de un circuito reactivo también se incluyen la existencia de un capacitor, el cual actúa como potencia reactiva.

En este caso un capacitor conectado a un circuito genera un desfase de 90° pero en adelanto de la corriente que lo circula, ver figura (21-b). Por tal motivo, el capacitor continúa actuando como fuente de potencia reactiva. (WILDI, 2007).

Los capacitores son muy utilizados en los circuitos para corregir el factor de potencia y optimizar la instalación.

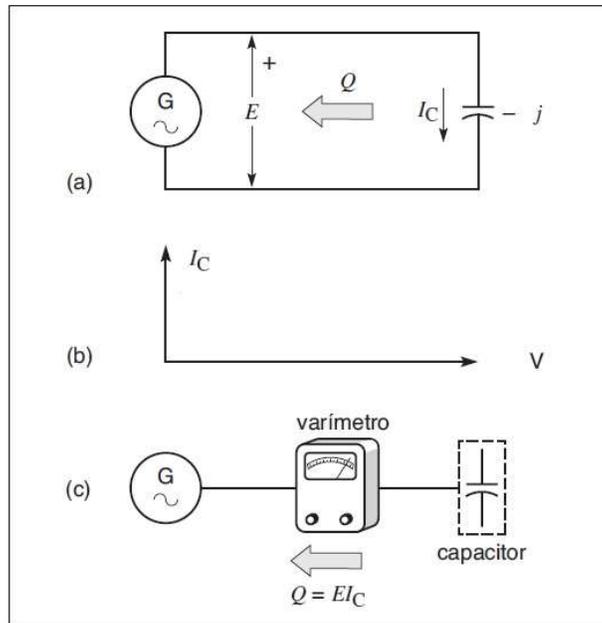


Figura 21. Carga Capacitiva

Fuente: (WILDI, 2007)

Si al conectarse un varímetro al circuito (Figura 21.c), este dará una lectura negativa, indicando que, la potencia reactiva va desde el capacitor hacia el generador o fuente de CA. En este caso, la fuente se comporta como una carga reactiva, por tal motivo se concluye que, una carga de tipo capacitiva siempre generará una potencia reactiva en el circuito (WILDI, 2007)

2.3.4 Diferencia entre potencia activa y reactiva

Para el funcionamiento de diferentes máquinas a base de energía eléctrica es necesario el uso del magnetismo, por ejemplo, motores eléctricos, transformadores para cargas inductivas y gran variedad de equipos electrónicos y bancos de capacitores para mejorar la eficiencia de una línea.

La potencia activa es la que se utiliza para el trabajo final, como por ejemplo potencia mecánica, calor, entre otros y la potencia reactiva es la utilizada por el circuito para el funcionamiento de la máquinas y sistema de generación, transmisión y distribución

Por ejemplo, la mayor cantidad de potencia activa se la puede considerar en un edificio o residencia donde generalmente se encuentran equipos en su mayoría que consumen este

tipo de potencia, y en para la potencia reactiva se puede encontrar más en el área industrial y proceso de un sistema eléctrico de potencia.

“Estos centros de carga están conformados por gran cantidad de motores y otros componentes cuyo funcionamiento está basado en el principio del electromagnetismo que absorben potencia activa y reactiva.” (WILDI, 2007)

2.3.5 Cargas Combinadas – Potencia aparente

En la figura 22, se observa un circuito con una fuente de energía CA, y conectados a ésta dos cargas representados por una resistencia y una reactancia. Cada una de las cargas absorbe una corriente, que se muestra como $[I_p]$ para la resistencia e $[I_q]$ para la reactancia.

La resistencia es una carga totalmente activa y la corriente y su corriente está en fase con la tensión aplicada, mientras que, en la reactancia, al ser una carga totalmente reactiva genera un desfase de 90° en atraso si es inductiva y 90° , y en adelante si es una carga capacitiva, en la Figura 22, de considera una carga inductiva ya que tiene atraso de 90° (22-b), la corriente de línea será la sumatoria vectorial de la $[I_p]$ e $[I_q]$, siendo el ángulo θ el desfase y la magnitud de $[I]$ está dada por la siguiente ecuación: (WILDI, 2007)

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (11)$$

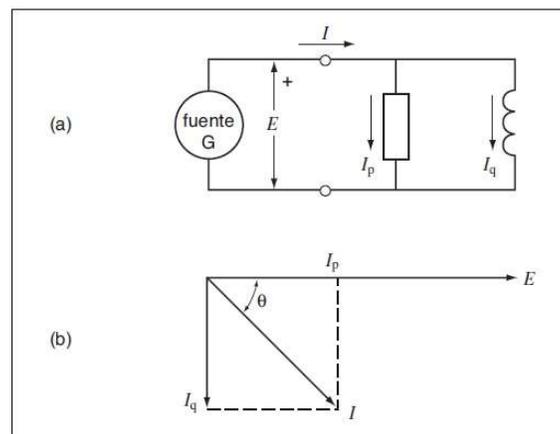


Figura 22. Cargas combinadas – Potencia aparente

Fuente: (WILDI, 2007)

Las corrientes de los componentes activos y reactivos circulan en la misma dirección, manteniendo el desfase indicado, si se conecta un Vatímetro y un Varímetro, se puede obtener los valores de estas potencias $[P]$ y $[Q]$ como se muestra en la Figura 23, y las potencias se expresan de la siguiente manera: $P = E \times I_p$ [Watts] y $Q = E \times I_q$ [Var].

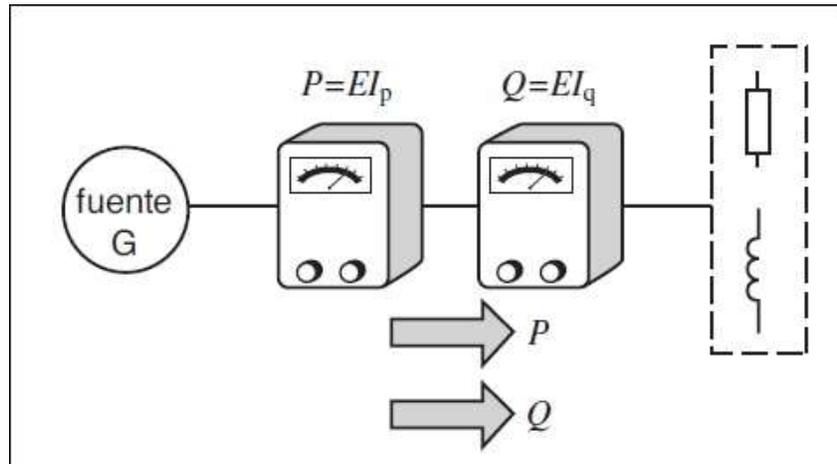


Figura 23. Medición de cargas combinadas

Fuente: (WILDI, 2007)

La potencia aparente es la sumatoria vectorial de la potencia activa y reactiva de un circuito, siendo esta la referencia de la energía total y en SI, se expresa en [VA], que quiere decir Voltios-Amperios y al igual que las otras potencias, se utiliza con múltiplos por la demanda, que son el Kilo voltios-amperios [KVA], el Mega voltios-amperios [MVA] y hasta el Giga voltios-amperios [GVA].

2.3.6 Relación entre Potencia activa, reactiva y aparente.

En la Figura 24, se observa un circuito monofásico con una fuente de energía y diferentes instrumentos de medida eléctrica como el Voltímetro, Amperímetro, Varímetro y Vatímetro, los cuales desarrollan la siguiente función:

- El Tensión eléctrica [V-Voltios], es medida por el voltímetro
- La Corriente eléctrica [A-Amperios], es medida por el amperímetro
- La potencia activa [W-Watts], es medida por el Vatímetro

- La potencia reactiva [Var - Var], es medida por el Varímetro

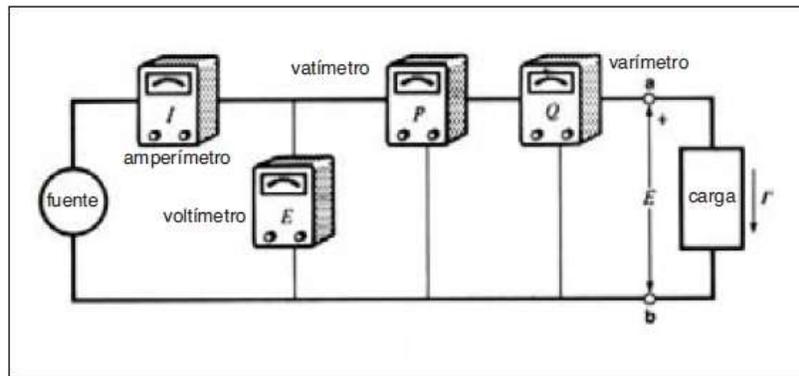


Figura 24. Instrumentación para medir E, I, Q y P

Fuente: (WILDI, 2007)

De acuerdo a la figura 25, se representa el diagrama fasorial de variables eléctricas resultantes por el consumo del circuito de la Figura 24, se tiene una corriente [I] con su ángulo de desfase θ respecto a la tensión aplicada, esta corriente es la sumatoria vectorial de [Ip] e [Iq] potencia activa y reactiva respectivamente, que es absorbida por la carga. Los parámetros de [Ip] e [Iq], los registra el instrumento directamente.

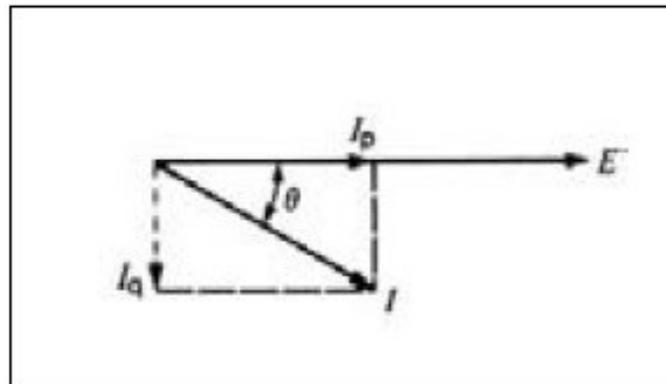


Figura 25. Diagrama fasorial – lecturas de instrumentos

Fuente: (WILDI, 2007)

$$I = P/E \quad (12)$$

$$I = Q/E \quad (13)$$

La potencia aparente es la potencia total del circuito representada por la letra [S] y está dada por la siguiente expresión matemática [S = E x I], por lo que:

$$I = S/E \quad (14)$$

De acuerdo con el diagrama fasorial de la Figura 25, es claro que:

$$I^2 = I_p^2 + I_q^2 \quad (15)$$

Por consiguiente:

$$\left[\frac{S}{E}\right]^2 = \left[\frac{P}{E}\right]^2 + \left[\frac{Q}{E}\right]^2 \quad (16)$$

Es decir:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (17)$$

De donde se establece:

- S → Potencia Aparente, SI → [VA]
- P → Potencia Activa → [W]
- Q → Potencia Reactiva → [var]

De la misma manera es posible determinar el ángulo $[\theta]$, porque el valor de la tangente del ángulo $[\theta]$ se lo determina por $[I_q/I_p]$, y se tiene lo siguiente:

$$\theta = \arctan \frac{I_q}{I_p} = \arctan \frac{Q}{P} \quad (18)$$

2.3.7 Factor de potencia (FP)

El factor de potencia o de carga, se determina como la relación que hay entre la potencia útil y la potencia total que absorbe el circuito, es decir la potencia activa y potencia aparente:

$$\text{Factor de potencia} = P/S \quad (19)$$

Considerar:

P = Potencia activa absorbida por el circuito [W]

S = Potencia aparente absorbida del circuito [VA]

El valor obtenido en esta relación es adimensional, es decir no tiene unidad de medida e indica un valor de 0 a 1, utilizado también como porcentual. Teniendo en cuenta que la potencia activa nunca sería más grande que la potencia aparente, se concluye que el factor de potencia indica la cantidad de potencia utilizable en referencia a la absorbida por el sistema para entregar la potencia a usar". (WILDI, 2007)

$$\text{Factor de potencia} = \frac{P}{S} = \frac{EI_p}{EI} = \frac{I_p}{I} = \cos \theta \quad (20)$$

Por consiguiente,

$$\text{Factor de potencia} = \cos \theta = P/S \quad (21)$$

Considerando:

Factor de potencia: Relación entre P/S

θ : Ángulo de desfase de la corriente en referencia a la tensión aplicada

2.3.8 Triángulo de potencia

La identidad $S^2 = P^2 + Q^2$, determinada en la ecuación 17, se asimila directamente con el análisis de un triángulo rectángulo por su similitud con la expresión del teorema de Pitágoras. Por tal motivo, es posible realizar la demostración gráfica de la relación existente entre los valores de [P], [Q] y [S], representado en un triángulo de potencias ya que están formados respectivamente. Para ello, se aplica las siguientes especificaciones:

- 1) La potencia activa \rightarrow [P] se considera sentido positivo y se grafica horizontalmente hacia la derecha por estar en fase con la corriente eléctrica.
- 2) La potencia activa \rightarrow [P] se considera sentido negativo y se grafica horizontalmente hacia la izquierda, por estar en fase y sentido contrario con la corriente eléctrica.
- 3) La potencia reactiva [Q] se considera sentido positivo y se grafica verticalmente hacia arriba, por estar desfasada con 90° en aumento referente a la corriente eléctrica.

- 4) La potencia reactiva [Q] se considera sentido negativo y se grafica verticalmente hacia abajo por estar desfasada con 90° en aumento y sentido contrario referente a la corriente eléctrica.

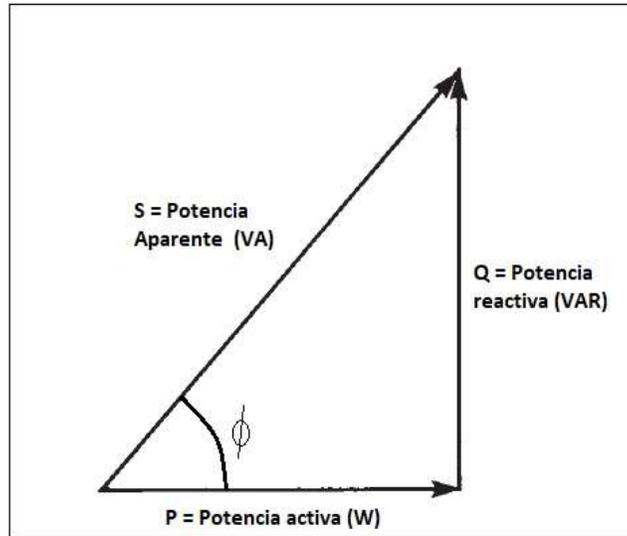


Figura 26. Triángulo de potencia

Fuente: (Autores, 2022)

En la Figura 26, se muestra un ejemplo sencillo del triángulo de potencias, de acuerdo con las especificaciones anteriores, las componentes de potencia [P], [Q] y [S] se observan como elementos fasores, pero este no es realmente, sino un método de interpretación resumida para el análisis general. “El aplicativo del triángulo de potencias es únicamente utilizado para el análisis y resumen de un circuito o sistemas con diferentes cargas de tipo activas y reactivas.” (WILDI, 2007).

2.4 Motores eléctricos

En la gran mayoría de actividades industriales y comerciales es necesario la potencia mecánica para mover distintos procesos productivos, maquinaria y equipos diversos, como por ejemplo transportadores, motobombas, escaleras automáticas, ascensores, taladros, compresores de aire o refrigeración, es decir, una cantidad de aplicaciones en el uso general que necesiten de movimiento. Actualmente a forma más sencilla de obtener movimiento es mediante un **motor eléctrico**. (BUN-CA, 2009)

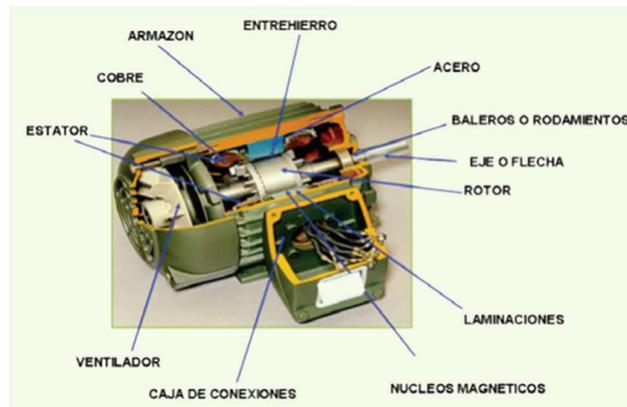


Figura 27. Motor eléctrico y sus partes

Fuente: (BUN-CA, 2009)

Los motores eléctricos fueron diseñados para transformar la energía eléctrica de un sistema a energía mecánica para uso en sistemas que necesiten movimientos.

Tienen como ventajas los altos rendimientos que se pueden obtener de estos equipos, si se considera motores relativamente pequeños (por ejemplo 1 HP), su rendimiento puede estar por el 80% más o menos, pero en el caso de motores grandes en referencia de potencia, pueden llegar por el 96%.

Si se hace una relación de los tipos de motores existentes en la actualidad, se puede verificar que la eficiencia de un motor eléctrico es mucho mayor que uno de combustión interna equivalente, en este caso como ejemplo un motor de Diesel no supera el 40% de eficiencia en su funcionamiento, considerando además que los eléctricos son más sencillos de controlar, mantenimientos más económicos, son silenciosos y menos contaminantes. (BUN-CA, 2009)

2.4.1 Funcionamiento de un motor eléctrico

El principio de funcionamiento de un motor eléctrico está basado en magnetismo y esta conformado por dos partes principales que son el estator y el rotor:

- **Estator – parte fija.**

Esta parte como su nombre lo indica es fija, no se mueve, y aquí se encuentra las bobinas construidas por alambre generalmente de cobre, alojadas en un núcleo de hierro perfectamente dispuesto para que en el interior gire la otra parte llamada rotor, suele tener la carcasa para asegurar el motor eléctrico en el punto de trabajo, ver (Figura 28).

El estator es el encargado de desarrollar un campo magnético rotatorio por el paso de la corriente eléctrica a través de las bobinas, estas bobinas están uniformemente distribuidas en un núcleo de material Ferro-magnético para inducir el movimiento al rotor del motor.



Figura 28. Estator – parte fija

Fuente: (BUN-CA, 2009)

Las bobinas están formadas por arrollamientos de cables con N vueltas dispuestas en el núcleo de hierro de tal manera que forman polos cuando hay circulación de corriente, estos polos permiten el giro del rotor por efecto de atracción y repulsión.

El campo magnético giratorio, induce al rotor una fuerza axial desarrollando un torque, el cual es transmitido a la máquina aprovechando tal movimiento. (BUN-CA, 2009)

- **Rotor - parte móvil.**

Esta parte es la que tiene en sí el movimiento necesario para acoplar al sistema que se necesite, esta parte es desplazada por efecto del campo magnético generado por el estator, su velocidad depende directamente de los números de polos que está construido el motor, la frecuencia de la tensión aplicada y se mide en revoluciones por minuto [RPM].

“El rotor se encuentra apoyado entre rodamientos que están acoplados al estator de manera centrado que pueda girar libremente, manteniendo el mínimo espacio entre estator y rotor, tal espacio es constante y se lo llama entrehierro.” (BUN-CA, 2009)

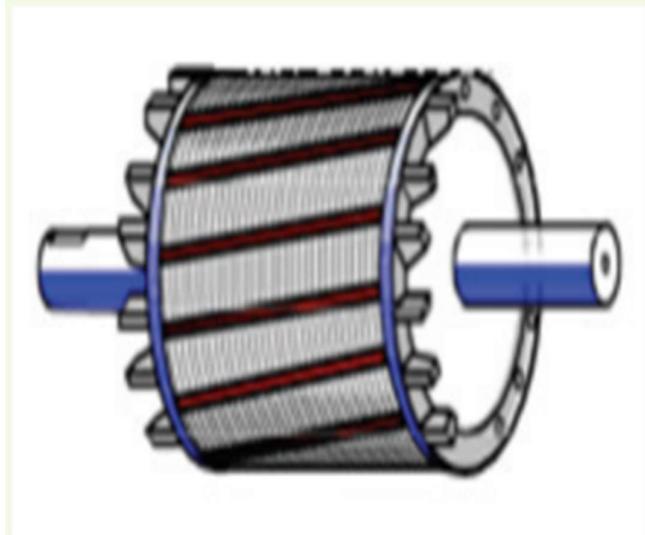


Figura 29. Forma de un rotor de un motor eléctrico

Fuente: (BUN-CA, 2009)

2.4.2 Motores eléctricos en base al tipo de corriente (AC/DC)

La generación de la energía eléctrica a nivel de potencia es en corriente alterna [AC], ya que presenta mejores ventajas para su utilización, sin embargo, actualmente se utiliza de muchos equipos de automatización los cuales están formados por componentes, que necesariamente utilizan corriente directa [DC], por tal motivo existen motores para funcionar con estos dos tipos de corriente.

- **Motores de corriente directa o continua**

Los motores de corriente continua son muy necesarios para aplicaciones donde se necesite tener un control preciso de movimientos, el cual permita variar velocidades, torques y demás parámetros de funcionamiento de acuerdo a la necesidad. Generalmente contienen imanes permanentes, en ciertos casos estatores y rotores bobinados y mediante un colector y escobillas se suministra voltaje para el funcionamiento del mismo. (BUN-CA, 2009)

Una desventaja es que tienen un límite de potencia su uso, generalmente se implementan para control y necesitan convertidores de corriente de AC/DC, controladores para los parámetros de automatización como variadores de velocidad, posición y torque, entre otros dispositivos para su funcionamiento.

- **Motores de corriente alterna: Síncronos y asíncronos**

Ese tipo de motores se dividen en dos grupos que son los motores síncronos y los asíncronos, y son del mayor uso debido a su aplicación sin límite de potencia y pueden funcionar directamente con corriente alterna y arranques sencillos. Otra ventaja es que no requieren de la conversión de AC/DC, implicando también ser de menor costo su aplicación, actualmente también se utilizan arrancadores de alta eficiencia y control como son los variadores de frecuencia para aplicaciones prácticas.

La diferencia principal de un motor eléctrico síncrono y asíncrono es que el primero el rotor gura a la misma velocidad del campo magnético del estator, en cambio en el asíncrono, hay un ligero desfase de velocidad generado por la carga del motor y se le conoce como deslizamiento. (BUN-CA, 2009).

La velocidad angular del campo magnético generado por el estator de un motor eléctrico en revoluciones por minuto (r.p.m.), se define como:

$$N = \frac{120 \times f}{P} \quad (22)$$

F: Frecuencia de la tensión eléctrica

P: Cantidad de polos del bobinado del estator

N: Velocidad angular en RPM.

La velocidad angular del campo magnético de un motor está dada por la cantidad de polos magnéticos que está formado, es decir, a mayor cantidad de polos del motor, su velocidad angular es menor.

La Tabla 2, muestra la velocidad angular del campo magnético en referencia a la cantidad de polos considerando una frecuencia de la línea de 60 Hz. (BUN-CA, 2009).

Tabla 02. Cantidad de polos y velocidad de sincronía de motores

Número de polos	2	4	6	8	10	12
Velocidad en r.p.m.	3600	1800	1200	900	720	600

Fuente: (BUN-CA, 2009)

Es posible calcular la potencia de un motor eléctrico, cuando se dispone como dato del torque y la velocidad angular del mismo, dada por la ecuación siguiente:

$$Potencia = \frac{Torque \times Rpm}{K} \quad (23)$$

“La potencia que entrega el motor eléctrico se la expresa en [HP], o su referencia en [KW], considerando la constante K un valor de 7,124, sí el torque [T] está en [Nm].” (BUN-CA, 2009).

Tener en cuenta que, cuando en la placa del fabricante del motor la potencia está dada en [HP], se refiere a la potencia mecánica que entrega el motor en el eje, mas no la absorbida por la línea, para hacer referencia a esto último el fabricante indica la potencia en [KW]

2.4.3 Aspectos técnicos en los motores

- **Energía perdida en un motor**

El motor eléctrico es una máquina, y como tal para funcionar necesita absorber energía, y para transformar se invierte un porcentaje representado por calor, efecto Joule, generado por calentamiento de bobinas por el paso de corriente eléctrica, calentamiento de entrehierro y otras pérdidas que se consideran. Ver (Figura 30).

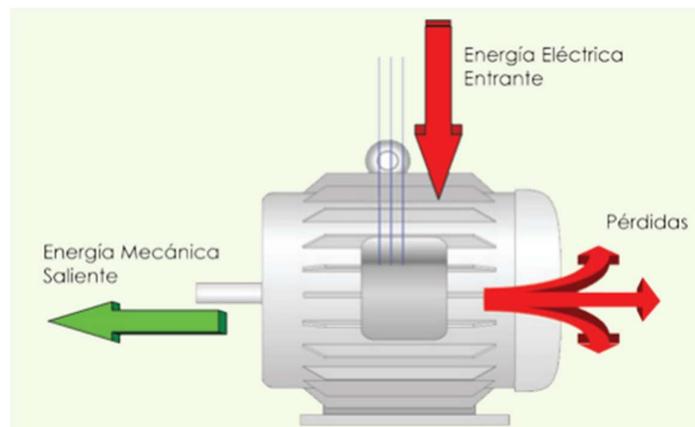


Figura 30. Pérdidas de un motor eléctrico

Fuente: (BUN-CA, 2009)

Las pérdidas se pueden considerar a más de lo antes indicado, también de la carga que está sometido en motor a la máquina que asiste ya que, en función de la carga, las pérdidas

aumentan, y esto depende directamente de su diseño, materiales, construcción y calidad del fabricante.

En la siguiente tabla (Tabla 03), se observa una referencia de porcentajes de pérdidas en base a la carga del motor con una velocidad angular de 1800 r.p.m.

Tabla 03. Distribución típica de pérdidas de un motor abierto

TIPOS DE PERDIDAS	POTENCIA DEL MOTOR EN HP		
	25	50	100
Estator	42%	38%	28%
Rotor	21%	20%	18%
Núcleo	15%	14%	13%
Ventilación y Fricción	7%	10%	14%
Adicionales	15%	18%	27%
Total	100%	100%	100%

Fuente: (BUN-CA, 2009)

- **Eficiencia/Rendimiento de un motor eléctrico.**

La eficiencia para el análisis de un motor esta dado por la relación entre la potencia mecánica o entregada al eje (La que entrega el motor para el uso) y la potencia eléctrica o absorbida por la línea (Potencia absorbida por el motor).

Esto es muy importante cuando se adquiere un equipo, ya que está ligado directamente con el consumo de energía La eficiencia como modelo matemático, está dada por la siguiente ecuación:

$$Eficiencia (\%) = \frac{P_m}{P_a} \quad (24)$$

$$Eficiencia(\%) = \frac{P_a - P_p}{P_a} \quad (25)$$

- **[P_m]:** Potencia mecánica de salida
- **[P_a]:** Potencia absorbida por el motor
- **[P_p]:** Potencia perdida.

La eficiencia es un valor adimensional, comprendido entre 0 y 1, siendo el valor más eficiente (1), y en este caso, las pérdidas serían cero y se consideraría una máquina ideal, cosa que en la práctica aún no existe.

“En la industria de fabricación de motores eléctricos, los que desarrollan se centran actualmente en construir motores de alta calidad mejorando los materiales y procesos de producción.” (Chapman, 2012)

- **Aislamiento del motor**

En un espacio de temperatura ambiente es muy importante la potencia y dimensión del motor, considerando que el valor de la temperatura en el ambiente de trabajo influye directamente en u aumento permisible de temperatura arriba de los 40° C, incide en gran cantidad la clase de aislamiento.

Considere el ejemplo, que un motor trabaja dentro de un ambiente de 75° C, aplicando una clase de aislamiento B, este experimenta una a 55°C de temperatura. Si el mismo motor, trabajara en un ambiente 40°C, es posible que se permita un aumento de temperatura de 90° C, sin que se vea afectado su aislamiento. (BUN-CA, 2009)

2.4.4 Condiciones de operación

- **Efectos por la calidad del suministro de energía eléctrica.**

Los motores se diseñaron para que trabajen una tensión y frecuencia determinados y su operatividad será satisfactoria siempre y cuando la tensión y frecuencia de la línea no tenga variaciones que superen los rangos específicos, establecidos por el fabricante. (BUN-CA, 2009)

- **Factor de carga.**

La potencia nominal detallada en la placa de un motor eléctrico (HP), indica la potencia mecánica entregada por el eje del motor, siendo el factor de carga un índice porcentual relacionando la potencia de trabajo real con la potencia diseñada para entregar.

