



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO AUTOMÁTICO DE
CAPACITORES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE
POTENCIA EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN EL SALINERITO”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: CARLOS MAURICIO TAMAMI TAMAMI

DIRECTOR: ING. FAUSTO CABRERA M. ENG.

Riobamba – Ecuador

2020

© 2020, Carlos Mauricio Tamami Tamami

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Carlos Mauricio Tamami Tamami, declaro que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de noviembre de 2020.

Carlos Mauricio Tamami Tamami

020230792-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO AUTOMÁTICO DE CAPACITORES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN EL SALINERITO”**, de responsabilidad del señor **CARLOS MAURICIO TAMAMI TAMAMI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos , técnicos , legales en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

(Año-mes-día)

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO

DIRECTOR DEL TRABAJO

DE TITULACION

ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

MIEMBRO DE TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios, por guiar mi camino y permitir cumplir mi meta, a mi madre con mucha admiración y cariño, a mis hermanas, quienes fueron mis forjadores por apoyo en todo momento, por sus consejos, por sus valores, por la motivación constante, por su ejemplo de esfuerzo y perseverancia lo cual ha permitido ser un hombre de bien.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme la fuerza la oportunidad de culminar la carrera y de poder alcanzar el objetivo, a mi madre por darme el ejemplo de salir adelante a pesar de las adversidades, a mis hermanos por ser el apoyo para alcanzar mis objetivos, a mi familia en general y a todas las personas gracias por sus palabras de motivación durante mi vida Universitaria

Carlos

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Formulación del problema.....	2
1.2.	Sistematización del problema	2
1.3.	Justificación del tema	2
1.4.	Antecedentes.....	2
1.5.	Objetivos.....	3
1.5.1.	<i>Objetivo general</i>	3
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i>	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	Potencia.....	5
2.1.1.	<i>Potencia Reactiva</i>	5
2.1.2.	<i>Potencia Activa</i>	5
2.1.3.	<i>Potencia Aparente</i>	5
2.1.4.	<i>Triángulo de potencia</i>	6
2.2.	Cargas.....	6
2.2.1.	<i>Carga Resistiva</i>	6
2.2.2.	<i>Carga Inductiva</i>	7
2.2.3.	<i>Carga Capacitiva</i>	7
2.3.	Factor de potencia	7

2.3.1.	<i>Causas del bajo factor de potencia</i>	8
2.3.2.	<i>Corrección del factor de potencia</i>	8
2.3.3.	<i>Efectos del bajo factor de potencia</i>	9
2.3.3.1.	<i>Aumento de la corriente eléctrica</i>	10
2.3.3.2.	<i>Caidas de tensión</i>	11
2.3.3.3.	<i>Sobrecarga de los transformadores</i>	11
2.3.3.4.	<i>Aumento de la planilla de consumo de energía eléctrica</i>	11
2.4.	Métodos para corregir el factor de potencia	11
2.4.1.	<i>Compensadores síncronos</i>	11
2.4.2.	<i>Compensador estático</i>	12
2.4.3.	<i>Condensadores estáticos</i>	14
2.5.	Corrección del factor de potencia a través de condensadores	14
2.5.1.	<i>Tipos de instalación del banco de condensadores</i>	17
2.5.1.1.	<i>Instalación individual del banco de condensadores</i>	17
2.5.1.2.	<i>Instalación en Grupo del banco de condensadores</i>	18
2.5.1.3.	<i>Instalación en global del banco de capacitores</i>	19
2.6.	Tipos de Banco de Condensadores	20
2.6.1.	<i>Banco de condensadores fijo</i>	20
2.6.2.	<i>Banco de condensadores Automático</i>	21
2.7.	Sistema de Puesta a tierra	22
2.7.1.	<i>Composición de una instalación de puesta a tierra</i>	23

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1.	Datos de la empresa	24
3.2.	Levantamiento de cargas de la fábrica El salinerito	26
3.3.	Levantamiento de Parámetros eléctricos	28
3.3.1.	<i>Analizador de energía y de calidad eléctrica FLUKE 435 series II</i>	29
3.3.1.1.	<i>Especificaciones técnicas y forma de conexión del analizador FLUKE 435</i>	30
3.3.2.	<i>Análisis de la red publica</i>	32
3.4.	Análisis y medición de los parámetros eléctricos	33
3.4.1.	<i>Análisis de los niveles de voltaje</i>	34
3.4.2.	<i>Análisis de voltaje en el neutro</i>	37
3.4.3.	<i>Análisis de la Corriente</i>	38
3.4.4.	<i>Análisis de potencias</i>	39
3.4.4.1.	<i>Analisis de la potencia Activa (kW)</i>	40

3.4.4.2.	<i>Analisis de laPotencia Aparente (KVA)</i>	41
3.4.4.3.	<i>Analisi de la Potencia Reactiva (KVAR)</i>	42
3.4.5.	<i>Análisis del factor de potencia</i>	43
3.4.6.	<i>Análisis curva de carga</i>	44
3.4.7.	<i>Armónicos de voltaje</i>	45
3.4.7.1.	<i>Distorsión armónica total de voltaje (THD)</i>	45
3.4.7.2.	<i>Armónicos de voltaje individual</i>	47
3.4.8.	<i>Armónicos de corriente</i>	48
3.4.8.1.	<i>Distorsión armónica total de corriente THD</i>	48
3.4.8.2.	<i>Armónicos de corriente individuales</i>	49
3.5.	Mantenimiento y adecuación del sistema eléctrico	50
3.5.1.	<i>Mantenimiento eléctrico programado del tablero principal</i>	51
3.5.1.1.	<i>Cambio del interruptor termomagnético principal</i>	53
3.5.1.2.	<i>Cambio de cables eléctricos y montaje de barra eléctrica en el tablero principal</i>	54
3.5.2.	<i>Mantenimiento de instalaciones eléctricas de la fábrica</i>	56
3.5.3.	<i>Balance de cargas en sistema eléctrico de la fabrica</i>	58
3.5.4.	<i>Instalación de puesta a tierra en la fábrica de quesos el SALINERITO</i>	60
3.5.4.1.	<i>Análisis inicial del suelo</i>	60
3.5.4.2.	<i>Calculo del calibre del conductor electrodo puesta a tierra</i>	63
3.5.4.3.	<i>Electrodos para la malla</i>	65
3.5.4.4.	<i>Materiales Utilizados:</i>	65
3.5.4.5.	<i>Proceso ejecutado</i>	66
3.5.4.6.	<i>Resultados Finales</i>	68
3.6.	Análisis de penalización por bajo factor de potencia	69
3.7.	Diseño del banco de condensadores trifásicos	72
3.7.1.	<i>Calculo de la potencia reactiva para la corrección del factor de potencia</i>	73
3.8.	Componentes del banco de condensadores automático	76
3.8.1.	<i>Controlador del factor de potencia</i>	76
3.8.1.1.	<i>Ajuste del CosØ</i>	78
3.8.1.2.	<i>Calculo del parámetro C/K (sensibilidad)</i>	78
3.8.1.3.	<i>Ajuste del parámetro PROG</i>	79
3.8.1.4.	<i>Ajuste del parámetro DELAY</i>	80
3.8.1.5.	<i>Ajuste del parámetro STEP</i>	80
3.8.1.6.	<i>Ajuste del parámetro PHASE</i>	80
3.8.1.7.	<i>Ajuste de corriente (Ip)</i>	81
3.8.1.8.	<i>Conexión del controlador de factor de potencia PR-11D12</i>	81
3.8.2.	<i>Condensadores trifásicos</i>	82

3.8.3.	<i>Contactor especial para condensadores</i>	84
3.8.4.	<i>Calculo para el interruptor principal</i>	85
3.8.5.	<i>Protección con fusibles para cada condensador</i>	86
3.8.6.	<i>Dimensionamiento de cable eléctrico</i>	86
3.8.7.	<i>El Gabinete</i>	87

CAPITULO IV

4.	ANALISIS Y RESULTADOS	89
4.1.	Descripción actual de la fabrica	89
4.2.	Diseño del banco automático de capacitores	90
4.3.	Mejoras del factor de potencia reflejada en las planillas	91
4.4.	Análisis de la calidad de energía actual de la fabrica	93
4.4.1.	<i>Análisis de los niveles voltaje</i>	93
4.4.1.1.	<i>Voltaje Fase Neutro (127 V)</i>	93
4.4.1.2.	<i>Voltaje Nominal (220V)</i>	96
4.4.2.	<i>Análisis de Corriente</i>	97
4.4.3.	<i>Análisis del factor de potencia actual</i>	99
	CONCLUSIONES	1011
	RECOMENDACIONES	1022
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Factor de potencia de diferentes dispositivos	9
Tabla 1-2:	Carga instalada en la fábrica de quesos El Salinerito	26
Tabla 2-2:	Especificaciones técnicas FLUKE 435.....	30
Tabla 3-2:	Datos del transformador trifásico de la fábrica	33
Tabla 4-2:	Niveles de voltaje	34
Tabla 5-2:	Limites para el índice de nivel de voltaje	34
Tabla 6-2:	Análisis de voltaje fase – fase (220v).....	35
Tabla 7-2:	Análisis de voltaje fase – neutro (127v	36
Tabla 8-2:	Nivel de voltaje en el neutro.....	38
Tabla 9-2:	Análisis de la corriente	38
Tabla 10-2:	Potencia activa.....	40
Tabla 11-2:	Potencia Aparente.....	41
Tabla 12-2:	Potencia reactiva.....	42
Tabla 13-2:	Análisis de la corriente	44
Tabla 14-2:	THD Voltaje	46
Tabla 15-2:	Armónico de voltaje individual	47
Tabla 16-2:	THD corriente.....	49
Tabla 17-2:	Armónico de corriente individual.....	50
Tabla 18-2:	Lectura del teluometro a diferente distancia	61
Tabla 19-2:	Niveles de cortocircuito de la subestación GUANUJO.....	64
Tabla 20-2:	Materiales para puesta a tierra.....	65
Tabla 21-2:	Medición de resistencia de las varillas	69
Tabla 22-2:	Valores calculados Qc necesario para mejorar el factor de potencia	73
Tabla 23-2:	Valores máximos, medios y mínimos de potencia reactiva.....	74
Tabla 24-2:	Características técnicas PR-11D12.....	77
Tabla 25-2:	Selección de fase y sentido de conexión del TC.....	81
Tabla 1-3:	Componentes del banco de condensadores	89
Tabla 2-3:	Análisis de voltaje Fase – Neutro	94
Tabla 3-3:	Análisis de voltaje Fase – Fase.....	96
Tabla 4-3:	Análisis de corriente	98
Tabla 5-3:	Análisis de Factor de potencia actual de la fábrica	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Triangulo de potencia	6
Figura 2-1:	Carga Resistiva	6
Figura 3-1:	Carga Inductiva.....	7
Figura 4-1:	Carga Capacitiva.....	7
Figura 5-1:	Relación entre la corriente y el factor de potencia.....	10
Figura 6-1:	Compensador sincrónico en sobreexcitación.....	12
Figura 7-1:	Compensador sincrónico en subexcitación.....	12
Figura 8-1:	Esquema de un TSC.....	13
Figura 9-1:	Esquema de un TCR	13
Figura 10-1:	Potencia reactiva suministrada por la propia red	15
Figura 11-1:	Corrección del factor de potencia a través de condensadores.....	15
Figura 12-1:	Reducción de la carga reactiva mediante un banco de condensadores	16
Figura 13-1:	Instalación Individual del banco de condensadores	18
Figura 14-1:	Instalación en grupo del banco de condensadores	19
Figura 15-1:	Instalación Global del banco de capacitores	20
Figura 16-1:	Banco de condensador fijo.....	21
Figura 17-1:	Banco de condensadores automático	22
Figura 18-1:	Sistema puesta a tierra electrodo.....	22
Figura 19-1:	Sistema puesta a tierra electrodo.....	23
Figura 1-2:	Logo EL SALINERITO.....	24
Figura 2-2:	FLUKE 435 instalado en la fábrica.....	29
Figura 3-2:	FLUKE 435 series II.....	30
Figura 4-2:	Conexión del analizador a un sistema de distribución.....	32
Figura 5-2:	Tablero principal de la fábrica de quesos.....	51
Figura 6-2:	Cables eléctricos sobrecalentados y sueltos.....	52
Figura 7-2:	Bornes sobrecalentados en el Interruptor termomagnético principal.....	52
Figura 8-2:	Cables eléctricos del neutro sin barras, colocado en una sola bornera	53
Figura 9-2:	Cambio del interruptor termomagnetico principal.....	53
Figura 10-2:	Interruptor termomagnetico principal LS 150A.....	54
Figura 11-2:	Cambio de cables eléctricos del tablero principal.....	55
Figura 12-2:	Montaje barras eléctricas para neutro	55
Figura 13-2:	Tablero eléctrico principal después del mantenimiento.....	56
Figura 14-2:	Tablero para descremadora de leche en mal estado	57
Figura 15-2:	Toma corriente quemado	57
Figura 16-2:	Nuevo tablero para descremadora de leche.....	58

Figura 17-2:	Cambio de cables eléctricos en el área de sellado.....	58
Figura 18-2:	Pinza amperimétrica para el balance de cargas.....	59
Figura 19-2:	Balance de cargas.....	59
Figura 20-2:	Área del terreno para puesta a tierra	61
Figura 21-2:	Medición de la resistividad con teluometro.....	62
Figura 22-2:	Excavación para varillas copperweld.....	66
Figura 23-2:	Colocación de las varillas copperweld.....	67
Figura 24-2:	Mezcla de tierra negra con electrolitos	67
Figura 25-2:	Mallado con el alambre de cobre	68
Figura 26-2:	Conexión de cada varilla con el alambre de cobre.....	68
Figura 27-2:	Planilla noviembre de 2019 con penalización.....	70
Figura 28-2:	Planilla diciembre de 2019 con penalización.....	70
Figura 29-2:	Planilla enero del 2020 con penalización.....	70
Figura 30-2:	Planilla febrero del 2020 con penalización	71
Figura 31-2:	Planilla julio del 2020 con penalización	71
Figura 32-2:	Controlador de factor de potencia PR-11D12.....	77
Figura 33-2:	Conexión del Controlador de factor de potencia PR-11D1	82
Figura 34-2:	Capacitor cilíndrico trifásico.....	83
Figura 35-2:	Contactador especial para condensadores.....	84
Figura 36-2:	Interruptor principal para el banco de condensador	85
Figura 37-2:	Gabinete para el banco de condensadores.....	87
Figura 38-2:	Gabinete del banco de condensadores junto al tablero principal	88
Figura 1-3:	Controlador de factor de potencia en funcionamiento	89
Figura 2-3:	Diseño del banco de condensadores automático.....	90
Figura 3-3:	Planilla septiembre del 2020 sin penalización	91
Figura 4-3:	Planilla octubre del 2020 sin penalización.....	92
Figura 5-3:	Planilla noviembre del 2020 sin penalización.....	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-2:	Análisis de voltaje fase - fase (220v)	35
Grafico 2-2:	Análisis de voltaje fase - neutro (127v).....	36
Grafico 3-2:	Análisis de voltaje en el neutro	37
Grafico 4-2:	Análisis de la corriente	38
Grafico 5-2:	Medición de la Potencia Activa en la fabrica.....	40
Grafico 6-2:	Medición de la Potencia Aparente en la fábrica.....	41
Grafico 7-2:	Medición de Potencia Reactiva en la fábrica	42
Grafico 8-2:	Análisis del factor de potencia	43
Grafico 9-2:	Medición de la curva de carga en la fábrica	45
Grafico 10-2:	THD voltaje.....	46
Grafico 11-2:	Armónico de voltaje individual.....	47
Grafico 12-2:	THD de corriente.....	48
Grafico 13-2:	Armónico de corriente individual.....	49
Grafico 1-3:	Voltaje Fase – Neutro actual de la fabrica.....	94
Grafico 2-3:	Voltaje Fase – Fase actual de la fábrica	96
Grafico 3-3:	Corriente fase actual de la fábrica	98
Grafico 4-3:	Factor de potencia actual de la fábrica	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Potencia Aparente.....	6
Ecuación 2-1:	Factor de potencia.....	8
Ecuación 3-1:	Potencia Reactiva de la inicial.....	16
Ecuación 4-1:	Potencia reactiva inductiva final.....	16
Ecuación 5-1:	Potencia reactiva capacitiva.....	16
Ecuación 6-1:	Potencia reactiva capacitiva.....	16
Ecuación 1-2:	Resistividad promedio a la profundidad	62
Ecuación 2-2:	Sección del conductor.....	64
Ecuación 3-2:	Factor de penalización	71
Ecuación 4-2:	Penalización por bajo F.P	72
Ecuación 5-2:	Sensibilidad del controlador	79
Ecuación 6-2:	Corriente nominal	83
Ecuación 7-2:	Sobrecorriente para contactor	84
Ecuación 1-3:	Magnitud promedio del voltaje.....	93
Ecuación 2-3:	Desbalance de voltaje	94
Ecuación 3-3:	Magnitud promedio de la corriente.....	97
Ecuación 4-3:	Desbalance de corriente.....	97

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Tabla de AWG
- ANEXO B:** Diagrama Unifilar Maquinas
- ANEXO C:** Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta Administración
- ANEXO D:** Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta Fabrica
- ANEXO E:** Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta Despacho
- ANEXO F:** Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta Delicatesen
- ANEXO G:** Tabla de especificaciones de conductores
- ANEXO H:** Montaje y cableado del banco automático de capacitores
- ANEXO I:** Instalación Puesta a tierra

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

I (t):	Corriente Alterna en función del tiempo
V (t):	Voltaje de CA en función del tiempo
I:	Valor eficaz de la corriente
V:	Valor eficaz de la tensión
P:	Potencia active absorbida por la carga
Q:	Potencia reactiva absorbida por la carga
S:	Potencia aparente absorbida por la carga.
CosØ:	Factor de potencia
THD:	Tasa total de distorsión armónica
KVA:	Kilovoltio amperio
KW:	Kilovatio
KVAR:	Kilovoltio amperio reactivo
SO:	Sistema Operativo
Qi:	Potencia Reactiva de la fábrica inicial
Si:	Potencia Aparente inicial
ϕi:	Factor de Potencia Inicial
Qc:	Potencia reactiva capacitiva
Qf:	Potencia reactiva inductiva final
Sf:	Potencia Aparente final
ϕf:	Factor de potencia final

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue elevar el factor de potencia a través de la implementación y diseño del banco automático de condensadores el cual es capaz de controlar la demanda de potencia reactiva requerida por el sistema eléctrico. Para realizar la implementación fue necesario realizar mediciones de los parámetros eléctricos, para lo cual se procedió a hacer uso del analizador de energía trifásico FLUKE 435 SERIES II, el cual fue instalado en las terminales del tablero de distribución principal, el periodo de medición fue de 7 días, 168 horas continuas tomando muestras cada 10 minutos según lo estipulado en la regulación ARCONEL 005/18. Los parámetros obtenidos fueron: voltajes fase, corriente fase, potencia activa, reactiva, aparente, factor de potencia, armónicos de corriente y de voltaje, distorsión armónica total de corriente y voltaje. El análisis de los parámetros eléctricos obtenidos indica que la fábrica el Salinerito tiene bajo factor de potencia y es ineficiente en la distribución de energía eléctrica. Por esta razón, se procedió a realizar el mantenimiento del tablero eléctrico principal, mantenimiento de los tableros eléctricos secundarios, la instalación de puesta a tierra que permita descargar las corrientes armónicas, corrección de las instalaciones eléctricas mal hechas, correcto dimensionamiento del conductor, el balance de cargas, análisis de caídas de voltaje y cargabilidad de los conductores debido al mal funcionamiento en diferentes áreas de la fábrica, cambio de conductores con recubrimiento defectuoso y sobrecalentados. El mantenimiento realizado y la implementación del banco automático de condensadores disminuye las pérdidas de energía en los conductores, reduce las caídas de tensión, aumenta la disponibilidad de potencia en los transformadores e incrementa la vida útil de las instalaciones.

Palabras Clave: <CALIDAD DE LA ENERGÍA>, <CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA>, <BANCO AUTOMÁTICO>, <CONTROLADOR DE FACTOR DE POTENCIA>, <POTENCIA REACTIVA>, <CARGA INDUSTRIAL>, <CARGA INDUCTIVA>.

ABSTRACT

The aim of this research was to increase the power factor through the implementation and design of an automatic capacitor bank capable of controlling the reactive power demand required by the electrical system. To carry out the execution, it was necessary to perform measurements of electrical parameters. We proceeded to make use of the three-phase energy analyzer FLUKE 435 SERIES II, which was installed at the terminals of the main distribution board. The measurement period was seven days, 168 continuous hours taking samples every 10 minutes as stipulated in the regulation ARCONEL 005/18. The parameters obtained were: phase voltages, phase current, active, reactive and apparent power, power factor, current and voltage harmonics, total harmonic distortion of current and voltage. The electrical parameters analysis obtained, indicates that the “Salinerito” factory has a low power factor and is inadequate in the distribution of electrical energy. For this reason, we proceeded to perform maintenance of the main electrical panel, maintenance of the alternate electrical panels, installation of grounding to discharge harmonic currents, correction of poor electrical installations, correct conductor sizing, load balancing, analysis of voltage drops and loadability of the conductors due to bad performance in different areas of the factory, replacement of conductors with defective coating and overheated conductors. The maintenance performed and the automatic capacitor bank’s implementation reduces energy losses in the conductors, reduces voltage drops, increases power availability in the transformers and increases the installations’ useful life.

Keywords: < POWER FACTOR CORRECTION >, < AUTOMATIC BANK >, < POWER FACTOR CONTROLLER >, < POWER QUALITY >, < REACTIVE POWER >, < INDUSTRIAL LOAD >, < INDUCTIVE LOAD >.

INTRODUCCIÓN

La Cooperativa de producción agropecuaria el Salinerito, está ubicada en la zona nororiental de la provincia Bolívar, a 26 Km de la capital provincial Guaranda, cuya actividad está enfocada a la producción y venta de quesos, en la planta producen 22 variedades de quesos gourmet y yogurt la cual es comercializado a nivel nacional e internacional con la marca el Salinerito, para la elaboración de los productos la empresa posee cargas resistivas e inductivas en su sistema eléctrico.

Las cargas eléctricas de la fábrica es variable por la presencia de un gran número de motores, equipos de refrigeración, transformadores, compresores y lámparas fluorescentes que afectan de manera negativa el factor de potencia y por ende esto implica una penalización impuesta por entidades generadoras de electricidad en Ecuador (CONELEC), es la encargada de penalizar al no cumplir con un factor de potencia mayor de 0,92, la eficiencia energética de un sistema eléctrico depende en gran medida de la compensación de potencia reactiva, unas de las alternativas utilizadas para tales efectos es la utilización de capacitores en calidad de compensadores.

Para conocer la dificultad de un bajo factor de potencia, sus causas y los efectos negativos ocasionados en la fábrica es necesario considerar ciertos aspectos teóricos y los parámetros obtenidos mediante el analizador de calidad de energía FLUKE.

Al ejecutar un análisis del sistema eléctrico haciendo uso del analizador de energía trifásico FLUKE 435 SERIES II presenta; bajo factor de potencia, desbalance de las fases en los sistemas de distribución. Sin embargo al realizar la inspección de cada área se encontró; instalaciones eléctricas mal hechas, interruptor termo magnético en mal funcionamiento, relés térmicos deteriorados por el tiempo de uso, contactores deteriorados, conductores eléctricos sobrecalentados, daños mecánicos de los conductores eléctricos, conductores eléctricos con daños a la pantalla metálica por corrosión en diferentes áreas.

La necesidad de mejorar la calidad de la energía eléctrica implica aspectos directamente relacionado con el balance de cargas en las fases, instalación de la puesta a tierra, correcto dimensionamiento de conductores y elementos de maniobra, de esta manera evitar elevadas tarifas de consumo eléctrico, bajo rendimiento de las máquinas y problemas con las empresas generadoras de energía eléctrica. He ahí el interés de mejorar el factor de potencia mediante los avances tecnológicos existentes en la actualidad.

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

¿Qué proceso ayudara a dinamizar y mejorar el consumo energético industrial en la COOPERATIVA DE PRODUCCION AGROPECUARIA EL SALINERITO?

1.2. Sistematización del problema

¿Qué sistema de corrección de factor de potencia posee actualmente la empresa?

¿Cuáles son los requerimientos que debe cumplir el tablero de control automático?

¿Qué datos y variables son indispensables para el dimensionamiento e implementación de del tablero?

¿Cuáles son los recursos HARDWARE necesarios para llevar a cabo la implementación del tablero?

¿El Diseño del tablero de control automático cumple con los requisitos establecido?

1.3. Justificación del tema

La corrección del factor de potencia es fundamental para la fábrica debido a evitar penalizaciones impuestas por la empresa suministradora de energía. El estudio de la efectividad energética ayuda al incremento de la vida útil de los equipos electrónicos, instalaciones eléctricas y motores, además de obtener un beneficio económico.

Para la correcta utilización de la energía es adecuado utilizar métodos para la obtención de información, la cuál será examinada e interpretada para establecer las características de los capacitores a emplear.

La importancia del presente trabajo de titulación es la compensación de la potencia reactiva, el beneficio es el ahorro de costes, la mejora del servicio energético y la mejora del rendimiento de los motores, satisfaciendo las expectativas del beneficiario al aumentar el factor de potencia para no ser penalizado.

1.4. Antecedentes

La cooperativa agropecuaria el SALINERITO, en sus instalaciones cuenta con cargas inductivas y cargas resistivas las mismas que son usadas para procesar los productos.

Las instalaciones eléctricas de la fábrica se encuentran con un bajo factor de potencia, cuando el factor de potencia es menor que uno, la potencia "faltante" se conoce como potencia reactiva que es necesaria para proporcionar un campo de magnético requerido por los motores y otras cargas inductivas necesarias para su funcionamiento. La potencia reactiva también se puede interpretar como potencia no útil, produce sobrecarga en el sistema eléctrico y aumento en la factura del consumidor.

Para la corrección del factor de potencia en la fábrica se analizó la instalación individual de condensadores la cual es la conexión de condensadores en paralelo con la carga, los condensadores se puede conectar a cada motor, esta conexión tiene la desventaja, cuando la carga en el motor varia puede resultar una corrección insuficiente o excesiva. La corrección del factor de potencia individual no se debe aplicar a la salida de un variador de velocidad, o un inversor, ya que los condensadores pueden causar daños graves a los componentes electrónicos.

Debido a las cargas variables la mejor alternativa para la corrección del factor de potencia es la implementación de una banco automático de condensadores, la corrección del factor de potencia es aplicada en el origen de la instalación en el tablero principal consiste en un controlador que monitorea los KVAR y este controlador activa o desactiva los condensadores para mantener el factor de potencia un límite preestablecido (normalmente 0,95). Cuando se instala el banco de capacitores automático de manera global, se pueden conectar otras cargas en cualquier lugar del sistema eléctrico.

Las ventajas de utilizar banco de capacitores automático para la corrección del factor de potencia son relacionadas por la facilidad de su mantenimiento.

El banco automático de condensadores aprovecha los avances en las tecnologías de la electrónica. Este banco de condensadores tiene flexibilidad y versatilidad, de modo que se puede adaptar a muchas cargas, configurando fácilmente los pasos del controlador.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo general*

- Diseñar y construir un tablero de control automático para Optimizar la eficiencia energética en la empresa COOPERATIVA DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EL SALINERITO.

1.5.2. *Objetivo específico*

- Analizar el sistema de corrección de factor de potencia que posee actualmente la empresa.
- Verificar que datos y variables son indispensables para el dimensionamiento e implementación del tablero.
- Elegir los recursos hardware necesarios para llevar a cabo la implementación del tablero
- Evaluar si el sistema de corrección del factor de potencia es capaz de mejorar el consumo energético de la empresa

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realiza un análisis bibliográfico de los aspectos relevantes para llevar a cabo el trabajo de investigación. Para el diseño e implementación del banco automático de condensadores es de suma importancia conocer los conceptos para poner en marcha el proyecto.

2.1. Potencia

La potencia es referida al consumo de energía eléctrica para el funcionamiento de una máquina, motor o equipo eléctrico, existen diferentes potencias:

- Potencia Reactiva.
- Potencia Aparente.
- Potencia Activa

2.1.1. *Potencia Reactiva*

La potencia reactiva aparece por la existencia de bobinas y condensadores en los circuitos, genera campos magnéticos y eléctricos. No produce trabajo útil, ya que su valor medio es inutilizado o nulo, su unidad de medida es el VOLTIO-AMPERIO REACTIVOS (VAR), es representado por la letra Q.

2.1.2. *Potencia Activa*

Potencia activa conocida como potencia real, define como la cantidad de energía eléctrica transportada o consumida en una determinada unidad de tiempo aprovechada como potencia útil, su unidad de medida es Vatios (W), es representada por la letra P.

2.1.3. *Potencia Aparente*

Potencia aparente también llamada potencia total o compleja, es la suma fasorial de la potencia activa y la potencia reactiva, es designa con la letra S y su unidad de medida es el voltio amperio (VA).

2.1.4. *Triángulo de potencia*

El triángulo de potencia, representa cual es la relación entre las tres potencias existentes, en corriente alterna.

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Ecuación 1-1

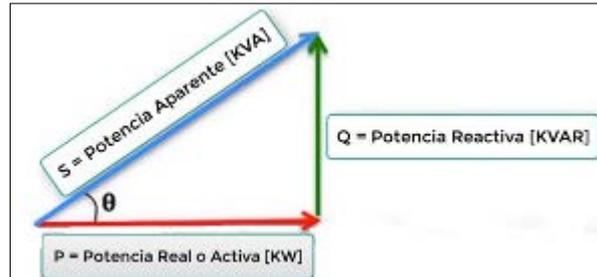


Figura 1-1: Triangulo de potencia
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

2.2. Cargas

Una carga es cualquier dispositivo o componente eléctrico que absorbe energía eléctrica, y la convierte en otro tipo de energía. Existen tres tipos de cargas: Resistiva, Inductiva, Capacitiva.

2.2.1. *Carga Resistiva*

Al circular la corriente eléctrica por las cargas resistivas, genera energía calorífica o lumínica, la corriente se encuentra en fase con el voltaje, es decir tienen el mismo ciclo y pasan por los mismos puntos en el mismo instante de tiempo. El ángulo entre el voltaje y la corriente es cero por lo cual el factor de potencia es la unidad.

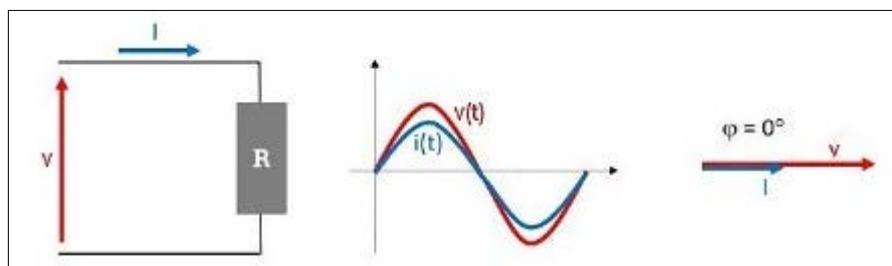


Figura 2-1: Carga Resistiva
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

2.2.2. Carga Inductiva

Las cargas inductivas son aquellas en la cual, la electricidad al circular por las bobinas generan un campo magnético necesario para su funcionamiento, este efecto produce el retraso de la corriente con respecto a la tensión 90° . Ejemplos de carga inductiva son motores, transformadores, ventiladores y frigoríficos,

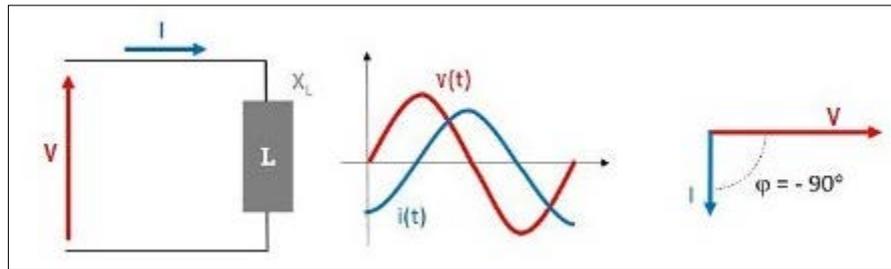


Figura 3-1: Carga Inductiva
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

2.2.3. Carga Capacitiva

En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje 90° . Factor de potencia adelantado. Tienen como finalidad la inserción de compensación de energía reactiva.

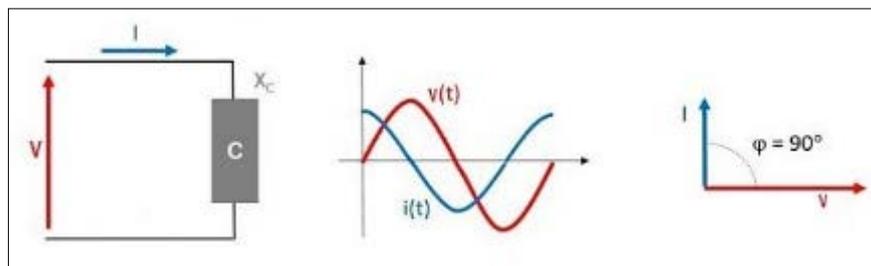


Figura 4-1: Carga Capacitiva
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

2.3. Factor de potencia

El factor de potencia, es un concepto clave para el estudio de circuitos en corriente alterna. Al revisar el triángulo de potencia observamos que el cateto vertical corresponde a la potencia reactiva y el cateto horizontal corresponde a la potencia activa, la suma vectorial dan lugar a la hipotenusa o potencia aparente, el ángulo de este triángulo es el que nos ayuda para el estudio de cuanta potencia activa y cuanta potencia reactiva hay en un total de potencia aparente, lo útil para generar un trabajo es la potencia activa, llamamos factor de potencia al coseno del ángulo, este

coseno multiplicado por la potencia aparente nos muestra la cantidad de potencia activa que circula por un circuito.

El factor de potencia revela el aprovechamiento de la energía eléctrica, cuando toma valor cercano a la unidad indica el mejor aprovechamiento de energía, un valor de 0.80 indica un bajo factor de potencia, la cual afecta el rendimiento de los equipos.

$$FP = \cos \varphi \frac{P}{Q} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

2.3.1. *Causas del bajo factor de potencia*

El bajo factor de potencia se debe a la presencia de cargas inductivas como motores, transformadores, balastos, son cargas no lineales producen una contaminación a la red eléctrica, en este tipo de cargas el consumo de corriente eléctrica se desfasa con relación al voltaje lo que produce un bajo factor de potencia.

A continuación se enunciarán varios equipos electrónicos que producen un bajo factor de potencia:

- Lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio
- Motores de inducción
- Transformadores
- Hornos
- Soldadoras

2.3.2. *Corrección del factor de potencia*

Generalmente las cargas de las industrias consumen potencia activa (KW), dicha potencia se halla ligada a la potencia reactiva (KVAR). La unión de las dos potencias generan el trabajo de diferentes equipos.

La potencia reactiva no produce trabajo en los equipos, pero es de gran importancia para generar flujo electromagnético, necesario para el funcionamiento de diferentes aparatos, el aumento de estos aparatos aumenta en la fábrica la demanda de energía reactiva, por lo tanto esto produce una caída del factor de potencia.

Para corregir el factor de potencia resulta práctico y económico, realizar la corrección del factor de potencia a través de la instalación de condensadores eléctricos estáticos

Tabla 1-1: Factor de potencia de diferentes dispositivos.

EQUIPOS	CARGA	cos φ
Motores Asíncronos	0%	0.17
	25%	0.55
	50%	0.73
	75%	0.8
	100%	0.85
Lámparas incandescentes.		1
Lámparas de descarga.		0.4 a 0.6
Hornos a resistencia		1
Máquina de soldar a resistencia		0,8 a 0,9
Transformadores de soldadura		0,7 a 0,9
Tubos fluorescentes		0,93

Fuente: www.abb.es/bajatension

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Una vez analizada la tabla 1-1, determinó, los equipos utilizados en la fábrica producen un bajo factor de potencia.

2.3.3. *Efectos del bajo factor de potencia*

Cuando el factor de potencia es bajo, indica el uso deficiente de la energía eléctrica, pérdidas energía en los conductores, además de posibles caídas de tensión, incremento en la intensidad de corriente del sistema, esto es perjudicial para la compañía suministradora y para la empresa, debido a la saturación de los cables eléctricos.

La energía reactiva no produce un trabajo útil, pero incrementa la potencia aparente del sistema, esto ocurre en los transformadores, un factor de potencia bajo trae como consecuencia, los transformadores utilicen parte de su capacidad en la potencia reactiva adicional, lo cual los transformadores tendrán menos capacidad disponible.

Un bajo factor de potencia perjudica en la reducción de la vida útil de los equipos eléctricos, debido a la sobre temperatura derivada de la corriente adicional que se genera.

La causa del bajo factor de potencia, por lo regular la causa más frecuente, es tener instalado una gran cantidad de motores eléctricos, los beneficios de corregir el factor de potencia es reducir las

pérdidas por caída de tensión, disminuye las pérdidas por calentamiento en los conductores, reduce la facturación de la energía eléctrica debido a las penalizaciones, mayor disponibilidad en la capacidad en los transformadores y cables eléctricos.

En la figura 4-1, muestra la relación que existe entre la corriente y el factor de potencia, en el eje X se encuentra el factor de potencia, en el eje Y muestra la variación de corriente, si el factor de potencia es menor, la intensidad de corriente incrementa cada vez más.

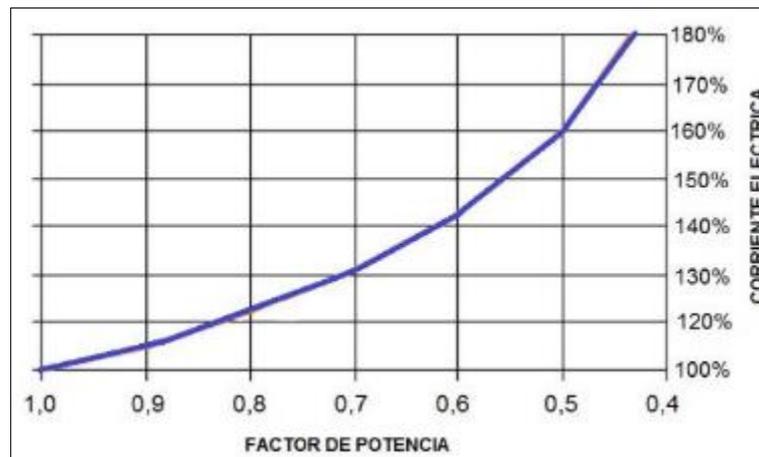


Figura 5-1: Relación entre la corriente y el factor de potencia
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El factor de potencia limita la demanda de corriente del sistema eléctrico. El problema del bajo factor de potencia tendrá un efecto negativo financiero, estos problemas son los siguientes:

2.3.3.1. Aumento de la corriente eléctrica

Por esta razón, en la empresa tienen los siguientes problemas:

- El calibre de los conductores eléctricos, deberán ser de mayor calibre, entre el medidor y la fábrica.
- Recalentamiento de los bobinados de los transformadores de distribución.
- Los elementos de protección deberán ser de mayor capacidad.
- El aumento de la temperatura acorta la vida de los aislamientos en los conductores eléctricos.

2.3.3.2. *Caídas de tensión*

La caída de tensión produce, insuficiente potencia para el correcto funcionamiento de las cargas, la caída de tensión afecta directamente los conductores eléctricos, dispositivos de protección, control y a los embobinados de los transformadores.

2.3.3.3. *Sobrecarga de los transformadores*

El bajo factor de potencia produce un exceso de corriente lo cual los transformadores y líneas de transmisión eléctrica, trabajan con sobrecarga acortando la vida útil. Los transformadores están diseñados y construidos para operar con un valor definido de corriente eléctrica, al exceder estos valores el equipo sufre daños.

2.3.3.4. *Aumento de la planilla de consumo de energía eléctrica*

El proveedor de energía eléctrica entrega la potencia requerida a la fábrica y verifica la correcta utilización, el mal aprovechamiento de potencia por la fábrica, conlleva a penalizar económicamente, pagando más por el consumo, este mal aprovechamiento se debe a un bajo factor de potencia, he ahí la importancia de realizar la corrección del factor de potencia.

2.4. Métodos para corregir el factor de potencia

Para corregir el factor de potencia analizaremos los siguientes métodos:

- Compensadores síncronos
- Compensadores estáticos
- Condensadores estáticos

2.4.1. *Compensadores síncronos*

Son motores síncronos los cuales trabajan en vacío puestos en sincronismo con la red, cuya función es absorber potencia reactiva excedente, cuando el motor síncrono funciona en subexcitación, o proporcionar potencia reactiva faltante, si el motor síncrono funciona en sobreexcitación. Los motores síncronos son utilizados principalmente en nodos de las redes de transmisión y subtransmisión, para estabilizar la tensión y la potencia reactiva (ABB group, 2014) .

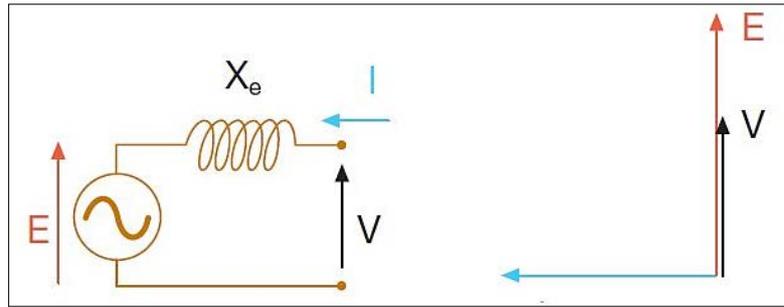


Figura 6-1: Compensador sincrónico en sobreexcitación
Fuente: (ABB group, 2014)

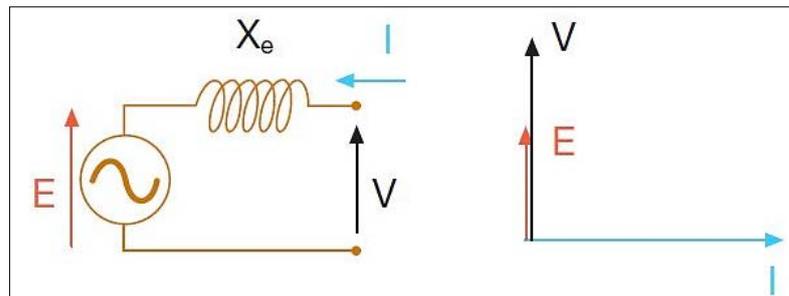


Figura 7-1: Compensador sincrónico en subexcitación
Fuente: (ABB group, 2014)

En las redes de transmisión no es conveniente usar los motores síncronos por su alto costo de instalación y mantenimiento.

2.4.2. *Compensador estático*

El avance en la electrónica favorece la sustitución de los compensadores síncrono por compensadores estáticos, para el control de la potencia reactiva, ejemplo: Los TSC y TCR.

Los TSC thyristor switched capacitors, en español significa condensadores conmutados por tiristores, los grupo de condensadores permiten suministrar energía reactiva a través de un control escalonado.

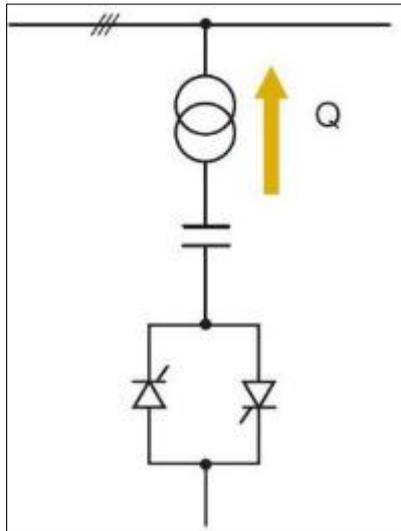


Figura 8-1: Esquema de un TSC
Fuente: (ABB group, 2014)

Los TCR thyristor controlled reactors, en español reactores controlados por tiristores, permite controlar con continuidad la potencia reactiva absorbida por las inductancias.

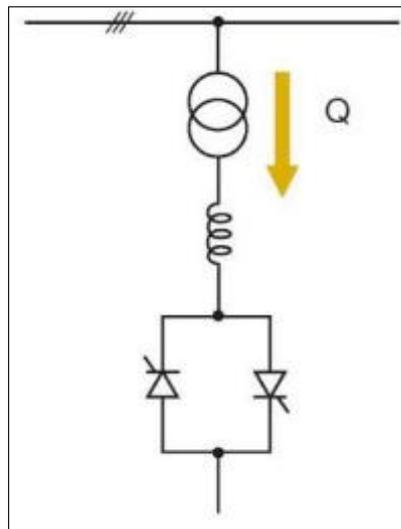


Figura 9-1: Esquema de un TCR
Fuente: (ABB group, 2014)

Los TSC y TCR son componentes electromecánicos, utilizados en sistemas de compensación de energía reactiva, para la apertura y cierre de condensadores se realiza por medio del control por parejas de tiristores en anti paralelo, no interviene los contactares. Los dispositivos mencionados se emplean en redes de alta y muy alta tensión (ABB group, 2014).

2.4.3. *Condensadores estáticos*

Mediante el uso de condensadores estáticos se realiza la corrección del factor de potencia del sistema eléctrico de la fábrica, la utilización de estos dispositivos es una de las mejores alternativas por el bajo costo. El uso de condensadores estáticos, para compensar el factor de potencia es lo más recomendable por las diferentes ventajas que presenta:

1. El consumo de energía de los condensadores estáticos es muy reducida, consume 3 vatios por KVAR.
2. El rendimiento de los condensadores estáticos es del 99%, para pequeñas potencias presentes en la fábrica.
3. Los condensadores no necesitan mantenimiento, la eficiencia de los condensadores estáticos no disminuye por falta del mismo.
4. Para la instalación de los condensadores es muy sencillo, se puede realizar la conexión en la salida del transformador, en las barras de baja tensión.

El uso de condensadores presenta ventajas en beneficio de la fábrica, por lo cual será usado para compensar el factor de potencia.

2.5. **Corrección del factor de potencia a través de condensadores**

La función básica de un condensador es almacenar energía eléctrica, básicamente un condensador está formado por dos laminas o placas de material conductor de electricidad, situadas en paralelo la una a la otra, en medio de las dos placas se dispone de un aislante conocido como dieléctrico, de forma que la electricidad no puede circular de una placa a la otra, un condensador no acumula energía eléctrica, acumula energía potencial eléctrica entre las dos placas.

Al conectar los condensadores en paralelo, suministra potencia reactiva a la red eléctrica, por lo tanto la empresa generadora de electricidad ya no necesita transportar toda la potencia reactiva para la fábrica, lo cual reduce la corriente.

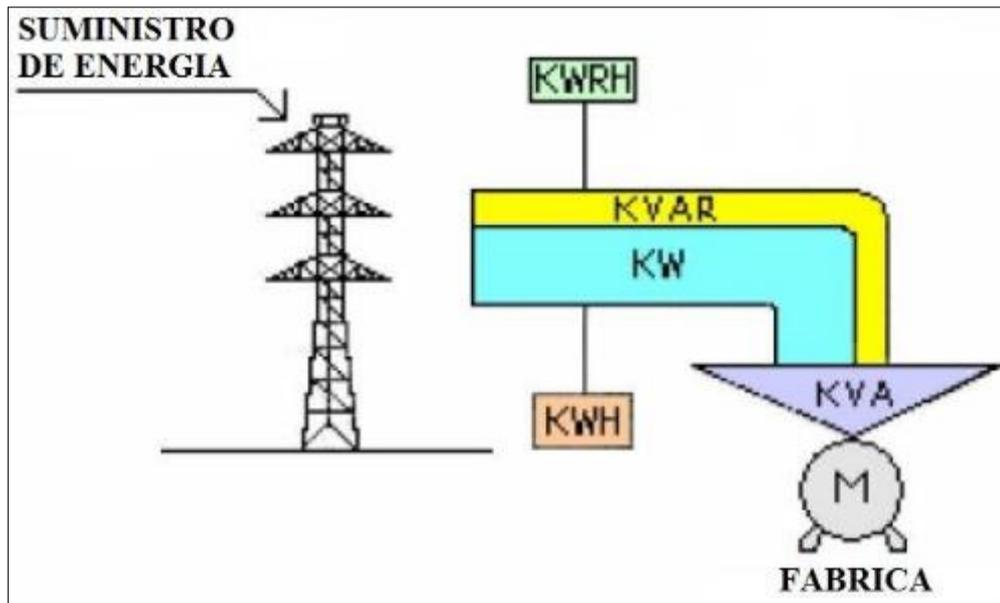


Figura 10-1: Potencia reactiva suministrada por la propia red
 Fuente: (LOYA, 2012)

La reducción de la potencia reactiva mejora el factor de potencia de la fábrica, en el siguiente gráfico, triangulo de potencias se puede entender, la forma como corregir el factor de potencia a través de los condensadores.

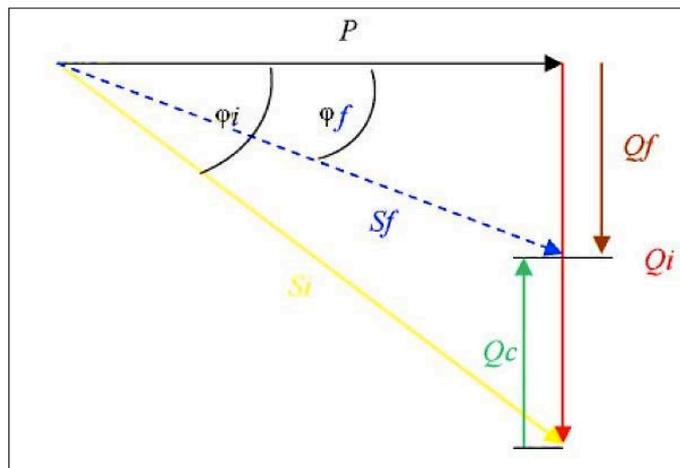


Figura 11-1: Corrección del factor de potencia a través de condensadores
 Fuente: (LOYA, 2012)

Donde

- P: Potencia activa [W]
- Qi: Potencia Reactiva de la fabrica inicial [VAr]
- Si: Potencia Aparente inicial [VA]
- φ_i : Factor de Potencia Inicial

Q_c : Potencia reactiva capacitiva [VAr]

Q_f : Potencia reactiva inductiva final [VAr]

S_f : Potencia Aparente final [VA]

φ_f : Factor de potencia final

En la figura 11-1 el Angulo de fase final φ_f corresponde al factor de potencia deseado. Las ecuaciones descritas a continuación se utilizan para obtener la capacidad de los condensadores requeridos para corregir el factor de potencia.

$$Q_i = P * \tan \varphi_i \quad \text{Ecuación 3-1}$$

$$Q_f = P * \tan \varphi_f \quad \text{Ecuación 4-1}$$

$$Q_c = Q_i - Q_f \quad \text{Ecuación 5-1}$$

$$Q_c = P(\tan \varphi_i - \tan \varphi_f) \quad \text{Ecuación 6-1}$$

El banco de capacitores suministra potencia reactiva, requerida por la fábrica, lo cual ayuda a la empresa distribuidora de energía a reducir la demanda de potencia reactiva.

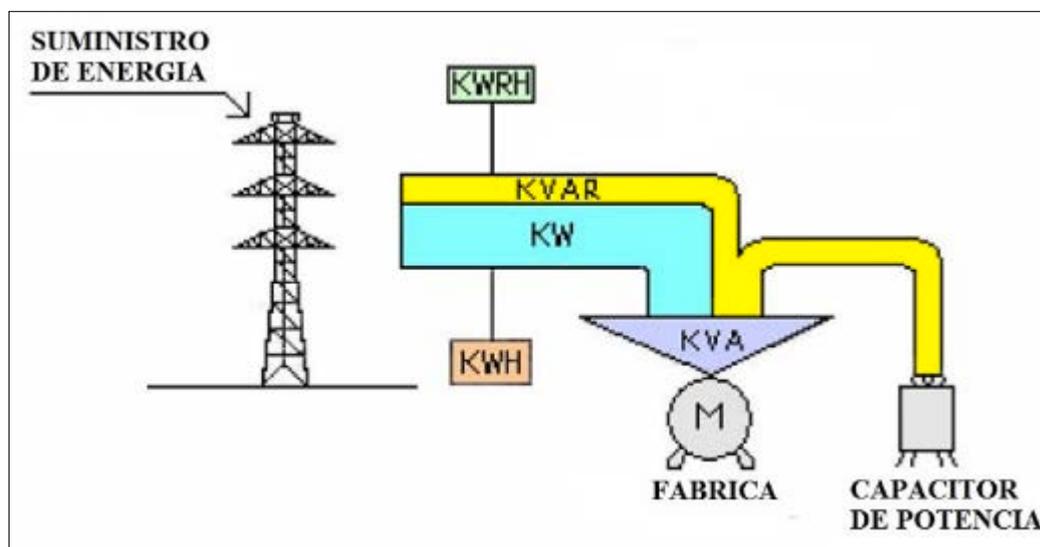


Figura 12-1: Reducción de la carga reactiva mediante un banco de condensadores
Fuente: (LOYA, 2012)

2.5.1. *Tipos de instalación del banco de condensadores*

Existen diferentes formas de instalar el banco de condensadores, las principales formas de instalación son:

- Instalación Individual
- Instalación en Grupo
- Instalación Global

2.5.1.1. *Instalación individual del banco de condensadores*

La instalación individual establece instalar condensadores debidamente dimensionada a las cargas que necesita potencia reactiva, corrigiendo el factor de potencia en forma individual.

La instalación individual es sencilla y de bajo costo se utiliza principalmente en equipos con tiempos de conexión prolongados, para cargas constante y factor de potencia constante, ese tipo de instalación es utilizada para motores y lámparas fluorescentes.

Al realizar la conexión directa del banco de condensadores al motor es peligroso, debido a una desconexión directa de la alimentación, el motor seguirá girando y autoexcitándose con la potencia reactiva dotada por el banco de capacitores, el motor se convertirá en un generador asincrónico.

Si esto llega a suceder, corre riesgo de aparición de sobretensiones, de hasta el doble de tensión nominal, presente en el lado de carga del dispositivo de maniobra y control.

Es necesario mencionar las desventajas debido a la sub utilización de condensadores cuando los motores no son operados con frecuencia, otra desventaja es el costo de varios condensadores es alto, a comparación de un condensador de valor equivalente.

Es importante acatar, para no producir una sobre compensación, la potencia del banco de condensadores debe limitarse al 90 % de la potencia reactiva del motor cuando trabaja en vacío, la sobre compensación de las cargas inductivas, provoca sobretensiones que dañan las instalaciones eléctricas.

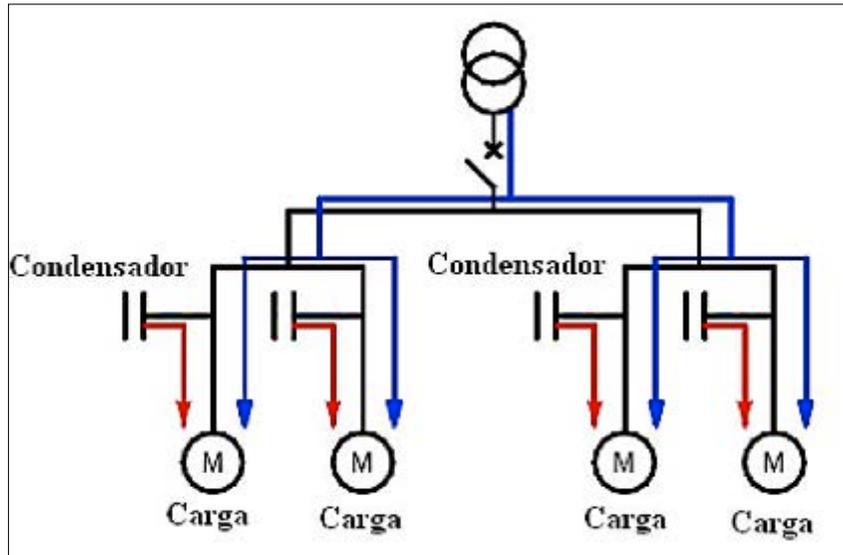


Figura 13-1: Instalación Individual del banco de condensadores
Fuente: (LOYA, 2012)

2.5.1.2. *Instalación en Grupo del banco de condensadores*

Consiste en corregir el factor de potencia de un grupo de cargas, cuando entran en funcionamiento simultáneamente y con características de funcionamiento similares, este tipo de instalación se lo realiza en grandes instalaciones.