Como ejemplo, considere un motor eléctrico de potencia nominal de placa de 100 HP, pero debido a la carga este únicamente está entregando 75 HP, entonces el factor de carga será de 75%. (BUN-CA, 2009).

- **Factor de potencia del motor eléctrico.**

Todo circuito que se tiene una reactancia, existirá un factor de potencia, el cual ya fue explicado anteriormente, el motor eléctrico es una carga inductiva por lo que necesitan de la inducción electro-magnética para funcionar, generalmente este factor de potencia es no menor al 90%, y disminuye con el factor de carga. (BUN-CA, 2009)

- **Perfil de carga.**

Los parámetros que se maneja en un motor eléctrico dependen de la carga al cual está conectado el motor, es decir si la carga es variante, los parámetros de corriente, campo magnético, deslizamiento, torque y demás también varían en función, por lo que los motores están diseñados para los diferentes tipos de carga que trabajaran en su ciclo de vida. (BUN-CA, 2009)

- **Factor de servicio.**

Se conoce como un indicador de la cantidad de carga adicional que se puede exigir a un motor en operaciones normales.

Por ejemplo, el valor de 1.15 significa que el motor puede trabajar hasta el 115%; pero es necesario tener en cuenta, que el motor no debe trabajar continuamente sobrecargado, este factor debe entenderse como un valor adicional que posiblemente se ocuparía en un momento especial de trabajo, es así, que un motor con sobrecarga, absorbe mayor corriente eléctrica para la que la diseñado e incide directamente en un calentamiento de mayor valor y reduciendo de manera notable la vida útil, adicional, su eficiencia se reducirá. (BUN-CA, 2009)

2.5 Transformadores eléctricos

Es una máquina eléctrica de tipo estacionaria que, su función es cambiar los parámetros de tensión manteniendo fija la frecuencia y potencia si se analiza de manera ideal, pero como es el caso de toda máquina, en el proceso de conversión tiene pérdidas de energía en forma de calor.

Para lograr la conversión de parámetros, utiliza el principio de funcionamiento electromagnético, construido con un núcleo ferromagnético y bobinas arrolladas en dos grupos para ingreso y salida de tensión transformada. (Milena Pérez, 2018)

Si se detalla más a fondo la construcción de estos equipos, generalmente están diseñados con dos bobinados, que se les llama como primario y secundario, con alambres de cobre generalmente arrollados a un núcleo de hierro (Figura 31). El devanado primario [N1] es aquel donde ingresa la tensión, es decir se conecta a la fuente de alimentación para ser transformada, y el secundario [N2] donde sale la tensión ya transformada, es decir se conecta a la carga, como se verifica en la figura 31, (Pozueta Rodríguez, 2018)

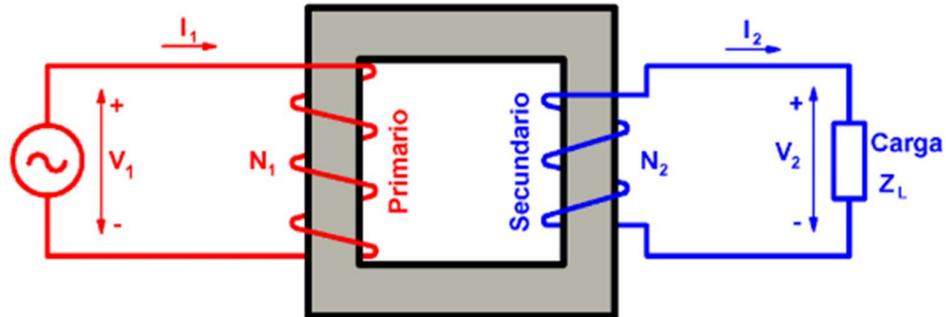


Figura 31. Principio de funcionamiento de un transformador monofásico

Fuente: (Pozueta Rodríguez, 2018)

Si se conecta una tensión eléctrica de AC en [V1] en el circuito primario, se genera una circulación de corriente dando lugar a un flujo magnético variable en el núcleo de hierro, el cual, por efecto de la ley de Faraday, induce en el bobinado secundario una fuerza electromotriz (f.e.m.) y debido a la cantidad de vueltas del bobinado secundario, da lugar a una tensión [V2] en los terminales de conexión del secundario.

Esta es la forma para realizar transformaciones de parámetros eléctricos en valores de tensión manteniendo la frecuencia de la línea, adicional, se debe tener en cuenta que es necesario exista un flujo variable para que haya transformación, es decir si se conecta a una fuente de corriente continua DC, esta máquina no funciona y puede incurrir en daños.

En los transformadores, al hablarse del primario y secundario son referenciales y va a depender del uso que se dé al equipo, generalmente el primario es AT (lado de alta) y el secundario es BT (Lado de baja), para los transformadores elevadores esto se invierte la referencia. (Pozueta Rodríguez, 2018)

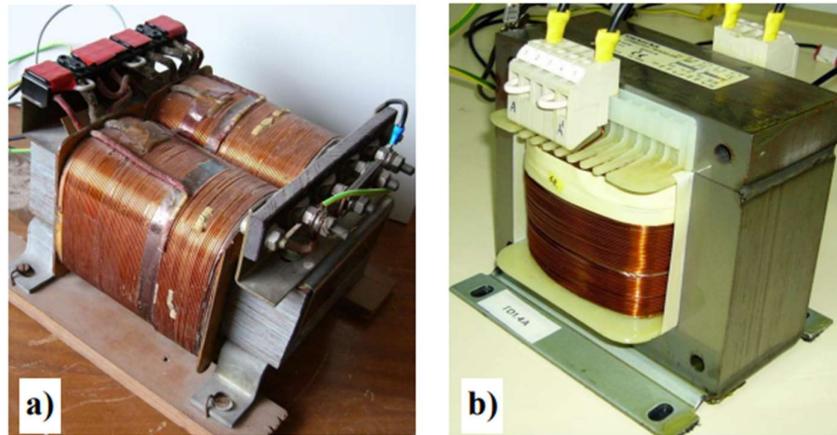


Figura 32. Transformadores monofásicos. a) De columnas, b) Acorazado

Fuente: (Pozueta Rodríguez, 2018)

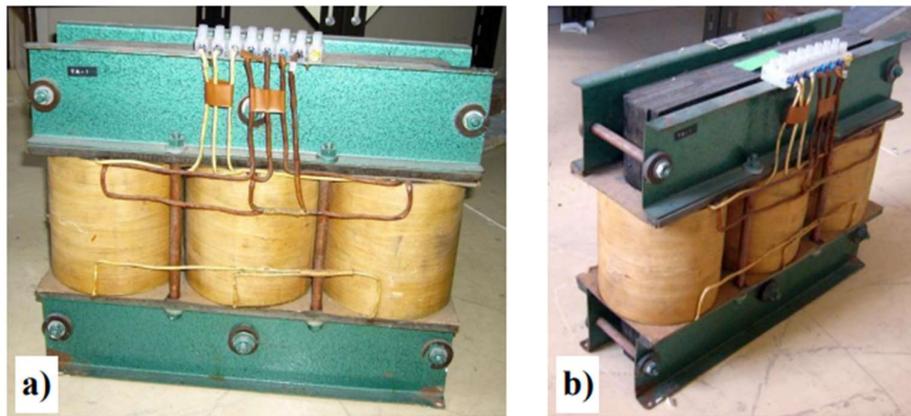


Figura 33. Transformadores trifásicos de 3 columnas a y b

Fuente: (Pozueta Rodríguez, 2018)

Un transformador es una máquina reversible, es decir se puede alimentar de una fuente tanto del lado de alta como baja y se utiliza tanto como elevador de tensión, así como reductor, utilizada sobre el los sistemas eléctricos de potencia, para la transmisión como elevadores y para distribuir como reductores. (Pozueta Rodríguez, 2018)

2.5.1 Base de funcionamiento de un transformador eléctrico

La base del funcionamiento de un transformador eléctrico está en la inducción electromagnética descubierta en 1830, por Michael Faraday y Henry, así como en el caso de los motores eléctricos con la diferencia que estas son máquinas estacionarias.

, este estudio definió que: “Al tener un circuito cerrado dentro de un campo magnético, el flujo variable, se determina integrando matemáticamente la componente normal del valor de la densidad de campo magnético [B] con un diferencial de área [dS]”, Ver Figura 34. (Milena Pérez, 2018):

$$\phi = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (26)$$

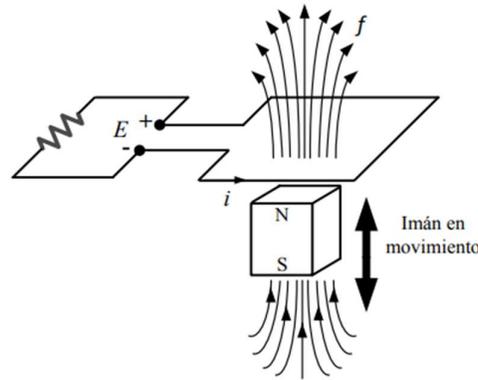


Figura 34. Explicación ley de inducción

Fuente: (Milena Pérez, 2018)

El flujo al ser un valor variable dependiente del tiempo, se induce una diferencia de potencial [E] que es directamente proporcional a la velocidad con la que varí del flujo magnético de acuerdo a la ecuación 17:

$$E = - \frac{d\phi}{dt} \quad (27)$$

El sentido de la tensión inducida tiende a establecer una corriente, misma que se opone a la variación del flujo que la produce.

Por ejemplo, en la Figura 35, aplicando el principio mencionado anteriormente, en el primario existe una bobina con N1 vueltas en su devanado y resistencia eléctrica del cobre despreciable por ahora, esta bobina esta arrollada a un núcleo de hierro, sobre este mismo núcleo se arrolla un segundo bobinado con N2 vueltas y resistencia despreciable, siendo el valor de tensión total en el bobinado dependiendo el voltaje inducido por en número de vueltas del secundario (Milena Pérez, 2018)

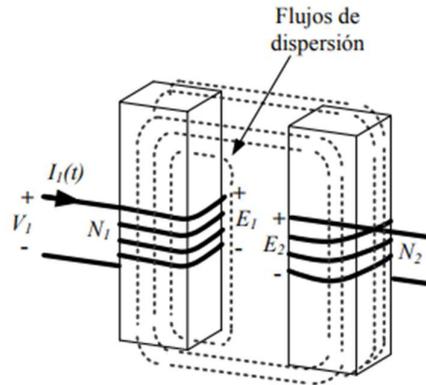


Figura 35. Fenómeno de inducción electromagnética entre conductores

Fuente: (Milena Pérez, 2018)

Al circular una corriente de tipo AC, $[I_1]$ por el devanado 1, se genera un flujo $[\phi_1]$, y este induce una diferencia de potencial en el mismo devanado dada por:

$$E_1 = [-N_1 \frac{d\phi_1}{dt}] \quad (28)$$

Y en la bobina $[N_2]$, se tiene:

$$E_2 = [-N_2 \frac{d\phi_2}{dt}] \quad (29)$$

2.5.2 Características constructivas del transformador

Un transformador de corriente alterna está formado principalmente por 2 devanados, que son arrollamientos de alambres generalmente de cobre y un núcleo de Hierro ferromagnético en común (Milena Pérez, 2018)

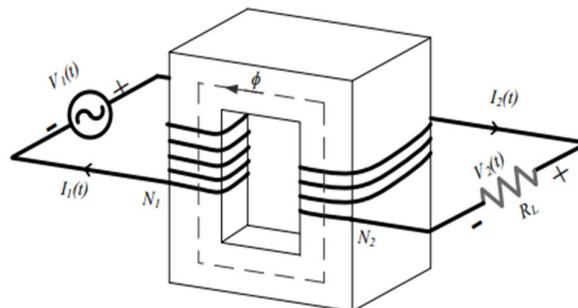


Figura 36. Configuración básica de un transformador con núcleo ferromagnético

Fuente: (Milena Pérez, 2018)

Como parte complementaria a los componentes antes mencionados, también están los aislantes utilizados para los diferentes tipos de transformadores como el papel, aceites dieléctricos o vegetal, terminales de conexión, dispositivos de protección, medidas, etc. (Milena Pérez, 2018). A continuación, se detallan:

- **El circuito magnético.**

Dentro de esto se hace lo principal el entrehierro, el cual este fabricado con materiales especial de tipo magnéticos para una mejor inducción del flujo que genera el devanado, este no es macizo, sino por temas de disipación de calor son chapas aisladas para evitar un calentamiento excesivo del transformador por efecto Joule en masa. (Milena Pérez, 2018)

- **Las bobinas o devanados**

Las bobinas o devanados se construyen con materiales conductores, generalmente de cobre o aluminio, la forma del conductor puede variar dependiendo el diseño, pero generalmente son de forma circular, laminas delgadas o rectangular. Al igual que los motores eléctricos la eficiencia dependen de la calidad de materiales y tecnologías de los fabricantes. (Milena Pérez, 2018)

- **Aislamiento.**

Esta es una de las partes indispensables del transformador, ya que se encarga de mantener separado las diferencias de potencial existentes en el transformador, que pueden ser las tensiones generadas en las bobinas o respecto a tierra del equipo, parte de la vida útil del equipo.

Suele utilizarse papel o aceites dependiendo la potencia y diseño de la máquina, considerando el papel, este suele ser fabricado con fibras vegetales en láminas, cumpliendo con la función de aislar las bobinas entre ellas para evitar contacto, el núcleo y los otros componentes internos del transformador.

El papel deber cumplir como característica principal un alto nivel de rigidez dieléctrica, con el objetivo de delimitar el campo eléctrico y evitar daños. (Milena Pérez, 2018)

- **Métodos de refrigeración**

Los métodos pueden variar, por ejemplo, líquido refrigerante (O) o aceite mineral, también sistemas de enfriamiento por agua o aire con algunos mecanismos de circulación para refrigerar de manera natural o forzado.

El aceite se lo utiliza aparte de ser un buen aislante, también como método de refrigeración, ya que al ser un fluido, este puede transportar el calor generado por el equipo y así enfriarlo, generalmente se utiliza la letra [O-Oil], cuando es enfriado por aceite, [A-Air], para aire con la letra [N-Natural], y cuando a esto se le añade mecanismos de refrigeración como bombas o ventiladores, se le agrega las letras [F-Forze], por ejemplo, un transformador ONAN, quiere decir enfriamiento natural por aceite, y aire natural, si se tiene ONAF; sería enfriamiento natural por aceite y forzado por aire, es decir con ventiladores, existen normativas para aplicar estos conceptos dependiendo el tipos de transformador (Milena Pérez, 2018)

2.5.3 Clasificación de transformadores

Existe una gran variedad de transformadores aplicables para diferentes sistemas y ambientes como por ejemplo el área comercial, industrial y residencia entre otros, a continuación, se menciona los siguientes. (Cosmos, 2022):

Tipo en base a su operación:

- Transformadores de potencia trifásico (Valores mayores a 500 KVA)
- Transformadores de distribución (Valores que van de 5 a 500 KVA)



Figura 37. Transformador de potencia

Fuente: (Cosmos, 2022)

Tipo de acuerdo a su sistema de enfriamiento:

- Transformadores Industriales Secos (Sin aceite)
- Transformadores Industriales Húmedos (Con aceites)

Tipo por número de fases:

- Transformadores monofásicos (1F - Monofásico)
- Transformadores trifásicos (3F - Trifásico)

Tipos por diseño y utilización:

- Transformadores para poste (Intemperie distribución media y baja tensión)
- Transformadores tipo pedestal o Padmounted (Intemperie o interiores)
- Transformadores tipo sumergibles
- Transformadores de aislamiento
- Transformadores de potencia (Alta tensión – Subestaciones)
- Transformadores tipo Auto-protegidos
- Transformadores tipo herméticos

2.5.4 Aplicaciones de los transformadores industriales

Los transformadores son utilizados en todos los lugares que necesiten de un sistema de energía eléctrica para suministro en lugares comerciales, industriales y residenciales, prácticamente son base desde la generación hasta la distribución, a continuación, una reseña de sus usos. (Cosmos, 2022):

- Transformadores industriales para uso en Edificios
- Transformadores industriales para uso en Almacenes
- Transformadores industriales para uso en Talleres
- Transformadores industriales para uso en Centros comerciales
- Transformadores industriales para uso en Hospitales
- Transformadores industriales para uso en Hoteles
- Transformadores industriales para uso en Laboratorios
- Transformadores industriales para uso en Industrias



Figura 38. Transformador de potencia en subestación

Fuente: (Cosmos, 2022)

2.5.5 Algunas capacidades de transformadores industriales

La potencia de los transformadores industriales va de acuerdo a la aplicación que se tenga y actualmente en el mercado, existen una gran variedad en base a las capacidades (Cosmos, 2022):

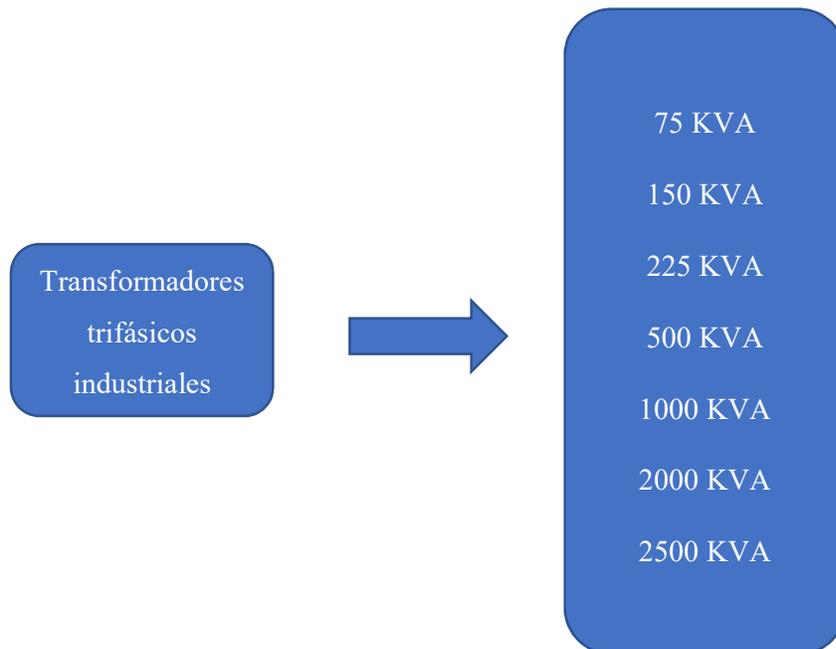




Figura 39. Transformador tipo Padmounted

Fuente: (Cosmos, 2022)

2.6 Sistemas de refrigeración

La palabra refrigeración quiere decir enfriar o bajar la temperatura de un cuerpo mediante transferencia de calor, es decir extraer y transportar esta energía de un espacio hasta otro, de esta manera, el espacio al que se le sustrae calor se enfría.

Los sistemas de refrigeración fueron diseñados para mantener la temperatura de un proceso al que se necesite mantener dentro de rangos específicos para su funcionamiento.

Para hacer posible el enfriamiento, este proceso conlleva diferentes maneras para lograrlo, por tal motivo se utiliza actualmente dos tipos de sistemas, por compresión que es el más común y por absorción, que se refiere a un caso especial. (Arnabat, 2022)

2.6.1 Proceso de refrigeración por compresión

Este proceso es el más habitual y de mayor uso a nivel general encontrándose en lo más básico como en una residencia, por ejemplo, en el aire acondicionado de una habitación, así como en sistemas más complejos y de mayor capacidad como en la industria para mantener los productos terminados.

El funcionamiento básico de este proceso está basado en la termodinámica de un gas refrigerante, que al ser sometido a presiones puede extraer calor y transportarlo. Para en funcionamiento se considera la potencia mecánica de un compresor, el cual eleva la presión del gas refrigerante hacia un condensador que emite un calor y posterior con una válvula de expansión permite que el gas se evapore y pueda extraer el calor, y finalmente este gas a presión baja vuelva al compresor y continúe el ciclo.

Es decir, como resumen este proceso de refrigeración cumple cuatro ciclos que son la compresión, condensación, expansión y evaporación y posterior se repite el ciclo continuamente. Ver Figura 40. (Arnabat, 2022).

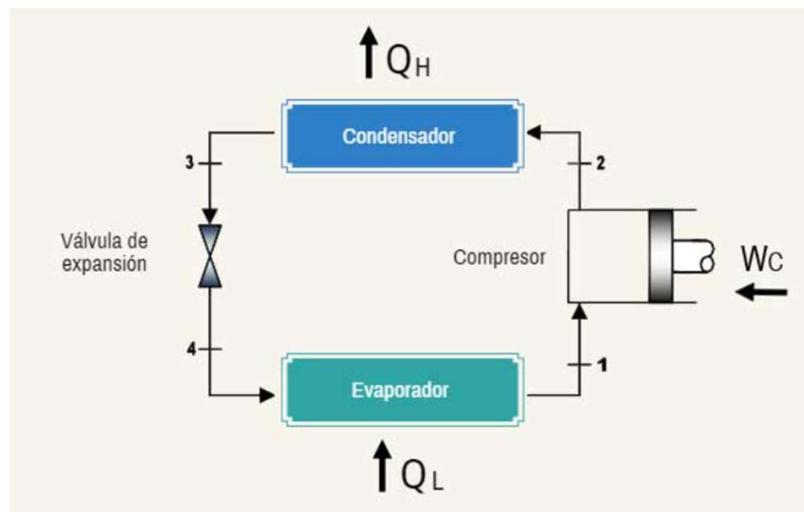


Figura 40. Ciclo simple de refrigeración

Fuente: (Arnabat, 2022)

Generalmente para el accionamiento del compresor se lo realiza a través de un motor eléctrico, o en ciertos casos se acopla a una potencia mecánica disponible como en el caso de los vehículos.

Un ciclo básico frigorífico comprende 4 procesos fundamentales detallados en lo siguiente:

- **Etapa de compresión**

Es el inicio del ciclo, el gas refrigerante es aspirado en forma de vapor por un compresor, el cual suministra la energía mecánica movido generalmente por un motor eléctrico, este componente cumple la función de elevar la presión y temperatura del gas refrigerante para enviarlo hacia el condensador.(Arnabat, 2022)

- **La condensación**

En esta parte ingresa el gas refrigerante a alta presión y temperatura, generando que el calor se disipe al exterior, posterior a que el gas pierde calor, su temperatura baja considerablemente hasta que se satura teniendo una nueva temperatura y presión, posterior a esto el vapor se condensa totalmente y luego se enfría. Luego de esta etapa pasa a la etapa de regulación.

El componente físico para cumplir esta etapa es un condensador como se lo conoce, pero en sí es un intercambiador de calor. (Arnabat, 2022)

- **Etapa de regulación**

Posterior a la condensación el siguiente paso es la regulación del fluido para hacer que se convierta en vapor y enviarlo al evaporador en donde se enfría, el componente encargado de esto es generalmente una válvula de expansión o reguladora con la finalidad que la temperatura y presión del gas refrigerante baje y se convierta en gas. (Arnabat, 2022)

- **Etapa de evaporación**

Es la parte donde final donde llega el gas con temperatura y presión constantes por el calor que circula a través del evaporador, el gas refrigerante es evaporizado totalmente y se calienta casi al final de la última etapa.

La presión de vapor se mantiene constante a pesar de que al final la temperatura aumenta considerablemente, posterior el gas es aspirado al compresor nuevamente para continuar con otro ciclo es cual se repite cada una de las etapas ya explicadas.

El componente que hace posible la evaporación de manera física es también un intercambiador de calor prácticamente. (Arnabat, 2022)

2.6.2 Sistema de refrigeración por absorción

La principal diferencia con el sistema anterior, se define en la manera de comprimir el gas refrigerante, en vez de un compresor, aquí se realiza a través de un solvente mediante un proceso exotérmico y luego sube su presión a través de una motobomba normal, como ventaja es que se consume menos energía en realizar esta etapa comparada si se tiene un compresor.

En los dos sistemas de refrigeración es de gran provecho que al utilizar sustancias absorben calor al cambiar los estados en las diferentes etapas.(Arnabat, 2022)

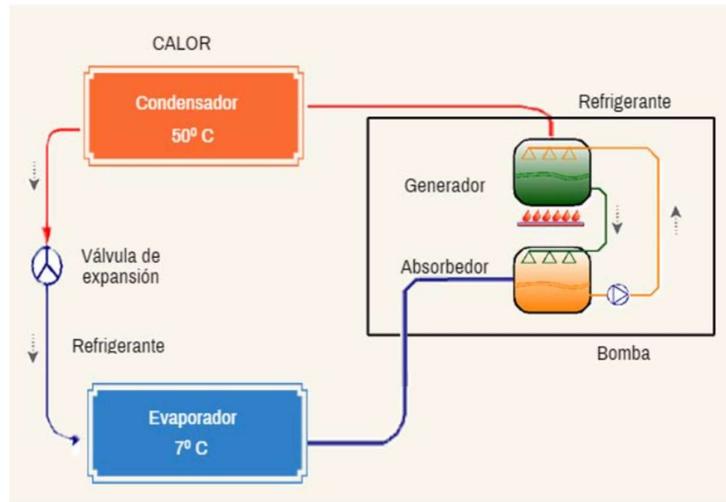


Figura 41. Ciclo de refrigeración por absorción

Fuente: (Arnabat, 2022)

- **Ciclo de refrigeración por absorción.**

En este sistema el ciclo empieza por la compresión del gas refrigerante a través de un proceso exotérmico y luego la presión se eleva mediante una motobomba normal, este proceso se encuentra en medio de un absorbedor y un separador.

La mezcla existente entre el solvente y el refrigerante en este ciclo, considerando temperaturas con valores de 0°C y mayores, generalmente es entre Bromuro de litio agua.

Cuando se necesitan de sistemas o circuitos de refrigeración con temperaturas bastantes bajas como, por ejemplo -60°C, se utiliza como refrigerante Amoniac (NH₃) y agua (H₂O). (Arnabat, 2022).

2.6.3 Clasificación de sistemas de refrigeración

Dentro de la necesidad de los sistemas de refrigeración, es posible realizarlo agrupando en cinco modalidades según sus aplicaciones:

- **Refrigeración de uso comercial**

Los sistemas de refrigeración para este tipo de aplicaciones está basado en procesos por compresión cumpliendo los ciclos ya explicado, siendo la diferencia el diseño de la

instalación en base a lo que se va a enfriar, generalmente esto aplica climatización de áreas de venta al público, centros comerciales, supermercados a gran dimensión, etc.

Un uso común para esto es por ejemplo un frigorífico, es cual está diseñado por ejemplo para manejar temperaturas de +7/10 °C, por puertas corredizas y almacenar alimentos como frutas, muy común en supermercados. (COFRICO, 2022).

- **Refrigeración de uso industrial**

A nivel industrial la demanda de trabajo y cantidades que se manejan son relativamente grande dependiendo del área de negocio, sin embargo, se pueden encontrar sistemas de refrigeración de grandes potencias para enfriar hasta muy bajas temperaturas de acuerdo a la necesidad, adicional que para lograr esto no es solo tema de los equipos, sino también del gas refrigerante a ser utilizado y as seguridades para estos sistemas también son más críticos.

Para los sistemas de refrigeración industriales, se utilizan refrigerantes como el Amoniaco (NH₃) en gran cantidad en el circuito primario y en el secundario,, agua común con Glicol para temperaturas considerables de hasta -10°C, y para temperaturas aún mas bajas el Dióxido de carbono (CO₂) para llegar a temperaturas de hasta -60°C. (COFRICO, 2022)

La Refrigeración Industrial se puede encontrar en algunas áreas de negocio:

Industria alimenticia: Se utiliza de manera primordial para la conservación de la materia prima, el proceso del producto, almacenamiento de producto terminado, climatización a gran escala y demás componentes que son parte de la producción. Actualmente empresas dedicadas a procesos de lácteos, cárnicos, frutas utilizan sistemas de refrigeración, considerándose alrededor del 70%.