La ventaja de la instalación en grupo, es el uso del banco de condensadores, únicamente cuando las cargas están activos, la instalación del banco de condensadores puede ser instalado en el tablero de control de cargas, otra de las ventajas es el menor costo de inversión al no comprar condensadores para cada carga.

La desventaja de la instalación en grupo es la sobrecompensación, cuando las cargas son variables.

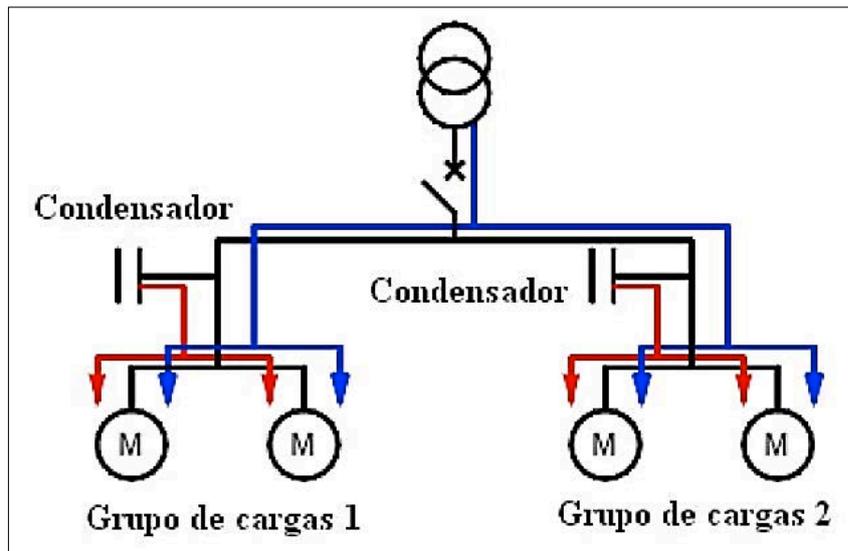


Figura 14-1: Instalación en grupo del banco de condensadores
Fuente: (LOYA, 2012)

2.5.1.3. *Instalación en global del banco de capacitores*

La instalación global o central es una alternativa para la corrección del factor de potencia, el banco de capacitores es instalado cerca del tablero de distribución, suministra potencia reactiva a diferentes equipos con diferente capacidad y diferente tiempo de funcionamiento obteniendo una solución general.

La instalación global presenta la ventaja de la facilidad de realizar mantenimiento y suministra potencia reactiva de acuerdo a los requerimientos.

La desventaja de utilizar la instalación en grupo para corregir el factor de potencia es, las líneas no descargan la potencia reactiva, además requiere de un controlador automático para realizar la corrección, sin el controlado se puede generar una sobrecompensación.

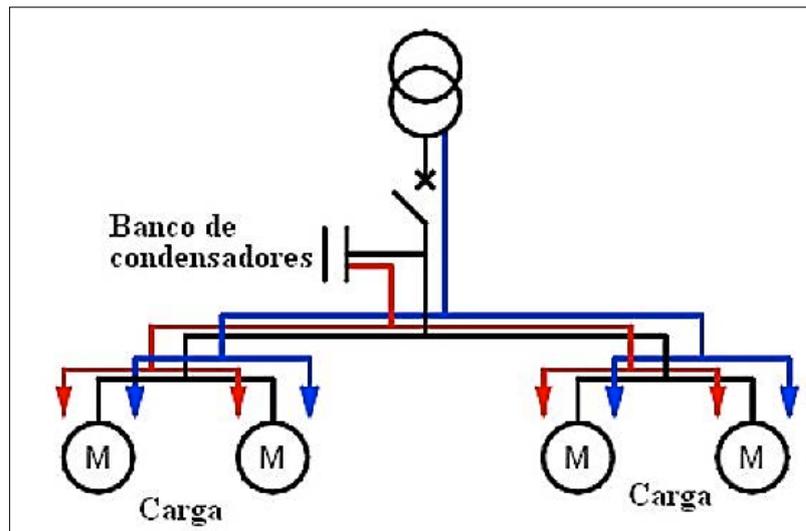


Figura 15-1: Instalación Global del banco de capacitores
Fuente: (LOYA, 2012)

2.6. Tipos de Banco de Condensadores

Existen diferentes tipos de banco de condensadores que se utiliza para la compensación de energía reactiva en diferentes instalaciones eléctricas:

- Banco de condensadores Fijo
- Banco de condensadores automático

2.6.1. Banco de condensadores fijo

La potencia reactiva generada por el banco de condensadores fijo, es constante independiente del estado de carga de la instalación, para realizar la compensación de energía reactiva utiliza una o varios capacitores en instalaciones con carga constante.

Este tipo de banco de condensador es utilizado para uno o varios equipos siempre que funcionen con un único interruptor, es decir simultáneamente, también son utilizados para compensación de pérdidas reactivas de transformadores, y para la compensación individual de motores (LOYA, 2012).

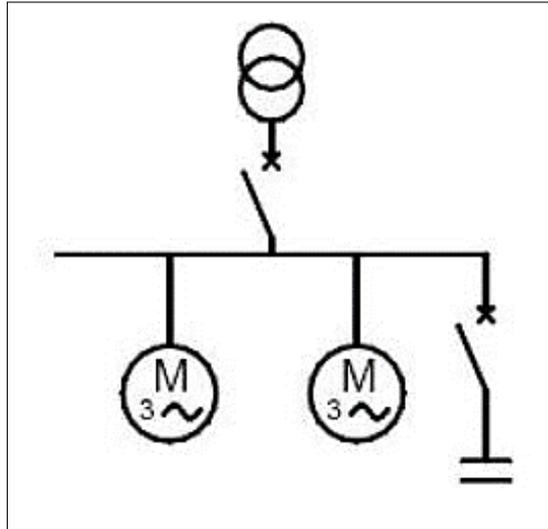


Figura 16-1: Banco de condensador fijo
Fuente: (LOYA, 2012)

2.6.2. *Banco de condensadores Automático*

En la mayor parte de instalaciones eléctricas la demanda de potencia reactiva no es constante, a causa de diferentes maquinas con diferentes propiedades eléctricas, en estas circunstancias es necesario utilizar sistema de corrección automática, a través de un controlador permite la conexión y desconexión automática de los diferentes bancos de condensadores, permitiendo así utilizar la potencia lo más cercana a la requerida, y manteniendo constante el factor de potencia de la instalación.

La activación de cada uno de los bancos de condensadores es de forma escalonada, con el objetivo de entregar energía reactiva lo más cercano a lo requerido, cuanto mayor escalones haya en el controlador mayor será la precisión de control (ABB group, 2014).

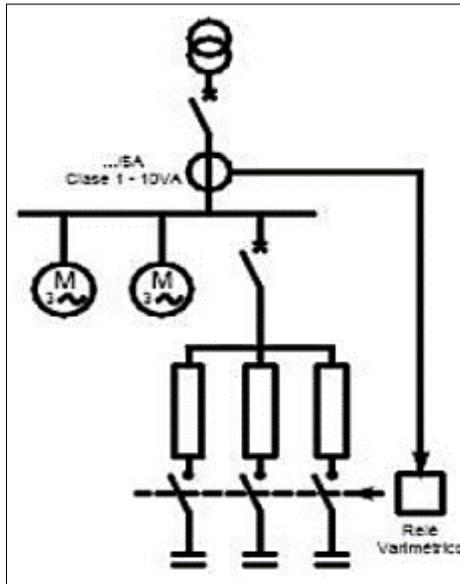


Figura 17-1: Banco de condensadores automático
Fuente: (LOYA, 2012)

2.7. Sistema de Puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra se puede considerar como la conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación a un electrodo o un grupo de electrodos oculto bajo tierra, a una determinada profundidad, con el objetivo de evadir la diferencia de potencial peligrosa, y permita la el paso a tierra de las corrientes de origen atmosférico.

El sistema de puesta a tierra se puede utilizar en cualquier tipo de instalaciones, sean estas fábricas, residencia o comerciales. El objetivo de esta forma de protección es proveer de un punto de descarga para las carcasas o armazones, garantizar que estas partes no existan corriente, aun en caso de falla de los aislamientos, proporcionar un medio eficaz para descargar las corrientes antes de proceder a maniobrarlo (SEGON, 2005).

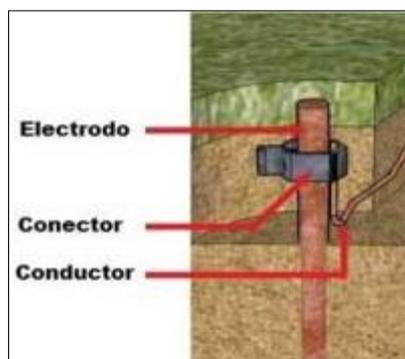


Figura 18-1: Sistema puesta a tierra electrodo
Fuente: (SEGON, 2005)

2.7.1. Composición de una instalación de puesta a tierra

La instalación de puesta a tierra consta de las siguientes partes (SEGON, 2005):

- El terreno.
- Tomas de tierra.
- Conductor de tierra o línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra.
- Borne principal de tierra.
- Conductor de protección
- Conductor de unión equipotencial principal.
- Conductor de equipotencialidad suplementaria.
- Masa.
- Elemento conductor.
- Canalización metálica principal de agua.

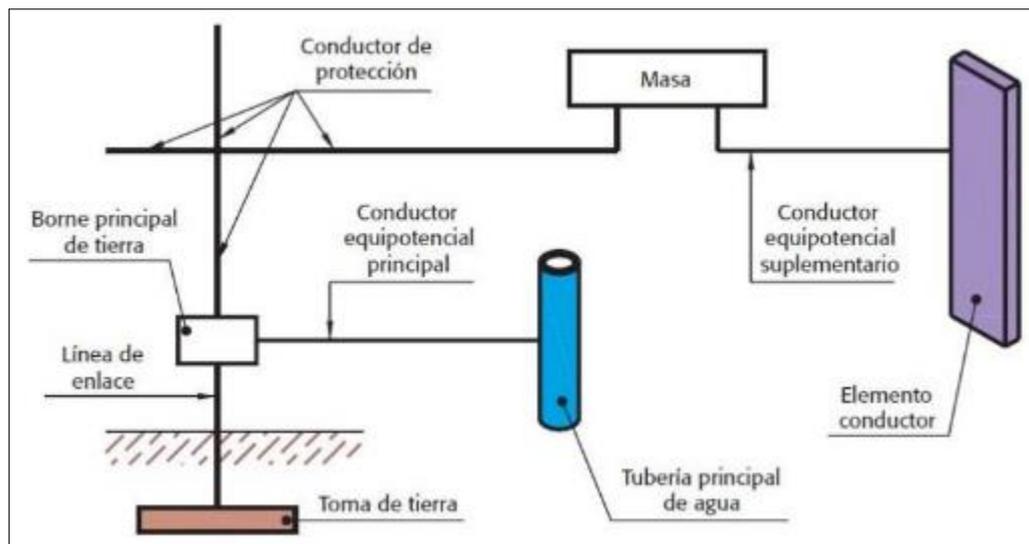


Figura 19-1: Sistema puesta a tierra electrodo

Fuente: (SEGON, 2005)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se centra en el análisis y mediciones realizadas al sistema eléctrico de la fábrica, obteniendo de esta manera los siguiente parámetros como: Voltaje fase – neutro, voltaje fase- fase, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, THD de voltaje, armónicos individuales de voltaje, THD de corriente, armónicos individuales de corriente.

Los parámetros medidos son de gran relevancia para determinar el estado en el cual se encuentra el sistema eléctrico de la fábrica, además genera información para poder realizar los cálculos correspondientes a los elementos que conforman el banco automático de condensadores.

3.1. Datos de la empresa



Figura 1-2: Logo EL SALINERITO
Fuente: (GRUPPO SALINAS, 2020)

Razón Social De La Empresa: Cooperativa de Producción Agropecuaria el Salinerito

RUC: 0291504639001

Dirección: Bypass Salinas vía a Guaranda, Salinas de Guaranda

Teléfono: (03) 2210 029

Dirección Web: <http://www.salinerito.com/>

E-mail: cooperativa@salinas.com

Provincia: Bolívar

Parroquia: Salinas

La planta de fabricación de quesos cuenta con una estructura simple de organización, gerente general, dirige a todos los departamentos, cubren las áreas de: Delicatesen, Sellado, Cuarto de Máquinas, cámaras de maduración, almacenes, recursos humanos.

Después de dialogar con varios empleados y recibir la aprobación del gerente se pudo realizar un recorrido por las diferentes áreas que conforman la fábrica, el área con mayor cantidad de maquinarias es el de producción, para el ingreso es necesario utilizar las EPP (Elemento de Protección Personal) como son: gorro, overol y mascarilla, por precaución y por seguridad el personal que no forman parte de la empresa no pueden ingresar al lugar sin la debida autorización del gerente.

Uno de los empleados fue el encargado de proporcionar información de los diferentes equipos existentes y de las diferentes etapas para la elaboración de quesos, que a continuación se describe:

- **Recolección de leche en planta:** Desde las fincas la leche cruda es transportada en recipientes herméticos de acero inoxidable, al arribar a la fabrica la misma es sometida a varios análisis; La temperatura máxima debe ser de 28°C, se realiza descripciones de las características físicas como es olor, sabor y color, a continuación realizan la prueba de Alcohol la cual no debe presentar reacción o formación de coágulos y de Reductasa (Reducción del azul de metileno).
- **Medición / Higienización / Enfriamiento y almacenamiento:** Le leche cruda pasa por un filtro de tela fina, y lo bombea hacia los tanques de almacenamiento en frío.
- **Pasteurización.-** La leche es transportada hacia el sistema de pasteurización HTST (80° C durante 15 segundos), después es enfriada hasta 33-34° C y finalmente impulsada a la tina.
- **Coagulación:** La leche calentada en la pasteurizadora hasta 34° C le agrega los aditivos (Cuajo líquido) y se remueve para lograr un reparto homogéneo de los aditivos. La mezcla inoculada coagula totalmente a 34° C durante un periodo de 40 minutos.
- **Corte de la cuajada:** Llegada a la coagulación de la leche (34 ° C) se realiza el corte utilizando liras de acero inoxidable.
- **Desuerado:** Se realiza 30 minutos de agitación de rápida y 10 minutos de agitación lenta, se realiza el desuerado total del producto haciendo drenar todo.
- **Molde / Prensado:** Una vez salado es colocado en moldes de acero inoxidable y prensados por un periodo de 24 horas.
- **Cámaras de Maduración:** Los quesos frescos no ingresan a las cámaras de maduración. Los diferentes tipos de queso ingresan al cuarto de maduración se mantienen en condiciones que favorezcan el crecimiento de microorganismos en su superficie, tanto mohos.
- **Empaque:** Una vez transcurrido el tiempo de maduración el producto es empacado en bolsas con la marca el SALINERITO.

- **Almacenamiento:** Los quesos empacados son transportados a la cámara fría manteniéndose la temperatura a 4 ° C.

3.2. Levantamiento de cargas de la fábrica EL SALINERITO

Las distintas áreas de la fábrica EL SALINERITO, posee diferentes tipos de cargas, descritos en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Carga instalada en la fábrica de quesos El Salinerito

AREA	DESCRIPCION	HP	WATSS	AMPERIOS
STD1 PRODUCCION	MÁQUINA DE CONDENSACIÓN (PPAP-001)	2	1491,4	6,8
	BOMBA DE AGUA 1 (PROYECCIÓN)	3	2237,1	10,2
	BOMBA DE AGUA 2 (PROYECCIÓN)	3	2237,1	10,2
	TINA POLIVALENTE	3	2237,1	10,2
	TINA QUESERA	0,5	372,85	1,7
	MARMITA	0,5	372,85	1,7
	EXTRACTOR	3	2237,1	10,2
	DESCREMADORA	1	745,7	3,4
	YOGURTERA	3	2237,1	10,2
	BOMBA PARA LA TINA	2	1491,4	6,8
	BATIDORA	0,5	372,85	1,7
	LUMINARIAS		1600	7,3
	SONICATOR		400	1,8
	TANQUE FRIO 2 MOTOR COMPRESOR	4	2982,8	13,6
	TANQUE FRIO 1 MOTOR COMPRESOR	4	2982,8	13,6

	TANQUE FRIO 1	0,5	372,85	1,7
	TANQUE FRIO 2	0,5	372,85	1,7
	TANQUE FRIO 1 PROYECCIÓN BOMBA	1	745,7	3,4
	TANQUE FRIO 2 PROYECCIÓN BOMBA	1	745,7	3,4
	BOMBA DE AGUA 1	3	2237,1	10,2
	ASCENSOR	1	745,7	3,4
	TOTAL STD1		28472,32	129,4
STD2 EMPAQUE	PRENSA DE QUESOS(COMPRESOR)	10	7457	33,9
	MOTOR COMPRESOR CUARTO FRIO	2	1491,4	6,8
	VENTILADOR	0,25	186,425	0,8
	TERMOFORMADORA GEA MOTORES	5	3728,5	16,9
	TERMOFORMADORA GEA NIQUELINAS		15000	68,2
	SELLADORA	3	2237,1	10,2
	CORTADORA	0,5	372,85	1,7
	RALLADORA DE QUESOS	0,5	372,85	1,7
	CODIFICADORA		400	1,8
	LAVADORA	1	745,7	3,4
	LUMINARIAS		500	2,3
	TOTAL STD2		33237,525	151,1
STD3 CALDERO	CALDERO	1,5	1118,55	5,1
	CALDERO VENTILADOR	0,5	372,85	1,7

	BOMBA DIÉSEL	1	745,7	3,4
	LUMINARIAS		200	0,9
	TOTAL STD3		2437,10	11,1
STD4 OFICINAS	CALEFACTOR ELÉCTRICO		500	4
	4 COMPUTADORAS DE ESCRITORIO		1000	8
	2 LAPTOPS		400	3
	TOTAL STD4		1900	15
STD5 TIEMDA	FRIGORÍFICO 1	0,5	372,85	1,7
	FRIGORÍFICO 2	0,5	372,85	1,7
	FRIGORÍFICO 3	0,5	372,85	1,7
	FRIGORÍFICO 4	0,5	372,85	1,7
	MÁQUINA DE CAPUCHINO		1491,4	
	TOTAL STD5		2982,80	6,8
	TOTAL STD1+STD2+STD3+STD4+STD5		69029,745	313,4

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

En la tabla 1-2, detalla los equipos existentes en cada área de la fábrica, los datos de placa de cada equipo es gran ayuda para conocer las potencias.

3.3. Levantamiento de Parámetros eléctricos

Para el levantamiento de los parámetros eléctricos, se utilizó el ANALIZADOR DE ENERGÍA Y DE CALIDAD ELÉCTRICA FLUKE 435 SERIE II DE 400 HZ (Figura 2-2). El equipo fue conectado en las terminales de salida del tablero de distribución principal del área de máquinas, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición. El analizador de redes al ser conectado a la red eléctrica de la planta toma registro de los alimentadores y sus cargas

respectivas, en donde se muestran los datos de la potencia para cada fase y el total. El período de medición fue el 10 de mayo del 2019 hasta el 16 de mayo del 2019, un total de 7 días, 168 horas continuos tomado muestras cada 10 minutos según lo estipulado en la regulación ARCONEL 005/18.



Figura 2-2: FLUKE 435 instalado en la fábrica
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Con los datos almacenados en la memoria del equipo se procede a realizar un análisis de los valores reales de cada uno de los parámetros eléctricos.

3.3.1. *Analizador de energía y de calidad eléctrica FLUKE 435 series II*

El analizador de energía FLUKE 435 series II, es un equipo de medición, realiza funciones para localizar, predecir, prevenir y resolver problemas en sistemas de distribución, el analizador FLUKE 435 puede realizar análisis de consumo de energía y de cargas eléctricas, así como realizar registros de la calidad eléctrica. Algunas funciones del analizador permiten obtener una visión general del funcionamiento del sistema eléctrico.



Figura 3-2: FLUKE 435 series II
Fuente: (Fluke Corporation, 2012)

Las principales características del analizador de energía son:

- Medidas de potencia.
- Medidas de calidad eléctrica.
- Conformidad con IEC 61000-4-30.
- Calculadora de calidad eléctrica, energía y pérdidas.
- Supervisión y análisis de tendencias.
- Corriente de entrada.
- Análisis avanzado; formas de onda de eventos; parpadeo, transitorios; señalización de la red eléctrica y onda de potencia.
- Alimentación de sistemas navales y de 400 Hz.
- Análisis eléctrico y mecánico del motor.

3.3.1.1. Especificaciones técnicas y forma de conexión del analizador FLUKE 435

La siguiente tabla muestra las especificaciones técnicas del analizador de energía FLUKE 435

Tabla 2-2: Especificaciones técnicas FLUKE 435

Entradas de voltaje	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC
Máximo voltaje de entrada	1 Vrms
Rango de voltaje nominal	1 V a 1000 V seleccionable

Máximo voltaje de medición pico	6 kV (modo de transitorios sólo)
Impedancia de entrada	4 M Ω /5 pF
Ancho de banda	> 10 kHz, hasta 100 kHz para modo de transitorios
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC o CA
Tipo	Pinza o transformador de corriente con salida mV o punta de prueba, modelo i430flex-TF
Rango	0,5 Arms a 600 Arms con punta de prueba, modelo i430flex-TF incluida (con sensibilidad 10x) 5 Arms a 6000 Arms con punta de prueba, modelo i430flex-TF incluida (con sensibilidad 1x) 0,1 mV/A a 1 V/A y personalizado para utilizar con pinzas CA o CC opcionales
Impedancia de entrada	1 M Ω
Ancho de banda	> 10 kHz
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Precisiones Básicas	
Tensión:	$\pm 0.1\%$ del voltaje nominal.
Corriente	$\pm 0.5\%$
Potencia	$\pm 1\%$
Frecuencia	± 0.001 HZ
Velocidad de muestreo	200 kS/s
Transitorios	6 kV

Fuente: Fluke Corporation, 2012

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para un sistema trifásico, la forma de conexión del analizador de energía es la siguiente (Fluke Corporation, 2012):

- Primero, ubicar las pinzas amperimétricas en torno de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N (neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta.
- A continuación, realizar las conexiones de tensión: empezar por la conexión a tierra, en sucesión N, A (L1), B (L2) y C (L3). Para obtener la medición correcta, es necesario conectar la entrada de conexión a tierra.
- Comprobar que las pinzas amperimétricas están firmemente fijadas y completamente cerradas alrededor de los conductores.
- Para medidas monofásicas, utilizar la entrada de corriente A (L1) y las entradas de tensión de conexión a tierra, N (Neutro) y fase A (L1).
- A (L1) es la fase de referencia para todas las medidas.

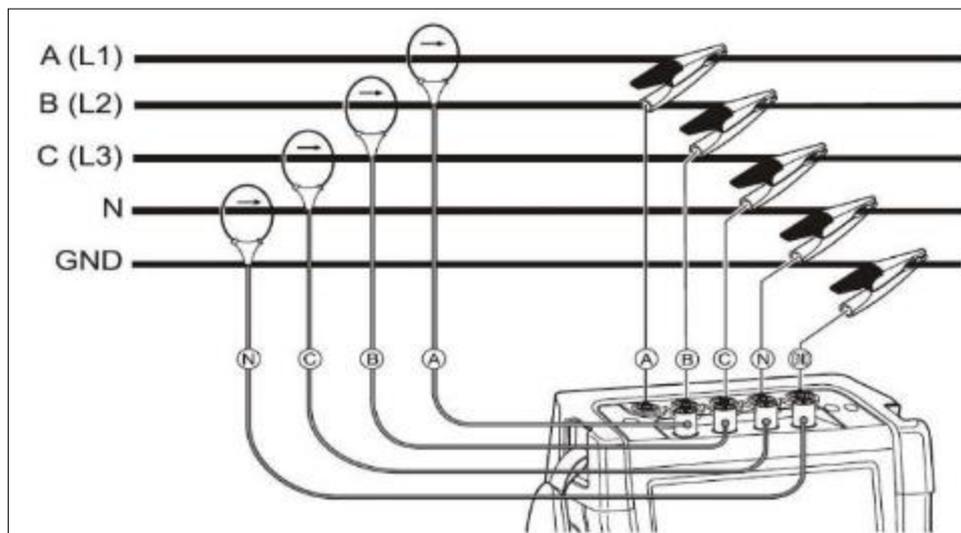


Figura 4-2: Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico
Fuente: (Fluke Corporation, 2012)

3.3.2. *Análisis de la red pública*

La distribución de energía eléctrica para la fábrica de quesos EL SALINERITO, proviene de la empresa eléctrica pública, Corporación Nacional de Electricidad Bolívar (CNEL BOLIVAR), encargada de la distribución y comercialización de energía eléctrica.

Para suministrar energía eléctrica a la fábrica de quesos, la empresa comercializadora de energía CNEL Bolívar instaló un transformador trifásico, cuyos datos están descritos en la tabla 3-2:

Tabla 3-2: Datos del transformador trifásico de la fábrica

Numero de transformador	302349
Subtipo	Transformador Trifásico en Poste
Fase Conexión	ABC
Voltaje	13.2 kV
Potencia (kva)	50,00
Configuración BT	Estrella
Voltaje Secundario	220 V
Conf. Lado Media	Delta
Tipo	Distribución
Circuitos	ABC
Fase de Bajo Voltaje	abc
Parroquia	SALINAS
Código Empresa	CNELEP-BOLIVAR
Alim1	GUANUJO - SALINAS

Fuente: CNELEP, 2019

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

3.4. Análisis y medición de los parámetros eléctricos

El software FLUKE SERIES 430 II, permite obtener los resultados de los parámetros eléctricos con valores máximos, mínimos y promedios para establecer los límites de operación del sistema eléctrico y son comparados con lo que recomiendan los estándares nacionales. El período de medición fue, del 10 de mayo del 2019 hasta el 16 de mayo del 2019, un total de 7 días 168 horas continuos tomado muestras cada 10 minutos.

A continuación se presentan los parámetros eléctricos medidos:

3.4.1. *Análisis de los niveles de voltaje*

Para el análisis de los niveles de voltaje se toma como referencia el Voltaje nominal Fase – Fase (220V) y Fase – Neutro (127 V).

En la tabla 4-2 detalla los niveles y valores de voltaje establecida por la regulación ARCONEL 005/18.

Tabla 4-2: Niveles de voltaje

Niveles de voltaje	Valores establecidos
Bajo Voltaje	Menor igual a 0,6 KV
Medio Voltaje	Mayor a 0,6 Kv y menor igual a 40 Kv
Alto Voltaje grupo 1	Mayor a 40 Kv y menor igual a 138 Kv
Alto voltaje grupo 2	Mayor a 138 Kv

Fuente: ARCONEL, 2019

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Por los valores establecidos en la tabla 4-2, la fábrica de quesos El SALINERITO corresponde al nivel de Bajo voltaje.

Para el cumplimiento del índice de nivel de voltaje impuesta por la regulación ARCONEL, el 95% de los registros de la variación de voltaje en un periodo de evaluación por siete días, debe estar dentro del rango admisible, la tabla 5-2 detalla la variación permitida por la regulación ARCONEL.

Tabla 5-2: Limites para el índice de nivel de voltaje

Nivel de voltaje	Rango admisible
Alto voltaje	±5.0%
Medio voltaje	±6.0%
Bajo Voltaje	±8.0%

Fuente: ARCONEL, 2019

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La fábrica de quesos pertenece al nivel de bajo voltaje, por los valores establecidos por ARCONEL, por consiguiente su nivel de voltaje no debe sobrepasar el $\pm 8\%$.

Se realizó un análisis de los niveles de voltaje de la fábrica de quesos, tanto para el voltaje fase – neutro (127 V), como para el nivel de voltaje fase – fase (220 V), y se hizo una comparación con los niveles establecidos por la regulación ARCONEL.

El grafico 1-2, muestra las mediciones realizadas con el analizador de energía FLUKE, para voltaje fase - fase (220v),

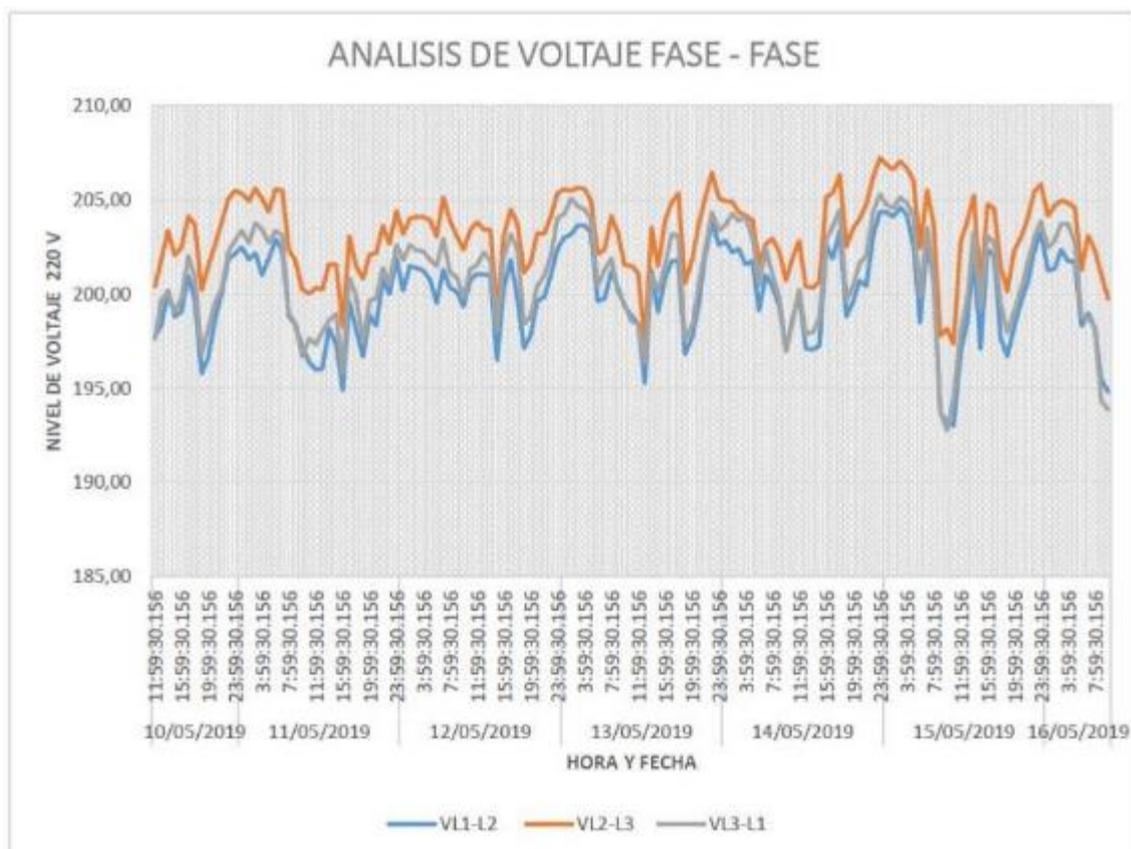


Grafico 1-2: Análisis de voltaje fase - fase (220v)

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 6-2: Análisis de voltaje fase – fase (220v)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% de variación		ARCONEL 004/01
				Máximo	Mínimo	
V _{A-B}	205,21 v	200,04 v	190,86 v	13,25%	6,72%	No cumple
V _{B-C}	207,82 v	203,24 v	192,26 v	12,61%	5,54%	No cumple

V _{C-A}	205,71 v	200,90 v	191,47 v	12,97%	6,49%	No cumple
------------------	----------	----------	----------	--------	-------	-----------

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La tabla 6-2, muestra los valores máximos, mínimos y promedio de voltaje fase – fase y el porcentaje de variación producida. Los niveles de Voltaje fase – fase, presentan variaciones fuera de tolerancias de norma (+/- 8%), para solucionar este problema se debe realizar balance de carga.

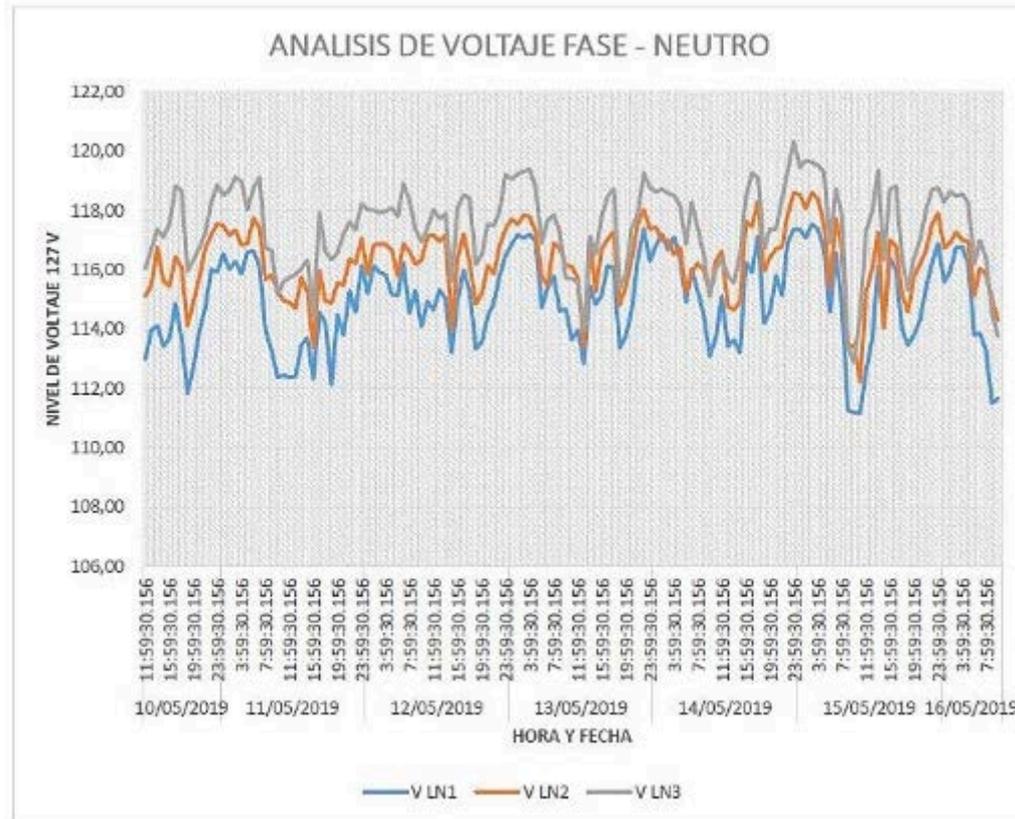


Gráfico 2-2: Análisis de voltaje fase - neutro (127v)

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 7-2: Análisis de voltaje fase – neutro (127v)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% de variación		ARCONEL 004/01
				Máximo	Mínimo	
V _{A-N}	118,22 v	114,92 v	109,04 v	14,14%	6,92%	No cumple
V _{B-N}	118,86 v	116,31 v	111,70 v	12,05%	6,41%	No cumple
V _{C-N}	120,32 v	117,47 v	110,62 v	12,90%	5,26%	No cumple

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La tabla 7-2, muestra los valores máximos, mínimos y promedio de voltaje fase – neutro y el porcentaje de variación producida.

Los niveles de Voltaje presentan variaciones fuera de tolerancias de norma (+/- 8%), tanto en voltaje fase – fase, como en voltaje fase - neutro.

Además se puede apreciar la variación de voltaje entre L1, L2 y L3, es significativa (superando el 1%); notando que las variaciones de la Línea 3 son más notables. Para corregir este problema se debe balancear cargas y realizar un estudio de la cargabilidad de conductores.

3.4.2. *Análisis de voltaje en el neutro*

Si las cargas se encuentran balanceadas en la fábrica, la corriente por el neutro es cero, y la diferencia de potencial generada a lo largo del conductor del neutro es cero, si el neutro en el centro de transformación está conectado a tierra, a lo largo del cable de neutro se obtendrá un potencial de cero voltios.

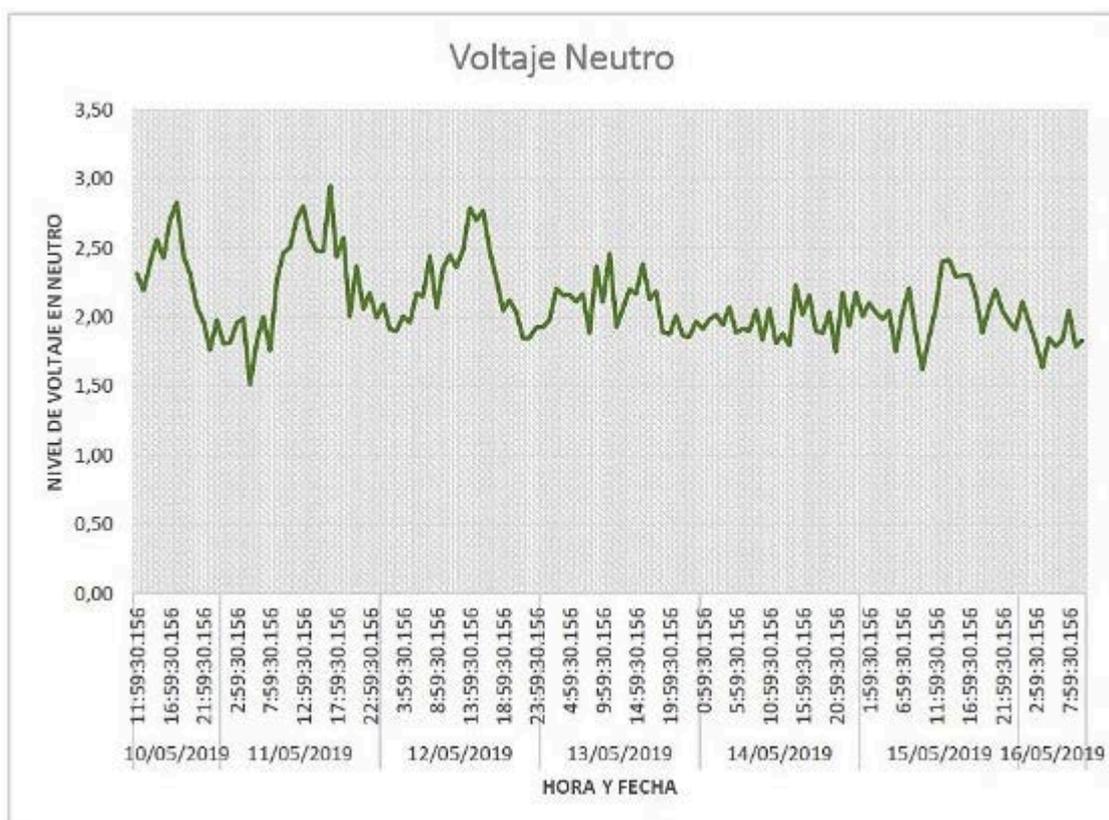


Grafico 3-2: Análisis de voltaje en el neutro
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 8-2: Nivel de voltaje en el neutro

	Máximo	Promedio	Mínimo
Voltaje Neutro	3,20	2,12	1,51

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

En el gráfico 3-2, se observa la curva de variación de voltaje en el neutro, donde se aprecia la existencia de voltajes, el pico más alto es de 3,20 Voltios. Tomando en cuenta, que el nivel de voltaje en la línea del neutro debe ser cero, se puede determinar que estas tensiones parásitas se producen por las cargas no balanceadas, y por tanto en el neutro circula una corriente de retorno.

3.4.3. Análisis de la Corriente

Una manera de identificar el desbalance de corriente, consiste en utilizar el analizador de energía FLUKE.

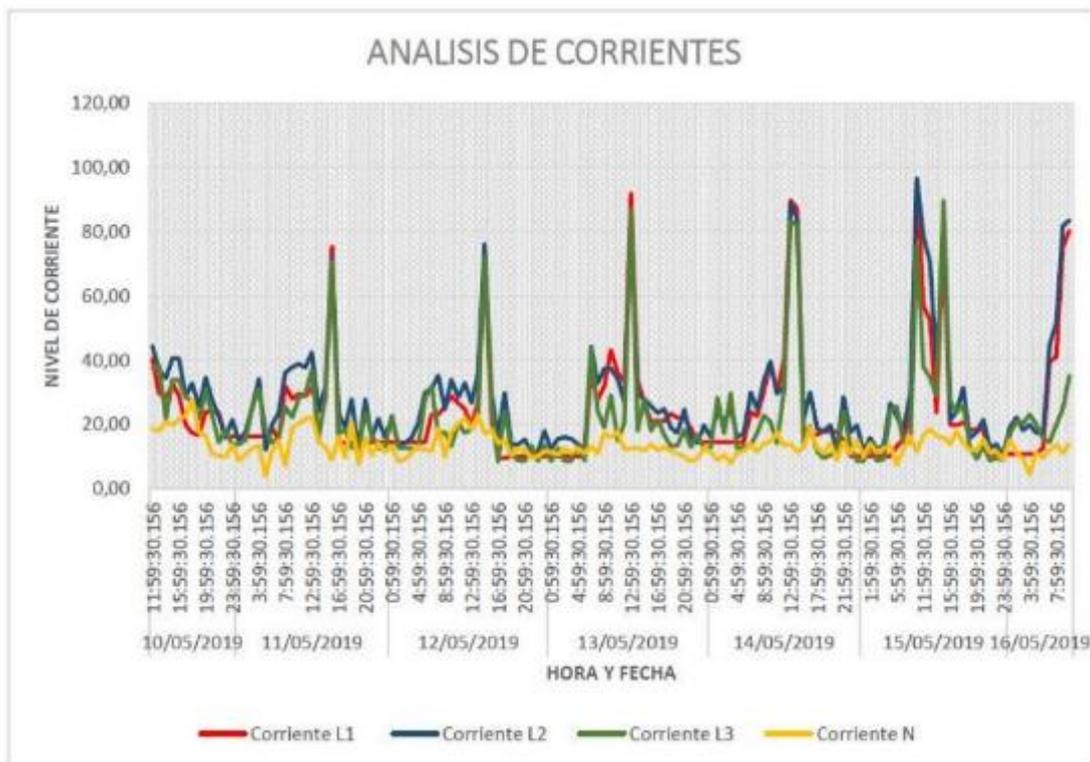


Gráfico 4-2: Análisis de la corriente

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 9-2: Análisis de la corriente

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo
AA-N (L1)	95,73	24,21	9,47

A_{B-N} (L2)	96,60	29,09	8,93
A_{C-N} (L3)	94,10	21,90	7,70
A_{Neutro}	28,20	13,50	3,80
Desbalance	2,62%	24,85%	19,01%

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El gráfico 4-2 muestra picos de corriente de hasta 96,60 Amperios causado por el arranque de maquinaria o equipos.

La tabla 9-2 corresponde a las mediciones de corrientes, la cual presentan desbalance en la línea 3, el desbalance de corriente indican problemas de mantenimiento, tales como conexiones sueltas y contactos desgastados, con los datos obtenidos se puede tomar una decisión para realizar la corrección.

Los desequilibrios de corriente pueden producirse en cualquier instante de tiempo, en todo el sistema de distribución. Las cargas deben distribuirse de manera equivalente en todas las fases de un tablero. Si en una fase existe gran cantidad de cargas, la tensión será más baja en esa fase. Los transformadores y los motores trifásicos alimentados por ese panel pueden calentarse, ser más ruidosos de lo habitual, vibrar excesivamente e incluso sufrir fallos prematuros.

3.4.4. *Análisis de potencias*

La fábrica de quesos el SALINERITO recibe la alimentación trifásica, por la cual la medición se efectuó en cada una de las fases. Las siguientes graficas muestran los resultados de datos obtenidos a través del analizador de energía FLUKE.

3.4.4.1. Potencia Activa (kW)

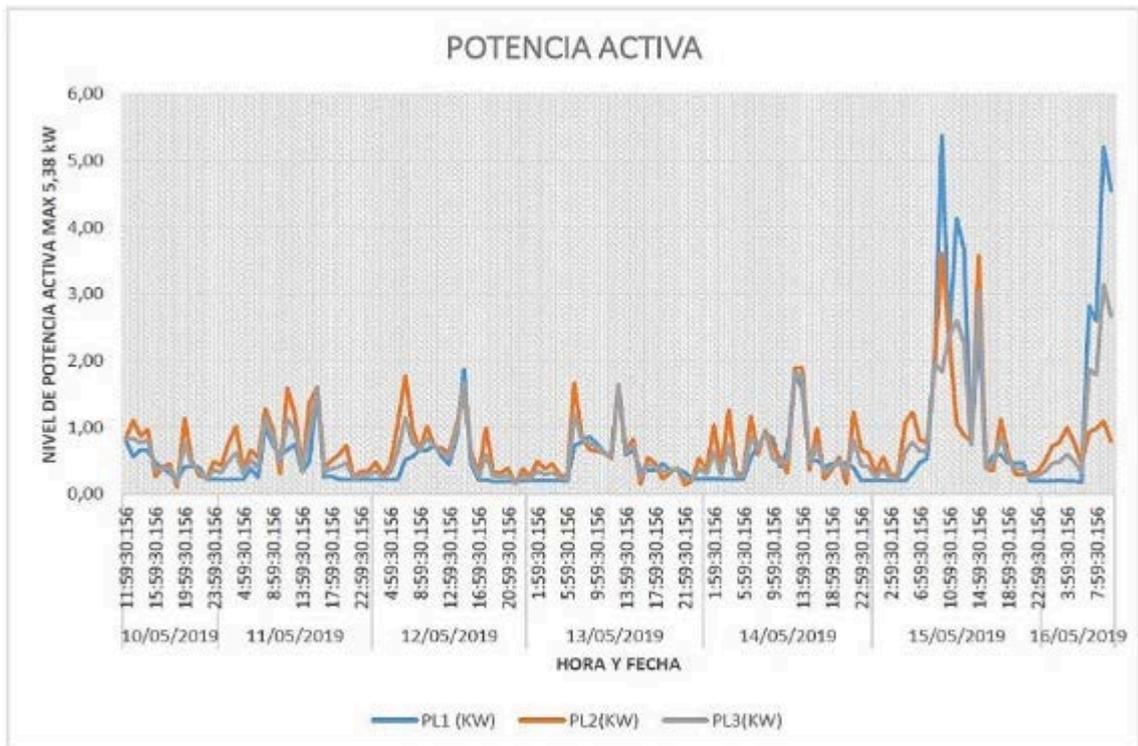


Gráfico 5-2: Medición de la Potencia Activa en la fabrica
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 10-2: Potencia activa

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
HORA	09:59	06:59	17:09
KW _A	5,38	0,66	0,15
KW _B	3,61	0,72	0,10
KW _C	1,83	0,72	0,14
TOTAL	10,82	2,10	0,39
DESBALANCE	65,90%	7,88%	33,30%

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Se registra una potencia máxima de 10,82 Kw, el día 15 de mayo del 2019 a las 09:59 de la mañana (Gráfico 5-2).

Con el análisis de la Potencia Activa, podemos observar que la industria tiene un consumo total de 10,82 kW, el transformador instalado tiene una potencia de 50 kVA, el transformador abastece a la carga total y no se encuentra sobrecargado.

Al realizar un análisis de la medición de la potencia activa (Tabla 10-2), presenta el desbalance en las tres líneas arrojando un valor máximo de **65,90%**, **sobrepasa al 5%** impuesto por el CONELEC.

3.4.4.2. Potencia Aparente (KVA)

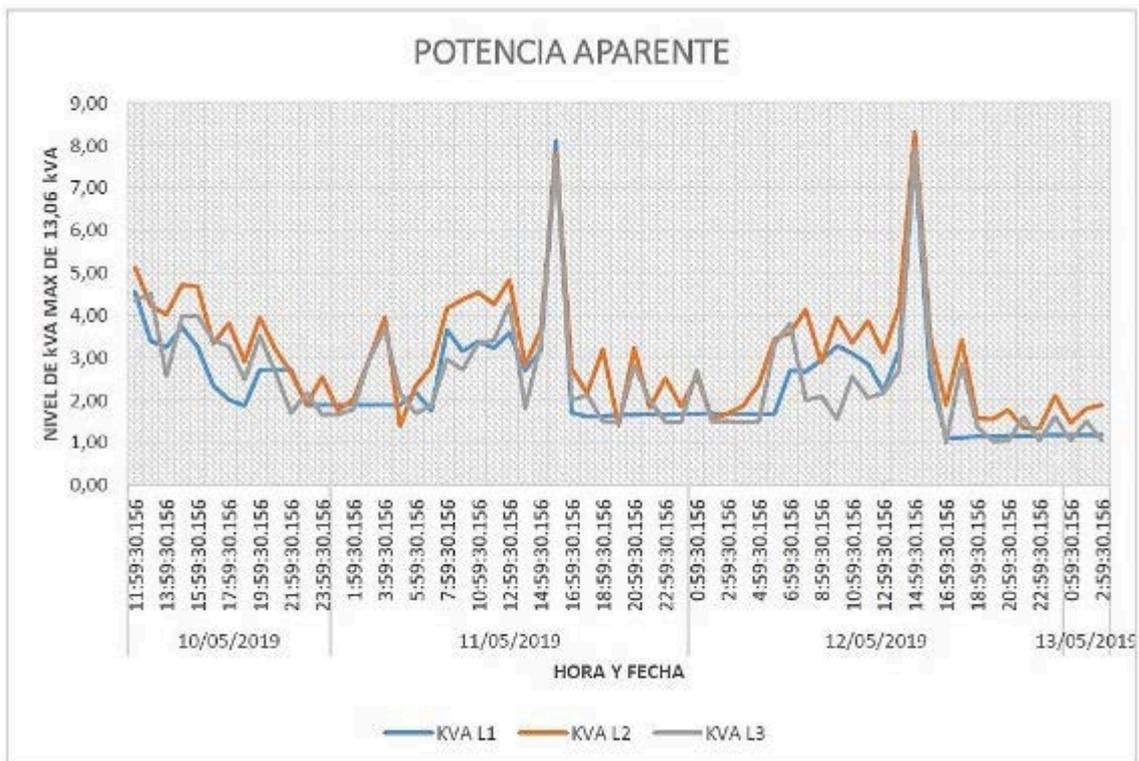


Grafico 6-2: Medición de la Potencia Aparente en la fábrica
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 11-2: Potencia Aparente

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
HORA	09:59	06:59	17:09
KVA _A	12,03	2,79	1,09
KVA _B	13,06	3,40	1,06
KVA _C	10,17	2,59	0,93

TOTAL	35,26	8,78	3,08
DESBALANCE	22,13%	23,85%	17,63%

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El grafico 6-2 indica en su graficas una potencia aparente máxima de 13,26 kVA, el día 15 de mayo del 2019 a las 09:59 de la mañana.

Un problema presente es el desbalance en las tres líneas (Tabla 11-2), con un valor máximo de 23,85%, sobrepasa al 5% impuesta por el CONELEC.

3.4.4.3. Potencia Reactiva (KVAR)

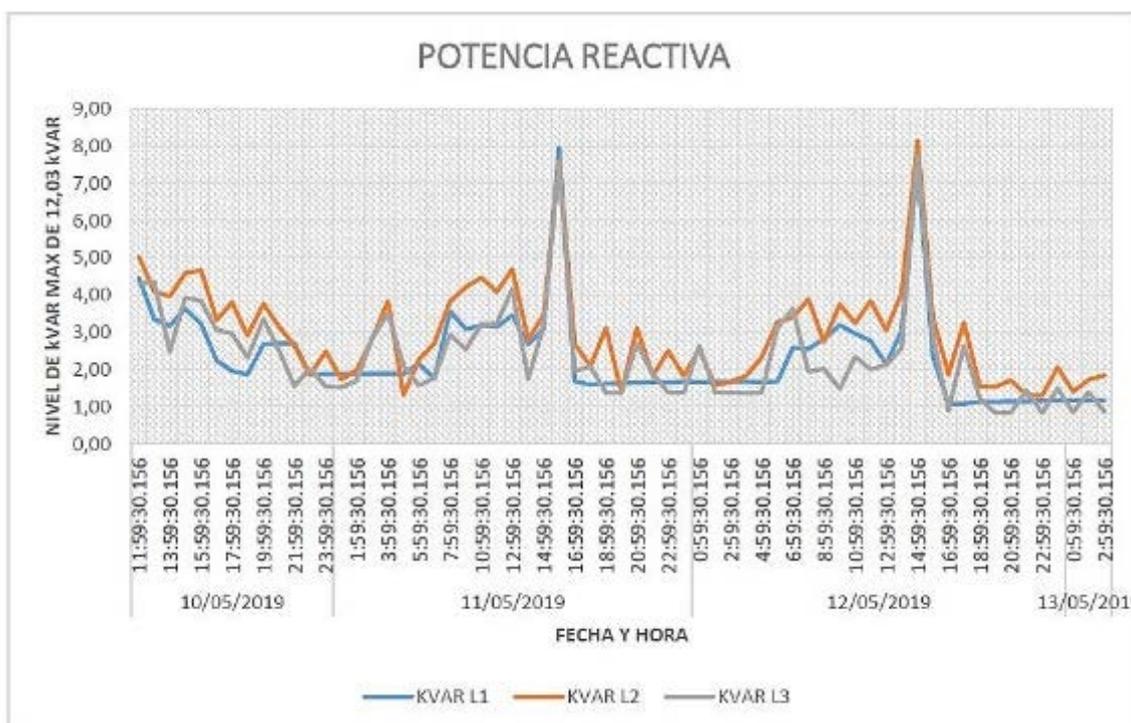


Grafico 7-2: Medición de Potencia Reactiva en la fábrica

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 12-2: Potencia reactiva

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
HORA	09:59	06:59	17:09
KVAR _A	11,14	2,68	1,06
KVAR _B	12,30	3,32	1,04

KVARc	10,03	2,44	0,80
TOTAL	33,47	8,43	2,90
DESBALANCE	18,46%	26,35%	25,08%

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Al realizar el análisis de potencia reactiva registra un valor máximo de 12,30 kVAr del 2019 a las 09:59 de la mañana (Grafico 7-2).

Un problema presente es el desbalance que existe en las tres líneas (Tabla 12-2), existe un valor máximo de 26,35% valor elevado, puede ocasionar problemas en los equipos. El desbalance no debe superar del 5% impuesta por el CONELEC.

3.4.5. *Análisis del factor de potencia*

Para realizar la medición del factor de potencia, haremos uso del analizador de energía FLUKE. Los problemas del factor de potencia provocan, el funcionamiento incorrecto de motores y equipos o llegar a provocar su interrupción. Y el resultado de esto varía desde los costos excesivos de energía, hasta el daño de equipos.

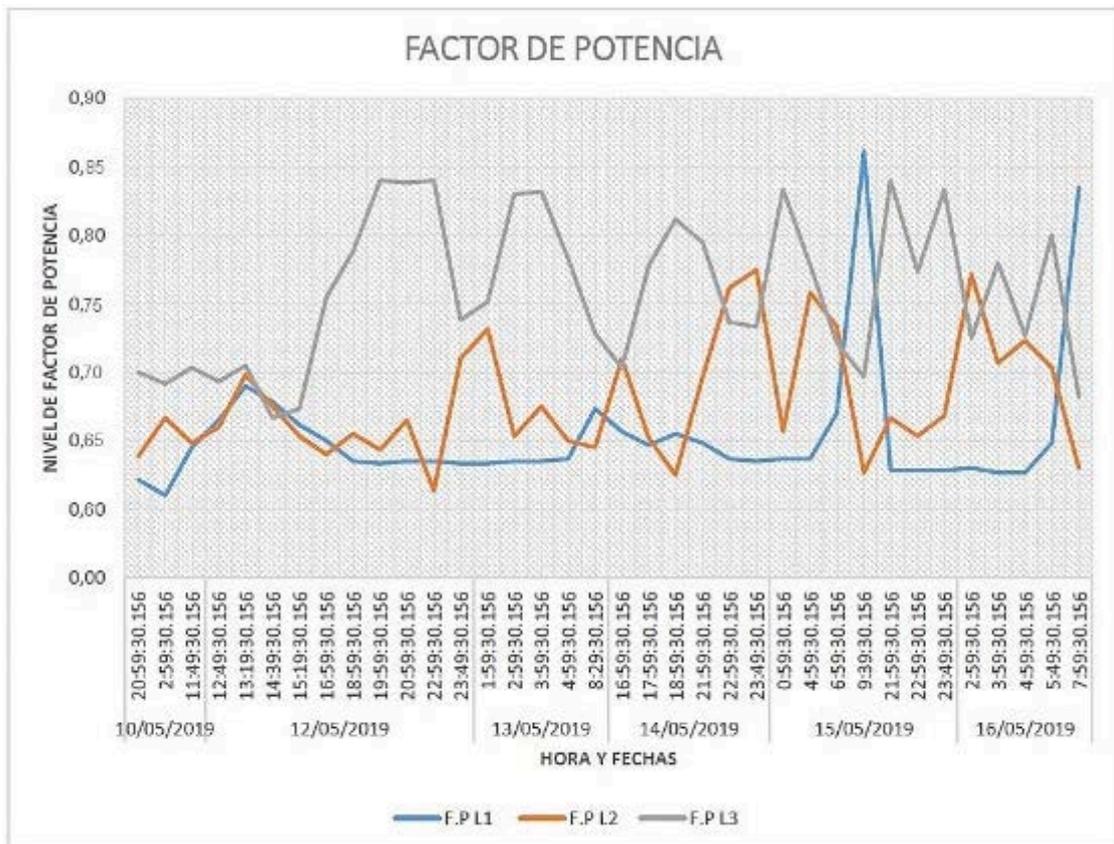


Grafico 8-2: Análisis del factor de potencia

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 13-2: Análisis de la corriente

Factor de Potencia	Mínimo	Promedio	Máximo	CONELEC 004/01
F.P L1	0,62	0,78	0,82	No cumple con la regulación
F.P L2	0,62	0,75	0,84	No cumple con la regulación
F.P L3	0,63	0,74	0,83	No cumple con la regulación
F.P. PROMEDIO	0,63	0,78	0,84	No cumple con la regulación

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El factor de potencia trifásico en los periodos de trabajo normal es de 0,84 aproximadamente (Tabla 13-2).