Logístico, transporte y distribución de alimentos: El producto terminado en una empresa, es la parte final del proceso de producción y continua con la entrega a cada uno de los locales comerciales en que se vende el producto, por lo que es necesario mantener la cadena de frío. Se suele utilizar sistemas de refrigeración en la flota de camiones o medios de transporte orientados para cumplir esta labor.

Medicina y salud: Un uso muy común en este campo es para preservar las vacunas y demás implementos, los cales necesitan mantener en rangos de temperaturas específicas.

Industria Química: Muy importante, dentro del campo químico es necesario mantener a ciertas presiones sustancias, por ejemplo, gases para su conservación como parte de proceso de componentes orgánico e inorgánicos

Generación de energía: Se usa de manera indirecta, es el caso para los generadores basados en motores de combustión interna, los cuales necesitan de ser enfriados para mantener una temperatura de trabajo. (INDITER, 2022)

- **Refrigeración domestica**

Esta parte del uso de refrigeración debe ser el más fácil de encontrar, ya que en toda casa se debe encontrar un refrigerador o congelador para la conservación de alimentos para el hogar o un aire acondicionado para la climatización de una habitación.

Generalmente son en base a sistemas de compresión con un compresor que oscila entre 1/5 a 2 [CV] promedio, suelen ser de pistones tipo herméticos, tanto los condensadores y evaporadores por gravedad y un ventilador para disipar el calor. (COFRICO, 2022)

2.6.4 Componentes de un sistema de refrigeración Industrial

- **La unidad compresora**

La unidad compresora o compresor a nivel industrial generalmente, este acoplado a un motor eléctrico el cual le transfiere la energía mecánica para que comprima el gas refrigerante de tal forma que eleve su temperatura y presión y llegue a la etapa de condensación

- **El intercambiador de calor o condensador**

El condensador como se dijo anteriormente, es un intercambiador de calor, y su finalidad es transferir todo el calor extraído del lugar a enfriar y baja la temperatura del refrigerante y continúe a través de la válvula de expansión a la evaporación. En el área industrial, se lo puede encontrar físicamente de diferentes formas dependiendo la capacidad de enfriamiento, se indica unos ejemplos:

- a) Disipación de calor por torres de enfriamiento.
- b) Tipo evaporativo
- c) Tipo seco
- d) Gas Cooler cuando se utiliza CO_2 como refrigerante.

- **La válvula reguladora o de expansión**

Encargada de generar una caída de presión entre el condensador y el evaporador para cambiar los parámetros de presión y temperatura del gas y convertirlo de líquido a vapor e ingrese a la etapa de evaporación.

- **El intercambiador de calor evaporador**

El componente de la última etapa del sistema, se encarga de extraer el calor del lugar a enfriar mediante la evaporización del gas refrigerante, aprovechando el cambio de líquido a vapor, físicamente es un intercambiador de calor tubular con aletas para la disipación del calor con ventiladores, se lo encuentran de diferentes formas:

- a) Tipo cúbico
- b) Tipo doble flujo o plafón
- c) Tipo de bajo perfil
- d) Tipo mural

Los componentes anteriormente explicados, forman parte principal de cada etapa del ciclo de refrigeración por compresión de tipo industrial, sin embargo, para a ver posible todo esto y comunicar las diferentes etapas son necesarios otros componentes auxiliares como válvulas de corte, tuberías de baja y alta presión, circuitos eléctricos, paneles de control, instrumentación, etc.

2.7 Consumo de energía eléctrica

2.7.1 Energía eléctrica

La energía eléctrica está considerada como la potencia que se usa de una máquina por un determinado tiempo, por ejemplo, si se tiene un equipo cuya tracción es movido por un motor eléctrico que consume una potencia de 100 [KW] y se lo tiene trabajando durante 2 horas, entonces la energía sería la potencia usada por el tiempo, en este caso 100 [KWx2h), quedando como uso de energía un total de 200 [KWh], cálculo se lo realiza con la ecuación 20:

$$W = Pxt \text{ (wattsegundo, } Ws, \text{Joule)}$$

(30)

Considerando que potencia se mide en [Watts] y el tiempo en segundos, la unidad de medida de energía es el [Watt-segundo], o Joule (ecuación 20), como se indica anteriormente.

No obstante, la unidad Watt-segundo [Ws], es un valor muy pequeño en referencia a la gran mayoría del uso en la práctica, en términos de generación, transmisión, distribución y ciertos puntos de consumo por lo que se utiliza el Kilowatt-hora [KWh], Megawatt-hora [MWh], y se define en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Energía (Wh)} = \text{potencia (W)} = \text{tiempo (h)} \quad (31)$$

$$\text{Energía (kWh)} = \frac{\text{Potencia(W)} \times \text{Tiempo(h)}}{1000} \quad (32)$$

Igual al ejemplo práctico citado anteriormente con el motor eléctrico, la unidad de [KWh], está definido como el uso de una potencia de 1000 [W] por el tiempo de una hora, o 100 [W] por el tiempo de 10 horas. (BOYLESTAD, 2004)

2.7.2 Calidad de energía

Las perturbaciones eléctricas se ven reflejadas en el voltaje, corriente o frecuencia, y generalmente se hacen presente como interrupciones, caídas de tensión, distorsión armónica, sobretensiones, parpadeo, desequilibrio y transitorios.

Los factores que originan esta problemática pueden encontrarse dentro del sistema de suministro de energía como en la red de distribución eléctrica. Los responsables de esto son en su mayoría las secuencias de encendido-apagado de maquinaria que representan gran potencia, conexiones no adecuadas y tomas a tierra; armónicos o circuitos sobrecargados.

La presencia de factores naturales como rayos, las condiciones meteorológicas, propias averías de equipo y ciertos accidentes también inciden de manera negativa en la instalación.

Otro factor que influye directamente en la calidad de la energía eléctrica en la red de distribución son las empresas en genera, ya que la mayoría de sus maquinarias contienen equipos electrónicos y de automatización, los cuales debido a sus componentes generan fluctuaciones en la red. (Fluke Corporation, 2011).

Principales tipos y causas de perturbación.

- **Variaciones y fluctuaciones de voltaje.** – Se consideran variaciones importantes de carga, como por ejemplo máquinas de soldar, hornos de arco, etc.
- **Huecos de voltaje.** – Por ejemplo, cortocircuitos, conmutación de cargas de gran potencia (arranque de motores eléctricos).
- **Cortes en el suministro de energía.** - Cortocircuitos, sobrecargas, mantenimientos, disparos intempestivos de equipos de protección.
- **Armónicos en la red.** – Para este efecto, se consideran cargas no lineales como variadores de velocidad, máquinas de soldadura, lámparas de descarga, hornos eléctricos, tubos fluorescentes, etc.
- **Interarmónicos.** - Cargas de tipo fluctuantes, ejemplo: hornos de arco, máquinas de soldar, convertidores de frecuencia, etc.
- **Sobretensiones transitorias.** - Este tipo de perturbaciones son pico de voltaje que pueden alcanzar varios altos en Kilo-Voltio y duración de fracciones de segundo.
- **Desequilibrio de tensión.** – Es notable en circuito eléctrico donde las cargas estas desequilibradas, y esto se verifica bastante en circuitos con cargas monofásicas.
-

2.7.3 Eficiencia del consumo de energía eléctrica en la industria

El estudio de la eficiencia energética debe estudiarse focalizando la parte técnica y económico y datos operacionales. El objetivo es determinar acciones para reducir costos de los diferentes tipos de energía que hacen uso para la producción en general, de tal manera que sea autosustentable para reproducir la inversión. (Energy, 2012)

“El ejemplo de reducir costos aplicando la eficiencia energética para el área alimenticia, se describe en los 3 siguientes grupos de acuerdo a la inversión.” (Energy, 2012)

Tabla 04. Ahorros potenciales de acuerdo a costos de inversión y tiempos de pagos

Ahorro potencial	Costos de inversión y periodos de pago
5 a 15%	Los costos de inversión son inexistentes, sólo mejora el mantenimiento Ejemplo: Eliminando fuga de aire comprimido, agua, vapor, apagar luminarias, cambiar configuración de parámetros de equipos que se amerite, cambiar motores de gran eficiencia, recuperar el condensado de sistemas de vapor.
15 a 30 %	Considerando costos bajos de inversión y tiempos menores de pagos a 5 años. Ejemplo: Aislamiento térmico de cañerías, recuperación de purgas de vapor calderas, corrección factor de potencia, eficiencia de sistemas de vapor y evaporadores, etc.
30 a 50 %	Considerando costos mayores de inversión y tiempos de recuperación a más de 5 años. Ejemplo: Aislación térmico de sistemas de vapor, equipos evaporadores, generación de biogás, etc.

Fuente: (Energy, 2012)

Parte de los objetivos al momento de realizar una auditoría por el consumo de energía, implica analizar la forma en que se la utiliza en las plantas industriales o edificios.

Con ello, se logra identificar alternativas para reducir u optimizar el consumo y por consiguiente los costos para auto sustentabilidad de la industria.

Las empresas que aplican el ahorro de energía pueden llegar a disminuir el consumo en un promedio considerable de 20 a un 40% en referencia al consumo actual, incluso se podría llegar superar un ahorro del 50% aplicando una correcta evaluación y auditoría de consumo de energía eléctrica.

Según la (ACEE), “Agencia Chilena de Eficiencia Energética”, tiene en su base registrado consultores que realizan evaluación o diagnóstico de consumo de energía, siendo estos profesionales capacitados totalmente para realizar y ofrecer el diagnóstico pertinente en base a lo que refiriere. (Energy, 2012).

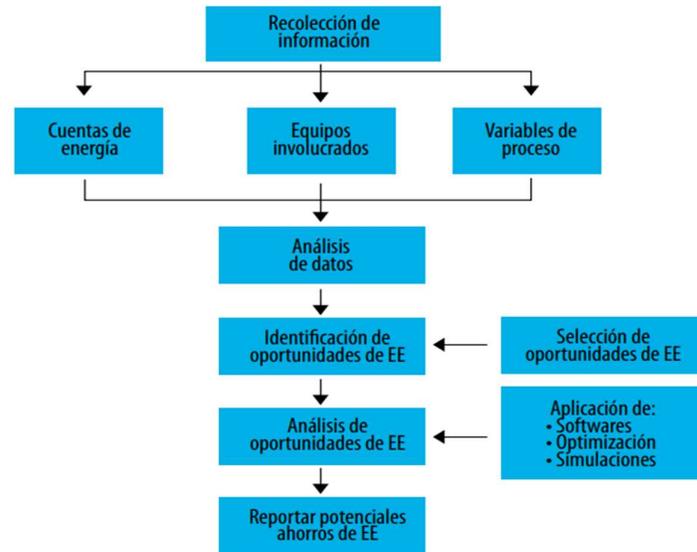


Figura 42. Esquema general de una auditoría de energía

Fuente: (Energy, 2012)

Según lo indicado en la normativa **ISO 50001**, que habla de gestión energética, toma en cuenta aquellos procesos que se pueden aplicar a diferentes sectores como edificios, áreas industriales, hospitales, escuelas etc. Esta norma se encuentra basado en la mejora continua “Planificar/Hacer y Verificar/Actuar”

La cantidad de ahorro aplicando esta normativa ayudaría a ahorrar hasta un 60%, de la cantidad de energía que se utiliza actualmente en el mundo. Sus principales características que se detalla son:

- Imponer políticas en base a consumo de energía.
- Determinar puntuales responsabilidades.
- Desarrollar una verificación y evaluación de energía.
- Establecer lineamientos base.
- Identificar y establecer indicadores de energía adecuados.
- Determinar objetivos y metas a cumplir.
- Desarrollar un protocolo de control de documentos
- Comunicar al interno la eficiencia de energía y (SGE), Sistema de Gestión de Energía.
- Desarrollar metodologías para analizar la energía de nuevos modelos.

2.7.4 Medición de potencia - energía

Actualmente existen algunos equipos y fabricantes para la medición de variables eléctricos, como factor de potencia, corriente, voltaje o tensión eléctrica, frecuencia, etc. En este caso por el desarrollo de este proyecto, nos centraremos en parámetros energía, sin embargo, tendremos que analizar los diferentes parámetros eléctricos.

- **Principio de funcionamiento de un medidor de potencia (Watímetro)**

Los instrumentos que hacen posible la medición la potencia que entrega una fuente hacia una carga conectada, este dispositivo se le conoce como el Watímetro (Figura 43). Como la potencia se determina con los parámetros de corriente y tensión eléctrica, para a la medición de la potencia de la resistencia [R], se debe conectar cuatro terminales, tal como está en la (Figura 44.) (BOYLESTAD, 2004)

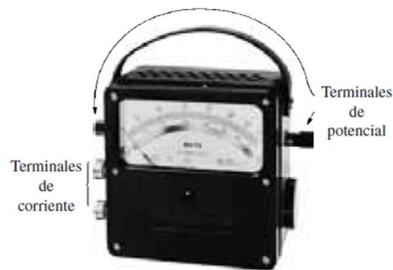


Figura 43. Watímetro.

Fuente: (BOYLESTAD, 2004)

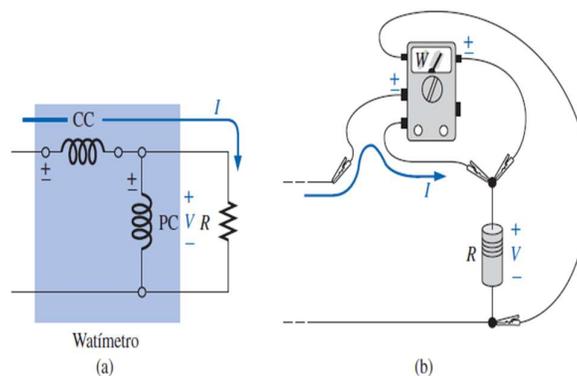


Figura 44. Conexiones de vatímetro

Fuente: (BOYLESTAD, 2004)

2.8 Analizadores de red eléctrica convencionales

Un analizador de red eléctrica es un instrumento el cual permite analizar algunas características de una instalación eléctrica. Su objetivo como tal está centrado en los valores de dispersión y datos que suministra, ayudan a dar seguimiento con un control con exactitud del consumo de energía eléctrica.

A continuación, se describirá algunos de los analizadores de red y componentes para su conexión que actualmente se utilizan para el monitoreo de las instalaciones.

2.8.1 Analizador de Red SIEMENS SENTRON PAC-3200

El analizador de red SENTRON PAC3200 puede sr utilizado en aquellos puntos donde se hace uso de energía eléctrica, toma diferentes valores de medida y los representa en un display LCD. Una de las ventajas del SENTRON PAC3200, es la posible comunicación con los sistemas de automatización existentes y gestión de energía de niveles superiores de manera sencilla. (Siemens, 2008).



Figura 45. Multimedidor SENTRON PAC 3200

Fuente: (Siemens, 2008)

2.8.2 Analizador de red SCHNEIDER PM 5100

El analizador Schneider PM 1500, ha tenido todas las pruebas y rige con los requisitos es determinados para la necesidad en los instrumentos digitales Clase B, esto de acuerdo la normativa de la Comisión Federal de Comunicaciones de los EE. UU., (FCC), sección 15. (Schneider, 2021).



Figura 46. Analizador de red Schneider Electric PM 1500

Fuente: (Schneider, 2021)

2.8.3 Analizador de red ABB M2M

Este analizador de red del fabricante ABB, modelo M2M cuenta con funciones para análisis de nivel avanzado que permite tener una medida con mayor precisión sobre los más importantes parámetros variables en sistemas de redes monofásicas o trifásicas, adicional este dispositivo puede ser implementado en gabinetes eléctricos de baja también medio voltaje, el analizador registra los datos y análisis en tiempo real de las variables eléctricas, considerando además los THD (Armónicos), como verificación de la calidad de energía . (ABB, 2013)



Figura 47. Analizador de redes ABB M2M

Fuente: (ABB, 2013)

2.8.4 Transformadores de corriente

En las diferentes etapas para llegar hasta el consumo de energía eléctrica desde la generación, las corrientes y voltajes varían, siendo este valor unos pocos amperios hasta decenas de miles de amperios. Para poder realizar la medición, la protección y el control, es necesario convertir a una corriente relativamente constante, por lo que la medición directa es muy peligrosa. Para esto se utiliza un transformador de corriente y voltaje. (EAA ELECTRIC, 2022)



Figura 48. Transformadores de corriente – Gabinetes eléctricos

Fuente: (Schneider, 2021)

2.8.5 Analizador de energía eléctrica Fluke 434-II/435-II/437-II

El analizador trifásico Fluke 434-II/435 II/437-II, está diseñado específicamente para realizar evaluaciones de sistemas eléctricos en calidad de energía y cumple con lo siguiente:

- a) Normativa IEC/EN61010-1-2001,
- b) CAN/CSA C22.2 N.º 61010-1-04
- c) Requerimientos indispensables sobre seguridad de instrumentos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio, categoría: 600V CAT IV 1.000V CAT III.
- d) Grado de contaminación nivel 2.



Figura 49. Analizador de red Fluke 434 y 435

Fuente: (Fluke, Fluke Corporation, 2022)

2.8.6 Conexión de analizadores de red eléctrica

Aunque los analizadores varían en fabricantes, su instalación y conexión se mantienen en función de lo que se quiere medir, por lo que se mencionan algunos ejemplos:

- Sistemas eléctricos de dos, tres o cuatro conductores
- Aplicables a circuitos con carga balanceada o desbalanceada
- Implementados con o sin transformadores de tensión
- Implementados con transformador de corriente

Los dispositivos de medida pueden utilizarse hasta los valores máximos establecidos de tensión con o sin transformadores de tensión eléctrica. Las corrientes sólo pueden ser medidas a través de un transformador de corriente.

“Es necesario configurar en el dispositivo el tipo de cableado instalado a través de los parámetros de ajuste. Los tipos de conexión se refieren a la parametrización del dispositivo.” (Siemens, 2008)

Ejemplo 01:

Para una medición de un sistema trifásico con cuatro conductores, circuito de carga desbalanceada, sin transformador de tensión, conectado con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión para la configuración 3P4W.

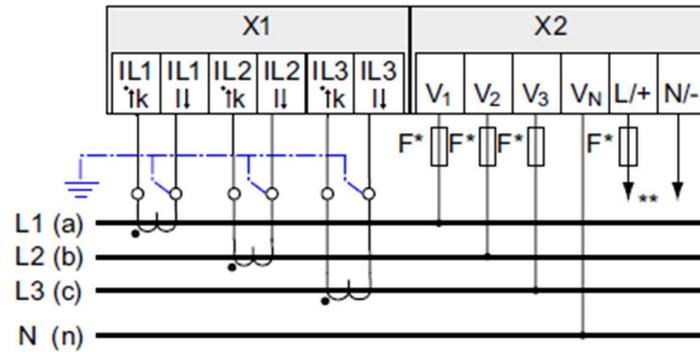


Figura 50. Tipo 3P4W, sin TP, con TC

Fuente: (Siemens, 2008)

Ejemplo 02:

Para una medición de un sistema trifásico con cuatro conductores, circuito de carga desbalanceada, conectados con transformador de tensión y con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión para la configuración 3P4W.

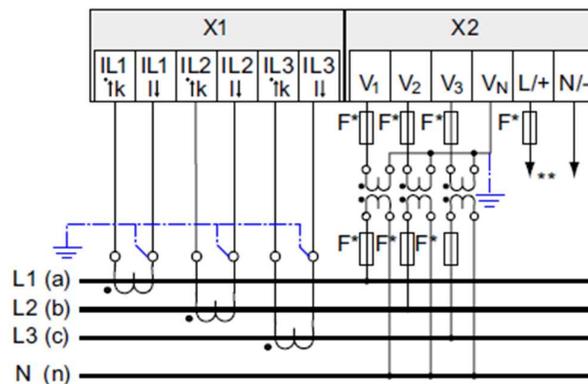


Figura 51. Tipo 3P4W, con TP, con TC.

Fuente: (Siemens, 2008)

Ejemplo 03:

Para una medición en un circuito monofásico con dos conductores, instalados sin transformador de tensión y con un transformador de corriente. Tipo de conexión para la configuración 1P2W.

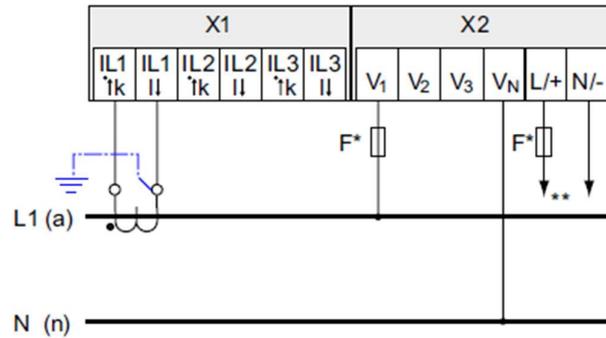


Figura 52. Tipo 1P2W, sin TP, con un TC.

Fuente: (Siemens, 2008)

2.9 Analizador de red múltiple Panasonic Eco-Power KW2M

El analizador de red múltiple KW2M Eco-POWER METER, mide potencia eléctrica, tensión, corriente, factor de potencia, frecuencia, etc., se miden usando voltaje CA y entrada de corriente CA a través de uno de los siguientes sistemas:

Monofásico sistema de dos hilos, sistema monofásico de tres hilos, sistema trifásico de tres hilos o sistema trifásico sistema de cuatro hilos. Además, mide armónicos y THD para medir la calidad de la energía.

La conexión de la unidad de expansión a la unidad principal puede medir hasta 8 circuitos (hasta 24 circuitos de sistema monofásico de 2 hilos). Una unidad puede medir 2 circuitos. (Panasonic, 2019)



Figura 53. Analizador de red múltiple Panasonic Eco-Power KW2M

Fuente: (Panasonic, 2019)

2.9.1 Esquema de medición

Tabla 05. Unidad principal, unidad de expansión (medición de potencia)

Fases/Sistema de cableado	Una fase 2-cables Una fase 3-cables (Común) Tres fases 3-cables Tres fases 4-cables	
Sistema de potencia aplicable	Sistema de 100, 200, 400 Voltios	
Mediciones de circuitos	Unidad principal	1 sistema, 2 circuitos (Cuando la medida 1P2W: 1 sistema, 6 circuitos)
	Unidad de expansión (Medida de potencia)	1 sistema, 2 circuitos (Cuando la medida 1P2W: 1 sistema, 6 circuitos)
Entrada de voltaje a medir	0 a 690 VAC o 300 V para UL61010-1	
Entrada de corriente a medir	1 a 65,535 A	
Sensor de corriente aplicable	Puntos secundarios de salida	

Fuente: (Panasonic, 2019)

Tabla 06. Unidad de expansión (entrada analógica múltiple)

Entrada analógica (Voltaje/Corriente)	3 canales
Medición de temperatura entrada resistencia	2 canales

Fuente: (Panasonic, 2019)

Tabla 07. Unidad de expansión (E/S digital)

Entrada a pulso	2 canales
Salida a pulso	4 canales

Fuente: (Panasonic, 2019)

2.9.2 Ventajas en referencia a los analizadores de red individuales

En los analizadores de red convencionales (individuales), considerando que se debe medir 4 circuitos trifásicos es necesario para la instalación lo siguiente:

- 62 cables de conexión, considerando alimentación del analizador, señal de voltaje circuito trifásico con neutro, señal de 3 transformadores de corriente y comunicación industrial RS-485.
- Para instalar los 4 analizadores de red promedio se debe disponer de 486 mm.

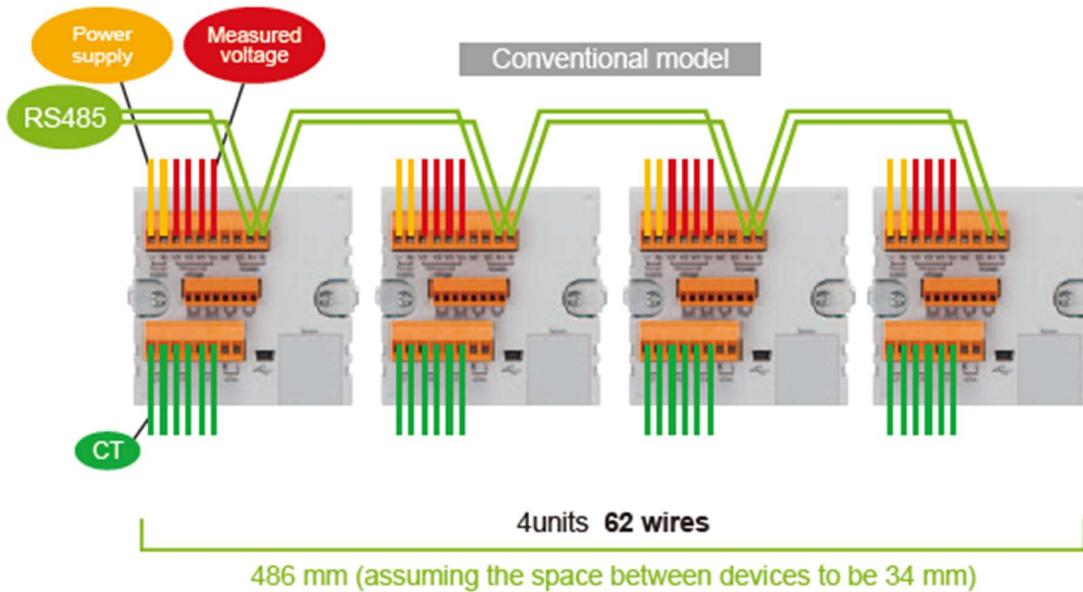


Figura 54. Instalación 4 puntos de medición 3F con analizadores convencionales

Fuente: (Panasonic, 2019)

Si se compara con los analizadores de red múltiples Panasonic Eco-Power, considerando el ejemplo anterior, se tiene lo siguiente:

- 32 cables de conexión, considerando alimentación del analizador, señal de voltaje circuito trifásico con neutro, señal de 3 transformadores de corriente y comunicación industrial RS-485.
- Para la instalación del analizador de red es necesario 210 mm.
- El módulo principal puede admitir hasta 3 módulos de expansión de medida haciendo un total de 8 circuitos trifásicos de ser el caso, adicional de módulos de expansión de entradas analógicas, RTD y entradas y salidas digitales.
- En total se tiene un ahorro de 48% en cableado y 57% en espacio físico para la instalación del equipo.
- Medida de armónicos y desequilibrios (Panasonic, 2019)

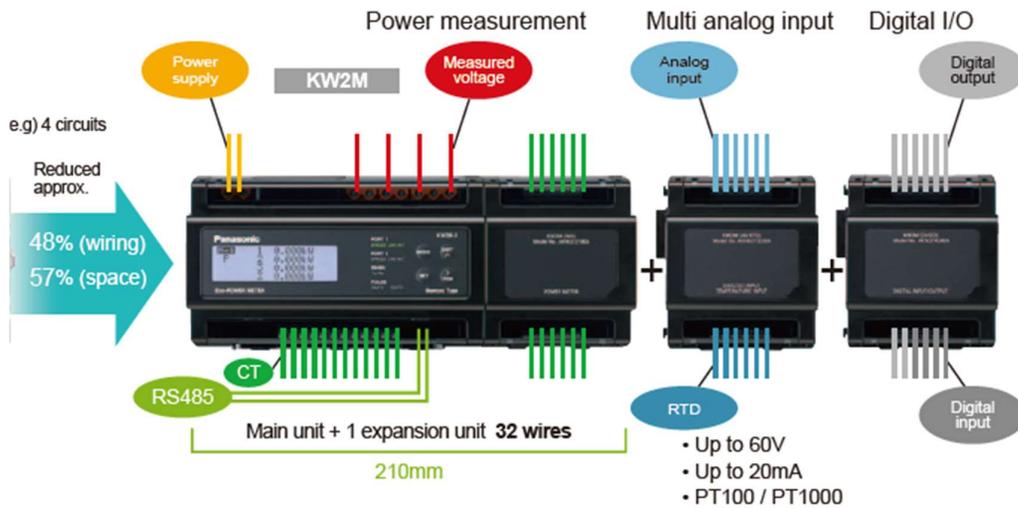


Figura 55. Instalación 4 puntos 3F en analizador múltiple Panasonic Eco-Power

Fuente: (Panasonic, 2019)

2.9.3 Diagramas de cableado

Para el encendido del analizador, es necesario se conecte un disyuntor o un fusible a la fuente de alimentación y a la parte de entrada de voltaje por razones de seguridad y para proteger el dispositivo.

- Disyuntor recomendado: 3 a 15 A (aprobado por IEC o listado por UL)
- Fusible recomendado: Fusible de retardo de corriente nominal 2A (aprobado por IEC o listado por UL)
- La conexión a tierra del lado secundario del VT (transformador de voltaje) y CT (transformador de corriente) no es necesario con circuito de baja tensión.
- Cuando utilice varios CT, coloque cada CT aproximadamente a 1 m de distancia.
- Si los dos TC se configuran demasiado cerca cada uno otro, es posible que no mida con precisión debido a la interferencia del campo magnético. (Panasonic, 2019)

a) Fase simple – Sistema 2 cables

- Se necesita un TC para medir un sistema monofásico de dos hilos
- Se necesitan 2 TI para medir 2 circuitos y 3 TI para medir 3 circuitos.
- Para medir 2 circuitos, cable 1 y 3. Para medir 3 circuitos, cable 1, 3 y 5.

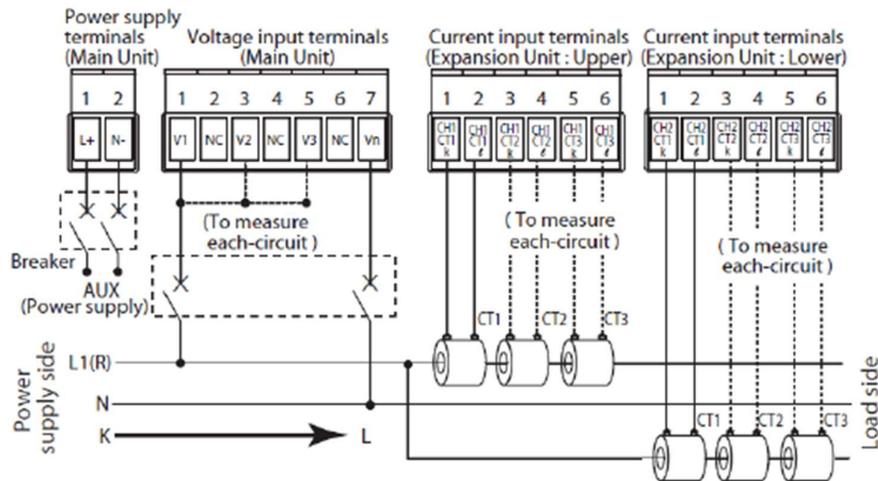


Figura 56. Medición de una carga - sistema monofásico

Fuente: (Panasonic, 2019)

b) Fase simple - tres cables / Tres fases – tres cables

- Se necesitan 2 TC para medir un sistema monofásico de un circuito de tres hilos, un sistema trifásico instalado en tres hilos.
- Se necesitan 4 TC para medir 2 circuitos.

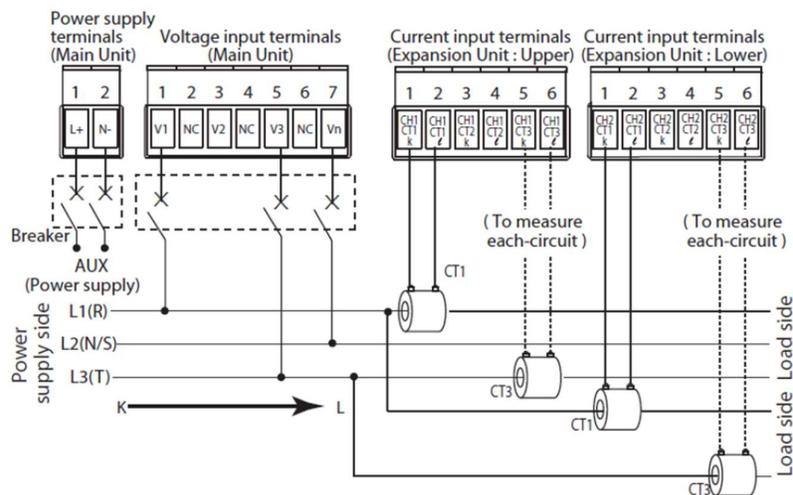


Figura 57. Medición de una carga – 3 fases

Fuente: (Panasonic, 2019)

c) 3 fases – Sistema de 4 cables

- Son necesarios 3 TC para medir un Sistema trifásico de 4 cables.
- Son necesarios 6 CT para medir 2 circuitos.

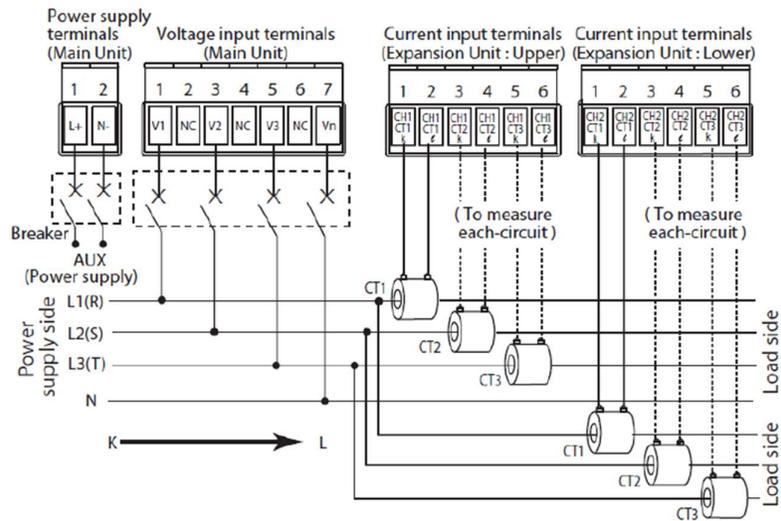


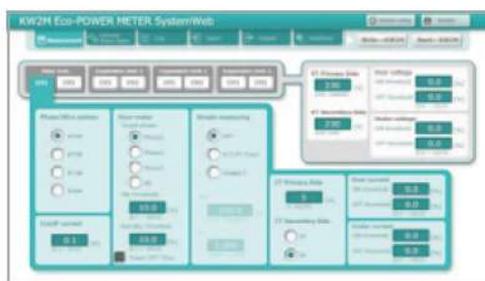
Figura 58. Medición 3 fases – Sistema 4 cables

Fuente: (Panasonic, 2019)

2.9.4 Software de monitoreo KW-WATCHER

Se puede configurar mediante el navegador web. Acceso '<http://xxx.xxx.xxx.xxx/setup/index.htm>'. Ponga la configuración de la dirección IP en 'xxx.xxx.xxx.xxx'.

Para ingresar al sitio Web se debe incluir el nombre de usuario y la respectiva contraseña. (Usuario: admin, contraseña: admin).



Operational setting



Real-time monitoring (KW2M-X only)

Figura 59. Software KW-Watcher – Monitoreo de parámetros

Fuente: (Panasonic, 2019)

2.9.5 Comunicación industrial

El analizador de red Panasonic Eco-Power KW2M es conectable tanto a KW Watcher como al sistema de monitoreo central / SCADA al mismo tiempo.



Figura 60. Comunicación industrial – Ethernet

Fuente: (Panasonic, 2019)

CAPITULO 3

3. MARCO METODOLOGICO

Para el desarrollo de este trabajo de titulación, se aplicó la investigación de campo, bibliográfica, descriptiva, así como metodologías de tipo inductivo, deductivo y analítico, que son necesarias para la ampliación de detalles del proyecto a trabajar.

Conservando esta postura a continuación de detalla paso a paso la ejecución de como cumplir cada uno de los objetivos específicos indicados para llegar a nuestro objetivo principal.

3.1 Descripción general de cuarto eléctrico de sistemas de refrigeración.

El sistema eléctrico que suministra la potencia para las operaciones de la planta inicia con una subestación eléctrica reductora a la intemperie en el la cual está instalado un transformador de potencia de 12/16 [MVA], a nivel de tensión 69/13.8 [KV], cerca del ingreso de planta y desde aquí, se distribuye para los distintos puntos eléctricos para demanda de planta denominados cuartos eléctricos.

Los cuartos eléctricos están diseñados bajo normativa 110-31. Encerramiento de las instalaciones eléctricas – (INEN, 2001), mismos que cuentan con transformadores entre 500 a 2000 KVA a nivel de transformación de 13200/460 V con sus respectivas protecciones tanto en alta como baja.

En especial los sistemas de refrigeración toman energía del cuarto eléctrico CE-01, que cuenta con 3 transformadores de tipo Padmounted de 2000 KVA-13.8/0.46 KV, del cual nos referiremos durante todo el proyecto para análisis y resultados.

3.2 Actualización diagrama eléctrico unifilar

El diagrama eléctrico unifilar es muy importante para analizar las conexiones de cada circuito en cada fase de la distribución de energía y evaluar los consumos. Se ha dividido en dos partes considerándose desde la transformación a nivel de 69 KV hasta la tensión de uso industrial a nivel de 460V para su mejor entendimiento.

- a) Diagrama unifilar distribución de 13.8 KV a cuarto eléctrico CE-01
- b) Diagrama unifilar cuarto eléctrico CE-01 de 13.8 a 0.46 KV

3.2.1 Diagrama unifilar distribución de 13.8 KV a cuarto eléctrico CE-01

La alimentación desde la subestación eléctrica al cuarto eléctrico CE-01 es a nivel de 13.8 KV con celda de protección tanto en salida como llegada respectivamente.

Actualmente se mantiene el diagrama original y para las protecciones contiene celdas de media tensión bajo las siguientes normativas:

- IEC 62271-200. Celdas tipo compartimentadas con dispositivos para tensiones nominales de 1 a 54 kV.
- IEC 60056. Aplicable para interruptores automáticos de uso en alta tensión.
- IEC 60185. Aplicable para transformadores de Corriente.
- IEC 60186. Aplicable para transformadores de Tensión.
- IEC 60801. Aplicable para compatibilidad electromagnética. (CEM).

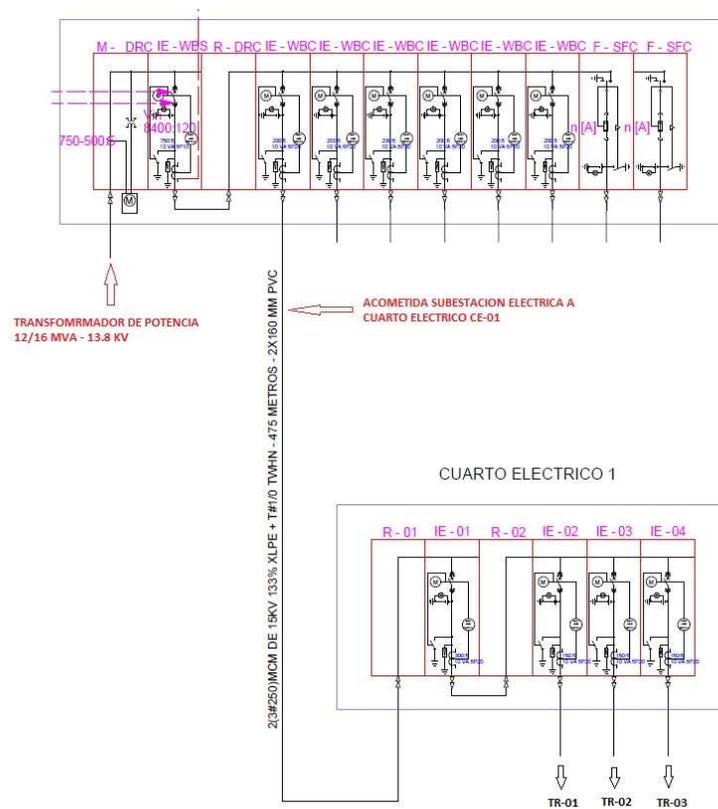


Figura 61. Diagrama unifilar distribución 13.8 KV a CE-01 (Existente)

Fuente: (Tonicorp, Diagrama unifilar subestación eléctrica, 2016)

Se realizó una evaluación del diagrama eléctrico existente, mismo que fue entregado en el proyecto del montaje de la subestación como validación para estudio del sistema.

3.2.2 Diagrama unifilar cuarto eléctrico CE-01 de 13.8 a 0.46 KV

Dentro de este diagrama se incluye la alimentación y protección de cada transformador, así como las cargas conectadas al mismo, que son las de análisis en este proyecto.

La simbología utilizada para este diagrama en los transformadores está bajo la normativa del MEER (Ministerio de electrificación y energía renovable), dentro de la actualización está establecer simbología normalizada a nivel general (ANSI/ICE), incluir las derivaciones y dispositivos que estén conectados actualmente.

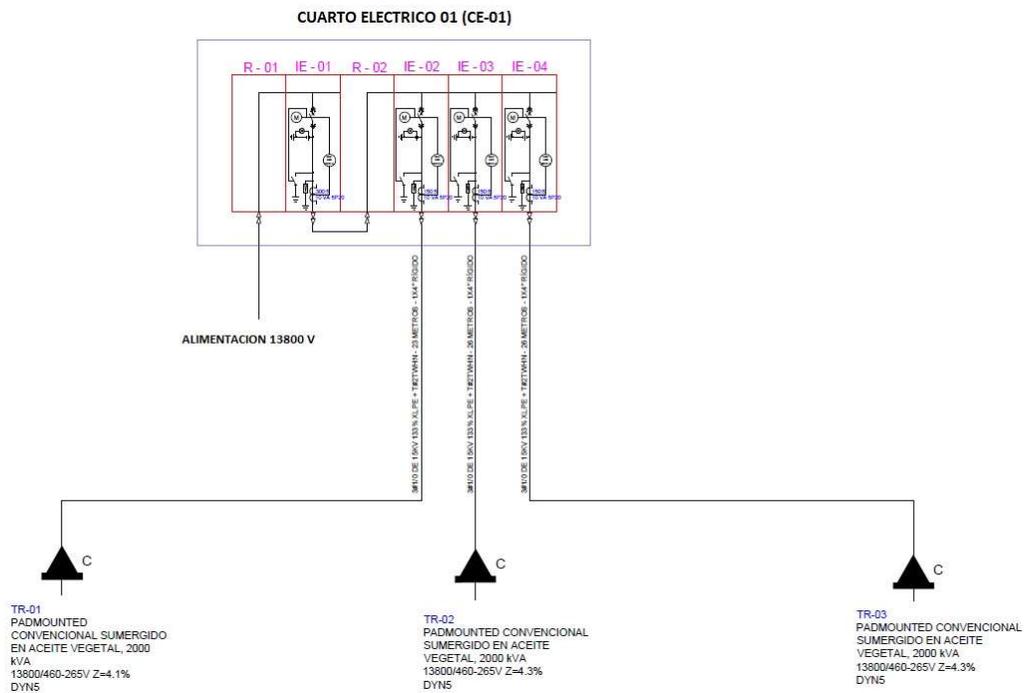


Figura 62. Diagrama unifilar cuarto eléctrico CE-01 (13800 V) – Existente.

(Tonicorp, Diagrama unifilar subestación eléctrica, 2016)

3.2.3 Actualización de diagramas eléctricos unifilares

En la figura 63, se muestra la estructura unifilar eléctrica del cuarto eléctrico 01, donde se incluye las celdas de protección, transformadores y derivaciones principales.

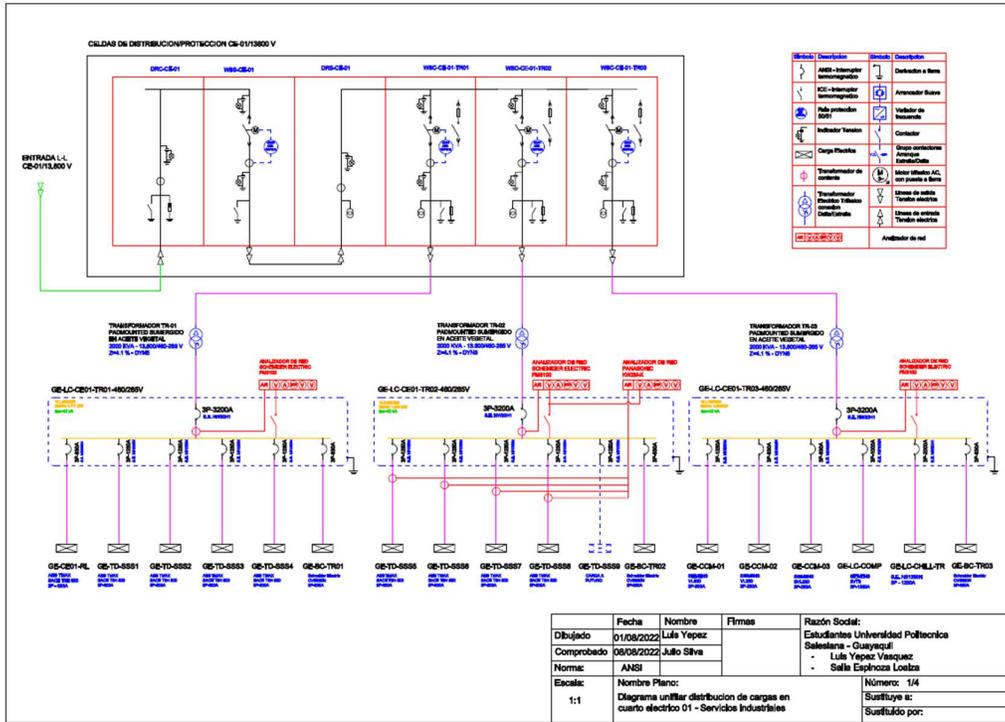


Figura 63. Diagrama eléctrico unifilar CE01

Fuente: (Autores, 2022)

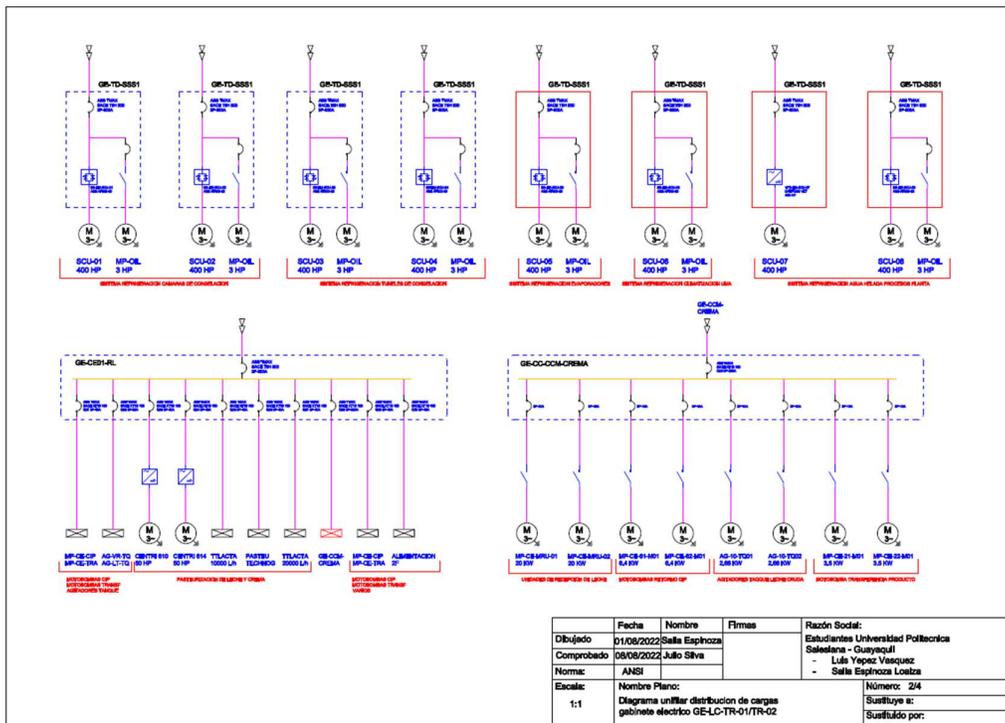


Figura 64. Diagrama eléctrico unifilar GE-TR01/GE-TR02

Fuente: (Autores, 2022)

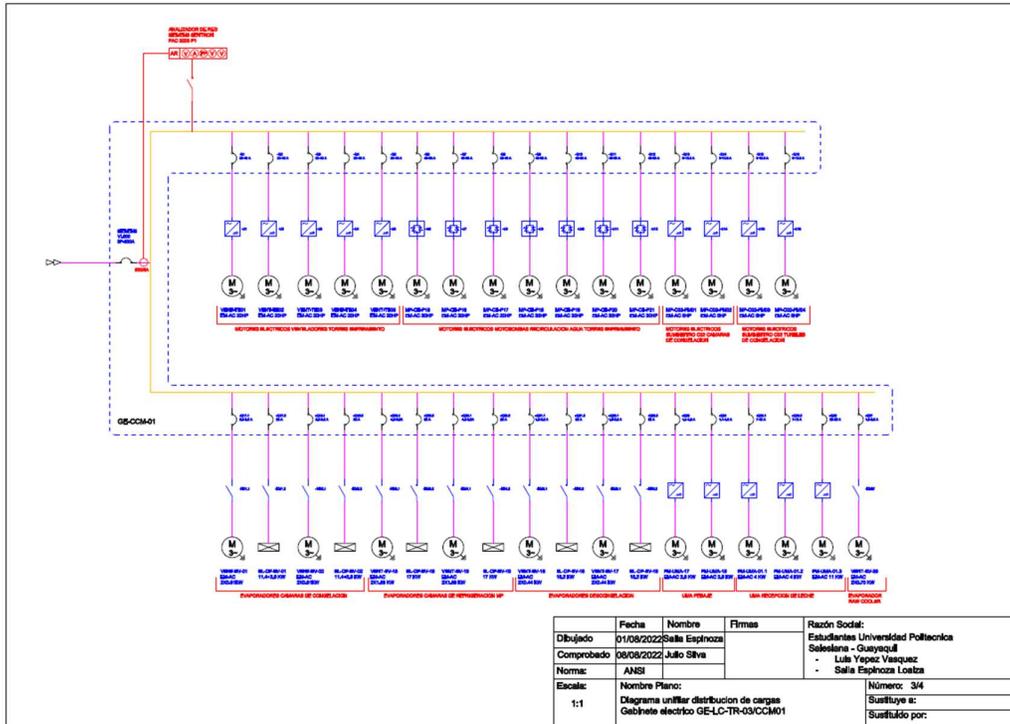


Figura 65. Diagrama eléctrico unifilar GR-TR03-CMM01

Fuente: (Autores, 2022)

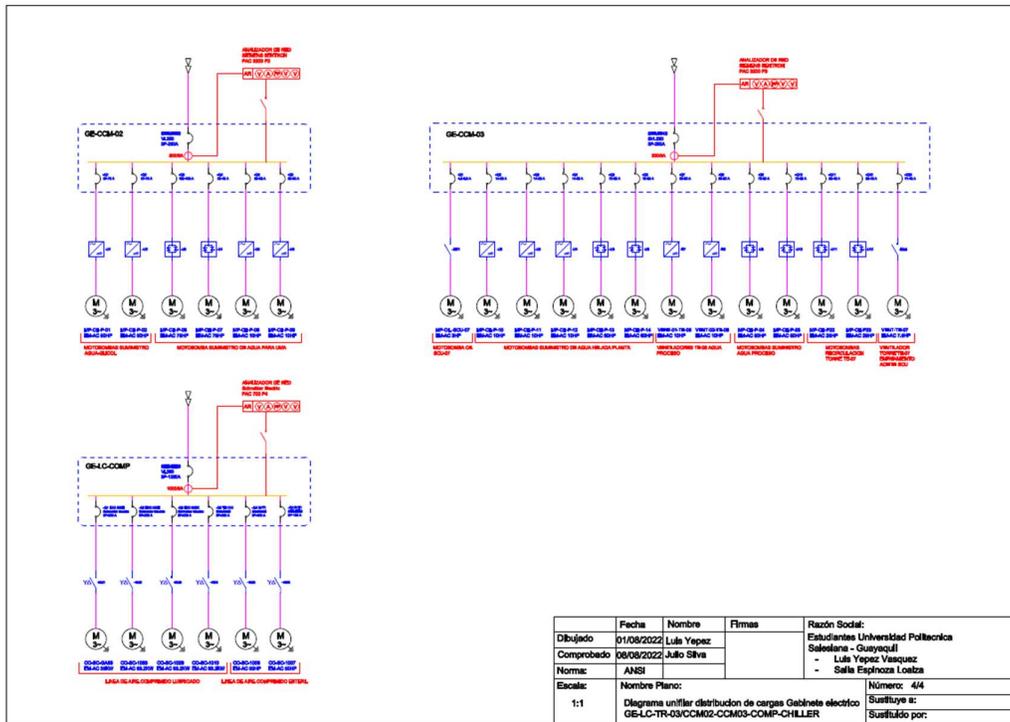


Figura 66. Diagrama eléctrico unifilar GE-TR03-CMM2/CMM3

Fuente: (Autores, 2022)

Los diagramas eléctricos actualizados, se los encontrará en los anexos de este documento.

3.3 Levantamiento de cargas conectadas en cuarto eléctrico CE-01

Las cargas conectadas al cuarto eléctrico se consideran desde los transformadores, protecciones, gabinetes eléctricos primarios y secundarios, que si bien es cierto el análisis se puntualiza en el lado de baja tensión, es necesario considerar y tener claro cuáles son los equipos que intervienen.

3.3.1 Levantamiento de datos fabricante de equipos

Físicamente los equipos y componentes del cuarto eléctrico CE-01 que suministra energía a los sistemas de refrigeración, están divididos en 3 partes:

- **Transformadores Padmounted 2000 KVA – Cuarto eléctrico CE-01**



Figura 67. Cuarto de transformadores (TR-01, TR-02 y TR-03)

Fuente: (Tonicorp, Cuarto eléctrico CE-01, 2022)

Tabla 08. Transformadores Padmounted 13800v/460-226 V – CE-01

CARACTERISTICA	TRANSFORMADOR TR-01	TRANSFORMADOR TR-02	TRANSFORMADOR TR-03
FABRICANTE	ECUATRAN	ECUATRAN	ECUATRAN
TIPO	3F-PASMOUNTED	3F-PASMOUNTED	3F-PASMOUNTED
SERIAL	148532016	148492015	148502015
POTENCIA	2000 KVA	2000 KVA	2000 KVA
TENSION PRIMARIO	13800 V	13800 V	13800 V
TENSION SECUNDARIO	460/266 V	460/266 V	460/266 V
CORRIENTE PRIMARIO	83.67 A	83.67 A	83.67 A
CORRIENTE SECUNDARIO	2510 A	2510 A	2510 A
ESP	T-990 -M024	T-990 -M024	T-990 -M024
NORMA	IEEE C.57.12	IEEE C.57.12	IEEE C.57.12
CLASE	ONAN	ONAN	ONAN
ACEITE	VEGETAL	VEGETAL	VEGETAL
TEMPERATURA	65 °C	65 °C	65 °C
FRECUENCIA	60 Hz	60 Hz	60 Hz
IMPEDANCIA (85°C)	4.30%	4.30%	4.30%
GRUPO DE CONEXIÓN	Dyn5	Dyn5	Dyn5
PESO TOTAL	5602 Kg	5602 Kg	5602 Kg
PESO ACEITE	1395 Kg	1395 Kg	1395 Kg
VOLUMEN ACEITE	1550 L	1550 L	1550 L
MES/AÑO	ago-15	ago-15	ago-15
MATERIAL AT/BT	Cu/Cu	Cu/Cu	Cu/Cu
PAIS	ECUADOR	ECUADOR	ECUADOR

Fuente: (Autores, 2022)

**Figura 68. Transformador Padmounted 2000 KVA**

Fuente: (Tonicorp, Cuarto eléctrico CE-01, 2022)

- **Celdas de media tensión protecciones - Cuarto eléctrico CE-01**



Figura 69. Cuarto de protecciones de transformadores (TR-01, TR-02 y TR-03)

Fuente: (Tonicorp, Cuarto eléctrico CE-01, 2022)

Tabla 09. Celdas de media tensión 13800 V – Cuarto eléctrico CE-01

EQUIPO	FABRICANTE	TIPO	SERIAL	TENSION NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL BARRA	NORMATIVA
CELDA ALIMENTACION PRINCIPAL	ABB	DRC	1VC3PBF0008139	17.5 KV	1250 A	IEC 62271-200
CELDA DE MEDICIÓN	ABB	WBS	1VC3PBF0008140	17.5 KV	1250 A	IEC 62271-200
CELDA DISTRIBUCION	ABB	DRS/W	1VC3PBF0008141	17.5 KV	1250 A	IEC 62271-200
CELDA PROTECCIÓN TR-01	ABB	WBC	1VC3PBF0008142	17.5 KV	1250 A	IEC 62271-200
CELDA PROTECCIÓN TR-02	ABB	WBC	1VC3PBF0008143	17.5 KV	1250 A	IEC 62271-200
CELDA PROTECCIÓN TR-03	ABB	WBC	1VC3PBF0008144	17.5 KV	1250 A	IEC 62271-200

Fuente: (Autores, 2022)

- **Gabinetes eléctricos cuarto eléctrico CE-01**

Los gabinetes principales tienen alimentación directamente de la salida de cada transformador a nivel de 460/266 V.