De acuerdo a la regulación 004/01, establecida por CONELEC el rango en el cual se debe encontrar el factor de potencia es de 0,92. La fábrica de quesos el SALINERITO, presenta bajo factor de potencia, no se encuentra dentro de la norma establecida.

3.4.6. *Análisis curva de carga*

La curva de carga permite conocer el comportamiento típico del consumo de energía de la industria, el registro de la curva de carga, se lo realizo con el analizador de energía FLUKE, conectado en tablero principal de distribución.

Para realizar la medición se hace uso de las potencias medidas, durante tres días, se debe considerar el día más representativo del consumo de la industria, el día 15 de mayo del 2019.

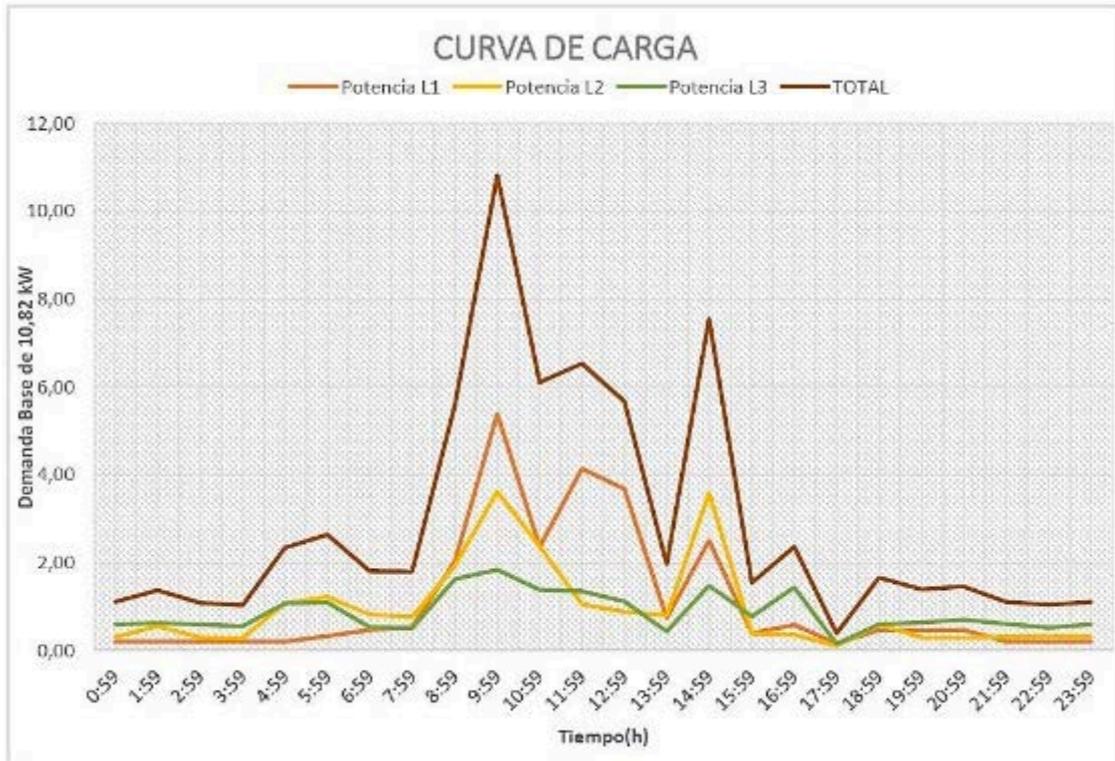


Grafico 9-2: Medición de la curva de carga en la fábrica
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El grafico 9-2, es la representación del comportamiento de la carga en fábrica cuyo pico máximo presenta a las 09:59 de la mañana, con una potencia total máxima de 11,47 kW, no existe desbalance de las líneas, en el consumo de carga.

3.4.7. *Armónicos de voltaje*

3.4.7.1. *Distorsión armónica total de voltaje (THD)*

La Distorsión Armónica Total (THD) es una medida de cuanto distorsión produce la carga a la forma de onda del voltaje de su forma de onda sinusoidal. El suministrador eléctrico proporciona energía en forma de onda sinusoidal limpia, a medida que pasa por las cargas, produce la distorsión de la onda

Para determinar si la industria tiene presencia de armónicos de voltaje, se debe analizar el nivel de THD de Voltaje. De acuerdo a la regulación IEEE-519, el valor establecido del THD de voltaje está por debajo del 5%.

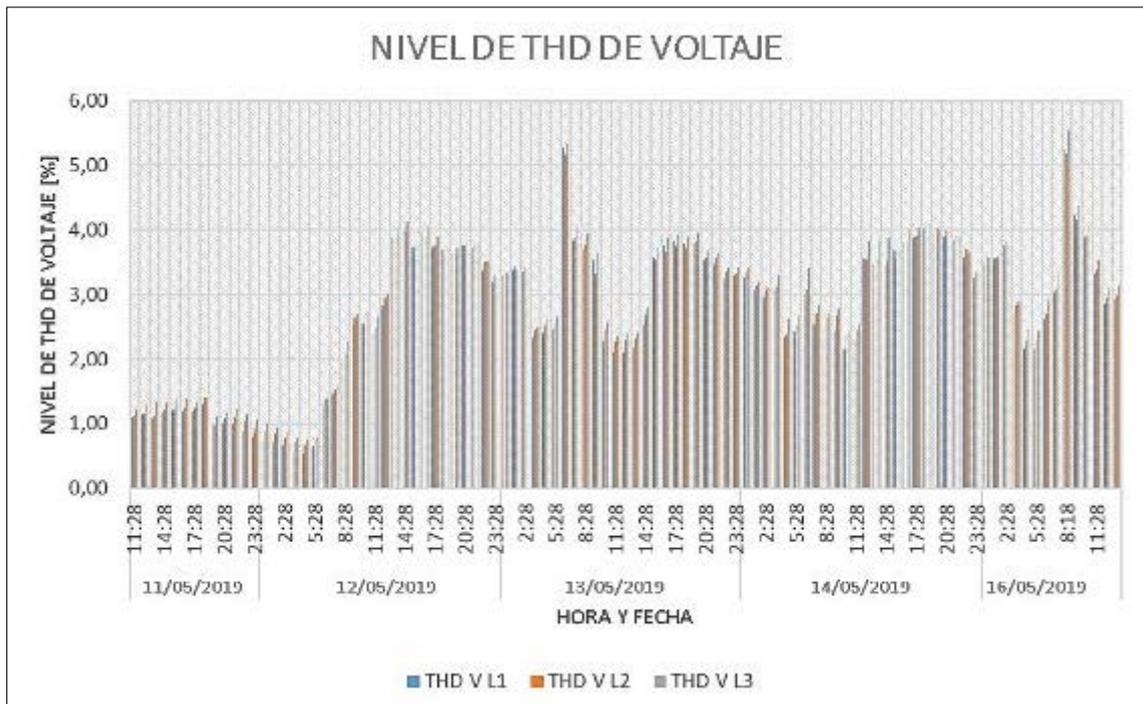


Grafico 10-2: THD voltaje
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 14-2: THD Voltaje

THD Voltaje	THD Promedio	THD VA	THD VB	THD VC	Referencia	IEEE 519
THD mínimo	0,90%	0,53 %	0,67 %	0,75 %	5%	Si cumple
THD promedio	2,84 %	2,76 %	2,82 %	2,94 %	5%	Si cumple
THD máximo	5,32 %	5,27 %	5,19 %	5,51%	5%	No cumple

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 5,32%, está fuera de los rangos dictados por la regulación del 5%, el nivel de distorsión armónica total es mínima por la cual no es de gran riesgo el sistema eléctrico (tabla 14-2).

3.4.7.2. Armónicos de voltaje individual

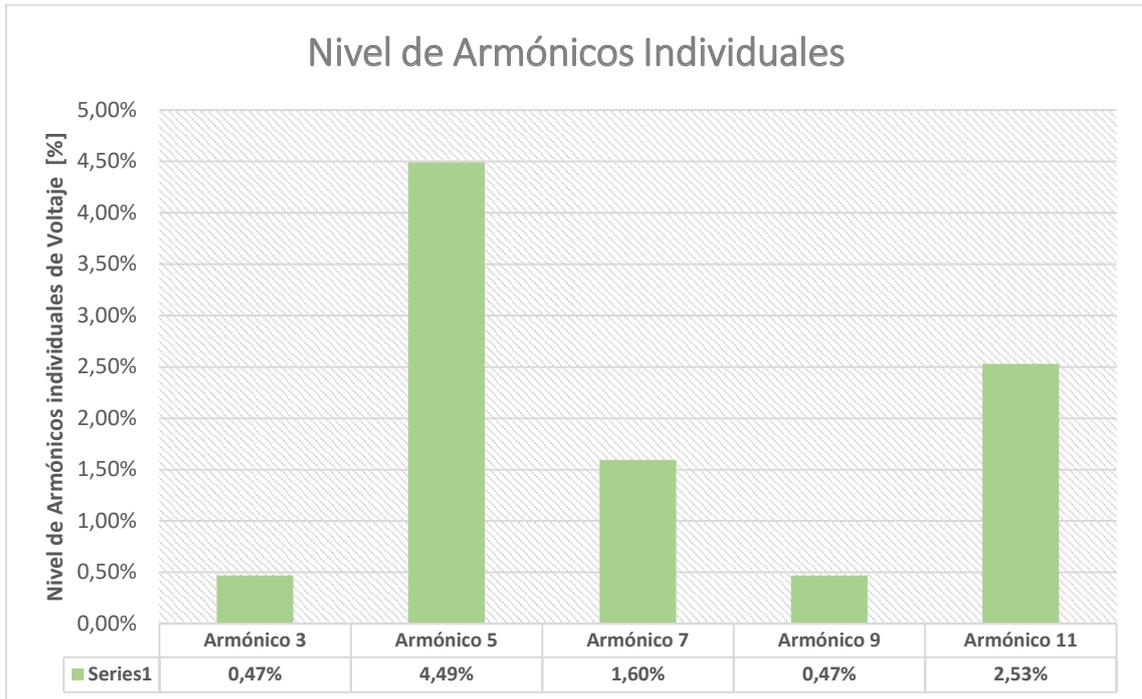


Grafico 11-2: Armónico de voltaje individual

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 15-2: Armónico de voltaje individual

ARMÓNICOS DE VOLTAJE		IEEE - 519	
		Rangos Establecidos	
TOTAL DE ARMÓNICOS		OBSERVACIONES	
Armónico 3	0,47%	3,0%	Cumple
Armónico 5	4,49%	3,0%	No Cumple
Armónico 7	1,69%	3,0%	Cumple
Armónico 9	0,47%	3,0%	Cumple
Armónico 11	2,53%	3,0%	Cumple

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La tabla 15-2 muestra el análisis de los armónicos individual de voltaje, la armónica TERCERA de voltaje con un valor del 0,47%, la armónica QUINTA de voltaje con un valor de 4,49% la cual no cumple con la regulación impuesta, la armónica SÉPTIMA con un valor del 1,69%, la armónica NOVENA con un valor del 0,47%, la armónica ONCEAVA con un valor del 2,67%,

las cuales se encuentra dentro de lo recomendado por el estándar como límite máximo de distorsión 3%.

3.4.8. Armónicos de corriente

3.4.8.1. Distorsión armónica total de corriente THD

Para determinar la presencia de armónicos de corriente en la fábrica, se procede analizar el nivel de THD de Corriente.

De acuerdo a la norma IEEE-519, el valor establecido del THD de corriente de acuerdo al nivel de reactancia inductiva del transformador, es por debajo del 12%. En el grafico 12-2 se registra los datos de THD de corriente.

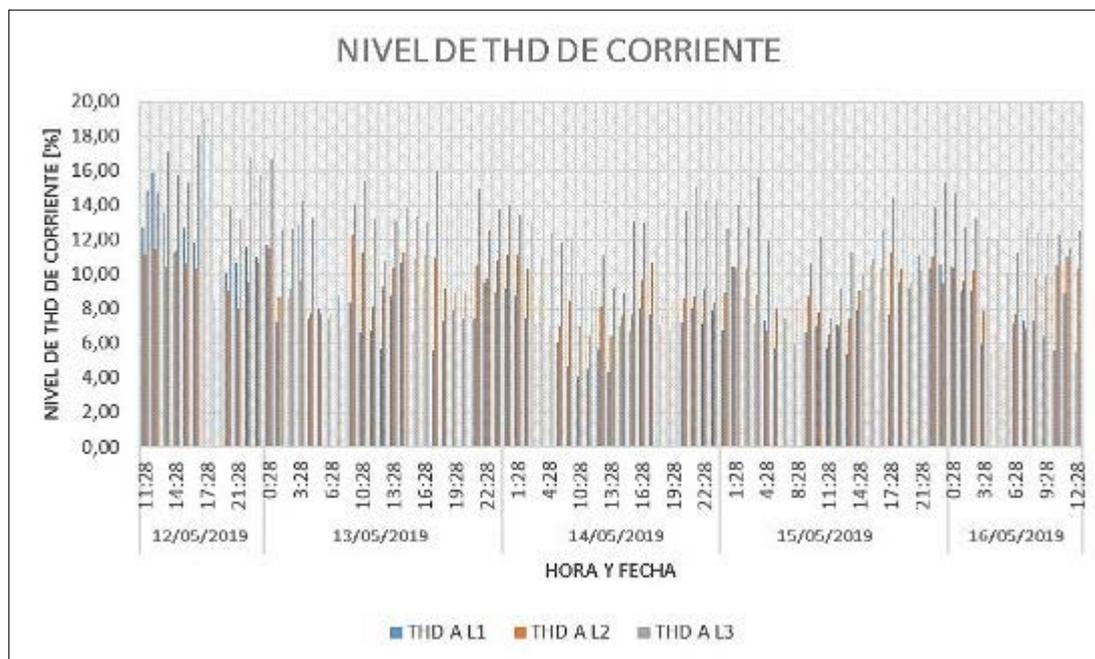


Grafico 12-2: THD de corriente

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 16-2: THD corriente

THD Corriente	THD promedio	THD L1	THD L2	THD L3	IEEE - 519
THD mínimo	5,49	3,63	5,36	7,47	Cumple
THD promedio	10,29	8,33	9,34	13,21	Cumple
THD máximo	18,75,	19,02	15,83	21,40	No cumple

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El límite del THD de corriente de la tercera línea es de 18,75%, está FUERA de los rangos dictados por la regulación, esto indica la presencia de armónicos de corriente (tabla 16-2).

3.4.8.2. Armónicos de corriente individuales

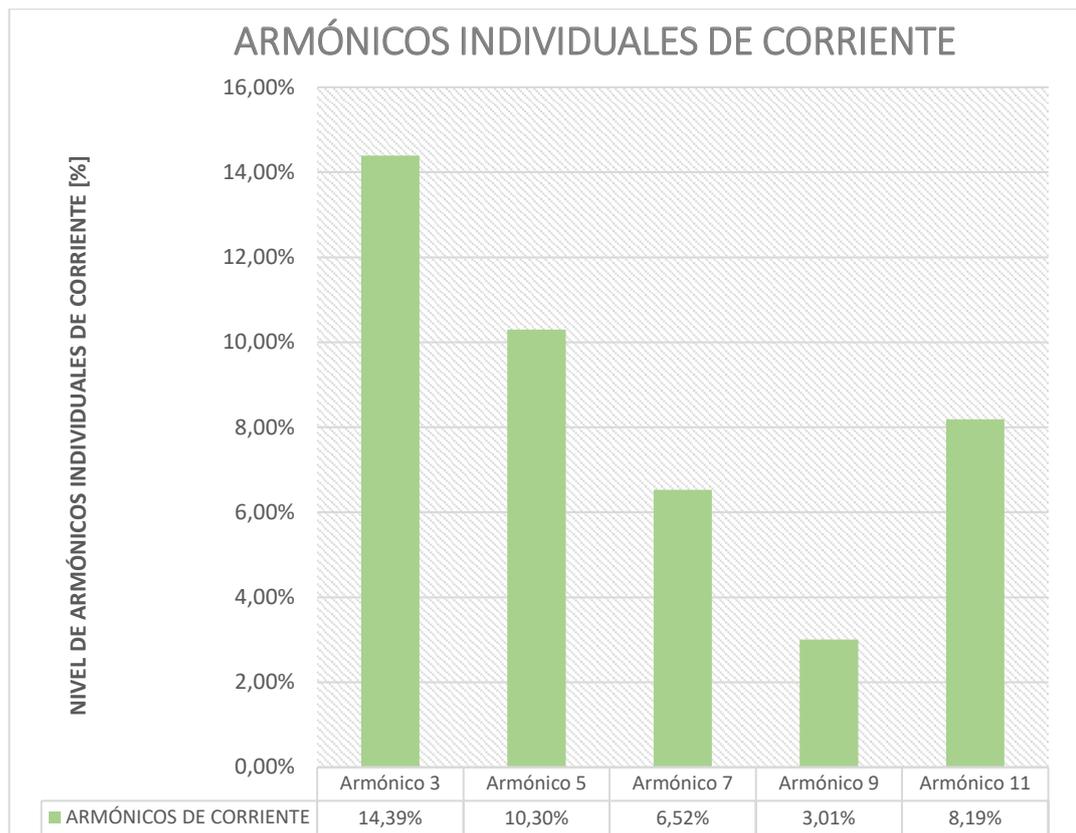


Gráfico 13-2: Armónico de corriente individual

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 17-2: Armónico de corriente individual

Número de armónicos de corriente	% de armónicos de voltaje	IEEE – 519 Rangos Establecidos	Observaciones
Armónico 3	14,39%	12%	NO cumple
Armónico 5	10,30%	12%	Cumple
Armónico 7	6,52%	12%	Cumple
Armónico 9	3,01%	12%	Cumple
Armónico 11	8,19%	12%	Cumple

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El análisis de armónicos descrito en la tabla 17-2 da como resultado; La armónica TERCERA de corriente con un valor del 14,39% no cumple con la regulación impuesta por ARCONEL, la armónica QUINTA de corriente con un valor de 10,30%, la armónica SÉPTIMA con un valor del 6,52%, la armónica NOVENA con un valor del 3,01%, la armónica ONCEAVA con un valor del 8,19%, la cual se encuentra dentro de lo recomendado por el estándar, el límite máximo de distorsión por componente armónica individual es de 12%.

Mediante el siguiente análisis del THD se pudo observar que no excede los límites permitidos por el CONELEC

- THDi < 10% :Situación normal, sin riesgo de mal funcionamiento
- THDi en el rango del 10% al 50%, contaminación importante de armónicos con riesgo de incremento de la temperatura del banco de condensador automático.
- THDi > 50% contaminación armónica importante, posiblemente produzca un mal funcionamiento, es necesario un análisis profundo.

3.5. Mantenimiento y adecuación del sistema eléctrico

Los registros obtenidos de los parámetros eléctricos de la fábrica a través del analizado de energía FLUKE, y la visualización de diferentes componentes eléctricos deteriorados, es de suma importancia realizar el mantenimiento y adecuación del sistema eléctrico en las diferentes áreas de la fábrica.

3.5.1. *Mantenimiento eléctrico programado del tablero principal*

Los tableros eléctricos son la parte principal de una instalación eléctrica, en la cual podemos encontrar dispositivos de seguridad e instrumentos de maniobra de la fábrica.

Para realizar el mantenimiento del tablero principal, se debe desconectar la energía eléctrica dejando fuera de operación, de esta manera poder realizar la inspección y sustituir los diferentes componentes en mal estado.

Para el mantenimiento eléctrico se realizó una planificación y organización con antelación, debido al corte de energía eléctrica en toda la fábrica.

En la figura 5-2 podemos observar el mal estado del tablero, se puede observar polvo y otros signos de suciedad, los interruptores termo magnético dañados, diferentes cables eléctricos sobrecalentados, mala conexión de los cables eléctricos en los interruptores termomagnético y cables electricos sueltos.



Figura 5-2: Tablero principal de la fábrica de quesos
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 6-2: Cables eléctricos sobrecalentados y sueltos
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 7-2: Bornes sobrecalentados en el Interruptor termomagnético principal
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 8-2: Cables eléctricos del neutro sin barras, colocado en una sola bornera
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

3.5.1.1. *Cambio del interruptor termomagnético principal*

Es importante mantener en buen estado el interruptor termomagnético principal, es uno de los principales dispositivos que componen el sistema eléctrico de la fábrica, para realizar el cambio de este dispositivo se debe desconectar la energía eléctrica del tablero principal, dejando sin energía eléctrica a toda la fábrica, para realizar el cambio del interruptor principal se ha realizado una planificación conjuntamente con el gerente de la fábrica.



Figura 9-2: Cambio del interruptor termomagnético principal
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 10-2: Interruptor termomagnético principal LS 150A
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Las principales características del nuevo interruptor termomagnético LS 150A, son las siguientes:

- In 16-160A
- Icu: 50kA(N), 85kA(H), 150kA(L)
- Ics=100% de Icu
- 90mm(ancho) x 140mm(alto) x 86mm(prof.)

3.5.1.2. *Cambio de cables eléctricos y montaje de barra eléctrica en el tablero principal*

El cable eléctrico es uno de los componentes de vital importancia dentro de una instalación eléctrica, cumple la función de transportar la electricidad de manera eficiente y seguro, es por tal motivo realizar una inspección minuciosa a todos los cables existentes en la fábrica y cambiar los cables eléctricos con el material aislante dañado y sobrecalentados.

El montaje de las barras eléctricas en el tablero principal es, utilizar como conexión común para los cables que conforma en sistema eléctrico de la fábrica.



Figura 11-2: Cambio de cables eléctricos del tablero principal
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 12-2: Montaje barras eléctricas para neutro
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 13-2: Tablero eléctrico principal después del mantenimiento
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

3.5.2. *Mantenimiento de instalaciones eléctricas de la fábrica*

Durante el recorrido por la fábrica de quesos el SALINERITO, se puede observar a simple vista el deterioro de los diferentes componentes eléctricos como; oxido en los contactores, humedad en los relés térmicos, interruptores dañados por el tiempo de uso, toma corrientes quemados y cables electricos quemados. En el gráfico 14-2 muestra los componentes eléctricos defectuosos:



Figura 14-2: Tablero para descremadora de leche en mal estado
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 15-2: Toma corriente quemado
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El buen funcionamiento del sistema eléctrico implica ahorro y un consumo eficiente de la energía eléctrica. Además, garantizará una mayor seguridad a los trabajadores en la fábrica, no solamente supondrá un ahorro para la fábrica, también el consumo de energía eléctrica será eficiente, sin recargos ni multas impuestas por las empresas generadoras de electricidad.

En la figura 16-2 se puede observar las mejoras realizadas en las instalaciones eléctricas de la fábrica.



Figura 16-2: Nuevo tablero para descremadora de leche
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 17-2: Cambio de cables eléctricos en el área de sellado.
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

3.5.3. *Balace de cargas en sistema eléctrico de la fabrica*

El desbalance de cargas en una instalación eléctrica, constituye uno de los tantos problemas, afecta negativamente a la fábrica de quesos El SALINERITO.

El balance de cargas, es la distribución de las cargas existentes en una instalación eléctrica, el objetivo de realizar el balance de cargas en una instalación eléctrica, es distribuir las cargas en cada una de las fases, de tal forma que las fases que la alimentan lo hagan en una misma proporción para todas las cargas.

El balance de las cargas se realiza midiendo las corrientes que circulan por cada uno de los cables eléctricos en el tablero principal, al realizar esta acción siempre es una aproximación, es sumamente dificultoso balancearlas y que permanezca en constante igualdad a lo largo de las 8 horas laborables , es poco probable, dado que la fábrica no usa constantemente ciertos equipos, lo equipos en ocasiones solo son utilizadas por pocas horas cada día, y en diferentes horarios, pero debido a esto se debe buscar la manera de alcanzar en lo posible al equilibrio ideal, en la cual circularía exactamente la misma cantidad de corriente en las fases.

Para el balance de carga se hizo uso de la pinza amperimétrica figura 18-2.



Figura 18-2: Pinza amperimétrica para el balance de cargas.
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

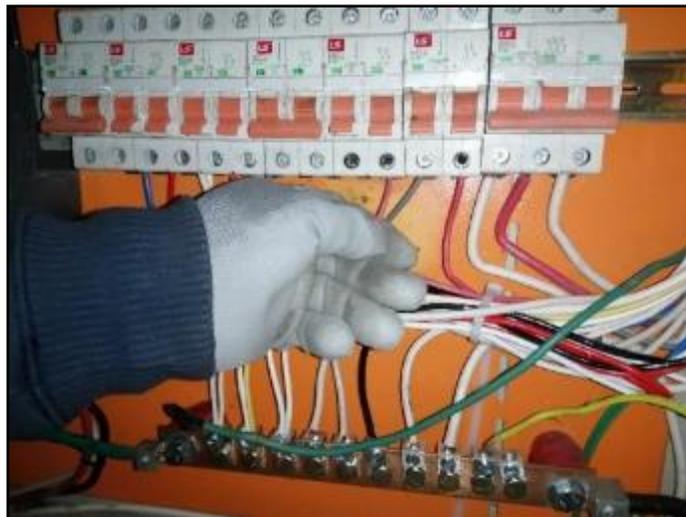


Figura 19-2: Balance de cargas.
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La regulación ARCONEL 005/18 establece el desbalance permitido no debe exceder al 8% al nivel de bajo voltaje, la carga total conectada a cada Fase de un sistema trifásico, no deben ser desigual una de la otra.

3.5.4. *Instalación de puesta a tierra en la fábrica de quesos el SALINERITO*

La instalación de puesta a tierra es una de los componentes importantes para la fábrica, la puesta a tierra proporciona seguridad a la vida de los trabajadores. La fábrica de quesos el SALINERITO no cuenta con una instalación de puesta tierra, lo cual conlleva a poner en peligro la seguridad de las personas y los equipos existentes en la fábrica pueden sufrir daños irreparables.

Las corrientes de falla se puede originar en las instalaciones eléctricas en los equipos o en las maquinarias de la fábrica, esto representa un riesgo para la vida del operador.

Para realizar la puesta a tierra se realiza un estudio del suelo utilizando el teluometro, si la puesta a tierra se realizó correctamente las corrientes de falla se dirige de forma segura al suelo. De esta manera, en una situación negativa, tanto la vida de las personas que trabajan en la fábrica como los equipos están protegidos.

3.5.4.1. *Análisis inicial del suelo*

Previo a realizar la instalación de la malla en la tierra se efectúa un análisis previo, del tipo de suelo y las medidas del terreno donde se llevara a cabo la instalación de la malla para la puesta a tierra.

El terreno consta de tierra arenosa mezclada con piedras, este tipo de suelo no es apto para realizar la instalación de la malla a tierra, como primera recomendación es reemplazar el suelo por tierra negra, debido a que presenta una mayor conductividad.

El área total del terreno es de 4,5 m² como se representa en la siguiente figura 20-2:

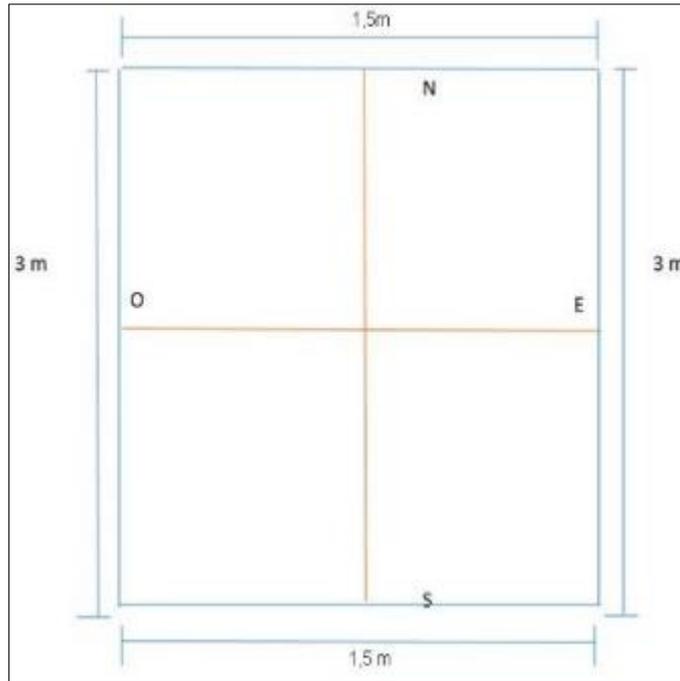


Figura 20-2: Área del terreno para puesta a tierra.
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para la instalación de la malla en la tierra se debe conocer la resistividad inicial del suelo, para lo cual se utiliza el teluometro obteniendo las siguientes medidas:

Tabla 18-2: Lectura del teluometro a diferente distancia

Dirección	A(m)	Re(ohm)
N-S	1 metro	4 kΩ
N-S	2 metros	4 kΩ
N-S	3 metros	4 kΩ
E-O	1 metros	4 kΩ
E-O	2 metros	4 kΩ
E-O	3 metros	4 kΩ
PROMEDIO		4 kΩ

Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 21-2: Medición de la resistividad con teluometro
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El método más utilizado para calcular la resistividad del suelo es el método de WENNER, el principio básico de este método es de la inyección de una corriente directa de baja frecuencia a través de la tierra, entre dos electrodos ubicados en los extremos, mientras se mide la diferencia de potencial que surge en los dos electrodos ubicados en el centro, hará uso de la ecuación 1-2 para el cálculo de la resistividad del suelo.

$$\rho = \frac{4\pi AR}{\left[1 + \left[\frac{2A}{(A^2 + 4B^2)^{0,5}}\right] - \frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0,5}}\right]}$$

Ecuación 1-2

Donde:

ρ : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m

A: Distancia entre electrodos en metros

B: Profundidad de enterrado de los electrodos en metros

R: Lectura del teluometro en ohms.

Calculo de la resistividad del suelo con los datos obtenidos de la tabla 18-2:

Donde:

A= 3m

$$B=0,1\text{m}$$

$$R=4\text{k}\Omega$$

$$\rho = \frac{4\pi AR}{\left[1 + \left[\frac{2A}{(A^2 + 4B^2)^{0,5}}\right] - \frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0,5}}\right]}$$

$$\rho = \frac{4\pi(3)(4\text{k}\Omega)}{\left[1 + \left[\frac{2(3)}{(3^2 + 4(0,1)^2)^{0,5}}\right] - \frac{2(3)}{(4(3)^2 + 4(0,1)^2)^{0,5}}\right]}$$

$$\rho = \frac{150796,4474}{\left[1 + \left[\frac{6}{(9 + 0,04)^{0,5}}\right] - \frac{6}{(36 + 0,04)^{0,5}}\right]}$$

$$\rho = \frac{150796,4474}{\left[1 + \left[\frac{6}{3}\right] - \frac{6}{6}\right]}$$

$$\rho = 75,40 \text{ K}\Omega$$

La resistencia total del suelo es de 4 k Ω , con este valor se puede calcular el valor de la resistividad total del suelo es de 75.40 k Ω *m. De acuerdo a la regulación vigente indica que la resistividad del suelo no debe superar los 25 ohmios, donde se determina que la resistividad del suelo sobrepasa el límite lo cual incumple la norma. Por lo tanto es necesario realizar el tratamiento del suelo con electrolitos con mineral, para bajar la resistividad y mejorar la conductividad del suelo y así garantizar una descarga adecuada.

3.5.4.2. *Calculo del calibre del conductor electrodo puesta a tierra*

Para realizar el cálculo del calibre conductor electrodo se debe determinar la corriente de cortocircuito, para determinar la corriente se debe obtener los siguientes datos:

- Obtener información de la subestación más cercana a la fábrica de quesos EL SALINERITO.
- Impedancia de la subestación de la cual toma la alimenta la fábrica.
- Nivel de cortocircuito máximo

Los datos obtenidos fueron facilitados por la empresa generadora de electricidad, Corporación Nacional de Electricidad Bolívar (CNEL BOLIVAR).

Conforme a los datos obtenidos, la subestación cercana a la fábrica de quesos de la cual toma la alimentación de las líneas de media tensión, es la subestación GUANUJO, ubicada en la parroquia urbana del mismo nombre perteneciente a al cantón Guaranda en la provincia Bolívar.

Tabla 19-2: Niveles de cortocircuito de la subestación GUANUJO

S/E GUANUJO	Impedancia de secuencia	Máxima Generación				Corriente de cortocircuito			
		Ohmios		PU		Trifásica		Monofásica	
		R	X	R	X	KA	MVA	KA	MVA
	Z0	0,134	1,330	0,070	0,698	3,250	77,682	3,830	91,546
	Z1	0,482	2,400	0,253	1,260				
	Z2	0,482	2,400	0,253	1,260				

Fuente: CNELEP, 2019

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La corriente de cortocircuito de la sub estación GUANUJO es $I_{cc}=3,250$ KA, con esta corriente se podrá dimensionar el calibre del conductor electrodo.

La corriente de cortocircuito debe ser remplazada en la ecuación 2-2 (Formula de Onderdonk) para el cálculo del calibre:

$$S = I_{CC} * K_{ON} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

S: Sección del conductor

I_{CC} : Corriente de cortocircuito

K_{ON} : 6,5 MCM/amp: constante de Onderdonk

$$S = I_{CC} * K_{ON}$$

$$S = 3,250 \text{ KA} * 6,5 \text{ cm/A}$$

$$S = 21125 \text{ cm}$$

Con la sección obtenida de 21125 cm, $1 \text{ CM} = 1 \text{ Circ. mil} = 0,0005067 \text{ mm}^2 = 10,704037 \text{ mm}^2$ analizamos la tabla en el ANEXO A, corresponde a un conductor con calibre número 6, pero se utiliza el mínimo recomendable por la norma 2/0.

El conductor debe cumplir los siguientes requisitos:

- Debe soportar la máxima corriente de falla y no fundirse.
- Resistente a golpes y esfuerzos mecánicos, especialmente en lugares en la cual el conductor es sometido a fuerzas externas físicas.
- La conductividad debe ser buena con poca caída de voltaje.

3.5.4.3. *Electrodos para la malla*

El electrodo para la malla, las puede definir mediante estos tres criterios:

- Realizando un análisis de la superficie disponible que exista para la instalación de la malla.
- Por recomendaciones prácticas es necesario tomar en cuenta para terrenos de resistividad promedio de 50, 100 o 150 Ωm , recomienda usar una malla de 16, 25 o 100mt² de superficies (Santana, 2003).

3.5.4.4. *Materiales Utilizados:*

Para la realizar la instalación de la malla a tierra se utiliza los materiales descritos en la tabla 20-2:

Tabla 20-2: Materiales para puesta a tierra

Materiales	Cantidad
Varilla copperw	6
Abrazaderas de varillas	6
Gel puesta a tierra	6
Cobre desnudo de cobre #2	45m

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

3.5.4.5. *Proceso ejecutado*

El propósito de la instalación de la malla, es restringir un voltaje elevado que pueda surgir de fenómenos de inducción o de contactos no intencionado con cables de voltajes más altos. Este procedimiento de instalación se realiza mediante un conductor apropiado, así poder precautelar la seguridad de los trabajadores de la fábrica y no exponerles a descargas eléctricas en determinadas área. De acuerdo a los cálculos realizados, se obtuvo que para la instalación de la malla de puesta a tierra se necesita 6 varillas copperweld.

Para instalación de la malla a tierra es necesario seguir los siguientes pasos:

- Realizar excavaciones para las 6 varillas copperweld, de 50 cm x 50 cm x 1,5 m.



Figura 22-2: Excavación para varillas copperweld
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

- Se procede a colocar las 6 varillas, las mismas que se deben encontrar 50 cm a nivel del piso.



Figura 23-2: Colocación de las varillas copperweld
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

- Se mezcla la tierra negra con el mejorador del suelo, se compacta gradualmente la mezcla con el terreno y se añade los electrolitos para aumentar los minerales y la conductividad del suelo.



Figura 24-2: Mezcla de tierra negra con electrolitos
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

- Finalmente se realiza el mallado con el alambre de cobre, conectando cada varilla de cobre.



Figura 25-2: Mallado con el alambre de cobre
Realizado por: Tamami Carlos, 2020



Figura 26-2: Conexión de cada varilla con el alambre de cobre
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

3.5.4.6. *Resultados Finales.*

Una vez realizada el proceso de instalación de la malla a tierra, se procede a realizar la medida de resistividad del suelo, para verificar que su resistencia sea baja.

Las mediciones se le realizan con el teluometro, la tabla 21-2 registra las medidas para cada varilla:

Tabla 21-2: Medición de resistencia de las varillas

Número de varillas	Valor de Resistencia	Valor de Resistividad
Varilla 1	3.34 Ω	4.20 Ω *m
Varilla 2	0.60 Ω	0.75 Ω *m
Varilla 3	4.5 Ω	4.65 Ω *m
Varilla 4	3.28 Ω	4.12 Ω *m
Varilla 5	0.61 Ω	0.77 Ω *m
Varilla 6	0.60 Ω	0.75 Ω *m

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

De acuerdo a la tabla se puede verificar que la resistividad del suelo es menos de 5 ohmios por metro, lo que indica que está dentro de la regulación y garantiza la buena operatividad.

3.6. Análisis de penalización por bajo factor de potencia

Antes de la etapa de diseño del banco de condensadores, se realiza un análisis de los costos de penalización impuesta por la empresa generadora de electricidad CNEL BOLIVAR.

A continuación en la figura (27-2, 28-2, 29-2), se muestran las planillas en la cual la empresa generadora de electricidad impone multas por el bajo factor de potencia en la fábrica de quesos EL SALINERITO.

Fecha Emisión:	01-Dic-2019	Vencimiento:	15-Dic-2019	Mes Consumo:	Noviembre-2019	Bloque Facturación:	1																																						
INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR																																													
Nombre:	COOPERATIVA DE PRODUCCION AGROPECUARIA EL SALINERITO			CC/RUC:	0291504639001																																								
Dirección del Servicio:	BAYRASS SALIDA A GUARANDA SALINAS			Ruta:	34 - 129 - 269																																								
Provincia / Cantón / Parroquia:	BOLIVAR / GUARANDA				Código Único Eléctrico Nacional: 0300067361																																								
Tipo de Tarifa:	INDUSTRIAL CON DEMANDA																																												
Medidor Número:	111513	Factor Multiplicación:	1.02																																										
Lectura Desde:	27-10-2019	Lectura Hasta:	26-11-2019	Días Facturados:	30																																								
Factor Potencia:	0.89169	Penalización Factor Potencia:	0.03175																																										
1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Actual</th> <th>Anterior</th> <th>Consumo</th> <th>Unid</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Activa</td> <td>305283</td> <td>301896</td> <td>3454</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Dem Máxima</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>14.98</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Reactiva</td> <td>140728</td> <td>139009</td> <td>1753.38</td> <td>kVAR</td> </tr> </tbody> </table>					Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid	Activa	305283	301896	3454	kWh	Dem Máxima	0	0	14.98	kW	Reactiva	140728	139009	1753.38	kVAR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valor USD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valor Consumo</td> <td>286.68</td> </tr> <tr> <td>Demanda Facturable</td> <td>71.75</td> </tr> <tr> <td>Intero Servicio Eléctrico</td> <td>5.43</td> </tr> <tr> <td>Penalización PF</td> <td>11.43</td> </tr> <tr> <td>Valor Comercialización</td> <td>1.41</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</td> <td>376.69</td> </tr> <tr> <td>Servicio de Alumbrado Público G</td> <td>28.91</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Alumbrado Público (APG)</td> <td>28.91</td> </tr> </tbody> </table>			Concepto	Valor USD	Valor Consumo	286.68	Demanda Facturable	71.75	Intero Servicio Eléctrico	5.43	Penalización PF	11.43	Valor Comercialización	1.41	Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	376.69	Servicio de Alumbrado Público G	28.91	Subtotal Alumbrado Público (APG)	28.91
Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid																																									
Activa	305283	301896	3454	kWh																																									
Dem Máxima	0	0	14.98	kW																																									
Reactiva	140728	139009	1753.38	kVAR																																									
Concepto	Valor USD																																												
Valor Consumo	286.68																																												
Demanda Facturable	71.75																																												
Intero Servicio Eléctrico	5.43																																												
Penalización PF	11.43																																												
Valor Comercialización	1.41																																												
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	376.69																																												
Servicio de Alumbrado Público G	28.91																																												
Subtotal Alumbrado Público (APG)	28.91																																												

Figura 27-2: Planilla noviembre de 2019 con penalización
Fuente: (CNELEP, 2019)

Fecha Emisión:	01-Ene-2020	Vencimiento:	15-Ene-2020	Mes Consumo:	Diciembre 2019	Bloque Facturación:	1																																				
INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR																																											
Nombre:	COOPERATIVA DE PRODUCCION AGROPECUARIA EL SALINERITO			CC/RUC:	0291504639001																																						
Dirección del Servicio:	BAYRASS SALIDA A GUARANDA SALINAS			Ruta:	34 - 129 - 269																																						
Provincia / Cantón / Parroquia:	BOLIVAR / GUARANDA				Código Único Eléctrico Nacional: 0300067361																																						
Tipo de Tarifa:	INDUSTRIAL CON DEMANDA																																										
Medidor Número:	111513	Factor Multiplicación:	1.02																																								
Lectura Desde:	26-11-2019	Lectura Hasta:	26-12-2019	Días Facturados:	30																																						
Factor Potencia:	0.87865	Penalización Factor Potencia:	0.04943																																								
1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Actual</th> <th>Anterior</th> <th>Consumo</th> <th>Unid</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Activa</td> <td>309137</td> <td>305283</td> <td>3931</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Dem Máxima</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>21.05</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Reactiva</td> <td>142843</td> <td>140728</td> <td>2157.3</td> <td>kVAR</td> </tr> </tbody> </table>					Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid	Activa	309137	305283	3931	kWh	Dem Máxima	0	0	21.05	kW	Reactiva	142843	140728	2157.3	kVAR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valor USD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valor Consumo</td> <td>336.27</td> </tr> <tr> <td>Demanda Facturable</td> <td>100.83</td> </tr> <tr> <td>Penalización PF</td> <td>21.18</td> </tr> <tr> <td>Valor Comercialización</td> <td>1.41</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</td> <td>449.69</td> </tr> <tr> <td>Servicio de Alumbrado Público G</td> <td>75.83</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Alumbrado Público (APG)</td> <td>75.83</td> </tr> </tbody> </table>			Concepto	Valor USD	Valor Consumo	336.27	Demanda Facturable	100.83	Penalización PF	21.18	Valor Comercialización	1.41	Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	449.69	Servicio de Alumbrado Público G	75.83	Subtotal Alumbrado Público (APG)	75.83
Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid																																							
Activa	309137	305283	3931	kWh																																							
Dem Máxima	0	0	21.05	kW																																							
Reactiva	142843	140728	2157.3	kVAR																																							
Concepto	Valor USD																																										
Valor Consumo	336.27																																										
Demanda Facturable	100.83																																										
Penalización PF	21.18																																										
Valor Comercialización	1.41																																										
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	449.69																																										
Servicio de Alumbrado Público G	75.83																																										
Subtotal Alumbrado Público (APG)	75.83																																										

Figura 28-2: Planilla diciembre de 2019 con penalización
Fuente: (CNELEP, 2019)

Fecha Emisión:	01-Feb-2020	Vencimiento:	15-Feb-2020	Mes Consumo:	Enero-2020	Bloque Facturación:	1																																				
INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR																																											
Nombre:	COOPERATIVA DE PRODUCCION AGROPECUARIA EL SALINERITO			CC/RUC:	0291504639001																																						
Dirección del Servicio:	BAYRASS SALIDA A GUARANDA SALINAS			Ruta:	34 - 129 - 269																																						
Provincia / Cantón / Parroquia:	BOLIVAR / GUARANDA				Código Único Eléctrico Nacional: 0300067361																																						
Tipo de Tarifa:	INDUSTRIAL CON DEMANDA																																										
Medidor Número:	111513	Factor Multiplicación:	1.02																																								
Lectura Desde:	28-12-2019	Lectura Hasta:	28-01-2020	Días Facturados:	30																																						
Factor Potencia:	0.87407	Penalización Factor Potencia:	0.05254																																								
1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Actual</th> <th>Anterior</th> <th>Consumo</th> <th>Unid</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Activa</td> <td>313069</td> <td>309137</td> <td>4010</td> <td>kWh</td> </tr> <tr> <td>Dem Máxima</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>16.32</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Reactiva</td> <td>145028</td> <td>142843</td> <td>2228.7</td> <td>kVAR</td> </tr> </tbody> </table>					Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid	Activa	313069	309137	4010	kWh	Dem Máxima	0	0	16.32	kW	Reactiva	145028	142843	2228.7	kVAR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concepto</th> <th>Valor USD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valor Consumo</td> <td>332.83</td> </tr> <tr> <td>Demanda Facturable</td> <td>78.17</td> </tr> <tr> <td>Penalización PF</td> <td>21.67</td> </tr> <tr> <td>Valor Comercialización</td> <td>1.41</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</td> <td>434.08</td> </tr> <tr> <td>Servicio de Alumbrado Público G</td> <td>75.83</td> </tr> <tr> <td>Subtotal Alumbrado Público (APG)</td> <td>78.83</td> </tr> </tbody> </table>			Concepto	Valor USD	Valor Consumo	332.83	Demanda Facturable	78.17	Penalización PF	21.67	Valor Comercialización	1.41	Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	434.08	Servicio de Alumbrado Público G	75.83	Subtotal Alumbrado Público (APG)	78.83
Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid																																							
Activa	313069	309137	4010	kWh																																							
Dem Máxima	0	0	16.32	kW																																							
Reactiva	145028	142843	2228.7	kVAR																																							
Concepto	Valor USD																																										
Valor Consumo	332.83																																										
Demanda Facturable	78.17																																										
Penalización PF	21.67																																										
Valor Comercialización	1.41																																										
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	434.08																																										
Servicio de Alumbrado Público G	75.83																																										
Subtotal Alumbrado Público (APG)	78.83																																										

Figura 29-2: Planilla enero del 2020 con penalización
Fuente: (CNELEP, 2019)

Fecha Emisión:	01-Mar-2020	Vencimiento:	15-Mar-2020	Mes Consumo:	Febrero-2020	Bloque Facturación:	1
INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR							
Nombre:	COOPERATIVA DE PRODUCCION AGROPECUARIA EL SALINERITO			CC/RUC:	0281504639001		
Dirección del Servicio:	BAYPASS SALIDA A GUARANDA SALINAS			Ruta:	34 - 129 - 269		
Previsión / Casión / Parraquia:	BOLIVAR / GUARANDA			Código Único Eléctrico Nacional:	0300067361		
Tipo de Usufa:	INDUSTRIAL CON DEMANDA			Medidor Número:	111513		
Factor Potencia:	0.87328	Factor Multiplicación:	1.02	Lectura Desde:	28-01-2020	Lectura Hasta:	27-02-2020
Penalización Factor Potencia:	0.0535	Días Facturados:	30				
1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO							
Descripción					Concepto		Valor USD
Actual	Anterior	Consumo	Und	Valor Consumo	335.85		
Activa	317034	313069	4044	Demanda Facturable	87.03		
Dem Máximo	0	0	18.17	Ingreso Servicio Eléctrico	2.87		
Reactiva	147340	145078	2296.34	Penalización PF	22.65		
			kVAR	Valor Comercialización	1.41		
				Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	448.68		
				Servicio de Alumbrado Público G	75.83		
				Subtotal Alumbrado Público (APG)	75.83		

Figura 30-2: Planilla febrero del 2020 con penalización

Fuente: (CNELEP, 2019)

Fecha Emisión:	02-Ago-2020	Vencimiento:	31-Ago-2020	Mes Consumo:	Julio-2020	Bloque Facturación:	1
INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR							
Nombre:	COOPERATIVA DE PRODUCCION AGROPECUARIA EL SALINERITO			CC/RUC:	0281504639001		
Dirección del Servicio:	BAYPASS SALIDA A GUARANDA SALINAS			Ruta:	34 - 129 - 269		
Previsión / Casión / Parraquia:	BOLIVAR / GUARANDA			Código Único Eléctrico Nacional:	0300067361		
Tipo de Usufa:	INDUSTRIAL CON DEMANDA			Medidor Número:	111513		
Factor Potencia:	0.89642	Factor Multiplicación:	1.02	Lectura Desde:	25-06-2020	Lectura Hasta:	25-07-2020
Penalización Factor Potencia:	0.02631	Días Facturados:	30				
1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO							
Descripción					Concepto		Valor USD
Actual	Anterior	Consumo	Und	Valor Consumo	304.43		
Activa	336127	332530	3608	Demanda Facturable	78.03		
Dem Máximo	0	0	16.3	Penalización PF	10.10		
Reactiva	155243	153465	1813.56	Valor Comercialización	1.41		
			kVAR	Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	394.04		
				Servicio de Alumbrado Público G	75.83		
				Subtotal Alumbrado Público (APG)	75.83		

Figura 31-2: Planilla julio del 2020 con penalización

Fuente: (CNELEP, 2019)

Para realizar el cálculo del factor de penalización (B_{FP}) haremos uso de la ecuación 3-2:

$$B_{FP} = \frac{0,92}{FP_r} - 1 \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

B_{FP} = Factor de penalización

FP_r = Factor de potencia Registrado

Con la formula realizamos el cálculo del factor de penalización de la planilla del mes de febrero del 2020

$$FP_r = 0,87328$$

$$B_{Fp} = \frac{0,92}{FP_r} - 1$$

$$B_{Fp} = \frac{0,92}{0,87328} - 1$$

$$B_{Fp} = 0,0535$$

Según el pliego tarifario de CNEL BOLIVAR, la penalización por bajo factor de potencia será igual al consumo de energía más la demanda de comercialización multiplicado por el factor de penalización.

Penalización por bajo F.P. = B_{Fp} *(Valor consumo + Demanda facturable) Ecuación 4-2

Penalización por bajo F.P. = 0,0535 *(335,65 +87,03)

Penalización por bajo F.P. = 0,0535 *(422,68)

Penalización por bajo F.P. = 0,0535 *(422,68)

Penalización por bajo F.P. = 22,69 USD

El valor calculado de 22,69 USD se puede observar en la figura 29-2, este valor indica la penalización impuesta por bajo factor de potencia.

3.7. Diseño del banco de condensadores trifásicos

El análisis realizado al sistema eléctrico de la fábrica a través del analizador de energía, es de suma importancia para la corrección del factor de potencia, los parámetros obtenidos como potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia son parámetros fundamentales para realizar los cálculos del banco de condensadores.

Los parámetros obtenidos permiten seleccionar el tipo de banco de condensadores a instalar en la fábrica, es decir ayuda a seleccionar si se utilizara banco de condensadores fija o banco de condensadores automático (LOYA, 2012).

3.7.1. *Calculo de la potencia reactiva para la corrección del factor de potencia*

Los cálculos permitirán obtener el valor de la potencia reactiva, requerida por la fábrica para la corrección del factor de potencia, y no pagar penalizaciones impuestas por las empresas generadoras de electricidad.

Una vez obtenido los datos a través del analizador de energía FLUKE, se procede a realizar los cálculos necesario para la corrección del factor de potencia, los datos utilizados para dicho cálculo es del día 10 de mayo, desde 14 horas hasta las 15:30. Con la ecuación 6-1 descrita en el primer capítulo, se obtendrá los KVAR necesarios para la fábrica de quesos El SALINERITO.

Los datos a utilizar para obtener la potencia reactiva son: La potencia activa (P), el Cos \emptyset obtenido a través del analizador FLUKE, el ángulo \emptyset inicial y el ángulo \emptyset final deseado (el Cos \emptyset final deseado es 0,98. El ángulo \emptyset del coseno final es 11,48 expresado en grados).

Tabla 22-2: Valores calculados Qc necesario para mejorar el factor de potencia

Fecha - Hora	Potencia Activa	Cos \emptyset Total	\emptyset inicial	\emptyset final	Qc = P(Tan \emptyset i – Tan \emptyset f)
10/05/2019 - 14:09	2310	0,78	38,74	11,48	1384,17 VAr
10/05/2019 - 14:19	2430	0,74	42,27	11,48	1715,3 VAr
10/05/2019 - 14:29	3530	0,73	43,11	11,48	2587,57 VAr
10/05/2019 – 14:39	5990	0,68	47,16	11,48	5243,06 VAr
10/05/2019 – 14:49	4650	0,69	46,37	11,48	3933,50 VAr
10/05/2019 – 14:59	2940	0,84	32,86	11,48	1301,98 VAr
10/05/2019 – 15:09	2080	0,82	34,92	11,48	1029,68 VAr
10/05/2019 – 15:19	3290	0,72	43,95	11,48	2503,41 VAr
10/05/2019 – 15:29	3530	0,75	41,41	11,48	2396,30 VAr
10/05/2019 – 15:39	3990	0,79	37,81	11,48	2285,75 VAr
10/05/2019 – 15:49	5240	0,67	47,93	11,48	4741,15 VAr
10/05/2019 – 15:59	7130	0,54	57,32	11,48	9666,63 VAr
10/05/2019 – 16:09	7012	0,60	53,13	11,48	7925,24 VAr

10/05/2019 – 16:19	6740	0,64	50,21	11,48	6723,65 VAr
10/05/2019 – 16:29	5540	0,73	43,11	11,48	4060,94 VAr
10/05/2019 – 16:39	7502	0,64	50,21	11,48	7483,80 VAr
10/05/2019 – 16:49	7025	0,80	36,87	11,48	3842,07 VAr

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Los cálculos realizados en la tabla 22-2 muestra, que la potencia reactiva necesaria para la corrección del factor de potencia es totalmente variables y por la cual es necesario implementar un banco de capacitores automático, que suministre energía reactiva según la demanda de la fábrica, al utilizar banco de capacitores automático no corre el riesgo de una sobrecompensación.

En la tabla 23-2 muestra un resumen de los datos analizados, en el cual indica los valores máximos, medios y mínimos de potencia reactiva, analizados por un lapso de 7 días, 168 horas continuos, tomado muestras cada 10 minutos (LOYA, 2012).

Tabla 23-2: Valores máximos, medios y mínimos de potencia reactiva

	Qc(VAr)
Máximo VAr	9666,63 VAr
Medio VAr	4741,15 VAr
Mínimo VAr	1029,68 VAr

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Los datos descritos en la tabla 23-2 son los valores de potencia reactiva necesarios para los 7 días de la semana y por las 8 horas diarias de trabajo.

Para una mejor comprensión los datos serán expresados de la siguiente forma:

- Demanda máxima de potencia reactiva 9666,63 VAr/día
- Demanda media de potencia reactiva 4741,15 VAr/día
- Demanda mínima de potencia reactiva 1029,68 VAr/día

Con los datos descritos podemos realizar un análisis para una compensación precisa del factor de potencia, de esta manera optimizar el sistema eléctrico de la fábrica, y no incurrir en penalizaciones.

En el periodo de tiempo de 23:30 pm del 15 de mayo del 2019 al 05:30 am del 16 de mayo del 2019, presenta un factor de potencia de 0,92, lo cual nos da a conocer que este horario el factor de potencia es cercano a la unidad, el valor de factor de potencia descrito está presente en todo el periodo de análisis del 10 de mayo al 16 de mayo del 2019, si se realiza una compensación con los valores máximos y valores mínimos de potencia reactiva en estos horarios se obtendrá una sobrecompensación; es por esta razón que en estos horarios no se debe realizar ningún tipo de compensación (23:19pm al 05:39).

Al compensar el factor de potencia con la demanda máxima de potencia reactiva 9666,63 Var, en estos se tendrá una sobrecompensación durante todo el día, dado que la demanda de potencia reactiva no es constante durante todo el día, en el instante donde el sistema eléctrico requiere de potencia reactiva media y mínima, tendría una sobrecompensación.