Figura 70. Gabinetes eléctricos CE-01

Fuente: (Tonicorp, Cuarto eléctrico CE-01, 2022)

Tabla 10. Gabinetes eléctricos de distribución CE-01

GABINETE ELECTRICO	DESCRIPCION GABINETE ELECTRICO	PROTECCIÓN	TENSIÓN	ALIMENTACION
TDP-CE1-TR-01-440V	TABLERO DISTRIB. PRINCIPAL TRANSFORMADOR 01	3P-3200 A	460 V/3F	TRANSFORMADOR TR-01
TDP-CE1-TR-02-440V	TABLERO DISTRIB. PRINCIPAL TRANSFORMADOR 02	3P-3200 A	460 V/3F	TRANSFORMADOR TR-02
TDP-CE1-TR-03-440V	TABLERO DISTRIB. PRINCIPAL TRANSFORMADOR 03	3P-3200 A	460 V/3F	TRANSFORMADOR TR-03
TD-CE-1-RECP-LECHE-440	TABLERO DISTRIB. SUMINISTRO RECEPCION LECHE	3P-630 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-01-440V
TD-SSS1	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-01	3P-1250 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-01-440V
TD-SSS2	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-02	3P-1250 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-01-440V
TD-SSS3	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-03	3P-1250 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-01-440V
TD-SSS4	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-04	3P-1250 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-01-440V
TD-SSS5	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-05	3P-1000 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-02-440V
TD-SSS6	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-06	3P-1000 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-02-440V
TD-SSS7	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-07	3P-1250 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-02-440V
TD-SSS8	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-08	3P-1250 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-02-440V
TD-SSS9	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-09	3P-1250 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-02-440V
TD-CCM1	TABLERO DISTRIB. CENTRO CONTROL MOTORES 01	3P-1500 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-03-440V
TD-CCM2	TABLERO DISTRIB. CENTRO CONTROL MOTORES 02	3P-500 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-03-440V
TD-CCM3	TABLERO DISTRIB. CENTRO CONTROL MOTORES 03	3P-500 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-03-440V
TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	TABLERO DISTRIB. COMPRESORES DE AIRE	3P-1000 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-03-440V
TD-CHILLER-TRANE	TABLERO DISTRIB. CHILLER - SIST. REFRIGERACION	3P-2000 A	460 V/3F	TDP-CE1-TR-03-440V

Fuente: (Autores, 2022)

En la tabla 10, se puede verificar los detalles de gabinetes eléctricos de las cargas puntuales, luego del levantamiento se puede denotar que en el cuarto eléctrico CE-01, no solo están conectados equipos de sistemas de refrigeración, sino también áreas adicionales como el caso de alimentación a recepción de leche y compresores de aire.

Los gabinetes eléctricos con nomenclatura TD-SSSX son los equivalentes a la alimentación directa de los arrancadores de cada uno de los compresores de amoníaco de los sistemas de refrigeración, considerados los de mayor demanda.

Los gabinetes eléctricos con nomenclatura TD-CCMX son los equivalentes a la alimentación de gabinetes de control de los motores de Bombas de suministro y recirculación y; ventiladores de los circuitos de sistemas de refrigeración. Si bien es cierto cada motor considerado aquí no son de gran demanda, al realizar el análisis por todos comprenden cargas puntuales distribuidas en 3 tableros.

En el caso de los Chiller Trane, son equipos compactos de sistemas de refrigeración que se usan de respaldo para mantenimientos preventivos y/o fallas de equipos principales.

- **Equipos conectados a gabinetes eléctricos**

Las cargas conectadas al gabinete principal del TR-01, posterior al levantamiento, se puede verificar que el gabinete eléctrico TD-CE-1-RECP-LECHE-440, corresponde a la alimentación de equipos de recepción de leche, por lo que estos no serán analizados a nivel equipo, sino como carga general del gabinete, ya que no representan gran demanda de manera individual comparado para los compresores de amoníaco y no es parte de los sistemas de refrigeración. En el caso de las bombas de aceite, son parte funcional de cada compresor por lo que se analizará una sola carga con el compresor de NH₃.

Tabla 11. Cargas conectadas a Gabinete eléctrico TR-01

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO SECUNDARIO	EQUIPOS	DESCRIPCION DE EQUIPOS (CARGAS)	POTENCIA NOM (KW)	% CARGA
TDP-CE1-TR-01-440V	TD-SSS1	SM-BC-29	BOMBA DE ACEITE SCU-01	2.24	0.15%
		SM-BC-30	COMPRESOR NH3-SCU-01	298.40	19.51%
	TD-SSS2	SM-BC-31	BOMBA DE ACEITE SCU-02	2.24	0.15%
		SM-BC-32	COMPRESOR NH3-SCU-02	298.40	19.51%
	TD-SSS3	SM-BC-33	BOMBA DE ACEITE SCU-03	3.73	0.24%
		SM-BC-34	COMPRESOR NH3-SCU-03	335.70	21.95%
	TD-SSS4	SM-BC-35	BOMBA DE ACEITE SCU-04	3.73	0.24%
		SM-BC-36	COMPRESOR NH3-SCU-04	335.70	21.95%
	TD-CE-1-RECP-LECHE-440	RECP-LECHE-440-01	MRU_01	18.18	1.19%
		RECP-LECHE-440-02	MRU_02	18.18	1.19%
		RECP-LECHE-440-03	BOMBA 61_M01	5.82	0.38%
		RECP-LECHE-440-04	BOMBA 61_M02	5.82	0.38%
		RECP-LECHE-440-05	TANQUE LC 1	2.44	0.16%
		RECP-LECHE-440-06	TANQUE LC 2	2.44	0.16%
		RECP-LECHE-440-07	BOMBA 21_M01	3.18	0.21%
		RECP-LECHE-440-08	BOMBA 22_M01	3.18	0.21%
		RECP-LECHE-440-09	BOMBA 61_M01	11.36	0.74%
		RECP-LECHE-440-10	BOMBA 62_M01	11.36	0.74%
		RECP-LECHE-440-11	PASTEURIZADOR 01	16.36	1.07%
		RECP-LECHE-440-12	PASTEURIZADOR 02	16.36	1.07%
		RECP-LECHE-440-13	DESCREMADORA 01	34.18	2.23%
		RECP-LECHE-440-14	DESCREMADORA 02	34.18	2.23%
		RECP-LECHE-440-15	BOMBA 40-M01	3.18	0.21%
		RECP-LECHE-440-16	BOMBA 52 M01	3.18	0.21%
		RECP-LECHE-440-17	TANQUE C 1	2.44	0.16%
		RECP-LECHE-440-18	TANQUE C 2	2.44	0.16%
RECP-LECHE-440-19		BOMBA 43 M01	11.36	0.74%	
RECP-LECHE-440-20		BOMBA 62 M01	11.36	0.74%	
RECP-LECHE-440-21	BOMBA 61 M01	11.36	0.74%		
RECP-LECHE-440-22	TANQUE 32000 1	2.44	0.16%		
RECP-LECHE-440-23	TANQUE 32000 2	2.44	0.16%		
RECP-LECHE-440-24	TANQUE 150000 1	2.44	0.16%		
RECP-LECHE-440-25	TANQUE 150000 2	2.44	0.16%		
RECP-LECHE-440-26	BOMBA 21 M01	11.36	0.74%		
				1529.60	100.00%

Fuente: (Autores, 2022)

Las cargas conectadas al gabinete principal de TR-02, son únicamente de compresores de amoníaco y sus respectivas bombas de enfriamiento de aceite, adicional de incluir un espacio para futuro para conectar otro compresor (Actualmente este punto no tiene demanda).

Tabla 12. Cargas conectadas a Gabinete eléctrico TR-02

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO SECUNDARIO	EQUIPOS	DESCRIPCION DE EQUIPOS (CARGAS)	POTENCIA NOM (KW)	% CARGA
TDP-CE1-TR-02-440V	TD-SSS5	SM-BC-37	BOMBA DE ACEITE SCU-05	2.24	0.17%
		SM-BC-38	COMPRESOR MYCOM N220JS NH3-SCU-05	223.78	16.53%
	TD-SSS6	SM-BC-39	BOMBA DE ACEITE SCU-06	2.24	0.17%
		SM-BC-40	COMPRESOR MYCOM N220JS NH3-SCU-06	223.78	16.53%
	TD-SSS7	SM-BC-41	BOMBA DE ACEITE SCU-07	2.24	0.17%
		-	COMPRESOR MYCOM N220JM NH3-SCU-07	298.37	22.04%
	TD-SSS8	SM-BC-42	BOMBA DE ACEITE SCU-08	2.24	0.17%
		SM-BC-43	COMPRESOR MYCOM N220JM NH3-SCU-08	298.37	22.04%
	TD-SSS9	SM-BC-44	COMPRESOR MYCOM N220JL E NH3-SCU-09 (FUTURO)	298.37	22.04%
		SM-BC-45	BOMBA DE ACEITE SCU-09 (FUTURO)	2.24	0.17%
				1353.85	100.00%

Fuente: (Autores, 2022)

Al igual que en el gabinete eléctrico del TR-01, las cargas conectadas en el TR-02 son 4 compresores de amoniaco y sus respectivas bombas de aceite, por lo que para posterior análisis se considerará una sola carga.

Tabla 13. Cargas conectadas a Gabinete eléctrico TR-03

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO	EQUIPOS	DESCRIPCION DE EQUIPOS (CARGAS)	POTENCIA NOM (KW)	% CARGA	
TDP-CE1-TR-03-440V	TD-CCM1	SM-BC-01	BOMBA CO2	3.73	0.23%	
		SM-BC-02	BOMBA CO2 (STAND BY)	3.73	0.23%	
		SM-BC-03	BOMBA CO2	3.73	0.23%	
		SM-BC-04	BOMBA CO2	3.73	0.23%	
		SM-BC-05	BOMBA CO2 (STAND BY)	3.73	0.23%	
		SM-BC-06	BOMBA CONDENSADORES UMAS	22.38	1.36%	
		SM-BC-07	BOMBA CONDENSADORES CHILLER CENTRAL	44.76	2.72%	
		SM-BC-08	BOMBA CONDENSADORES CHILLER CENTRAL (STAND BY)	22.38	1.36%	
		SM-BC-09	BOMBA CONDENSADORES REFRIGERADOS	14.92	0.91%	
		SM-BC-10	BOMBA CONDENSADORES -34°C	22.38	1.36%	
		SM-BC-11	BOMBA CONDENSADORES -43°C	22.38	1.36%	
		SM-BC-12	BOMBA CONDENSADORES -34°C FUTURO	22.38	1.36%	
		SM-CC-01	CÁMARA CONGELACIÓN -20°C	14.20	0.86%	
		SM-CC-02	CÁMARA CONGELACIÓN -20°C	3.24	0.20%	
		SM-CC-03	CÁMARA CONGELACIÓN -20°C	2.40	0.15%	
		SM-CR-01	CÁMARA REFRIGERACIÓN MP +4°C	17.15	1.04%	
		SM-CR-02	CÁMARA REFRIGERACIÓN MP +4°C	6.36	0.39%	
		SM-DS-01	DESCONGELACIÓN +4°C	15.20	0.92%	
		SM-DS-02	DESCONGELACIÓN +4°C	1.76	0.11%	
		SM-PLC-01	CONSUMO TABLERO PLC CENTRAL	2.80	0.17%	
		SM-PS-01	PESAJE NORMAL	2.50	0.15%	
		SM-PS-02	PESAJE ESPECIAS	2.50	0.15%	
		SM-PU-01	PURGADOR	1.00	0.06%	
		SM-RL-01	RECEPCIÓN DE LECHE UMA	11.00	0.67%	
		SM-RL-02	RECEPCIÓN DE LECHE CLIMATIZACIÓN	8.00	0.49%	
		SM-RW-01	RAW COOLER	1.40	0.09%	
		SM-TE-01	TORRE DE ENFRIAMIENTO CONDENSADORES AT-112-218L	89.51	5.44%	
		SM-BC-13	MYCOM N220JM CHILLER CENTRAL	2.24	0.14%	
		SM-BC-14	BOMBA RECIRCULACIÓN UMAS MYCOM #1	7.46	0.45%	
		SM-BC-15	BOMBA RECIRCULACIÓN UMAS MYCOM #2 (STAND BY)	7.46	0.45%	
		SM-BC-16	BOMBA RECIRCULACIÓN CHILLER CENTRAL #1	7.46	0.45%	
		SM-BC-17	BOMBA RECIRCULACIÓN CHILLER CENTRAL #2	7.46	0.45%	
		SM-BC-18	BOMBA RECIRCULACIÓN CHILLER CENTRAL #3 (STAND BY)	7.46	0.45%	
	SM-BC-19	BOMBA SUMINISTRO UMAS #1	55.94	3.40%		
	SM-BC-20	BOMBA SUMINISTRO UMAS #2 (STAND BY)	55.94	3.40%		
	SM-BC-21	BOMBA DE GLICOL REFRIGERADOS #1	37.30	2.27%		
	SM-BC-22	BOMBA DE GLICOL REFRIGERADOS #2 (STAND BY)	37.30	2.27%		
	SM-BC-23	BOMBA SUMINISTRO CHILLER CENTRAL #1 (STAND BY)	44.76	2.72%		
	SM-BC-24	BOMBA SUMINISTRO CHILLER CENTRAL #2	44.76	2.72%		
	SM-BC-25	BOMBA DE ENFRIAMIENTO ACEITE	18.65	1.13%		
	SM-BC-26	BOMBA DE ENFRIAMIENTO ACEITE (STAND BY)	18.65	1.13%		
	SM-BC-27	BOMBA AGUA TORRE PROCESO	37.30	2.27%		
	SM-BC-28	BOMBA AGUA TORRE PROCESO (STAND BY)	37.30	2.27%		
	SM-TE-02	TORRE ENFRIAMIENTO PROCESO AT-29-818	22.38	1.36%		
	SM-TE-03	TORRE ENFRIAMIENTO ACEITE AT-19-58	5.59	0.34%		
	TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	COMP-AIRE-440-1-1	COMPRESOR DE AIRE ESTERIL 1	31.82	1.93%
			COMP-AIRE-440-1-2	COMPRESOR DE AIRE ESTERIL 2	31.82	1.93%
		COMP-AIRE-440-1-3	COMPRESOR DE AIRE LUBRICADO 1	90.90	5.53%	
		COMP-AIRE-440-1-4	COMPRESOR DE AIRE LUBRICADO 2	54.54	3.32%	
		COMP-AIRE-440-1-5	COMPRESOR DE AIRE LUBRICADO 3	90.90	5.53%	
	TD-CHILLER-TRANE	SM-UCOND-03	CHILLER TRANE TONI #1, #2, #3	519.95	31.62%	
				1644.53	100.00%	

(Autores, 2022)

En las cargas levantadas en tabla 13, se puede verificar mayor cantidad de equipos, ya que la mayoría son motores de bombas y ventiladores de los sistemas de refrigeración,

algunos de ellos como en el caso de los que están en rojo e indican Stand-by, pertenecen a electrobombas que se usan para respaldo ante mantenimientos preventivos o correctivos de las electrobombas principales, por lo que estos equipos no tendrán mayor demanda. Adicional se denota que en este gabinete también se alimentan los compresores de aire que suministran aire comprimido a la planta. Como en el caso del TR-01, se lo analizará de manera grupal ya que no pertenecen a los sistemas de refrigeración.

3.3.2 Planilla de gabinetes eléctricos y cargas conectadas

En base a los datos levantados de los equipos conectados a cada uno de los gabinetes eléctricos, se determina la potencia instalada y demandada considerando el factor de demanda desde el inicio del proyecto de instalación de equipos.

En la siguiente tabla, se puede verificar los cálculos realizados durante el montaje de la planta para la instalación de los equipos:

Tabla 14. Cálculo de la demanda Cuarto Eléctrico CE-01

CALCULO DE LA DEMANDA						
OBRA: PLANTA LA AURORA FECHA: ABRIL 2015 TABLERO: TDP-CE1-TR-01-440V TIPO: TRIFASICO ARCHIVO: RESUMEN GENERAL DE CÁLCULO DE LA DEMANDA UBICACIÓN: CUARTO ELECTRICO ALIMENTACION: TRANSFORMADOR T						FOR DIS 43 VER 31 03 2014
TABLERO NOMBRE	CARGA INSTALADA	FACTOR DEMANDA	DEMANDA MAX.	FASES		
				A	B	C
TDP-CE1-TR-01-440V	1,682,590	0.70	1,177,813	392,604	392,604	392,604
TDP-CE1-TR-02-440V	1,486,927	0.70	1,040,849	346,950	346,950	346,950
TDP-CE1-TR-03-440V	1,809,162	0.60	1,084,171	361,390	361,390	361,390
TOTAL	4,978,679	0.66	3,302,833	1,100,944	1,100,944	1,100,944
CARGA INSTALADA=			4,978,679	VATIOS		
DEMANDA=			3,302,833	VATIOS		
FACTOR DE COINCIDENCIA=			1.00			
DEMANDA MAXIMA ESTIMADA=			3,302,833	VATIOS		
TR-01			2000[KVA]	13800/460-265 [V]		
TR-02			2000[KVA]	13800/460-265 [V]		
TR-03			2000[KVA]	13800/460-265 [V]		

Fuente: (Tonicorp, Diagrama unifilar subestación eléctrica, 2016)

En los cálculos definidos durante el inicio del proyecto de montaje de planta, se consideraron los datos de la tabla 14, mismos tomados para continuar con el levantamiento y análisis.

Tabla 15. Porcentaje de cargas gabinetes eléctricos principales

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	POTENCIA TRANSF. KVA	FACTOR POTENCIA (φ)	POTENCIA ACTIVA KW	POTENCIA INSTALADA (KW)	Σ POTENCIA NOM EQUIPOS (KW)	FACTOR DEMANDA	POTENCIA DEMANDA (KW)	% CARGA POTENCIA INSTALADA	% CARGA POTENCIA DEMANDA
TDP-CE1-TR-01-440V	2000	0.98	1960	1682.59	1529.61	0.7	1177.81	85.85%	60.09%
TDP-CE1-TR-02-440V	2000	0.98	1960	1489.38	1353.87	0.7	1042.57	75.99%	53.19%
TDP-CE1-TR-03-440V	2000	0.98	1960	1809.16	1644.53	0.6	1085.50	92.30%	55.38%

Fuente: (Autores, 2022)

Los 3 transformadores son de 2000 KVA, potencia aparente, con una consideración de factor de potencia de 0.98, dato tomado del banco de capacitores de cada uno de los gabinetes eléctricos principales de cada a nivel de 460 V, de esta manera se tiene una potencia disponible de cada transformador de 1960 KW para demanda máxima.

En función a lo antes expuesto, se calculó el porcentaje de carga que representa en función de potencia instalada y potencia de demanda, estos son datos que se analizarán posterior a la toma de medidas actualmente del sistema eléctrico.

Tabla 16. Porcentaje de cargas referente a CE-01 y por transformador

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	POTENCIA INSTALADA	GABINETE ELECTRICO CARGAS	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA NOM (KW)	% CARGA CUARTO ELECTRICO CE-01	% CARGA POR TRANSFORMADOR	
TDP-CE1-TR-01-440V	1682.59	TD-CE-1-RECP-LECHE-440	274.44	249.47	5.51%	33.78%	16.31%
		TD-SSS1	330.70	300.64	6.64%		19.65%
		TD-SSS2	330.70	300.64	6.64%		19.65%
		TD-SSS3	373.37	339.43	7.50%		22.19%
		TD-SSS4	373.37	339.43	7.50%		22.19%
TDP-CE1-TR-02-440V	1489.38	TD-SSS5	248.64	226.02	4.99%	29.90%	16.69%
		TD-SSS6	248.64	226.02	4.99%		16.69%
		TD-SSS7	330.70	300.61	6.64%		22.20%
		TD-SSS8	330.70	300.61	6.64%		22.20%
		TD-SSS9	330.70	300.61	6.64%		22.20%
TDP-CE1-TR-03-440V	1809.16	TD-CCM1	406.19	369.22	8.15%	36.32%	22.45%
		TD-CCM2	248.64	226.02	4.99%		13.74%
		TD-CCM3	252.33	229.37	5.07%		13.95%
		TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	330.00	299.97	6.62%		18.24%
		TD-CHILLER-TRANE	572.00	519.95	11.48%		31.62%
TOTAL	4981.13		4981.14	4528.01	100.00%	100.00%	

Fuente: (Autores, 2022)

La tabla 16, indica el porcentaje de carga teniendo en referencia la potencia instalada total del cuarto eléctrico CE-01 por gabinete eléctrico secundario, y adicional también el porcentaje de carga en referencia a cada transformador.

Esto nos ayuda a identificar los puntos de mayor potencia que se tiene conectados a los transformadores, sin embargo, estos equipos no son de mayor consumo, pero dependen

también del porcentaje de carga que trabajen de manera independiente y del tiempo de trabajo, datos que se los conocerá posterior al análisis con equipos de monitoreo y medida.

Luego de conocer la naturaleza y potencias nominales de los equipos que se tienen conectados a los transformadores, se puede realizar el monitoreo y medición de parámetros para verificar cual es la demanda actual en estado de operación normal de planta, esto nos ayudará a tener una mejor referencia para la instalación del analizador múltiple como plan piloto para monitorear y optimizar el consumo de energía eléctrica.

3.4 Medición de parámetros eléctricos

Según los datos levantados, se realizó el respectivo análisis en función de las cargas conectadas a los transformadores para en base a esto tomar las medidas eléctricas de equipos puntuales que representen mayor potencia, ya que son los que en teoría tendrán el mayor consumo según el tiempo de trabajo, los equipos de menor potencia se los analizarán en grupos al gabinete eléctrico que estén conectados.

Tabla 17. Cargas eléctricas a medir

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO CARGAS	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA NOM (KW)
TDP-CE1-TR-01-440V	TD-CE-1-RECP-LECHE-440	274.44	249.47
	TD-SSS1	330.70	300.64
	TD-SSS2	330.70	300.64
	TD-SSS3	373.37	339.43
	TD-SSS4	373.37	339.43
TDP-CE1-TR-02-440V	TD-SSS5	248.64	226.02
	TD-SSS6	248.64	226.02
	TD-SSS7	330.70	300.61
	TD-SSS8	330.70	300.61
	TD-SSS9	330.70	300.61
TDP-CE1-TR-03-440V	TD-CCM1	406.19	369.22
	TD-CCM2	248.64	226.02
	TD-CCM3	252.33	229.37
	TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	330.00	299.97
	TD-CHILLER-TRANE	572.00	519.95

Fuente: (Autores, 2022)

Como se indicó anteriormente, el análisis está centrado en los equipos de sistemas de refrigeración, por lo que durante el levantamiento de equipos se pudo verificar lo siguiente:

1. En el gabinete eléctrico del TR-01 se tiene conectado un gabinete eléctrico secundario con equipos de recepción de leche, mismos que no pertenecen a los

sistemas de refrigeración, pero demandan energía de este punto, por lo que se analizará de manera total no por equipo.

2. En el gabinete eléctrico del TR-03 se tiene conectado un gabinete eléctrico secundario con equipos de compresores de aire, mismos que no pertenecen a los sistemas de refrigeración, pero demandan energía de este punto, por lo que se analizará de manera total no por equipo.
3. Los gabinetes eléctricos TD-SSSX, únicamente tienen conectados 2 equipos, un motor eléctrico para potencia al compresor de tornillo de amoniaco y una electrobomba para recirculación de aceite de enfriamiento del compresor, adicional el TD-SSS9 no tiene carga, ya que fue instalado para futuro aumentar capacidad, por lo que este punto no será de análisis.
4. Los gabinetes eléctricos TD-CCMX son para control de motores eléctricos de Bombas, y ventiladores que se usan en diferentes procesos de sistemas de refrigeración, mismos que se analizarán de manera total ya que de manera individual no representan mayor carga si se compara con un motor de compresor de amoniaco.
5. Los puntos a realizar monitoreo y análisis de consumo, son los que están reflejados en la tabla 17, sin embargo, se realizará toma de muestreo de consumos por equipos puntuales que representen mayor demanda como es el caso de los compresores de amoniaco para verificar el porcentaje de carga al que trabajan de manera momentánea.

3.4.1 Instrumentación a utilizar.

- ***Pinza Amperimétrica FLUKE 375 FC.***

Este instrumento es del fabricante Fluke, rango de tensión de hasta 1000 [V], con capacidad de medición con la pinza de hasta 600 [A], y al utilizar la sonda i-Flex I-2500-18, se puede medir corrientes de hasta 2500 [A]. Tipo de seguridad IEC 61010-1, integrado con un grado de contaminación 2, IEC 61010-2-032: CAT III 1000 V / CAT IV 600 V.

Se lo utilizará para realizar las tomas de medida de tensiones y corrientes de manera provisional para conocer los rangos promedio de tensión y corriente de trabajo de las cargas eléctricas.

Gracias a la conectividad Wifi que presta esta versión, es posible conectarlo a un dispositivo celular para monitorear los datos.



Figura 71. Pinza amperimétrica Fluke 375FC

Fuente: (Autores, 2022)

La pinza amperométrica ayudará a tener una referencia de los rangos de parámetros con los que trabaja cada carga eléctrica y a posterior a eso determinar los transformadores de corriente para la adquisición de los mismos y usarlos con los medidores de energía.

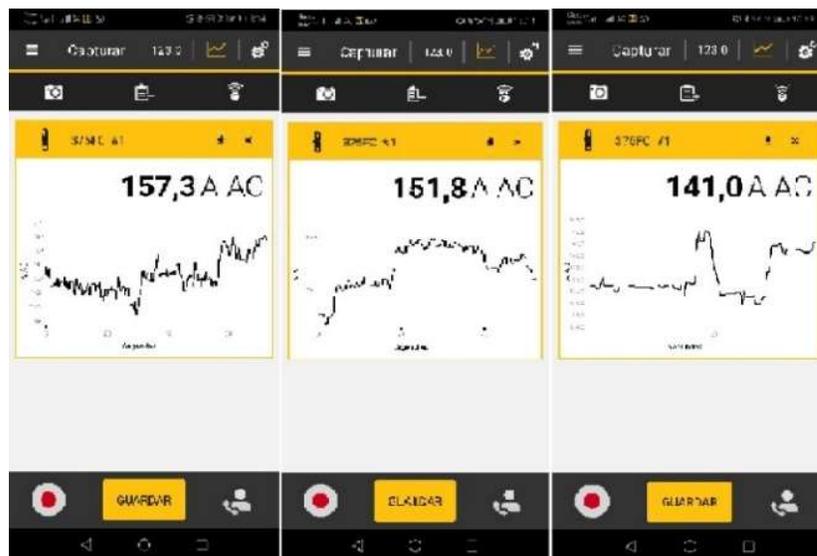


Figura 72. Medición monitoreo Wifi Fluke 375 FC

Fuente: (Autores, 2022)



Figura 73. Medición Compresor NH3-01

Fuente: (Autores, 2022)

- ***Multimedidor Siemes SENTRON PAC-3200***

Con la pinza amperimétrica solo se puede medir un parámetro a la vez, es decir o tensión o corriente en una sola línea que es de nuestro interés, y por esto no se tendrá una medida adecuada de los parámetros de las líneas, neutro y tierra al mismo tiempo, por lo que se preparó un medidor de energía del fabricante Siemens, modelo SENTRON PAC-3200 de tal manera que sea fácil de movilizar y conectar a las diferentes cargas eléctricas.