Una compensación fija con la demanda media de potencia reactiva de 4741,15 VAr, esta compensación se adaptara a la demanda de potencia reactiva media, pero surgirá inconvenientes ya que en ciertas hora el sistemas eléctrico de fábrica se encontraría sobrecompensado y subcompensado.

De acuerdo a la demanda de potencia reactiva a compensar que tiene variaciones, se utilizara una compensación que se adapte a la demanda variable de potencia reactiva de la fábrica, para lograr una compensación efectiva se utilizara un banco de condensadores automático.

Banco de condensador automático está compuesto principalmente por: controlador de factor de potencia, condensadores, contactor, transformador de corriente, fusibles. El controlador permite monitorear los parámetros eléctricos principales de la fábrica.

Para el banco automático de condensadores se utilizara una potencia reactiva de 9666,63 VAr, o una de valor superior en este caso 10 KVAR, la misma que ayudara a mantener un factor de potencia de 0,98 cuando se tenga una carga máxima en la fábrica. Para la compensación se utilizara dos condensadores en paralelo de 5KVAR, es decir se tendrá un banco de condensador de dos pasos de 5KVAR cada uno, ya que al conectar los dos pasos se obtendrá una potencia reactiva de 10KVAR, cada vez que el controlador de factor de potencia detecte un bajo factor de potencia envía una señal a los contactores, permitiendo de esta manera suministrar potencia reactiva al sistema eléctrico según la demanda de la fábrica, en el caso que el controlador detecte un valor mayor de 0,92, no accionara ningún contactor lo cual no se producirá una sobrecompensación al momento que la fábrica tenga una demanda de carga mínima, en la cual requiere una potencia reactiva mínima (LOYA, 2012).

3.8. Componentes del banco de condensadores automático

El banco de condensadores automático debe adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la fábrica, para lograr obtener y mantener el $\text{Cos } \emptyset$.

Para realizar la instalación del banco automático de condensadores, es necesario los siguientes elementos:

- Regulador automático del factor de potencia.
- Los condensadores.
- Contactores
- Transformador de corriente.
- Interruptor termomagnético.

3.8.1. *Controlador del factor de potencia.*

El controlador del factor de potencia, tiene la función de realizar la conexión de los condensadores con el objetivo de conseguir el $\text{Cos}\emptyset$ definido por el usuario, también es considerada como la unidad de control de una banco de condensadores automáticos, el controlador mide el factor de potencia inicial de la fábrica y envía una señal a los contactores para de esta manera conectar los distintos escalones de potencia reactiva y lograr aproximarse al $\text{Cos}\emptyset$ deseado (ABB group energia, 2011).

De acuerdo al análisis realizado se requiere una potencia reactiva de 10KVAR, la cual se consigue mediante 2 capacitores de 5KVAR, cada uno.

Se adquirió el controlador de factor de potencia marca RTR ENERGIA, modelo PR-11D12, la figura 32-2 muestra foto del controlador.



Figura 32-2: Controlador de factor de potencia PR-11D12
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La tabla 24-2 detalla las características técnicas del controlador de factor de potencia PR-11D12.

Tabla 24-2: Características técnicas PR-11D12

Alimentación principal y medida de tensión, Bornes C-D	480, 400, 230, o 110 VCA +15% -10%; 45-65 Hz, (ver etiqueta) Conectar preferiblemente a fases L2-L3.
Cables Alimentación	Sección 1,5mm ² , Fusible de protección tipo gl de 0,5 a 2A
Circuito de medida de corriente	Transformador de corriente (TC), In /5 , Colocar preferiblemente en fase L1. Sección de cable mín. 2,5mm ²
Margen de medida de corriente	0,05 a 5 A (sobrecarga máxima +20%)
Precisión de las medidas	Tensión y corriente: 1%; cosφ : 2% ± 1 dígito
Consumos	110V: 7 VA (vacío) ; 8,8 VA(6 relés); 10 VA(12 relés) 230V: 7,4 VA (vacío) ; 8,2 VA(6 relés); 9,9 VA(12 relés) 400V: 5 VA (vacío) ; 6,6 VA(6 relés); 8,8 VA(12 relés) 480V: 8,7 VA (vacío) ; 9,5 VA(6 relés); 10,7 VA(12 relés)
Display	1 línea x 3 dígitos x 7segmentos + 20 iconos
Salida	Relés. Contactos para V _{máx.} 250 VCA, 10 A, AC1.
Cableado y protección de relés de salida	Sección de cables 1,5mm ² , Protección con interruptor magneto térmico curva C de 6A o fusible tipo gl 6 ^a .
Relé de alarma	Ultimo relé configurado como alarma (si no está en uso)

Grado de protección	IP40 (equipo montado, frontal armario) IP30 (equipo sin montar) según EN-60529.
Condiciones ambientales admisibles	Temperatura: -20°C a +60°C; Humedad relativa: max 95% (sin condensación). Altitud max: 2000m.

Fuente: PR-11D12, 2019

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para realizar la programación del controlador es necesario, conocer las funciones que realiza los botones del panel principal del controlador.

- El botón negro superior modifica el valor del campo.
- El botón negro inferior realiza la función de modificar la posición.
- El pequeño botón rojo con la pulsación corta realiza la función de entrar en el campo y validar el campo, con una pulsación larga tiene la función de entrar y salir del menú.

Los parámetros a programar en el controlador de factor de potencia PR-11D12, son:

- El $\text{Cos}\phi$ deseado
- El valor de C/K
- Ajustar el PROG deseado según la potencia del condensador
- DELAY deseado.
- Ajustar STEPS
- La PHASE
- Programar el valor del transformador de corriente.

3.8.1.1. *Ajuste del $\text{Cos}\phi$*

El valor del $\text{Cos}\phi$, es el valor que permite obtener un factor de potencia deseado para la fábrica, y no incurrir en penalizaciones. Para la fábrica de quesos el SALINERITO el valor del $\text{Cos}\phi$ será de 0,98.

3.8.1.2. *Calculo del parámetro C/K (sensibilidad)*

El controlador de factor de potencia necesita de este parámetro, c/k es la sensibilidad, permite determinar cuando el regulador ha de conectar y desconectar cada uno de los escalones, para obtener este valor se debe conocer el valor del primer escalón en KVAR, y la relación de transformación de corriente.

El valor de C/K se lo obtiene utilizando la ecuación 5-2, para lo cual se utiliza los datos: Q1=5VAr, voltaje 220v y el valor del transformador de corriente del siguiente valor: 200/5A.

$$\frac{C}{K} = \frac{Q1/(\sqrt{3} * V)}{RTI}$$

Ecuación 5-2

Donde:

C/K = Sensibilidad

Q1 = potencia reactiva del primer escalón (5KVAR)

V = Tensión FF (fase-fase)

RTI = Relación de transformador de corriente (200.5A)

$$\frac{C}{K} = \frac{5000/(\sqrt{3} * 240)}{40}$$

$$\frac{C}{K} = \frac{12,028}{40}$$

$$\frac{C}{K} = 0,30$$

Cuando se ingrese el valor de C/K de 0,30 en el controlador de factor de potencia, el primer condensador conectado en el primer escalón actuara cuando la demanda de potencia reactiva excedan los 1,5KVAR (0,30*5000=1,5KVAR), con el valor calculado asegura que no se produzca una sobrecompensación cuando se presente una demanda de potencia reactiva mínima.

3.8.1.3. Ajuste del parámetro PROG

El parámetro PROG, es el que indica al regulador de factor de potencia como esta echa la composición del banco de condensadores. En algunos casos todos los condensadores son de la misma capacidad, en otros casos hay condensadores del doble de potencia reactiva que otros

condensadores, siempre habrá una proporcionalidad con respecto a la potencia reactiva del primer escalón.

El programa 111 del controlador indica, que todos los escalones tienen el mismo valor de potencia reactiva.

Para la compensación de potencia reactiva en fábrica, se utiliza capacitores del mismo valor, entonces se debe programar el controlador con el valor de PROG. Igual a 111.

3.8.1.4. *Ajuste del parámetro DELAY*

Delay, es el tiempo de espera para realizar la conexión de un escalón a otro. En este parámetro podemos ajustar el tiempo desde los 4 segundos hasta los 999 segundos, mientras más bajo el tiempo DELAY, es más fácil que el banco de condensadora realice maniobras de conexión de los escalones, se ajusta mejor a la fluctuación de demanda de potencia reactiva, cuando se define el tiempo de conexión se está predefiniendo el tiempo de seguridad a la reconexión, cuando se quita un condensador el controlador espera un tiempo de seguridad, para que se pueda volver a conectarlo.

Para la fábrica de quesos se ajustara el controlador de factor de potencia para un tiempo de DELAY de 10 segundos.

3.8.1.5. *Ajuste del parámetro STEP*

El parámetros STEP, es la cantidad de pasos que conforman la batería de condensadores, STEP para la fábrica será ajustado para dos escalones.

3.8.1.6. *Ajuste del parámetro PHASE*

EL controlador PR-11D12, utiliza la medida de un transformador de corriente y después toma la medida de las dos fases, el transformador de corriente conecta a la línea uno, y la mitad de tensión la toma de las líneas L2 y L3.

Para ajustar el parámetro PHASE, se debe seleccionar según se haya conectado el transformador de corriente y la medida de la tensión para la red, tenemos seis posibles combinaciones de T1 a T6, es una rotación de la medida de corriente.

Tabla 25-2: Selección de fase y sentido de conexión del TC

Display	Desfase V-I a $\text{Cos}\phi=1$	Fases de medida de V	Fases de conexión del TC
T1	30°	L3-L2	L3
T2	270°	L3-L2	L1
T3	150°	L3-L2	L2
T4	210°	L3-L2	L3 (Trafo invertido)
T5	90°	L3-L2	L3 (Trafo invertido)
T6	330°	L3-L2	L3 (Trafo invertido)

Fuente: PR-11D12, 2019

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

La conexión del transformador de corriente se lo realizo en L1 y la medida para los voltajes se lo realizo en L2 y L3, por tal motivo el parámetro de PHASE se ajusta con T2.

3.8.1.7. Ajuste de corriente (I_p)

Este parámetro ayuda al controlador a mostrar de forma correcta, los valores de corriente en el display, para la instalación del banco automático utilizaremos un transformador de corriente de 200/5 A, por lo tanto se programara este parámetro con el valor de 200.

3.8.1.8. Conexión del controlador de factor de potencia PR-11D12

En la figura 32-2 muestra la forma de conectar el controlador de factor de potencia, indica las protecciones recomendadas para el controlador.

Para el funcionamiento del controlador es necesario instalar un transformador de corriente de acuerdo a la corriente total de la carga. La tensión de alimentación para el controlador se realiza entre dos fases L2 y L3, y la corriente se toma de L1.

Este diagrama se implementara para el diseño del banco automático de condensadores en la fábrica de quesos el SALINERITO.

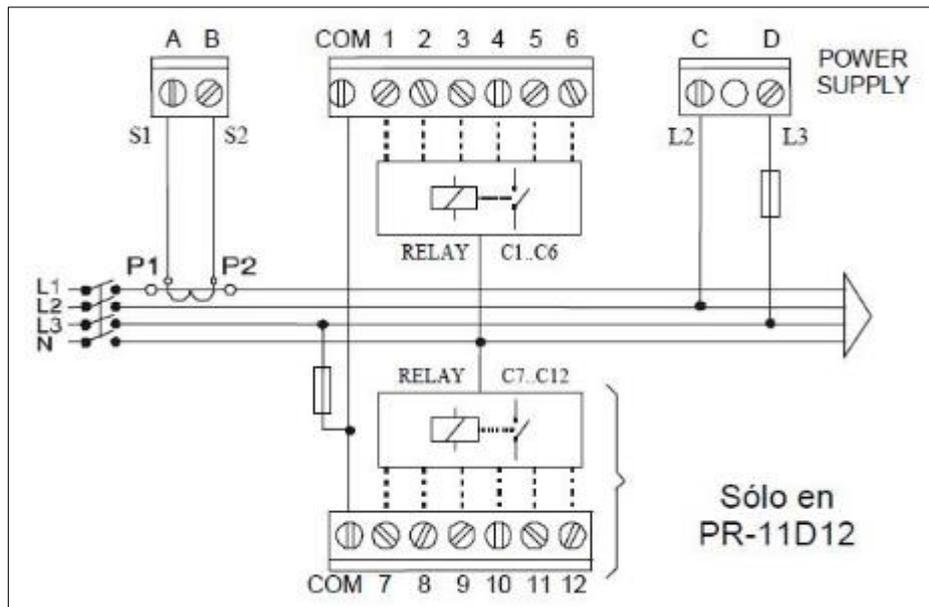


Figura 33-2: Conexión del Controlador de factor de potencia PR-11D12
Fuente: (PR-11D12, 2019)

3.8.2. Condensadores trifásicos

Los condensadores es el elemento fundamental del banco automático, es el que suministra potencia reactiva al sistema eléctrico para corregir el factor de potencia.

Para la corrección del factor de potencia empleamos condensadores cilíndricos trifásicos, estos condensadores está compuesto de tres condensadores monofásicos que son introducidos en un envoltorio metálico, son de tipo seco usando polipropileno metalizado con dieléctrico. Cada condensador tiene un elemento de desconexión por sobrepresión que protege contra ruptura interna, tiene incluida resistencias de descarga, para reducir el voltaje cuando el condensador se ha desenergizado. Los condensadores internos están encapsulados con resina de poliuretano en un envase de aluminio cilíndrico y se encuentra herméticamente sellado de manera que aislé de la acción corrosiva, de esta manera asegura una buena disipación de calor. Estos condensadores son exclusivamente utilizados para la compensación de la potencia reactiva (LOYA, 2012).



Figura 34-2: Capacitor cilíndrico trifásico
 Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para la instalación del banco automático de capacitores se utilizara dos condensadores de 5 KVAR a 220V. Para calcular la corriente nominal por fase de un condensador cilíndrico trifásico, se utiliza la siguiente ecuación

$$In = \frac{KVAR}{\sqrt{3} * KV}$$

Ecuación 6-2

Donde:

In: Corriente nominal

KVAR: Potencia reactiva del condensador

KV: Voltaje Fase-Fase

$$In = \frac{3KVAR}{\sqrt{3} * 0,24KV}$$

$$In = 7,22 A$$

La corriente nominal de cada condensador es de 7,22A, la misma será usada para elegir el valor adecuado de interruptor termomagnético y el contactor.

3.8.3. *Contactor especial para condensadores*

El contactor realiza la función de conexión y desconexión, con el objetivo que los condensadores entregue la potencia reactiva requerida por el sistema eléctrico de la fábrica.

Estos contactores son especiales debido a que en su interior dispone de contactos auxiliares equipados con resistencia. Estos contactos se cierran antes que la potencia y la cresta de conexión es fuertemente limitada por el efecto de las resistencias. A continuación se cierran los contactos de potencia, dejando de actuarlas las resistencias durante el funcionamiento normal del condensador. El empleo de estos contactares es recomendable, limitan notablemente las sobrecorrientes (LOYA, 2012).



Figura 35-2: Contactor especial para condensadores
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Por todo lo descrito anteriormente se elige dos contactores especiales, para el mando de los condensadores y que soporte una sobrecorriente de 2 In.

$$2 * I_n$$

Ecuación 7-2

$$2 * 7,22 = 14,43 A$$

Con el cálculo obtenido para el contactor, se utilizara dos contactores con una corriente mayor o igual a 14,43 A. De esta manera se seleccionara dos contactores especiales, el modelo del contactor es 3P P/12KVAr DILK20-11, 29A.

3.8.4. *Calculo para el interruptor principal*

El interruptor protege a los componentes del circuito contra sobrecargas y cortocircuitos.

Para la selección del interruptor principal se debe tomar en cuenta algunas precauciones: el calibre de la protección deberá ser 1,43 veces la corriente nominal del banco de condensadores, con el objetivo de limitar el sobrecalentamiento producido por los armónicos generado por los condensadores (LOYA, 2012).



Figura 36-2: Interruptor principal para el banco de condensador
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para realizar el cálculo del interruptor principal del banco de condensadores, se utilizara la potencia total del banco de capacitores que es de 10KVAr, se aplica la ecuación 6-2, para el cálculo del interruptor:

$$I_n = \frac{10 \text{ KVAr}}{\sqrt{3} * 0,24 \text{ KV}}$$

$$I_n = 24,06 \text{ A}$$

El interruptor principal debe ser 1,43 veces, la corriente nominal del banco:

$$I_n \text{ interruptor} = I_n * 1,43$$

$$I_n \text{ interruptor} = 24,06 * 1,43$$

$$I_n \text{ interruptor} = 34,40 \text{ A}$$

El interruptor termomagnético para el banco deberá ser de 34,40 A, o uno de mayor capacidad, con una capacidad de ruptura de $I_{cc}=3,250 \text{ KA}$ o de un valor superior.

Para el banco de condensadores se utilizara un interruptor, Acti9 iC60N, 3P, 40 A, la cual permite protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

3.8.5. *Protección con fusibles para cada condensador*

Es necesario proteger el condensador trifásico con un fusible para cada fase, el fusible ayudara a sacar de servicio al condensador averiado y el resto de los condensadores quedaran en funcionamiento, el fusible que haya actuado indica cual ha sido el condensador que fallo, de esta manera es más fácil poder visualizar la falla, simplificando el tiempo de mantenimiento.

La protección contra cortocircuito se realizara por medio de fusibles comprendido $1,7 * I_n$. El fusible protegerá a cada condensador es decir a dos capacitores de 5KVAR, que tiene una corriente nominal de 7,22 A.

$$I_n \text{ fusible} = 1,7 * 7,22$$

$$I_n \text{ fusible} = 12,27 \text{ A}$$

Se elige el fusible de 12,27 A o uno de valor superior, para el banco se selecciona el fusible NH-00 25A, 600V (fusible tipo NH con base tipo 00 de 25A).

3.8.6. *Dimensionamiento de cable eléctrico*

Para dimensionar los cables eléctricos para el banco de capacitores, se debe utilizar la corriente nominal de cada condensador y la corriente total del banco de condensadores, el cable eléctrico para el banco será diferente.

Utilizando la siguiente formula se calculara el calibre del cable eléctrico:

$$I_{\text{conductor}} = 1,3 * I_{\text{condensador}}$$

$$I_{\text{conductor}} = 1,3 * 7,22$$

$$I_{\text{conductor}} = 9,39 \text{ A}$$

La corriente que debe soportar el cable eléctrico es de 9,39 A, para esta corriente el calibre del cable eléctrico es 14AWG. Para el banco de condensadores se utilizara un calibre de cable eléctrico que tenga un valor superior al calculado, se seleccionara el calibre número 10AWG, satisface las características de diseño, no corre el riesgo de sobrecalentarse.

3.8.7. *El Gabinete*

El gabinete es el elemento que abarca todos los dispositivos del banco de condensador como: condensadores, elementos de maniobra y elementos de protección, por lo tanto el gabinete debe tener las medias adecuadas de acuerdo al tamaño de los dispositivos a instalar, además el gabinete debe tener ventilación para mantener a una temperatura adecuada a los dispositivos.

Para la instalación de los dispositivos que conforman el banco de condensadores, utilizamos el gabinete metálico pesado de las siguientes medidas: 800*600*250 mm.



Figura 37-2: Gabinete para el banco de condensadores
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

El gabinete con los elementos del banco de condensador fue instalado, en área de máquinas junto al tablero principal, el área está libre de humedad y alejado de materiales que pueda dañar la integridad del gabinete.



Figura 38-2: Gabinete del banco de condensadores junto al tablero principal
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

CAPITULO IV

4. ANALISIS Y RESULTADOS

En el presente capitulo se presenta las pruebas realizadas al banco de capacitores automático instalado en la fábrica de quesos EL SALINERIO, observaremos los beneficios y resultados producido por el banco de capacitores en el sistema eléctrico de la fábrica.

En la figura 1-3 se observar el banco de capacitores y el controlador en funcionamiento.



Figura 1-3: Controlador de factor de potencia en funcionamiento
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

4.1. Descripción actual de la fabrica

Actualmente la cooperativa de producción agropecuaria el SALINERITO tiene en sus instalaciones un banco de condensadores automático de 10 KVAR, el cual es controlado por el regulador de factor de potencia 12P, 230 RTR, de la misma manera consta de contactores, interruptores termomagnéticos, los componentes están descritos en la siguiente tabla.

Tabla 1-3: Componentes del banco de condensadores

BANCO AUTOMATICO		
Elementos	Cantidad	Especificaciones
Transformador de corriente	1	200/5 A, 600V
Contactores	2	3P P/12KVAR dilk20-11

Regulador de factor de potencia	1	12P, 230V RTR ENERGIA
Condensadores	2	3F, 5KVA _r , 240V, RTR ENERGIA
Breaker	1	ACTI9, IC90N, 3P, 40 ^a
Cable flexible	10m	10AWG
Fusible	6	NH-00, 25A, 600V SIEMENS
Porta fusibles	6	NH-00
Gabinete	1	Metálico 800x600x250mm

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

4.2. Diseño del banco automático de capacitores

Para el diseño del banco automático de condensadores se hará uso del diagrama multifilar, el cual representa en forma gráfica a un sistema eléctrico, dentro del sistema podemos representar fácilmente los elementos de protección, controlador, contactor y capacitores.

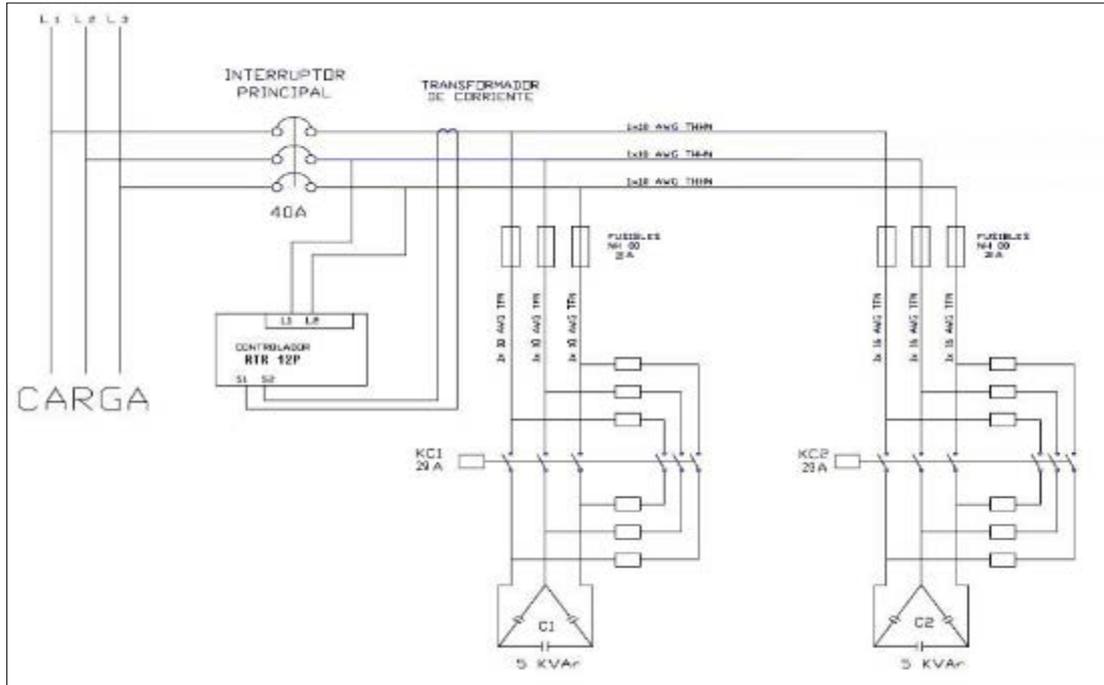


Figura 2-3: Diseño del banco de condensadores automático

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

4.3. Mejoras del factor de potencia reflejada en las planillas

El análisis y estudio del bajo factor de potencia en la cooperativa agropecuaria el SALINERITO, ayuda a obtener una idea del comportamiento de potencia reactiva durante las 8 horas del día de trabajo, llegando a la conclusión de instalar un banco automático de condensadores, la cual permite compensar la potencia reactiva que demanda la fábrica, gracias al controlador de factor de potencia, la cual permite la conexión de los contactores con el banco de condensadores, cuando la demanda de potencia reactiva es solicitada por el sistema eléctrico de la fábrica, y es desconectada cuando el controlador verifica que no tiene demanda de potencia reactiva la fábrica.

Se logró mejorar el factor de potencia como lo muestra las siguientes planillas de energía eléctrica, proporcionada por la empresa generadora de electricidad CNEL BOLIVAR.

La instalación del banco automático de condensadores finalizó en la fecha de 24 de Julio del 2020, logrando obtener el factor de potencia adecuado, sin pagar penalización desde el mes de agosto del presente año, hasta la actual fecha.



Figura 3-3: Planilla septiembre del 2020 sin penalización
Fuente: (CNELEP, 2019)



Figura 4-3: Planilla octubre del 2020 sin penalización
Fuente: (CNELEP, 2019)

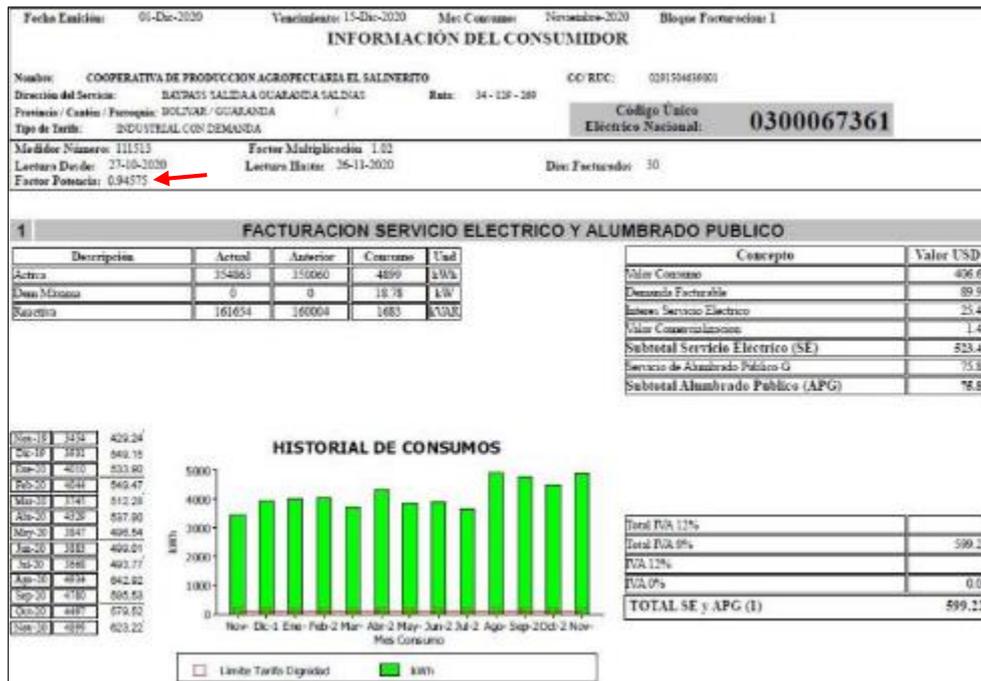


Figura 5-3: Planilla noviembre del 2020 sin penalización
Fuente: (CNELEP, 2019)

Gracias al análisis y estudio de los problemas que presenta la fábrica, se logró determinar la cantidad de potencia reactiva necesaria para elevar el factor de potencia y así lograr los objetivos planteados.

4.4. Análisis de la calidad de energía actual de la fábrica

Para realizar el análisis actual de calidad de energía de la fábrica, se hizo uso del analizador de calidad de energía FLUKE 435 SERIES II, la cual fue instalada en el tablero principal de la fábrica, el periodo de medición fue de 5 días, 72 horas continuos tomando muestras cada 10 minutos.

4.4.1. Análisis de los niveles voltaje

El balance de cargas, el cambio de cables eléctricos sobrecalentados, cambio interruptores termomagnéticos en mal estado por el tiempo de uso, etc. El deterioro de los componentes eléctricos provoca el uso deficiente de la energía eléctrica y provoca el desbalance de tensión.

Una vez realizado el mantenimiento de los componentes del sistema eléctrico, se procede a realizar la medición de los niveles de voltaje, de esta manera comprobar que el desbalance de carga sea mínima que no afecte la vida útil de los equipos.