Figura 74. Multimedidor Siemens SENTRON PAC-3200

Fuente: (Autores, 2022)

- **Transformadores de corriente núcleo Bipartido Dixsen 1000/5 [A]**

Posterior a las medidas realizadas con la pinza amperimétrica en los diferentes gabinetes eléctricos principales y de las cargas, se determinó el rango de los transformadores de corriente para el multimetro, en este caso de 1000 [A], con una relación de 1000/5 [A], IEC61869-2, 50/60 Hz.



Figura 75. Transformador de corriente 1000/5 [A].

Fuente: (Autores, 2022)

Junto con los transformadores de corriente, están los cables de conexión para medición tipo de seguridad CAT III 1000V/ 10[A].

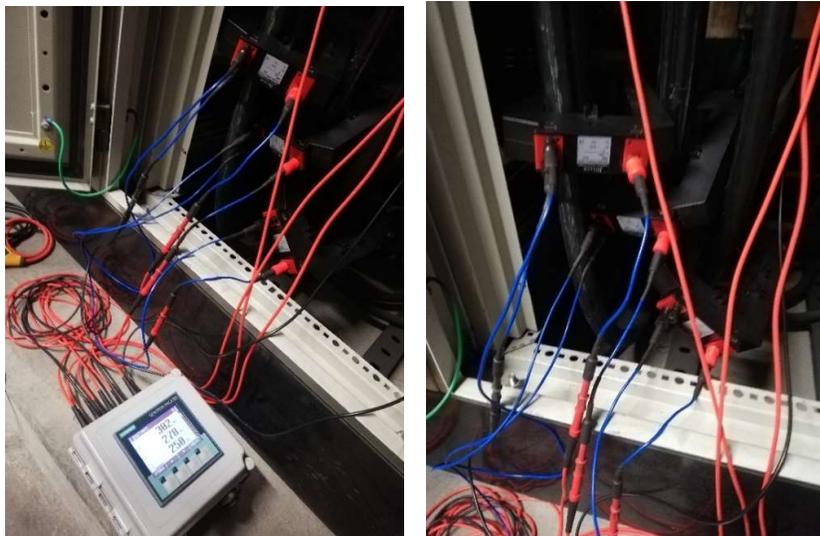


Figura 76. Medición parámetros Analizador Siemens Sentron PAC-3200

Fuente: (Autores, 2022)

3.5 Instalación de analizador de energía múltiple

El analizador de energía múltiple ayuda a organizar mejor y ganar espacio al momento de la instalación si se compara con un analizador de red convencional.

3.5.1 Instalación en gabinete eléctrico

La instalación se lo realiza en el centro de carga del transformador 02, este fue seleccionado posterior al análisis realizado anteriormente y se determinó el punto de medida como piloto para el monitoreo de parámetros.

La tensión de alimentación, es la misma para los 4 circuitos por lo que se realiza la toma con sus debidas protecciones, la alimentación para el analizador y las señales de corriente escalada de cada transformador de corriente.



Figura 77. Instalación de multimedidor Panasonic MW2M-X

Fuente: (Autores, 2022)

La comunicación para conectarse al Software de ajustes y monitoreo se lo hace por entrada RJ45 Ethernet, o adicional, para establecer comunicación industrial hacia diferentes sistemas de adquisición de datos RS-485.



Figura 78. Analizador de red múltiple instalado

Fuente: (Autores, 2022)

3.5.2 Instalación de transformadores de corriente

Se dispone de 12 transformadores de corriente del fabricante WAGO en un rango de medida de 600/5 A, este componente, se determinó posterior al análisis de consumo de corriente de los transformadores tanto en su trabajo normal como en el arranque, verificándose que la corriente está dentro del rango.



Figura 79. Instalación TC núcleo partido 4 circuitos GE-TR-02

Fuente: (Autores, 2022)

Los transformadores son conectados en 4 circuitos trifásicos, es decir la acometida hacia los arrancadores de los compresores de amoniaco 5, 6, 7 y 8

3.5.3 Diagrama eléctrico de instalación.

En el diagrama eléctrico se verifica el analizador conectado a los cuatro circuitos determinados y la conexión física al punto de red para la adquisición de datos.

La alimentación para el analizador se tomó un punto de 120 Vac/60 Hz de fuente ininterrumpida (UPS) para mantener el equipo en funcionamiento, aunque se presente un corte del fluido eléctrico general.

En la figura 77 se puede verificar el diseño del circuito, adicional, el diagrama se encuentra en los Anexos de este documento.

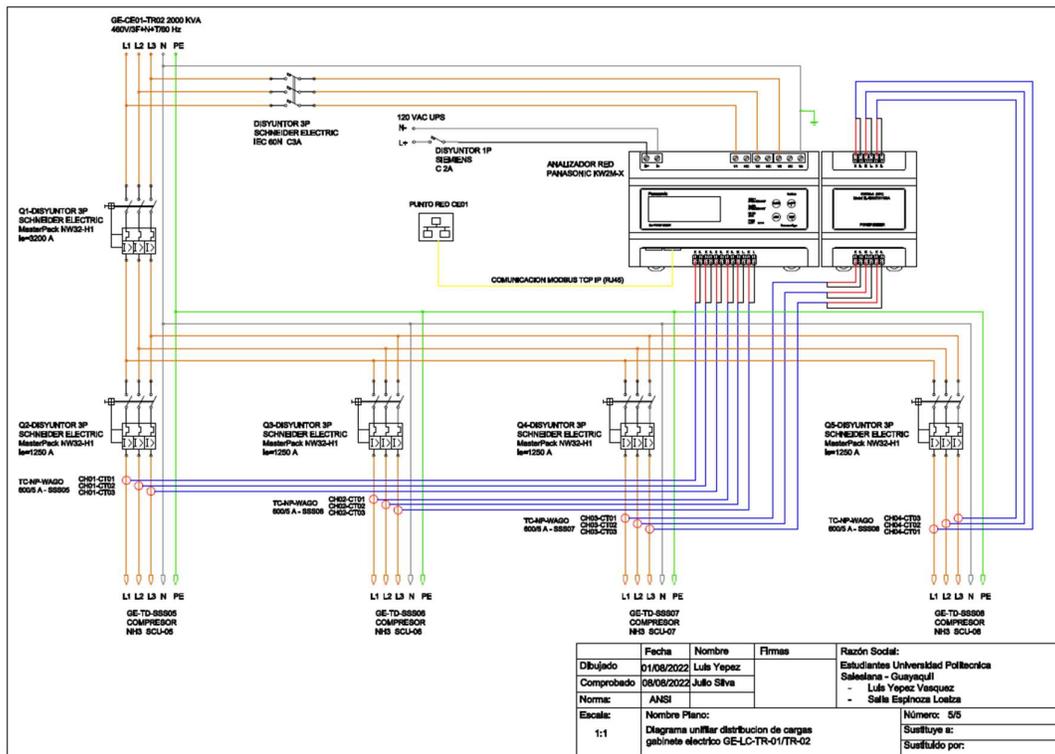


Figura 80. Diagrama eléctrico instalación de analizador de red

Fuente: (Autores, 2022)

3.5.4 Instalación de software KW Watcher (Análisis de datos)

Con este software, las operaciones se clasifican en dos partes principales: "Configuración" y "Visualización de datos".

Procedimiento de instalación. Inicie setup.exe.



Figura 81. Inicie configuración – Seleccionar lenguaje

Fuente: (Panasonic I. D., 2021)

1. Seleccione el lenguaje de instalación
2. Después de prepararse para la instalación, aparecerá el asistente de configuración de KW Watcher.
3. Haga clic en [Siguiente] para pasar al acuerdo de licencia de software
4. Aceptar los términos del acuerdo de licencia y hacer clic en [Siguiente].
5. A menos que se acuerde, no se pueden realizar más procedimientos.
6. Introduzca el nombre de usuario y la organización.
7. Compruebe si la información es correcta y luego haga clic en [Siguiente].
8. Seleccione una carpeta para instalar el software (si es necesario).
9. La carpeta de destino predeterminada es "C:/ProgramFiles/Panasonic-EW ControlKW Watcher".
10. Haga clic en [Siguiente] si la carpeta predeterminada es aceptable.
11. Haga clic en [Examinar] para especificar la carpeta de destino si necesita cambiar y luego haga clic en [Siguiente]
12. Haga clic en [Instalar] para continuar con la instalación.
13. Haga clic en [Finalizar] una vez finalizada la instalación.

Este software permite la extracción de datos para el análisis en base al diseño que se configure, en el caso de la versión KW2M-X, es posible extraer en formato CSV para el análisis ya que tiene memoria para almacenamiento.

3.5.5 Comunicación con PC para análisis.

Para comunicarse con el equipo, se lo realiza mediante el puerto Ethernet Rj45, mismo que se utiliza para, configuración de parámetros, monitoreo en Web, y el software KW-Watcher. En los 3 casos se utiliza la dirección IP configurada en el equipo, pero con respectivas rutas.

1. Ingresar en el menú del analizar pulsando el botón MODE (Contraseña: 0000), hasta llegar a la opción Comunicación Ethernet.
2. Ingresar una dirección IP, Mask, Gateway y habilitar la configuración Web Server.
3. Para ingresar al menú de configuración del equipo, es necesario ingresar la dirección IP configurada en el analizador, seguido de lo siguiente: <http://xxx.xxx.xxx.xxx/setup/index.html>”, en la barra de direcciones del navegador de internet. En esta opción se puede configurar todos los parámetros del equipo como Tipo de conexión, Tipos de transformadores para medida, módulos de expansión, etc.

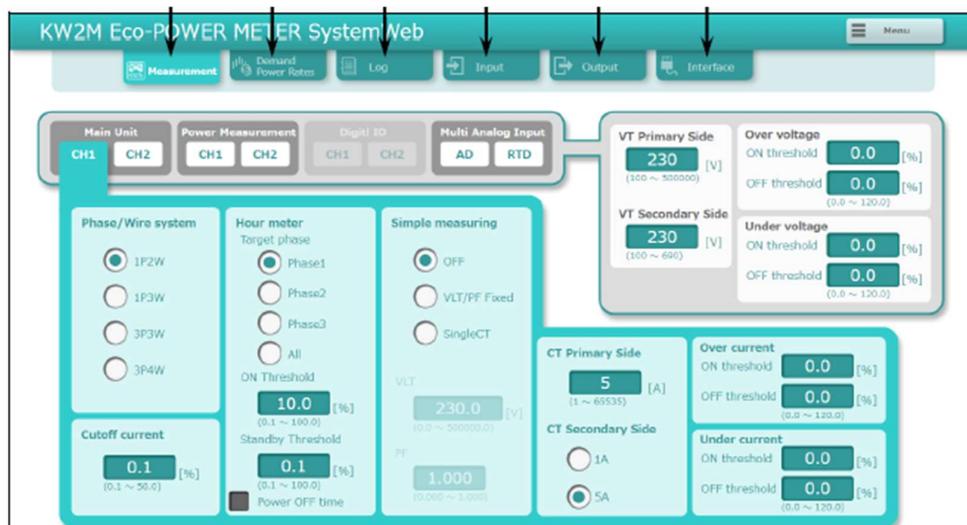


Figura 82. Configuración de parámetros comunicación Ethernet

Fuente: (Panasonic, 2019)

- Para ingresar al Web Server y monitorear en red es necesario ingresar a lo siguiente: “<http://xxx.xxx.xxx.xxx/monitor/index.htm>”, en la barra de direcciones del navegador de internet. En esta aplicación se puede monitorear en tiempo real los parámetros del equipo.

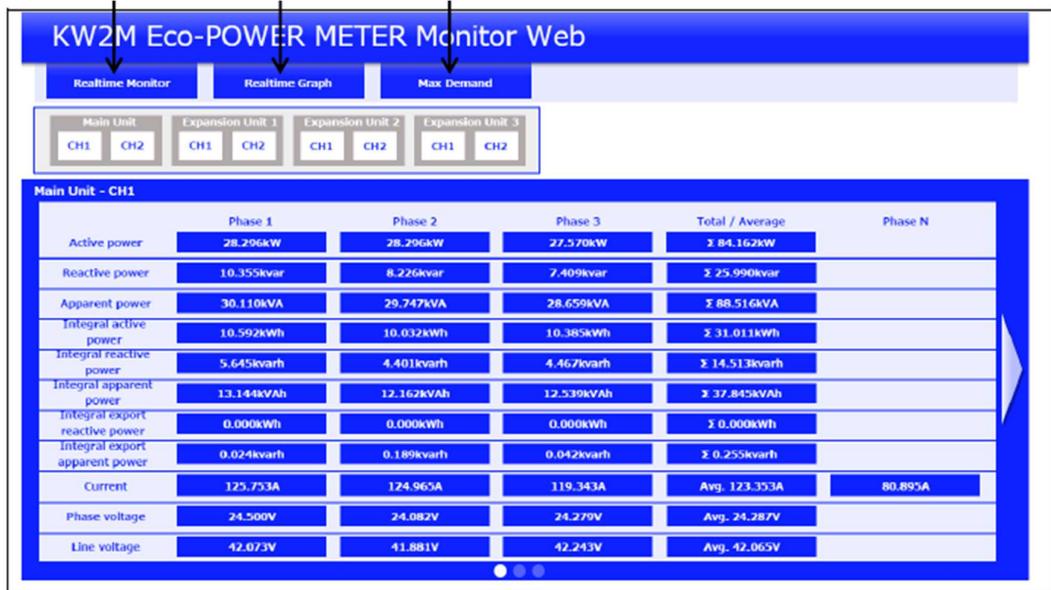


Figura 83. Web Server – Monitoreo de parámetros de medida en tiempo real

Fuente: (Panasonic, 2019)

- Comunicación con KW-Watcher, al igual que las anteriores es necesario alinear las direcciones IP configuradas desde el software.

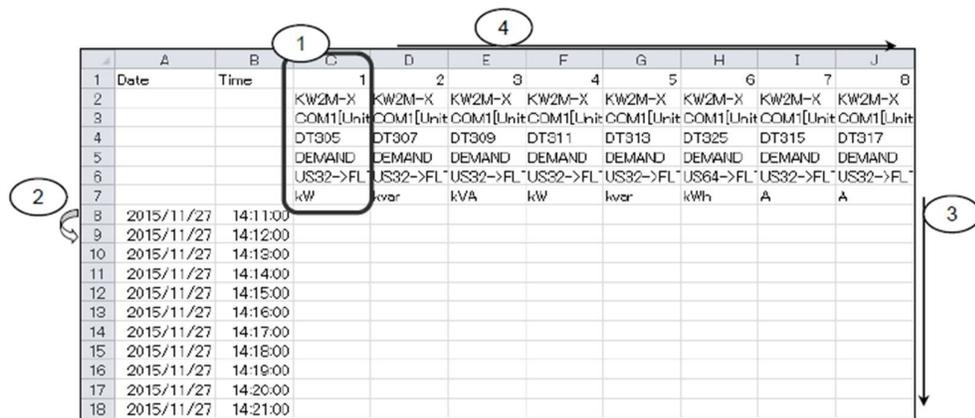


Figura 84. Extracción de datos CSV KW-Watcher

Fuente: (Panasonic, 2019)

3.5.6 Monitoreo de parámetros y extracción de datos

Una vez realizado las respectivas configuraciones, se puede acceder a los parámetros que toma el equipo, en este caso se conectó al Web-Server.



Figura 85. Configuración, monitoreo en tiempo real y extracción de datos

Fuente: (Autores, 2022)

3.6 Integración datos al SCADA de planta

El Scada existente en planta para la supervisión, control y adquisición de datos, está desarrollado en el software Indusoft, ya que a tener dispositivos periféricos de diferentes marcas en los procesos de automatización es muy conveniente para su integración.

Dentro de este desarrollo constan además del consumo de energía eléctrica, otros como consumo de agua de planta, combustibles y con opciones a demás.

En el caso del consumo de energía eléctrica, se considera un área de monitoreo. Antes de iniciar el proyecto, no se disponían de Tags libres para su uso, por lo que tuvo que comprar un alcance de la licencia para incluir los parámetros del nuevo analizador, estos valores fueron considerados en el presupuesto, ya que fue necesario para el complemento del trabajo.

Hay que considerar que en base al número de tags por paquetes fue necesario adquirir el **Indusoft Operator Workstation** que incluye los **4000 tags**, mismos que serán utilizados a futuro para integrar los demás equipos para monitoreo en los cuartos eléctricos restantes.

Versión Indusoft Web Studio	Descripción
Indusoft Lite Interface	Versión más básica para desarrollos de hasta 150 etiquetas con soporte para 1 equipo periférico
Indusoft Lite Interface Plus	Versión básica para desarrollos de hasta 300 etiquetas con 1 manejador de equipo periférico
Indusoft Local Interface	Versión mediana para trabajar con hasta 3 equipos periféricos con soporte de hasta 1,500 etiquetas
Indusoft Operator Workstation	Versión mediana para hasta 5 manejadores simultáneos para trabajar con hasta 4,000 etiquetas

Figura 86. Paquetes de licencias Indusoft

Fuente: (Tei, 2010)

3.6.1 Comunicación serial RS-485

Para la configuración del dispositivo, monitorear en tiempo real y descargar los datos de la memoria se utilizó la comunicación Ethernet como opción directa, para la comunicación a la red del SCADA, en este caso se lo puedo conectar utilizando Ethernet o RS-485, siendo este último más viable ya que por su topología únicamente se conecta en paralelo al analizador de red total del GE-TR02.

Al utilizar la comunicación RS-485, se debe ingresar al menú del analizador, incluir contraseña (0000), y configuración el puerto de comunicación como número de puerto, velocidad de transmisión, paridad, etc.

1. Uso de la herramienta Master Modbus Tool para leer los drivers Modbus para verificar que exista la comunicación correcta.
2. Verificar la tabla de comunicación del analizador de red para la comunicación Modbus, mismo que es necesario al momento de leer el puerto con Indusoft
3. Ingresar al Software Indusoft, en la parte de drivers, se busca la comunicación Modbus que se va a agregar, y se visualiza a carpeta Modbus con el driver.
4. Se ingresa los parámetros de configuración para el driver como la creación del tag, estación, dirección de entrada o salida, la acción que tendrá, el tipo de carácter a usar.
5. Posterior se verifica en la parte Database Spy, se puede dar el nombre del parámetro a leer (tags), en este caso (KWh) extraído de los cuatro circuitos a medir de manera promedio, siendo estos Consumo SSS-05, SSS06, SSS07 Y SSS08.

3.6.2 Visualización de datos

Para la visualización de la demanda de los compresores de amoniaco conectados al GE-TR02, se modificó el Scada, incluyendo la imagen referencial y el parámetro a visualizar.

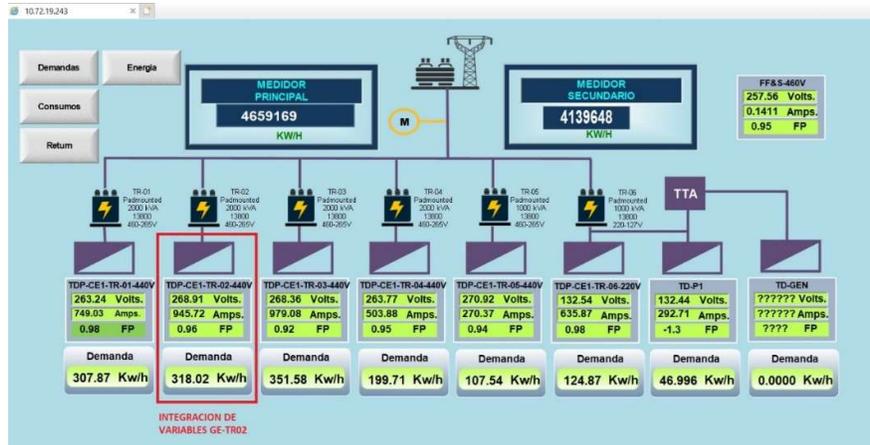


Figura 87. Pantalla principal SCADA consumos energía eléctrica planta

Fuente: (Tonicorp, Cuarto eléctrico CE-01, 2022)

Tener en cuenta que los parámetros visualizados en la pantalla principal, son los valores que toman los analizadores de red conectados en cada gabinete eléctrico a la salida de los transformadores a nivel de 460 [V].

Al ingresar en la carga del transformador TR02, se pudo visualizar, que se tenía creado íconos de equipos que no correspondían a los que estaban conectados realmente, por lo que se rediseño el diagrama y se incluyó las variables definidas para cada carga.

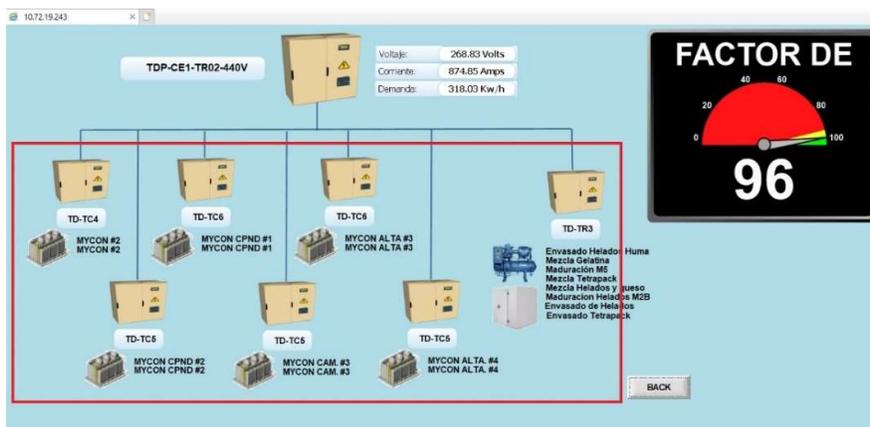


Figura 88. Diseño anterior de Scada cargas de GE-TR02

Fuente: (Tonicorp, Cuarto eléctrico CE-01, 2022)

Posterior a la modificación de la pantalla, para incluir únicamente los equipos existentes, se incluye los parámetros a visualizar:

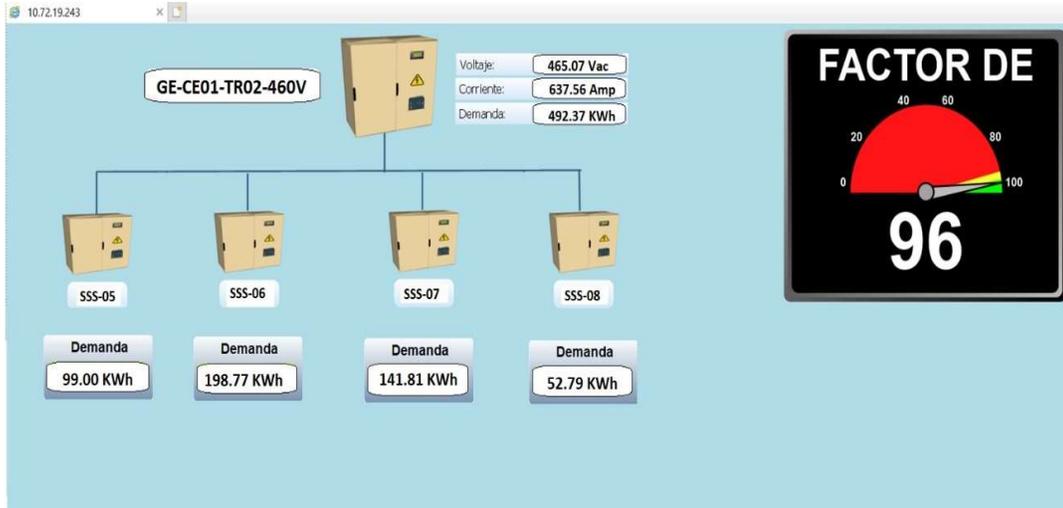


Figura 89. Diseño final de pantalla con parámetros de consumo.

Fuente: (Autores, 2022)

Este SCADA, fue diseñado originalmente para monitoreo de consumo de energía eléctrica durante el montaje de equipos en el proyecto inicial, motivo por el cual aún se mantienen íconos de equipos que se pensó en su momento instalar.

Posterior a este trabajo sería necesario su actualización a nivel general para organizar los activos que consumen energía eléctrica y sea necesario monitorear.

CAPITULO 4

4. ANALISIS Y RESULTADOS

4.1 Análisis de transformadores en base a datos obtenidos

- Demanda de energía eléctrica por equipo

- Demanda de energía eléctrica por GE Distribución
- Demanda de energía eléctrica por transformador

4.1.1 Demanda de energía eléctrica por equipo

A nivel de equipos, se realizó toma de media con pinza amperimétrica Fluke 375 FC, para tener la referencia de consumo por equipo según lo definido anteriormente, para de esta manera conocer el porcentaje de carga de trabajo en función de la potencia nominal, tales medidas fueron tomadas del 10 al 14 de enero de 2022.

Tabla 18. Medición de parámetros equipo Gabinete eléctrico TR-01

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO SECUNDARIO	DESCRIPCION DE EQUIPOS	DATOS DE PLACA FABRICANTE			MEDICIÓN PINZA AMPERIMETRICA FLUKE 375 FC						
			POTENCIA NOMINAL (KW)	FACTOR POTENCIA (φ)	% CARGA	POTENCIA DEMANDA (KW)	TENSION (V)			CORRIENTE (A)		
							RS	ST	TR	IA	IB	IC
TDP-CE1-TR-01-440V	TD-CE-1-RECP-LECHE-440	GENERAL	249.47	0.89	51.37%	128.14	460.45	459.45	462.30	180.34	179.23	182.34
	TD-SS51	BOMBA DE ACEITE SCU-01	2.24	0.84	88.02%	1.97	460.45	459.45	462.30	2.96	2.94	2.92
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-01	298.40	0.88	69.41%	207.13	460.45	459.45	462.30	298.82	296.98	295.15
	TD-SS52	BOMBA DE ACEITE SCU-02	2.24	0.84	89.28%	2.00	460.45	459.45	462.30	3.00	2.98	2.97
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-02	298.40	0.88	67.81%	202.34	460.45	459.45	462.30	268.19	266.54	264.90
	TD-SS53	BOMBA DE ACEITE SCU-03	3.73	0.84	81.48%	3.04	460.45	459.45	462.30	4.57	4.54	4.51
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-03	335.70	0.88	34.71%	116.52	460.45	459.45	462.30	168.10	167.07	166.04
	TD-SS54	BOMBA DE ACEITE SCU-04	3.73	0.84	78.46%	2.93	460.45	459.45	462.30	4.40	4.37	4.34
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-04	335.70	0.88	29.86%	100.25	460.45	459.45	462.30	144.63	143.74	142.86
				1529.61	0.86	49.97%	764.31					

Tabla 19. Medición de parámetros equipo Gabinete eléctrico TR-02

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO SECUNDARIO	DESCRIPCION DE EQUIPOS	DATOS DE PLACA			MEDICIÓN PINZA AMPERIMETRICA FLUKE 375 FC						
			POTENCIA NOMINAL (KW)	FACTOR POTENCIA (φ)	% CARGA	POTENCIA DEMANDA (KW)	TENSION (V)			CORRIENTE (A)		
							RS	ST	TR	IA	IB	IC
TDP-CE1-TR-02-440V	TD-SS55	BOMBA DE ACEITE SCU-05	2.46	0.84	90.16%	2.22	458.15	456.42	461.32	3.33	3.32	3.34
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-05	246.18	0.88	39.28%	96.70	458.15	456.42	461.32	139.32	138.79	139.75
	TD-SS56	BOMBA DE ACEITE SCU-06	2.46	0.84	94.22%	2.32	458.15	456.42	461.32	3.48	3.47	3.49
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-06	246.18	0.88	74.27%	182.84	458.15	456.42	461.32	263.42	262.43	264.24
	TD-SS57	BOMBA DE ACEITE SCU-07	2.46	0.84	86.50%	2.13	458.15	456.42	461.32	3.20	3.18	3.21
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-07	328.24	0.88	64.31%	211.08	458.15	456.42	461.32	304.11	302.96	305.06
	TD-SS58	BOMBA DE ACEITE SCU-08	2.46	0.84	93.81%	2.31	458.15	456.42	461.32	3.47	3.45	3.48
		COMPRESOR MYCOM NH3-SCU-08	328.24	0.88	14.55%	47.77	458.15	456.42	461.32	68.82	68.56	69.04
				1158.69	0.86	47.24%	547.37					

Tabla 20. Medición de parámetros equipo Gabinete eléctrico TR-03

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO SECUNDARIO	DESCRIPCION DE EQUIPOS	DATOS DE PLACA			MEDICIÓN PINZA AMPERIMETRICA FLUKE 375 FC						
			POTENCIA NOMINAL (KW)	FACTOR POTENCIA (φ)	% CARGA	POTENCIA DEMANDA (KW)	TENSION (V)			CORRIENTE (A)		
							RS	ST	TR	IA	IB	IC
TDP-CE1-TR-02-440V	TD-CCM1	CENTRO CONTROL DE MOTORES 1	406.19	0.84	45.27%	183.87	454.15	458.47	460.28	278.60	275.98	274.89
	TD-CCM2	CENTRO CONTROL DE MOTORES 2	248.64	0.86	28.39%	70.58	454.15	458.47	460.28	104.46	103.47	103.07
	TD-CCM3	CENTRO CONTROL DE MOTORES 3	252.33	0.87	48.61%	122.67	454.15	458.47	460.28	179.46	177.77	177.07
	TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	CENTRO CARGA COMPRESORES AIRE	330.00	0.89	23.28%	76.83	454.15	458.47	460.28	109.87	108.84	108.41
	TD-CHILLER-TRANE	CENTRO CARGA CHILLER TRANE	572.00	0.85	23.92%	136.8	454.15	458.47	460.28	204.84	202.91	202.12
				1809.16	0.86	32.65%	590.75					

En las tablas 18, 19 y 20, se tiene los valores de parámetros eléctricos tomados con la pinza amperimétrica Fluke 375 con sonda iflex de hasta 2000 A.

Con estos valores se tomó el promedio, considerando el factor de potencia del equipo para el cálculo de potencia instantánea durante la medida. Esto sirvió de referencia para considerar un transformador de corriente para el analizador de red Siemens Sentron Pac-3200.

$$P = V * I * \sqrt{3} * \cos\phi \quad (33)$$

Basándose en la ecuación 33, se realiza el cálculo para todos los demás parámetros y así se obtiene en una tabla de Excel.

La toma de datos para este análisis fue realizada la del 21 al 25 de febrero de 2022 de manera instantánea por equipo, considerando estén en funcionamiento normal.

4.1.2 Consumo en cargas por circuito en gabinete eléctrico

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	GABINETE ELECTRICO SECUNDARIO	DATOS DE PLACA FABRICANTE			MEDICIÓN ANALIZADOR REDES SENTRON PAC 3200						
		POTENCIA NOMI. (KW)	FACTOR POTENCIA (ϕ)	% CARGA	POTENCIA DEMA (KW)	TENSION (V)			CORRIENTE (A)		
						RS	ST	TR	IA	IB	IC
TDP-CE1-TR-01-440V	TD-CE-1-RECP-LECHE-440	249.47	0.86	49.68%	123.92	460.45	459.45	462.3	180.90	181.29	180.17
	TD-SSS1	300.64	0.89	69.55%	209.10	460.45	459.45	462.3	294.94	295.58	293.76
	TD-SSS2	300.64	0.89	0.00%	0.00	460.45	459.45	462.3	0.00	0.00	0.00
	TD-SSS3	339.43	0.89	35.22%	119.56	460.45	459.45	462.3	168.64	169.01	167.97
TDP-CE1-TR-02-440V	TD-SSS4	339.43	0.89	30.40%	103.18	460.45	459.45	462.3	145.54	145.85	144.96
	TD-SSS5	248.64	0.89	39.78%	98.92	461.45	456.45	464.3	139.23	140.75	138.37
	TD-SSS6	248.64	0.89	74.75%	185.86	461.45	456.45	464.3	261.59	264.46	259.99
	TD-SSS7	330.70	0.89	64.47%	213.21	461.45	456.45	464.3	300.09	303.37	298.24
TDP-CE1-TR-02-440V	TD-SSS8	330.70	0.89	53.10%	175.60	461.45	456.45	464.3	247.15	249.86	245.63
	TD-CCM1	406.19	0.88	45.27%	183.87	457.56	460.56	456.42	263.96	262.24	264.62
	TD-CCM2	248.64	0.88	28.39%	70.58	457.56	460.56	456.42	101.32	100.66	101.58
	TD-CCM3	252.33	0.88	48.61%	122.67	457.56	460.56	456.42	176.10	174.95	176.54
	TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	330.00	0.85	23.28%	76.83	457.56	460.56	456.42	114.19	113.44	114.47
TD-CHILLER-TRANE	572.00	0.89	0.00%	0.00	457.56	460.56	456.42	0.00	0.00	0.00	
		4497.45	0.88	37.43%	1683.30						

Fuente: (Autores, 2022)

La toma de datos fue realizada del 01 al 20 de marzo durante un lapso de 24 horas por gabinete de distribución secundario.

4.1.3 Consumo de cargas por transformador

Promedio de potencia tomado del 11 al 15 de abril 2022 como muestreo de transformadores del CE-01.

GABINETE ELECTRICO PRINCIPAL	DATOS DE PLACA			MEDICIÓN ANALIZADOR REDES SENTRON PAC 3200						
	POTENCIA NOMI. (KW)	FACTOR POTENCI	% CARGA	POTENCIA DEMA (KW)	TENSION (V)			CORRIENTE (A)		
					RS	ST	TR	IA	IB	IC
TDP-CE1-TR-01-440V	1529.61	0.98	31.46%	481.25	460.45	459.45	462.30	616.48	617.82	614.01
TDP-CE1-TR-02-440V	1158.68	0.98	46.95%	543.97	461.45	456.45	464.30	695.31	702.93	691.04
TDP-CE1-TR-02-440V	1809.16	0.98	33.54%	606.79	457.56	460.56	456.42	782.20	777.11	784.15
	4497.45	0.98	36.29%	1632.01						

Fuente: (Autores, 2022)

Promedio de parámetros tomados en el primer semestre 2022 (Enero – junio 2022), monitoreo con multimedidor Schneider Eléctrico PM5100.

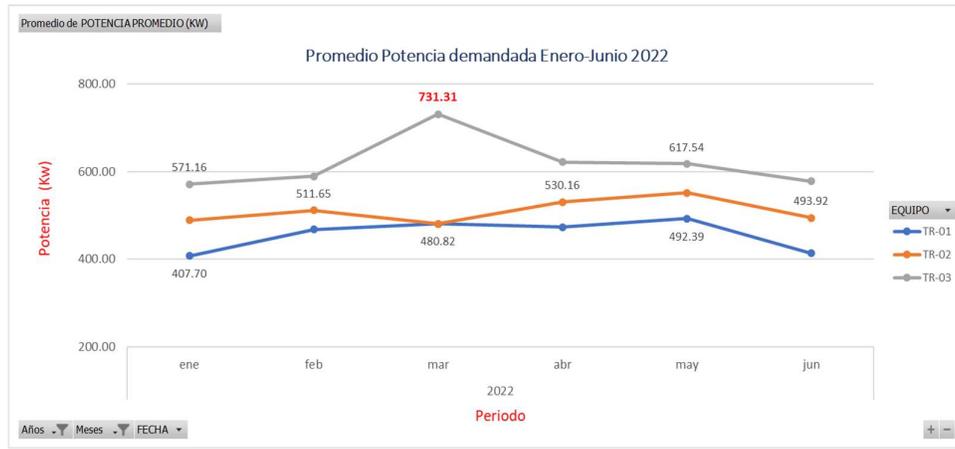


Figura 90. Promedio potencia transformadores CE-01 Semestre 01-2022

Fuente: (Autores, 2022)

En la Fig.90, se muestra la demanda de potencia activa promedio de cada transformador durante el primer semestre del año 2022, como se indicó anteriormente el TR-03 es el que mas consume ya que están conectados equipos de constante a pesar que son potencial referencialmente pequeñas en comparación con los equipos conectados en los TR-01/TR-02. Este monitoreo se lo hizo mes a mes con el analizador de red Siemens Sentron PAC-3200 con una duración de ciclos de 24 horas durante el mes por transformador.

4.1.4 Análisis de equipos conectados en base al uso de planta

El objetivo principal del proyecto es optimizar el consumo de energía eléctrica, por lo que se debe buscar los métodos para lograrlo, teniendo en cuenta, que es necesario medir y establecer indicadores para mejorar un proceso.

El TR-01 cuenta con 5 cargas conectadas, siendo estos 4 compresores de amoniaco utilizados para uso con CO2 para cámaras y túneles de congelación y; una distribución para equipos de recepción de leche.

El TR-02 cuenta con 4 cargas que son compresores de amoniaco para evaporadores, climatizadores y agua helada para procesos de planta.

El TR-03 cuenta con 5 cargas conectadas, siendo en su mayoría motobombas y ventiladores, adicionales compresores de aires y equipos auxiliares de refrigeración.

En base a estas 3 variables y el levantamiento de datos y equipos realizados, se verificó que el transformador de mayor demanda es el TR-03, pero se lo descarto para el montaje del multimetro de energía ya que dispone de analizadores de red Siemens Sentron PAC-3100 a la llegada de cada tablero de distribución y se instalará en el TR-02, que es el siguiente a considerar por mayor consumo.

4.1.5 Consumo de equipos conectados a TR-02, datos tomados de multimetro Panasonic KW2M-X

Posterior al montaje, instalación y configuración de parámetros de funcionamiento y comunicación del analizador PANASONIC KW2M-X, se puede monitorear en tiempo real o extraer datos de los parámetros eléctricos de cada una de las cargas conectadas al transformador TR-02.

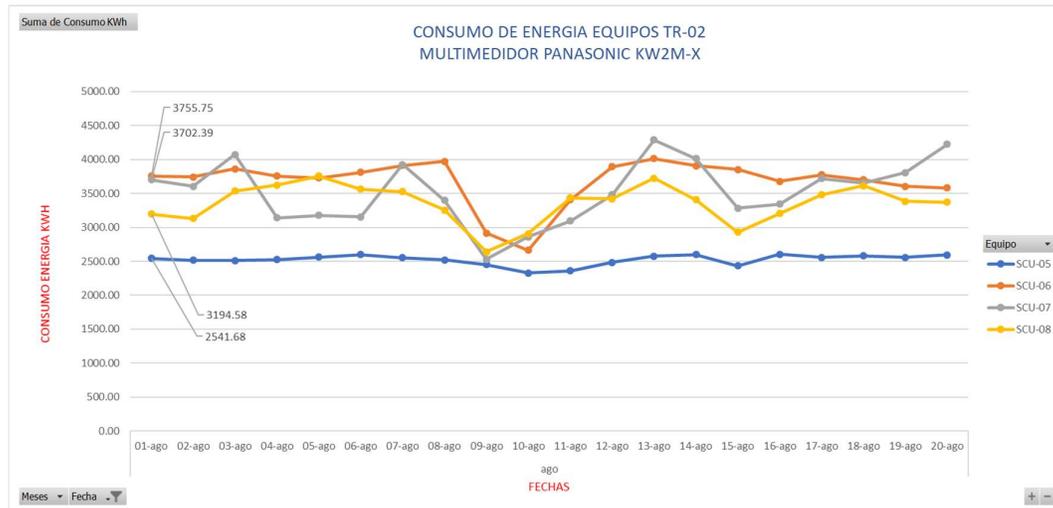


Figura 91. Consumos de equipos conectados a TR-02 (Panasonic KW2M-X)

Fuente: (Autores, 2022)

Los datos se los puede verificar mediante la conexión web mediante Ethernet, por el software KW-Watcher o directamente extraer en formato CVS y analizar en cualquier hoja de cálculo. En la figura 91, se verifica la graficas de consumo de energía eléctrica de los cuatro motores eléctricos de los compresores de NH3, siendo el más regular el SSS-05 que corresponde al sistema de refrigeración de evaporadores, y los demás tienen consumos variables siendo éstos de climatización de áreas de producción (SSS-06) y

suministro de agua helada (SSS-07/SSS-08), estos tienen bastante variación debido al uso únicamente en base a la exigencia de planta.



Figura 92. Monitoreo en tiempo real CH-01 (Compresor SSS-05/Evaporadores)

Fuente: (Autores, 2022)

4.1.6 Estadística de consumo de transformadores CE-01

El consumo de energía en KWh, finalmente es el valor facturado al final del día, si bien es cierto el análisis consta diferentes parámetros, el que es de nuestro interés es el consumo por área. Dentro del análisis también se incluyó verificar que el factor de potencia de los equipos del cuarto eléctrico CE-01 estén dentro del rango permisible, siendo este valor mayor a 0.93.

En los 3 gabinetes eléctricos a nivel de 460 [V] se disponen de banco de capacitores calculados para la demanda necesario, en este caso se validó que se encuentran entre un rango de 0.96 a 0.98.

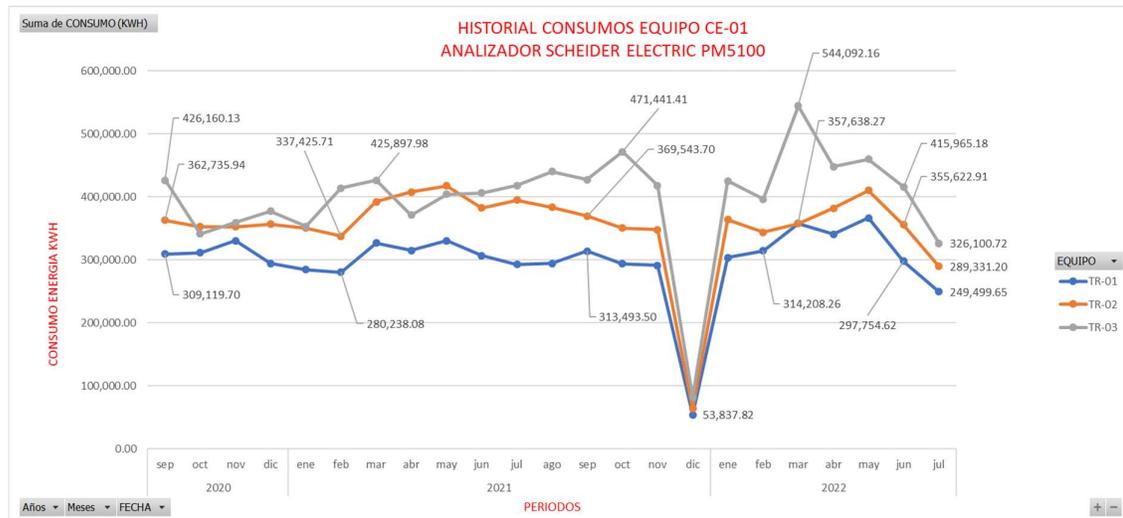


Figura 93. Historial de consumos de CE-01

Fuente: (Autores, 2022)

En base a la figura 92, se puede verificar que se ha tenido un consumo considerablemente variable en los años 2020 y 2021, siendo esto dependiente de la producción de planta, considerar que el año de pandemia (2020) se verifica menor consumo por menor ventas.

A partir del 2021, empieza a subir los consumos debido a regularización de producción de la planta teniéndose valores altos y en dic-2021 se tuvo una para total, lo que refleja un consumo muy bajo.

Al inicio de 2022 los consumos se regularizan llegando a tener valores de hasta 544 GWh en el caso del TR03, manteniéndose la cultura de optimización y optándose por las propuestas de alcance se llegan a controlar el consumo de energía eléctrica únicamente para lo necesario y de esta manera se puede mejorar el ahorro.

En los meses de abril, mayo y junio 2022, mientras se monitorea y controla de mejor manera el uso de energía se puede verificar las mejoras, incluso en el mes de julio con sus 23 primeros días el consumo es muy eficiente.

4.2 Descripción de los sistemas de refrigeración

Como se había determinado anteriormente, no solo se tiene conectado equipos de refrigeración en los transformadores, existen equipos externos a estos sistemas, mismos que forman parte de la demanda final, por lo que es muy importante para definir los puntos de análisis para la propuesta de optimización de energía.

A continuación, posterior al levantamiento y análisis en sitio, se describirá cada uno de los sistemas de refrigeración de planta para tener un mayor entendimiento de lo que se puede mejorar en función a las necesidades de la planta sin afectar su correcto suministro.

Se han denominado sistemas en base al suministro que estos prestan para el proceso de manufactura en cada necesidad según la demanda

4.2.1 Sistema de refrigeración de cámaras de congelado (-34°C)

Este sistema es el encargado de mantener el producto terminado en las condiciones adecuadas para el despacho al cliente final, por lo que físicamente son grandes cámaras con temperaturas de hasta -34°C, esto se puede variar de acuerdo al producto que se almacene.

Para lograr esto, se cuenta con dos circuitos de refrigeración, siendo el primer refrigerante Amoniaco (NH₃) y el segundo CO₂, este último el que llega a las cámaras de congelación impulsados por motobombas y son distribuidos por evaporadores y difusores para mantener toda la cámara a temperatura uniforme.

Para optimizar el consumo de energía aquí, es necesario mantener los equipos prendidos en función de la cantidad de producto y demanda de temperatura necesaria, en base a lo ya realizado el sistema puede trabajar con un solo compresor cuando la carga térmica es baja y se arranca el otro equipo cuando sea únicamente necesario, tratar de abrir lo menos posible las cámaras es otra manera, ya que esto representa pérdida de energía y por consiguiente los equipos prendidos más tiempo.

4.2.2 Sistema de refrigeración túneles de congelación (-43°C)

Este sistema se usa en la elaboración de helados, físicamente son túneles de congelación mucho más pequeñas que las cámaras de congelado, que se encargan de endurecer el helado a través de los diferentes procesos por el que se realiza hasta tener el producto final.

El funcionamiento es muy similar a las cámaras de congelación en todo, excepto que aquí se llega a temperaturas de hasta -43°C, según lo que se necesite.

Al igual que las cámaras para optimizar la energía, se debe tener en consideración lo mismo, pero se complica ya que esto depende directamente de la producción, así que aquí no se podrá optimizar mucho cuando se tenga altas producciones.

4.2.3 Sistema de refrigeración Climatización Evaporadores (-8°C)

El sistema de Climatización Evaporadores, es necesario para mantener la temperatura de los diferentes puntos de planta que no sean de manufactura, es decir pasillos, bodegas de empaque, materia prima, áreas de transferencia de productos, etc.

Este incluye un solo circuito de refrigeración, siendo el primer refrigerante Amoniac (NH₃), como en todos los casos y el segundo refrigerante es agua con Glicol, esto para evitar congelación y son suministrados a planta a través de bombas hacia difusores y evaporadores con temperaturas de hasta -8 °C.

Para optimizar esta área, es necesario identificar las áreas que únicamente se utilicen para evitar tener equipos encendidos en donde no sea de usa la climatización.

4.2.4 Sistema refrigeración Climatización UMA (+2°C)

En las áreas de proceso y envasado, la inocuidad es muy estricta por lo que es necesario mantener climatizado de manera especial, es por eso que se cuenta con Unidades manejadoras de aire, es decir equipos de climatización especial.

Este sistema también consta de un solo circuito únicamente con el primer refrigerante Amoniac (NH₃) y el segundo agua, impulsados por bombas hacia los evaporadores de los diferentes puntos de planta, las temperaturas son de hasta +2 °C.

En este caso la optimización depende mucho del área de producción por lo que se debe aprovechar verificar las líneas que no trabajen y apagar los equipos que suministren refrigeración ahí.

4.2.5 Sistema refrigeración Agua helada proceso (-1.5 °C)

El agua helada de proceso es utilizada en las áreas donde se preparan los productos para la elaboración en sistemas de esterilización, pasteurización, enfriamiento, etc. Por lo que sería una de las que mayor se demanda y su importancia es muy alta.

Este sistema consta de 2 circuitos de refrigeración siendo el primer refrigerante Amoniaco (NH₃), y el segundo agua potable, misma que es impulsada por bombas centrifugas hacia planta donde generalmente hay intercambiadores de calor PHE.

Al ser área de proceso es muy complicado optimizar ya que depende de la producción, sin embargo, se puede trabajar en función de la demanda.

4.2.6 Sistema de torres de enfriamiento

Esta parte es el encargado de transferir todo el calor de los diferentes sistemas de planta hacia al ambiente y enfriar los equipos compresores.

Se encuentran ubicado en la parte alta de la sala de máquinas de equipos de refrigeración, constan de 4 torres de enfriamiento de los condensadores de todos los sistemas de refrigeración, una torre para enfriar el calentamiento del aceite de los 8 compresores de amoniaco y una torre para el agua de retorno, físicamente, son equipos de gran volumen, pero en tema de carga no representa gran consumo, ya que consta de unos ventiladores para enfriar el agua.

Para hacer recircular el agua, se utilizan bombas centrifugas para cada sistema.

Después del levantamiento y verificación de la funcionalidad de cada equipo perteneciente a este sistema, se validó que si bien es cierto no hay equipos de gran demanda, si hay muchos que se pueden ajustar únicamente a la necesidad.

4.2.7 Sistemas de refrigeración Chiller Trane

Durante el levantamiento, se pudo verificar que estos equipos no están funcionando constantemente, son utilizados para Back-up, apoyo o cuando algún equipo falle, por lo que no representa una mayor demanda.

4.3 Determinación transformador mayor demanda

Consideración para determinar transformador de mayor demanda:

1. Transformador de mayor demanda como prioridad.
2. Naturaleza de las cargas conectadas, es decir potencia y cantidad.
3. Que las cargas conectadas no tengas medidores en su línea

Posterior al monitoreo, estudio y validación, se puede verificar lo siguiente:

- 1) Los compresores de amoniaco, trabajan entre un 55 y 70% de su potencia nominal.
- 2) Los sistemas de refrigeración pueden trabajar en función de la demanda, si bien es cierto tienen un arrancador suave, la exigencia de carga optimiza el consumo.
- 3) Lo equipos conectados al transformador 3, son los que representa la mayor demanda de los sistemas de refrigeración, la mayoría de estos son bombas de recirculación para torres de enfriamiento y bombas de suministro a planta en conjunto con lo evaporadores, difusores y unidades manejadoras de aire.
- 4) Los sistemas de refrigeración conectados al Transformador 01, representan la segunda mayor carga instalada, pero en base al análisis, su demanda es baja comparada al transformador 2 y 3, ya que se alternan los circuitos de refrigeración de acuerdo a la demanda de refrigeración.

En base a lo expuesto anteriormente, el analizador múltiple será instalado en el tablero de distribución del transformador 2, este equipo es el que monitoreará el consumo de cargas de los compresores de amoniaco SSS-05/SSS-06/SSS-07/SSS-08.

4.4 Propuesta para optimización de energía

Para optimizar el consumo de energía eléctrica en los equipos de refrigeración de la planta de lácteos se debe considerar lo siguiente:

4.4.1 Ajustes de controladores (arrancadores) de equipos

Los compresores de amoniaco, constan para su funcionamiento de un arrancador suave, el cual se puede mejorar la curva de arranque, considerando la cantidad de veces que se activan al día, se optimizará el consumo de energía eléctrica desde este punto.

Adicional, a la evaluación de los equipos conectados en cada transformador, también se encontraron motores eléctricos con variadores de frecuencia, mismos que se deben ajustar los parámetros para mejor rendimiento en su consumo.

4.4.2 Cambio de arrancadores suaves por variadores de frecuencia

Otra de las opciones para optimizar es el cambio de equipos para el arranque de los compresores de amoniaco, sobre todo estos ya que representan la mayor potencia del sistema y los demás como bombas en su mayoría constan con variadores de frecuencia y

trabajan en función de la demanda. Sin embargo, cambiar a este tipo de Driver implica una fuerte inversión, misma que puede ser analizada y verificar costo/beneficio.

4.4.3 Presupuesto económico por plan piloto instalado

El plan piloto nos sirve para monitorear, establecer límites de consumo y verificar que estén activos equipos que están haciendo una labor positiva. La idea es desarrollar un sistema de gestión de energía y cultura de ahorro energético y adicional, continuar con la implementación de analizadores múltiples en los demás puntos de planta que necesiten de monitoreo.

El presupuesto para instalar un equipo con medición de 4 puntos de detalla en lo siguiente tabla con valores cotizados a fabricante.

DESCRIPCION DE COMPONENTES	UNIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
POWER METER KW2M-X AKW264100A PANASONIC - MODULO PRINCIPAL	1.00	\$ 2,662.50	\$ 2,662.50
POWER METER KW2M AKW272100A PANASONIC - MODULO DE EXPANSION	1.00	\$ 975.00	\$ 975.00
TRANSFO NUCLEO DIVIDIDO;CORR PRIM 600A; SEC 5A; POT 0,5VA;CLASE DE PRECIS 0,5 - CIRCUITO 01	3.00	\$ 282.42	\$ 847.26
TRANSFO NUCLEO DIVIDIDO;CORR PRIM 600A; SEC 5A; POT 0,5VA;CLASE DE PRECIS 0,5 - CIRCUITO 02	3.00	\$ 282.42	\$ 847.26
TRANSFO NUCLEO DIVIDIDO;CORR PRIM 600A; SEC 5A; POT 0,5VA;CLASE DE PRECIS 0,5 - CIRCUITO 03	3.00	\$ 282.42	\$ 847.26
TRANSFO NUCLEO DIVIDIDO;CORR PRIM 600A; SEC 5A; POT 0,5VA;CLASE DE PRECIS 0,5 - CIRCUITO 04	3.00	\$ 282.42	\$ 847.26
PANEL ELECTRICO PVC IP65 CON MEDIDAD 50X40X20 CM	1.00	\$ 80.00	\$ 80.00
CABLE UTP DE COMUNICACIÓN ETHERNET TCP/IP - CAT 5E -100 METROS	1.00	\$ 60.00	\$ 60.00
LICENCIA EXTENSION 4000 TAGS INDUSOFT (OPCIONAL SI NO SE DISPONE)	1.00	\$ 3,500.00	\$ 3,500.00
CABLE UNIFILAR 16 AWG - 100 METROS	1.00	\$ 40.00	\$ 40.00
VARIOS COMO TERMINALES, CINTAS AISLANTES, MARQUILLAS, ETC.	1.00	\$ 50.00	\$ 50.00
			\$ 10,756.54

Figura 94. Presupuesto instalación analizador múltiple 4 punto de monitoreo

Fuente: (Autores, 2022)

Estos componentes fueron instalados en el gabinete eléctrico TDE-CE01-TR02 considerándose conectar cargas a futuro, se decidió montarlos con la opción de aumentar los módulos de expansión para medir más circuitos. La comunicación final instalada para el SCADA es RS-485, y se puede conectar en cualquier momento mediante Ethernet para extraer datos en el Software o monitorear a través de la Web.

4.4.4 Presupuesto por instalación completa cuarto eléctrico CE-01

En el cuarto eléctrico CE-01, se dispone de 3 tableros de distribución a nivel de tensión de 460 [V], los tableros de distribución contienen lo siguiente:

PUNTOS	GABINETE ELECTRICO	DESCRIPCION GABINETE ELECTRICO	CORRIENTE PROMEDIO	TRANF. CORRIENTE
1	TD-CE-1-RECP-LECHE-440	TABLERO DISTRIB. SUMINISTRO RECEPCION LECHE	348.31	600/5A
2	TD-SSS1	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-01	419.76	600/5A
3	TD-SSS2	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-02	419.76	600/5A
4	TD-SSS3	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-03	473.92	600/5A
5	TD-SSS4	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-04	473.92	600/5A
6	TD-SSS5	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-05	347.16	600/5A
7	TD-SSS6	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-06	347.16	600/5A
8	TD-SSS7	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-07	461.73	600/5A
9	TD-SSS8	TABLERO DISTRIB. COMPRESOR NH3 SCU-08	461.73	600/5A
10	TD-CCM1	TABLERO DISTRIB. CENTRO CONTROL MOTORES 01	567.12	800/5A
11	TD-CCM2	TABLERO DISTRIB. CENTRO CONTROL MOTORES 02	347.16	600/5A
12	TD-CCM3	TABLERO DISTRIB. CENTRO CONTROL MOTORES 03	352.31	600/5A
13	TD-CE-1-COMP-AIRE-1-440	TABLERO DISTRIB. COMPRESORES DE AIRE	460.75	600/5A
14	TD-CHILLER-TRANE	TABLERO DISTRIB. CHILLER - SIST. REFRIGERACION	798.64	1000/5A

Figura 95. Cantidad de puntos de monitoreo CE-01

Fuente: (Autores, 2022)

En total serían 14 puntos de medición, por lo que sería necesario instalar 2 unidades de medición múltiple, ya que estas disponen de hasta 3 módulos de expansión adicional, llegando a un total por cada unidad de 8 puntos de medición, adicional incluir los diferentes rangos de transformadores de corrientes y demás accesorios.

Tabla 21. Presupuesto total instalación de monitoreo en GE-CE01

DESCRIPCION DE COMPONENTES	CANT	COSTO UNI	COSTO TOTAL
POWER METER KW2M-X AKW264100A PANASONIC - MODULO PRINCIPAL	4.00	\$ 2,662.50	\$ 10,650.00
POWER METER KW2M AKW2721100A PANASONIC - MODULO EXPASION	5.00	\$ 975.00	\$ 4,875.00
TC NUCLEO PARTIDO 600/A 0.5 VA - PREC 0.5 (12 CIRCUITOS 3F)	36.00	\$ 282.42	\$ 10,167.12
TC NUCLEO PARTIDO 800/A 0.5 VA - PREC 0.5 (1 CIRCUITO 3F)	3.00	\$ 282.42	\$ 847.26
TC NUCLEO PARTIDO 100/A 0.5 VA - PREC 0.5 (1 CIRCUITO 3F)	3.00	\$ 314.00	\$ 942.00
CABLE UTP COMUNICACIÓN ETEHRNET TCP IP CAT 5E-100 MTS	3.00	\$ 60.00	\$ 180.00
CABLE UNIFILAR CALIBRE 16 AWG - 100 MTS	2.00	\$ 40.00	\$ 80.00
VARIOS COMO TERMINALES - CINTAS AISLANTES - MARQUILLAS -ETC	1.00	\$ 90.00	\$ 90.00
			\$ 27,831.38

Fuente: (Autores, 2022)

Nota: A este presupuesto debe restarse los valores del presupuesto del analizador para el TR-02, ya que este ya fue instalado.

El presupuesto indicado en la tabla 21, se considera instalar un analizador de red por cada gabinete eléctrico de transformador con sus respectivos módulos de expansión, con la opción de conectar más equipos y poder monitorearlos.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ❖ El levantamiento de información de los equipos instalados en el cuarto eléctrico CE-01, permitió conocer la naturaleza de cada carga eléctrica conectada al sistema, así como sus componentes en las diferentes partes de la estructura , aumentando el conocimiento sobre diferentes componentes eléctricos utilizados en la industria, siendo esto base fundamental para la actualización de los diagramas eléctricos y el análisis de consumos para establecer los dispositivos de medida a implementar en el monitoreo y optimización de energía eléctrica.
- ❖ Al mantener un dispositivo el cual permita medir los parámetros de consumo, ayuda de manera eficaz a monitorear, controlar y limitar el funcionamiento de equipos conectados en el sistema eléctrico en base a la demanda de planta, considerando que esto conlleva a implementarlos de manera estratégica luego de un análisis técnico para tener el mejor provecho.
- ❖ El SCADA de planta para la visualización de parámetros eléctricos, estaba diseñado en base al proyecto inicial, ya que en el diseño constaba equipos que no existían físicamente, esto conllevó a la necesidad de modificarlo e incluir la demanda de potencia activa por carga en la TR-02.
- ❖ Posterior al cumplimiento de los objetivos específicos establecidos se pudo establecer propuestas de ahorro de energía de diferentes maneras en base a la necesidad de funcionamiento de cada sistema y sus respectivos equipos, siendo punto muy importante mantener la cultura de ahorro y un correcto sistema de gestión de energía.

5.2 Recomendaciones

- ❖ El monitoreo, control y limitación de energía eléctrica ayuda a optimizar el consumo de manera general, por lo que se recomienda implementar un sistema de gestión de energía integral en la planta, mismo que se incluya desde la subestación eléctrica a nivel de media tensión (13.8 KV) y baja tensión [460 V], y posterior los diferentes ramales de la estructura eléctrica que existe en planta considerando equipos de gran potencia y mayor uso para controlar la demanda de energía y

tener en cuenta que sectores pueden tener cambios que incluso puede determinarse como equipos que estén con falla.

- ❖ Implementar la cultura de ahorro con las áreas involucradas en uso del suministro de refrigeración y a nivel de planta para mantener equipos activos en base a su necesidad, esto analizando los sistemas y aplicar estrategias de ahorro como las propuestas anteriormente.
- ❖ En el caso de motores eléctricos que representan su mayoría de acuerdo al levantamiento técnico, los de mayor potencia tienen arrancadores suaves y se verificó gran cantidad de arranques de funcionamiento por lo que sería un punto de estudio, el cual indique que tan beneficioso sería optar por el cambio a variadores de frecuencia, considerando la potencia de los motores.

6. BIBLIOGRAFÍA

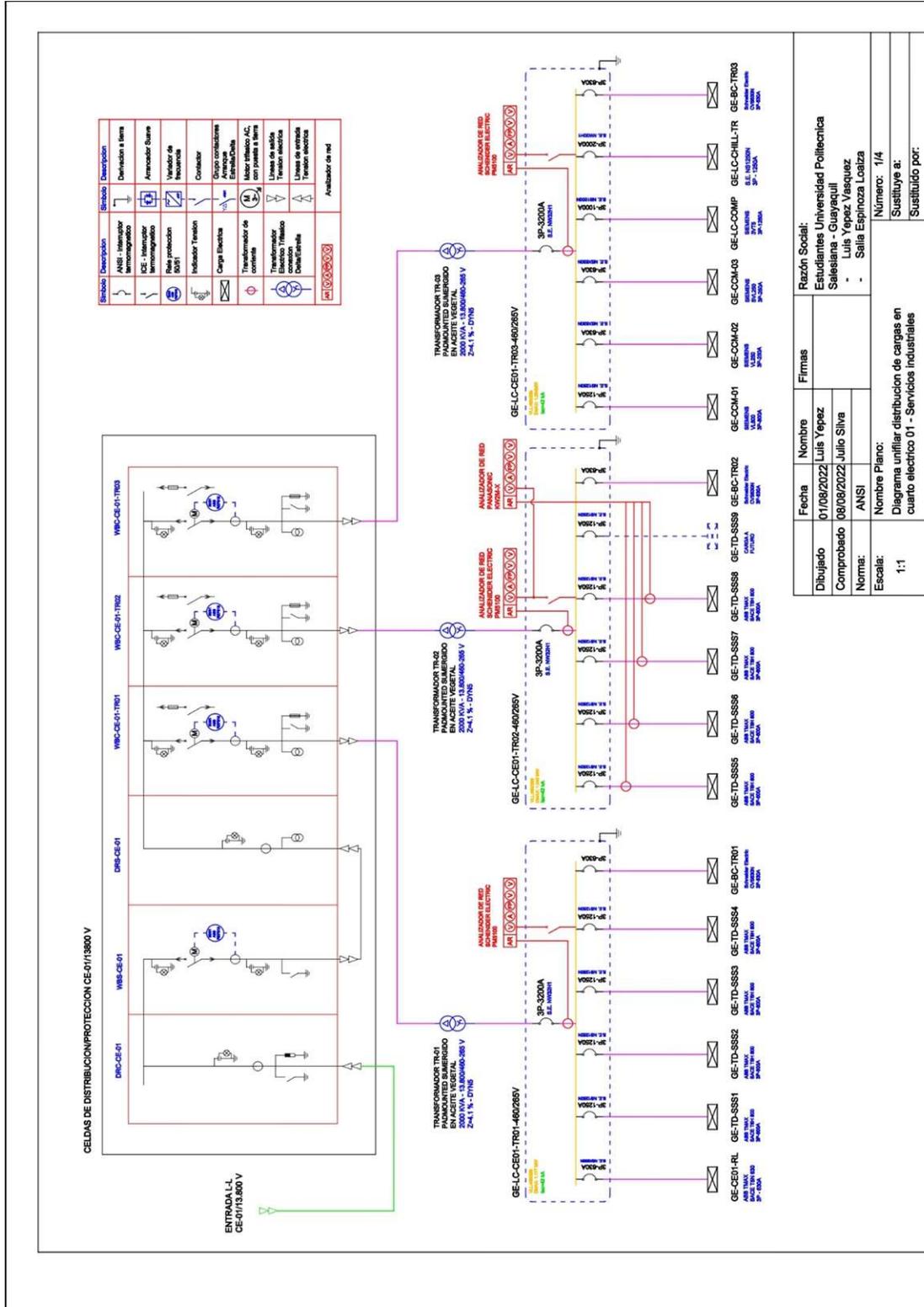
- [1] ABB, A. B. (2013). Analizador de redes M2M. *Analizador de redes M2M*, 12.
- [2] ARCONEL. (19 de Junio de 2020). Resolución Nro. ARCONEL-006/2020.
- [3] Arnabat, I. (15 de marzo de 2022). *Caloryfrio.com*. Obtenido de Caloryfrio.com: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html>
- [4] Autores. (marzo de 2022). *Fotografías/Tablas/Anexos*. Guayaquil: Los Autores.
- [5] BOYLESTAD, R. L. (2004). *Introducción al análisis de circuitos, 10 ma Edición*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- [6] BUN-CA, F. R. (2009). *Manual Técnico - Motores eléctricos*. San José/Costa Rica: BUN-CA.
- [7] Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas*. Santa Fe: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- [8] Charles K., A. (2013). *Fundamentos de circuitos eléctricos*. Santa Fé: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- [9] COFRICO. (20 de FEBRERO de 2022). *COFRICO*. Obtenido de <https://www.cofrico.com/consejos-tecnicos/clasificacion-de-los-sistemas-de-refrigeracion-2/>
- [10] Cosmos. (10 de marzo de 2022). *Transformadores industriales*. Obtenido de <https://transformadoresindustriales.mx/>
- [11] EAA ELECTRIC, 0. (13 de marzo de 2022). *EAA ELECTRIC*. Obtenido de Transformador de corriente eléctrica tipo caja interior: <http://es.eaaelec.com/product/indoor-case-open-current-transformer>
- [12] Energy, S. (2012). *Manual de eficiencia energética en industria de alimentos elaborados*. Chile: Figueroa.
- [13] Fluke Corporation, E. W. (2011). *Equipos de calidad de energía eléctrica*. Madrid: Fluke Corporation.

- [14] Fluke, C. (2012). Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica Fluke 434-II/435-II/437-II. *Fluke 434-II/435-II/437-II*, 182.
- [15] Fluke, C. (15 de marzo de 2022). *Fluke Corporation*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-mx/informacion/blog/electrical/>
- [16] Fraile Mora, J. (2012). *Circuitos eléctricos*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2012.
- [17] FullWat. (03 de marzo de 2022). *FullWat*. Obtenido de <http://blog.fullwat.com/que-es-el-factor-de-potencia/>
- [18] gencat. (23 de marzo de 2022). *gencat*. Obtenido de http://icaen.gencat.cat/es/energia/formes/electricitat/que_es/
- [19] Guillermo Miguel, M. R. (2019). Análisis de la calidad de energía eléctrica en una subestación de 300 kVA. *Operaciones tecnológicas*, 20.
- [20] INDITER. (12 de Marzo de 2022). *INDITER*. Obtenido de Como funciona el ciclo de refrigeración industrial: <https://inditer.es/blog/como-funciona-el-ciclo-de-refrigeracion-industrial/>
- [21] INEN, I. E. (2001). *CÓDIGO DE PRÁCTICA ECUATORIANO CPE INEN 19:2001*. Quito: INEN.
- [22] Ingeteam. (20 de marzo de 2022). *Ingeteam*. Obtenido de https://www.ingeteam.com/indar/es-es/sectores/energia-hidroelectrica-indar/p15_66_388/generadores-electricos-para-energia-hidroelectrica.aspx
- [23] Internacional, G. (15 de marzo de 2022). *GMS Internacional*. Obtenido de <https://gmsinternacional.com/lineas-transmision-subestaciones/>
- [24] Milena Pérez, L. S. (2018). *Transformadores Eléctricos*. Pererira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- [25] Nilsson, J. W. (2005). *Circuitos eléctricos*. MADRID: PEARSON EDUCACION S.A.
- [26] Panasonic. (2019). User manual Eco Power KW2M. *User manual Eco Power KW2M*, 154.

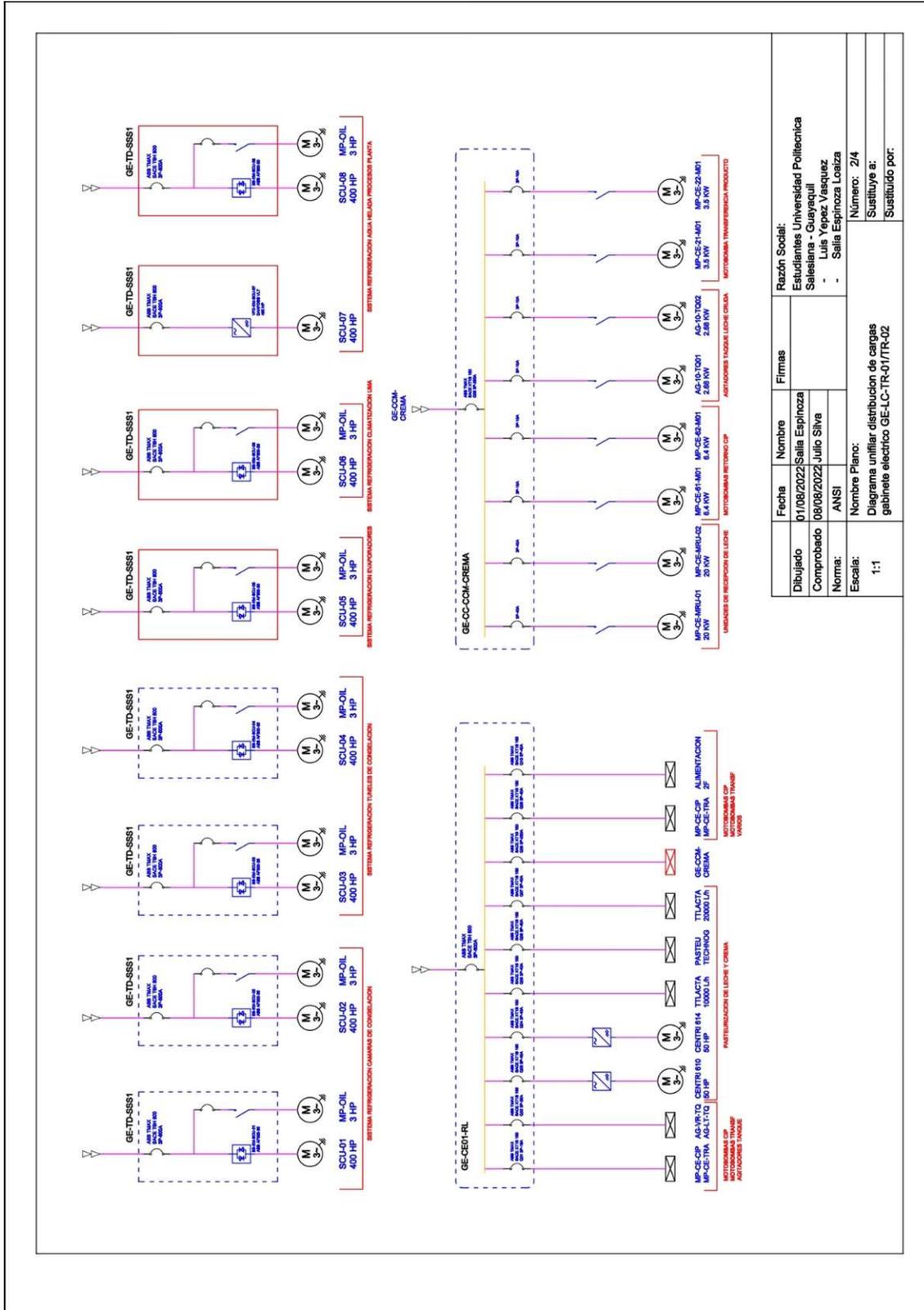
- [27] Panasonic, I. D. (2021). *Electric Power Monitoring Software KW Watcher*. Ushiyama-cho Japan: Panasonic Industrial Devices.
- [28] Perolini, C. (2007). *Introducción a los circuitos eléctricos I*. Buenos Aires: Hispano Americana S.A. - H.A.S.A.
- [29] Pozueta Rodríguez, M. A. (2018). *Maquinas eléctricas II*. Cantabria, España: Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.
- [30] PUROMOTORES. (18 de marzo de 2022). *Puromotores*. Obtenido de <https://www.puromotores.com/13175462/tipos-de-cargas-electricas>
- [31] Rela, A. (2010). *Electricidad y Electrónica*. Buenos Aires: L. Morvillo S. A., Av. Francisco Pienovi 317 (B1868DRG).
- [32] Schneider Electric, F. F. (2001). *Calidad de la energía eléctrica*. Barcelona: Schneider Electric.
- [33] Schneider, E. (2021). Power Logic Serie PM 5100. *Manual Usuario Power Logic Serie PM 5100*, 94.
- [34] Siemens. (2008). Siemens. *Gestión de energía eléctrica*, 186.
- [35] Tei, M. (2010). *Ingeniería, Soluciones y Tecnología*. Obtenido de Ingeniería, Soluciones y Tecnología: <http://www.teii.com.mx/indusoft.html>
- [36] Tonicorp. (2016). *Diagrama unifilar subestación eléctrica*. Guayaquil: T:\Mantenimiento\Toni\MANUALES.
- [37] Tonicorp. (2022). *Cuarto eléctrico CE-01*. Guayaquil: Los autores, Cortesía de Tonicorp.
- [38] Transformadores, C. (21 de marzo de 2022). *CH Transformadores*. Obtenido de <https://www.transformadores.cl/blog/tipos-transformador-distribucion/>
- [39] WILDI, T. (2007). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y SISTEMAS DE POTENCIA*. México: PEARSON EDUCACIÓN.

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama unifilar cuarto eléctrico CE-01

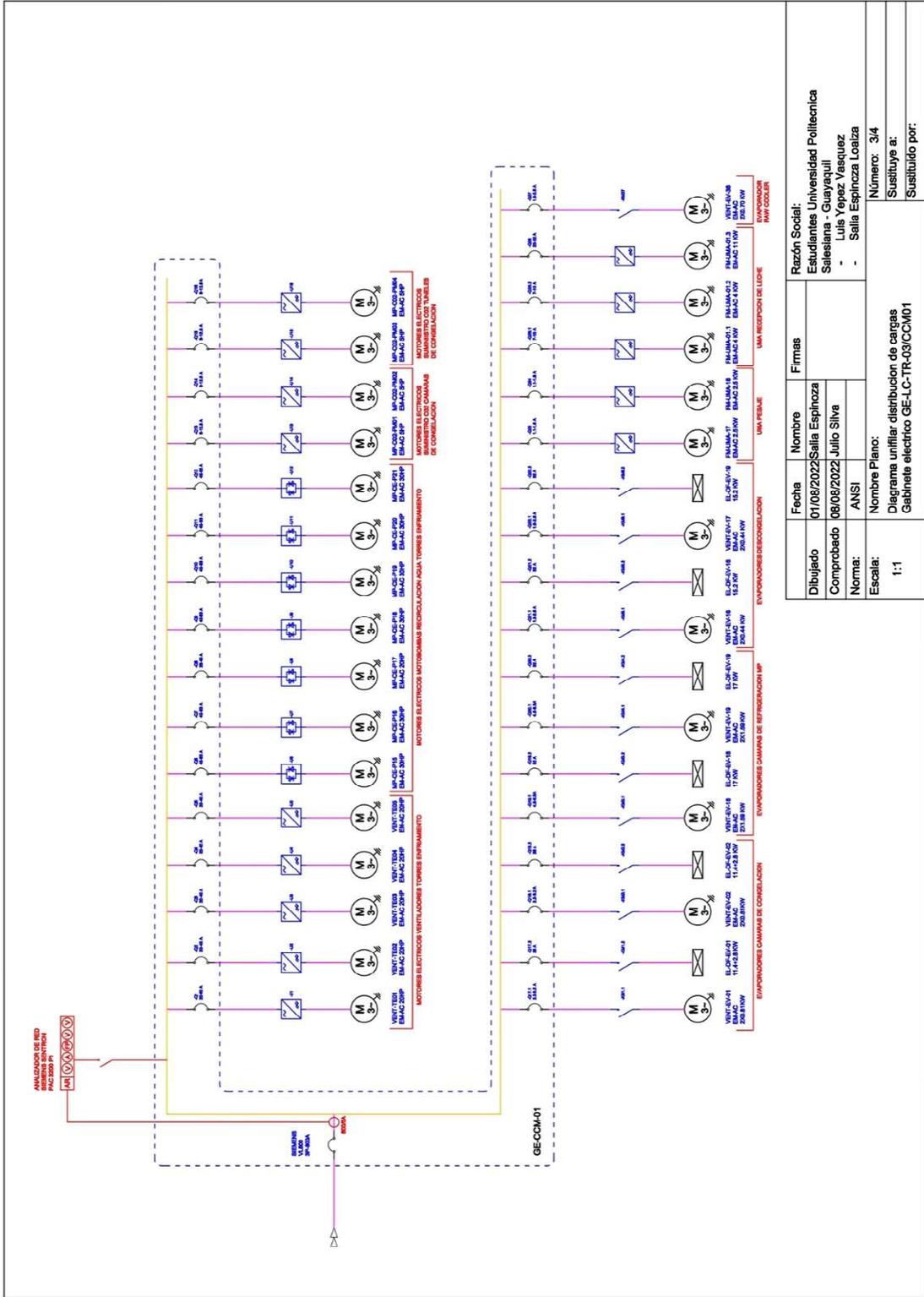


Anexo 2. Diagrama unifilar Gabinete eléctrico GE-TR-01/GE-TR-02



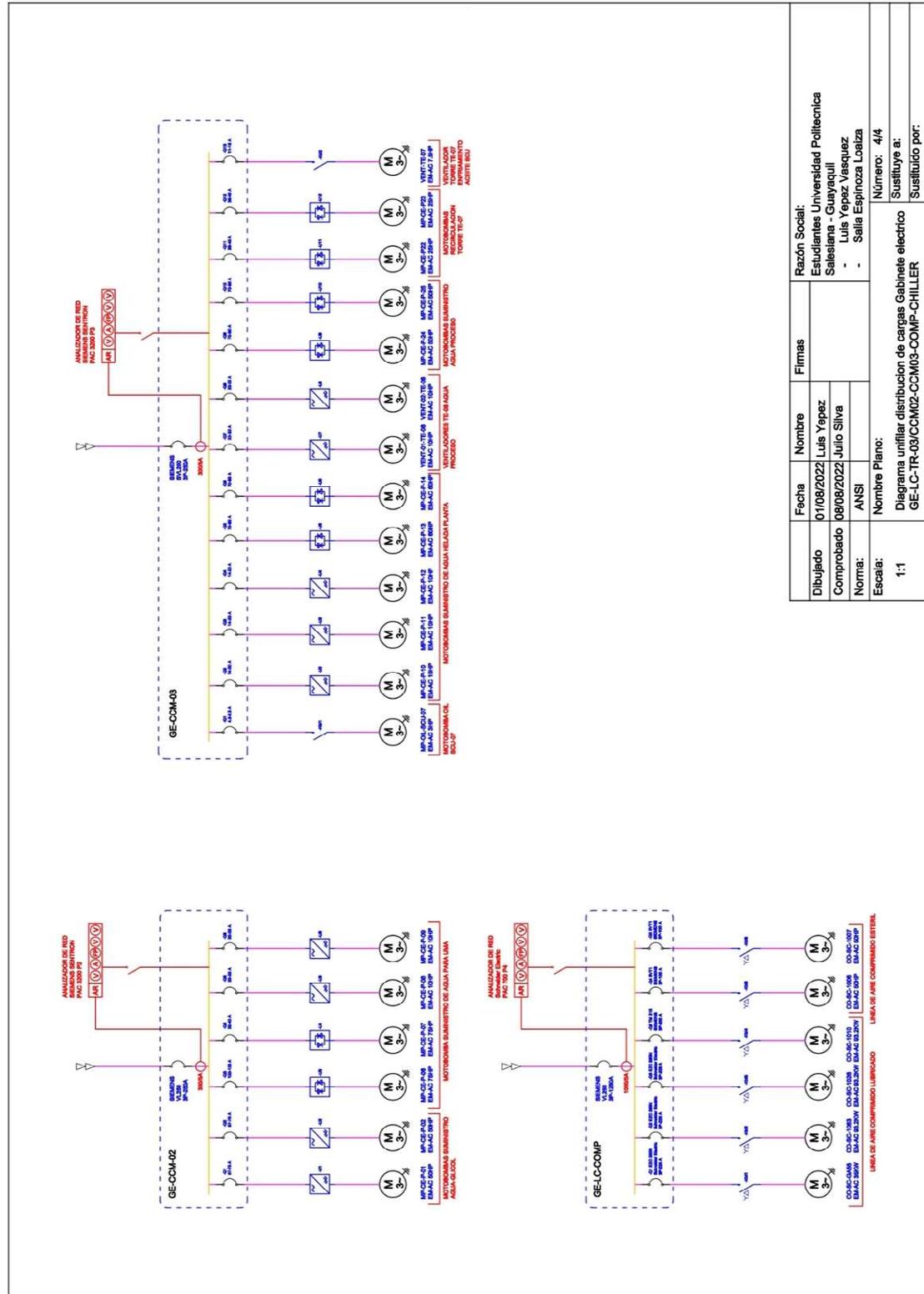
Fecha	Nombre	Firmas	Razón Social:
Dibujado	01/08/2022	Salla Espinoza	Estudiantes Universidad Politécnica Salesiana - Guayaquil
Comprobado	08/08/2022	Julio Silva	
Norma:	ANSI		
Escala:	1:1	Nombre Plano: Diagrama unifilar distribución de cargas gabinete eléctrico GE-LC-TR-01/TR-02	Número: 2/4 Sustituye a: Sustituido por:

Anexo 3. Diagrama unifilar Gabinete eléctrico GE-TR-03/CMM01



Fecha	Nombre	Firmas	Razón Social:
Dibujado	01/08/2022	Salia Espinoza	Estudiantes Universidad Politecnica Salesiana - Guayaquil
Comprobado	08/08/2022	Julio Silva	
Norma:	ANSI		Luis Yopez Vasquez
Escala:	1:1		Salia Espinoza Loaiza
Nombre Plano:			Número: 3/4
Diagrama unifilar distribución de cargas Gabinete eléctrico GE-LC-TR-03/CMM01			Sustituye a:
			Sustituido por:

Anexo 4. Diagrama unifilar Gabinete eléctrico GE-TR-03/CMM02-CMM03-COMP



Fecha	Nombre	Firmas	Razón Social:
Dibujado	01/08/2022	Luis Yeppez	Estudiantes Universidad Politecnica Salesiana - Guayaquil
Comprobado	08/08/2022	Julio Silva	
Norma:	ANSI		- LUIS YEPPEZ VASQUEZ - SALIA ESPINOZA LOAIZA
Escaia:	1:1	Nombre Plano:	Número: 4/4
		Diagrama unifilar distribución de cargas Gabinete eléctrico	
		Sustituye a: GE-LC-TR-03/CCM02-CMM03-COMP-CHILLER	
		Sustituido por:	

Anexo 5. Diagrama instalación Analizador múltiple Panasonic KW2M-X