4.4.1.1. Voltaje Fase Neutro (127 V)

El desbalance permitido en Ecuador de acuerdo a la resolución 004/01, no debe exceder al 8%, debido que la fábrica corresponde al nivel de bajo voltaje, lo que quiere decir que las cargas totales conectada a cada fase de un sistema trifásico, debe alcanzar su máximo de lo contrario existe desbalance.

La vida útil de los cables eléctricos puede extenderse en medida que se realiza el balance de las cargas de forma equitativa entre fases, la ventaja al tener un sistema eléctrico balanceado es la reducción de fluctuaciones de tensión.

Una vez realizada el balance de las cargas en las fases, podemos observar en el gráfico 1-3, la cual muestra poca variación de voltaje, esto ayuda a mantener los equipos en perfectas condiciones, sin correr el riesgo de una posible avería.

Para determinar el desbalance actual de voltaje, existente en el sistema eléctrico de la fábrica, se utiliza la ecuación 1-3:

$$V_{prom} = \frac{Va + Vb + Vc}{3}$$

Ecuación 1-3

$$D = \frac{[(V_a - V_{prom}), (V_b - V_{prom}), (V_c - V_{prom})]}{V_{prom}}$$

Ecuación 2-3

Donde:

D = % desbalance

V_a, V_b, V_c = Magnitud del voltaje fase - neutro (A)

V_{prom} = Magnitud promedio del voltaje (A)

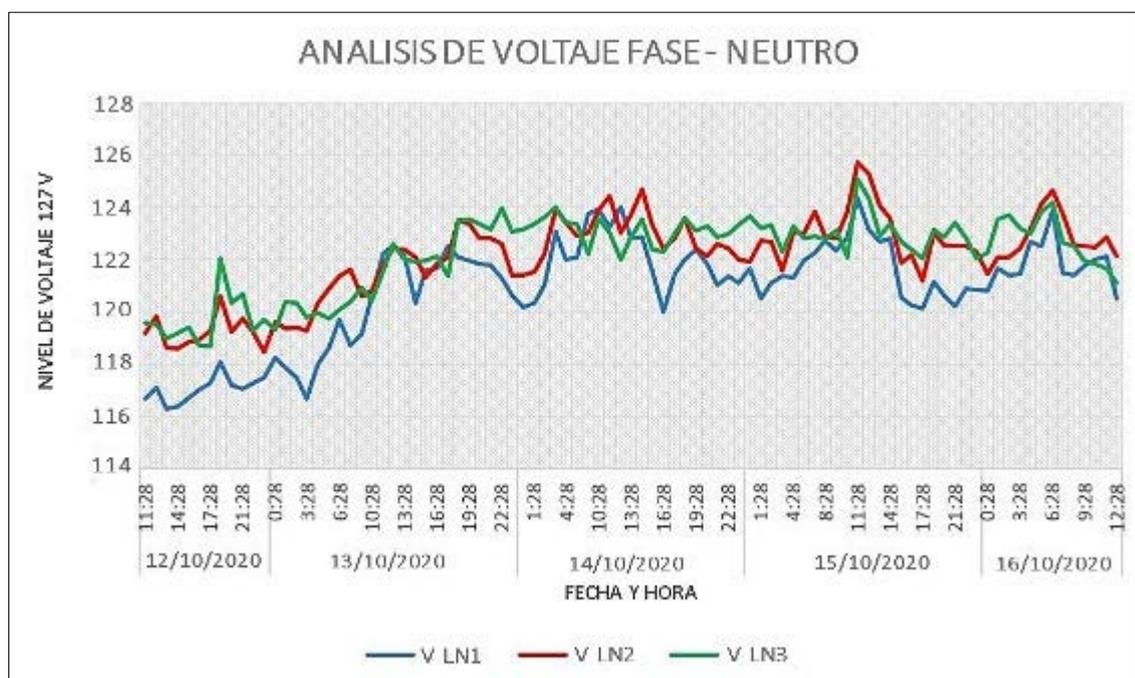


Gráfico 1-3: Voltaje Fase – Neutro actual de la fabrica

Fuente: Tamami C; 2020

Tabla 2-3: Análisis de voltaje Fase – Neutro

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo
V _{A-N}	124,00	120,08	116,17
V _{B-N}	126,00	122,18	118,35
V _{C-N}	125,40	121,30	117,19

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para calcular el desbalance del voltaje Fase – Neutro, utilizamos la ecuación 1-3 y la ecuación 2-3:

$$V_{prom} = \frac{Va + Vb + Vc}{3}$$

$$V_{prom} = \frac{124 + 126 + 125,40}{3}$$

$$V_{prom} = 125,13 \text{ V}$$

$$D = \frac{[(Va - V_{prom}), (Vb - V_{prom}), (Vc - V_{prom})]}{V_{prom}}$$

$$D = \frac{[(124 - 125,13), (126 - 125,13), (125,40 - 125,13)]}{125,13}$$

$$D_{A-N} = \frac{(1,13)}{125,13} * 100\% \quad D_{B-N} = \frac{(0,87)}{125,13} * 100\% \quad D_{C-N} = \frac{(0,27)}{125,13} * 100\%$$

$$Da = 0,9\% \quad Db = 0,69\% \quad Dc = 0,22\%$$

Con los resultados obtenidos, podemos concluir que el desbalance de voltaje es mínimo.

4.4.1.2. Voltaje Nominal (220V)

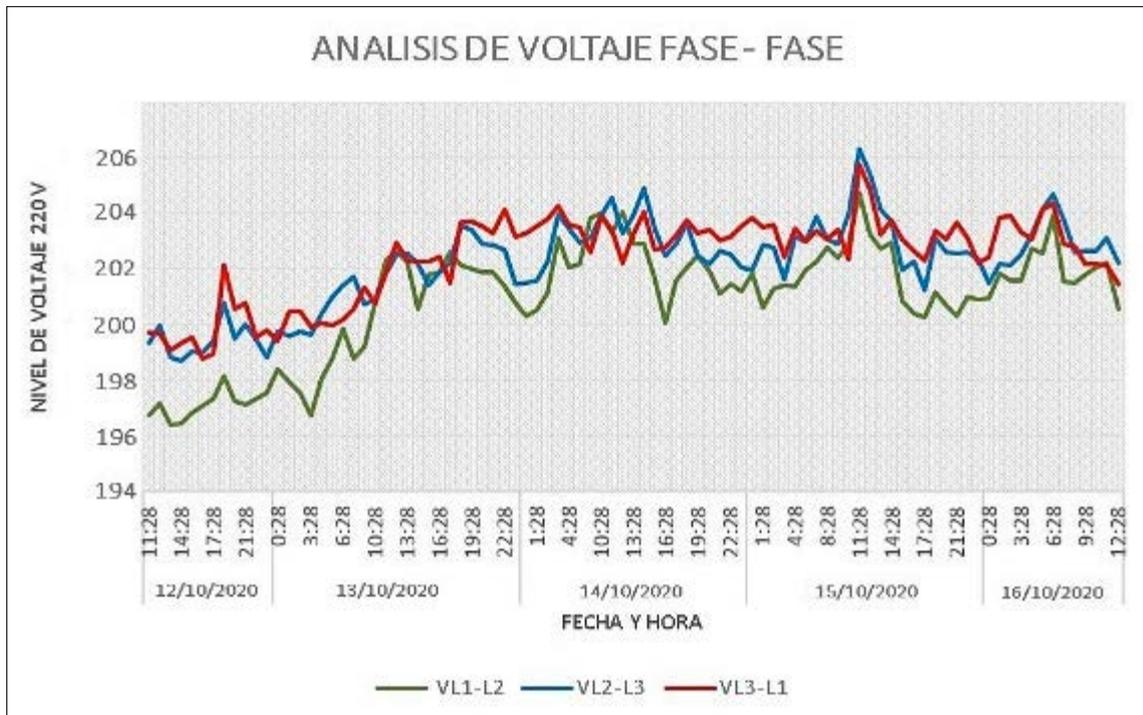


Grafico 2-3: Voltaje Fase – Fase actual de la fábrica

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 3-3: Análisis de voltaje Fase – Fase

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo
V _{A-B}	205,00	200,63	196,26
V _{B-C}	206,24	202,76	199,28
V _{C-A}	205,97	202,58	199,19

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para calcular el desbalance del voltaje Fase – Fase, utilizamos la ecuación 1-3 y la ecuación 2-3:

$$V_{prom} = \frac{V_{A-B} + V_{B-C} + V_{C-A}}{3}$$

$$V_{prom} = \frac{205 + 206,24 + 205,97}{3}$$

$$V_{prom} = 205,74 \text{ V}$$

$$D = \frac{[(V_{A-B} - V_{prom}), (V_{B-C} - V_{prom}), (V_{C-A} - V_{prom})]}{V_{prom}}$$

$$D = \frac{[(205 - 205,74), (206,24 - 205,74), (205,97 - 205,74)]}{205,74}$$

$$D_{A-N} = \frac{(0,74)}{205,74} * 100\% \quad D_{B-N} = \frac{(0,50)}{205,74} * 100\% \quad D_{C-N} = \frac{(0,23)}{205,74} * 100\%$$

$$Da = 0,36\% \quad Db = 0,24\% \quad Dc = 0,11\%$$

Con los resultados obtenidos, podemos concluir que el desbalance de voltaje en las fases es mínimo.

4.4.2. *Análisis de Corriente*

El análisis de corriente realizado en el anterior capítulo se pudo comprobar que existe un desbalance en cada línea de lo permitido.

Para determinar el desbalance de corriente existente en el sistema eléctrico de la fábrica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{prom} = \frac{Ia + Ib + Ic}{3}$$

Ecuación 3-3

$$D = \frac{[(Ia - I_{prom}), (Ib - I_{prom}), (Ic - I_{prom})]}{I_{prom}}$$

Ecuación 4-3

Donde:

D = % desbalance

Ia, Ib, Ic = Magnitud de la corriente en cada fase (A)

Iprom = Magnitud promedio de la corriente (A)

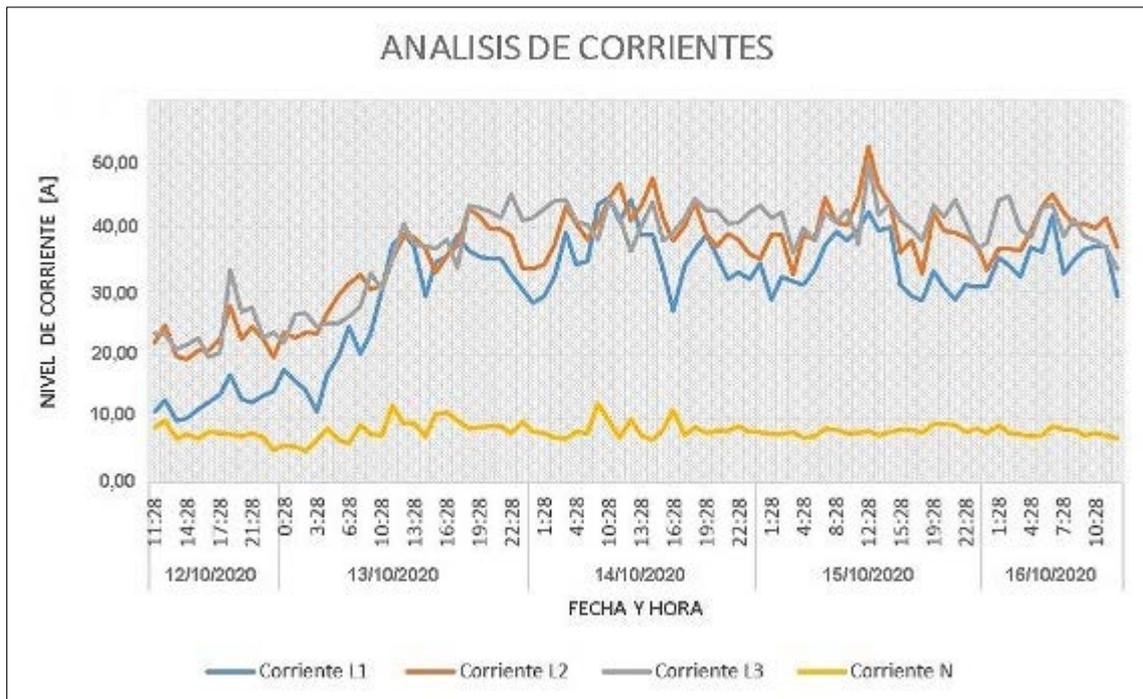


Grafico 3-3: Corriente fase actual de la fábrica
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 4-3: Análisis de corriente

Corriente	Máximo	Promedio	Mínimo
AA	47,57	28,87	10,17
AB	51,13	36,67	20,20
Ac	50,40	36,06	21,73
Aneutro	14,50	11,15	7,80

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Para calcular el desbalance de corriente utilizamos la ecuación 3-3 y la ecuación 4-3:

$$I_{prom} = \frac{Ia + Ib + Ic}{3}$$

$$I_{prom} = \frac{47,57 + 51,13 + 50,40}{3}$$

$$I_{prom} = 49,7 A$$

$$D = \frac{[(I_a - I_{prom}), (I_b - I_{prom}), (I_c - I_{prom})]}{I_{prom}}$$

$$D = \frac{[(47,57 - 49,7), (51,13 - 49,7), (50,40 - 49,7)]}{49,7}$$

$$D_a = \frac{(2,13)}{49,7} * 100\% \quad D_b = \frac{(1,43)}{49,7} * 100\% \quad D_c = \frac{(0,7)}{49,7} * 100\%$$

$$D_a = 4,29\% \quad D_b = 2,89\% \quad D_c = 1,40\%$$

Con los resultados obtenidos, podemos concluir que el desbalance de corriente es mínimo.

4.4.3. *Análisis del factor de potencia actual*

Dentro de los beneficios por tener el factor de potencia adecuado, es principalmente la disminución de las pérdidas en los conductores, es decir toda la potencia reactiva podría ya no estar circulando por el conductor alimentador o por el transformador y con esto podemos reducir las caídas de tensión, podemos también tener un aumento en la disponibilidad de potencia de transformadores, al liberar de carga de potencia reactiva, y al disminuir el exceso de corriente por temperatura o por las corriente de armónicos, podemos incrementar la vida útil de las instalaciones y también reducir los costos por facturación eléctrica.

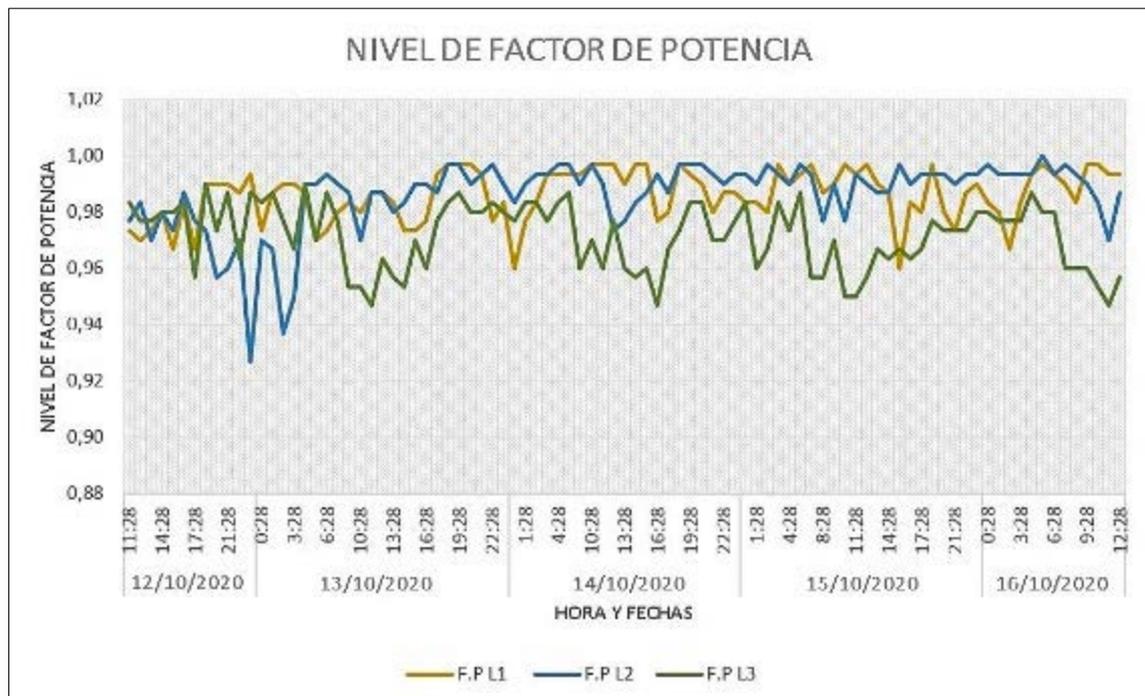


Gráfico 4-3: Factor de potencia actual de la fábrica
Realizado por: Tamami Carlos, 2020

Tabla 5-3: Análisis de Factor de potencia actual de la fábrica

Factor de Potencia	MIN	MED	MAX	CONELEC 004/01
F.P L1	0,93	0,99	1,00	Cumple con la regulación
F.P L2	0,92	0,99	1,00	Cumple con la regulación
F.P L3	0,93	0,97	0,99	Cumple con la regulación
F.P. PROMEDIO	0,93	0,98	1,00	Cumple con la regulación

Realizado por: Tamami Carlos, 2020

En el grafico 4-3 se puede observar el factor de potencia mayor a 0,92 la cumple con la regulación ARCONEL. El factor de potencia mayor a 0,92, ayuda a obtener beneficios para el sistema eléctrico de la fábrica, el principal beneficio será el de dejar de pagar penalización.

CONCLUSIONES

Al realizar un recorrido por las instalaciones de la fábrica se observó el deterioro de los componentes del sistema eléctrico, la misma que provoca bajo factor de potencia y problemas en el funcionamiento de los aparatos, lo cual representa una pérdida de dinero para la fábrica, esto conlleva a realizar una serie de actividades, cuya actividad permite alcanzar una mayor confiabilidad en los equipos, maquinas e instalaciones.

Para la protección al trabajador de las corrientes de fuga y mejorar la calidad energética de la fábrica, es imprescindible realizar la instalación de puesta a tierra, cuya actividad conlleva a efectuar el estudio del comportamiento del suelo como conductor eléctrico, si el suelo presenta un alto valor de resistencia es necesario tratar la tierra con electrolito con minerales, de esta manera las sobretensiones serán desfogadas hacia la tierra, de esta manera se garantiza, protección a los trabajadores de la fábrica y a los equipos.

El estudio realizado mediante el analizador de calidad de energía FLUKE 435 indica; una ineficiencia energética y bajo factor de potencia, la cual generaba aumento en las facturas y problemas de funcionamiento de los equipos.

El análisis de los parámetros eléctricos contribuye a determinar que las cargas de la fábrica son variables, tomando en cuenta el análisis se procede a realizar los cálculos para el banco de condensadores automático.

El banco de capacitores automático instalado en la fábrica es de 10KVAR, conectado en paralelo al tablero principal, realiza la función de compensar la potencia reactiva que demanda la fábrica logrando de esta manera alcanzar la eficiencia energética adecuada con un valor del factor de potencia por encima de lo permitido por la empresa generadora de electricidad.

El display del controlador de energía RTR indica; un valor de factor de potencia de 0,81 sin compensación y un valor de factor de potencia de 0,99 con compensación, esto demuestra que el banco de capacitores automático funciona eficientemente.

Se logró mejorar el factor de potencia y reducir los valores a pagar en la planilla.

RECOMENDACIONES

Realizar una renovación de los cables eléctricos del área de producción, debido al deterioro producido por el tiempo de utilización, además de un redimensionamiento de los conductores presentes en el área de mantenimiento.

El banco de capacitores automático es necesario que se encuentre libre de líquidos y materiales pesados que puedan ocasionar un mal funcionamiento.

Impedir al personal no calificado el acceso al cuarto donde se encuentra instalado el banco de capacitores automático, una mala maniobra puede causar el mal funcionamiento del banco de capacitores.

Revisión con frecuencia el estado del banco de condensadores, las conexiones en el tablero principal y todos los componentes de protección y control para detectar posibles fallos.

Realizar un mantenimiento continuo al tablero principal del sistema eléctrico y al tablero del banco de capacitores automático debido a la presencia de humedad en el ambiente, acumulación de partículas de polvo u oxidación de los contactos y ajuste de conexiones.

Con la realización del presente proyecto sirva para futuras investigaciones a favor de seguir mejorando el sistema eléctrico de la fábrica de quesos el SALINERITO.

GLOSARIO

Factor de potencia	Se define como la relación que existe entre la potencia activa y la potencia aparente.
Capacitores	Los condensadores son dispositivos pasivos simples que pueden almacenar una carga eléctrica en sus placas cuando se conectan a una fuente de voltaje.
Potencia reactiva	La potencia reactiva aparece por la existencia de bobinas y condensadores en los circuitos, genera campos magnéticos y eléctricos. No produce trabajo útil.
Controlador de factor de potencia	Es un dispositivo destinado al monitoreo de la potencia reactiva de una instalación eléctrica y al control del factor de potencia.
Corriente	Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material.
Potencia activa	Define como la cantidad de energía eléctrica transportada o consumida en una determinada unidad de tiempo aprovechada como potencia útil, su unidad de medida es Vatios (W).
Potencia aparente	Potencia aparente también llamada potencia total o compleja, es la suma fasorial de la potencia activa y la potencia reactiva, es designa con la letra S y su unidad de medida es el voltio amperio (VA).
Fluke 435	Dispositivo multifunción que mide los diferentes parámetros eléctricos de una instalación.
Dispositivo	Es un aparato o mecanismo que desarrolla determinadas acciones.
Carga inductiva	Las cargas inductivas son aquellas en la cual, la electricidad al circular por las bobinas generan un campo magnético necesario para su funcionamiento, este efecto produce el retraso de la corriente con respecto a la tensión 90° .
Carga Capacitiva	En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje 90° . Factor de potencia adelantado.
Carga resistiva	Al circular la corriente eléctrica por las cargas resistivas, genera energía calorífica o lumínica, la corriente se encuentra en fase con el voltaje,
Voltaje	Magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado.

BIBLIOGRAFÍA

ABB GROUP. "Cuadernos de aplicaciones técnicas". *Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas*. [En línea], 2014, (Barcelona) 8, pp. 9-58 [Consulta: 10 de septiembre de 2019.] Disponible en: <https://library.e.abb.com/public/94692336d412aa5fc1257316002342ba/2GCS215072A0050-RVT%20Modbus%20Manual%20es.pdf>

ABB GROUP. "Reguladores del Factor de Potencia". *Instrucción de instalación y funcionamiento*. [En línea], 2011, (Belgica) 1, pp. 4-10 [Consulta: 14 de septiembre de 2019.] Disponible en :<https://library.e.abb.com/public/94692336d412aa5fc1257316002342ba/2GCS215072A0050-RVT%20Modbus%20Manual%20es.pdf>.

ARCONEL-053/18, *Regulacion No. ARCONEL-005-2018*. 2019. *Reglamento que estipula la regulación para la calidad del servicio eléctrico según los niveles de voltaje*.

CNELEP, *Geoportal CNELEP*. [en línea], 2019. Disponible en: <https://geoportal.cnelep.gob.ec/cnel/>.

FLUKE CORPORATION, FLUKE 435 SERIES II. *Características principales del analizador de calidad eléctrica y energía 435II* [en línea], 2012. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435>.

GRUPPO SALINAS, *Datos de la planta procesadora de lácteos*. [en línea], 2020. Disponible en: <https://salinerito.com/inicio/>.

LLUMIQUINGA LOYA, Fredy Santiago. Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Ecuador. 2012. pp. 18-50.[Consulta: 1 de noviembre del 2019]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1888>.

RTR ENERGIA. "Manual e instrucciones de montaje". *Regulador de energía reactiva PR-11D12*. [En línea], 2019, (Madrid) 1, pp. 1-2. [Consulta: 5 de enero del 2020.] Disponible en: http://rtrenergia.es/wp-content/uploads/2015/12/PR11_ESPANOL.pdf.

HENRIQUEZ SANTANA, Daniel. *Diseño una malla a tierra en 7 pasos*. [En línea], 2003, (Chile) 1, pp. 4-7. [Consulta 5 de enero del 2020]. Disponible en: https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-05-27_10-16-26134910.pdf.

SEBASTIAN GUEDEL, Jose Maria & GONZALES DOMINGUEZ, Pedro. *Instalaciones electricas interiores: Puesta a tierra de las instalaciones.* [En línea]. Barceona-España: Marcombo & Altamar, 2009. [Consulta 6 de enero del 2020]. Disponible en: <http://www.marcombo.com/Descargas/8496334147-INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE INTERIOR/UNIDAD 10.pdf>.

ROSERO ROSERO, Edison Alexander. Correccion del factor de potencia en micro-redes electricas ante el peligro de resonancia por alta penetracion de cargas no lineales [En linea] (Trabajo de titulacion). (Ingenieria) Universidad politecnica Salesiana sede Quito, Facultad de ingenieria, Carrera de ingenieria electrica, Ecuador. 2020. pp. 4-19.[Consulta: 1 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19390/1/UPS%20-%20TTS201.pdf>.

VELASQUEZ MOREIRA, Patricio Raul. Analisis e implementacion de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia en una industria de reciclaje de plasticos [En linea] (Trabajo de titulacion). (Ingenieria) Escuela Superior Politecnica del Litoral, Facultad de ingenieria en electricidad y computación, Carrera de ingeniero en electricidad especialización electronica y automatización industrial, Ecuador. 2016. pp. 4-54.[Consulta: 5 de febrero del 2020] Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/97453/D-103541.pdf>

CHAMORRO BAYAS, Johny Henry. Auditoría electrica en editorial Ecuador [En linea] (Trabajo de titulacion). (Ingenieria) Universidad politécnica Nacional, Facultad de ingenieria eléctrica, Carrera de ingenieria electrica, Ecuador. 2011. pp. 8-60.[Consulta: 5 de Marzo del 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3782/1/CD-3562.pdf>.

ARCOS LOPEZ, Esteban Ricardo & CHICAIZA DIAZ, Diego Moisés. Diseño y construcción de un tablero de control automático para la corrección del factor de potencia, empleando un módulo DCRA. [En linea] (Trabajo de titulacion). (Ingenieria) Universidad politécnica Nacional, Escuela de formación de tecnólogos, Carrera de tecnólogo en electromecánica, Ecuador. 2015. pp. 3-75.[Consulta: 10 de Marzo del 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10583/1/CD-6261.pdf>.

WEG EQUIPAMENTOS ELECTRICOS S.A. *Banco de capacitores; corrección del factor de potencia - 60 HZ.* [En linea], 2009, (Brasil) 1, pp. 1-11. [Consulta: 10 de enero del 2020.] Disponible en: www.weg.net/bancodecapacitores/factordepotencia-60hz.

RUELAS GOMEZ, Roberto. *Factor de potencia de desplazamiento.* [En linea], 2013, (Mexico) 1, pp. 2-17. [Consulta: 18 de enero del 2020.] Disponible en: https://www.ruelsa.com/notas/rt/rt126_factordepotencia.pdf.

DUCATY ENERGIA. *Manual de instrucciones ducati-Energía REGO* . [En línea], 2004, (Mexico) 1, pp. 2-50. [Consulta: 20 de enero del 2020.] Disponible en: <http://www.ducatienergia.it/media/products/140128-1618-rego-401-d-e-f-i-s-user-manual.pdf>.

CHACON GOMEZ, Julio César. Estudio de armónicos y factor de potencia en un grupo de grandes clientes del estado nueva esparta. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Simón Bolívar, Facultad de ingeniería eléctrica, Carrera de ingeniero de electricista, Venezuela. 2006. pp. 17-20 .[Consulta: 2 de febrero del 2020]. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000133476.pdf>

ARCONEL-038/15, *Pliego tarifario para empresas eléctricas. 2015. Tarifa de media tensión con registrador de demanda horaria.*

SCHNEIDER ELECTRIC S.A. *Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos* [En línea], 2019, (Barcelona) 1, pp7-28. [Consulta: 2 de mayo del 2020.]. Disponible en: https://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=ESMKT01182E19_SE_compensacion-energia-2019+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=ESMKT01182A16.

INTERNACIONAL CAPACITOR S.A, "Notas Técnicas de Aplicación" *Condensadores para electrónica de Potencia* [En línea], 2018, (Barcelona) 1, pp1-1. [Consulta: 28 de enero del 2020.]. Disponible en: https://lifasa.com/pdf/Condensadores_electronica_de_potencia.pdf.

INTERNACIONAL CAPACITOR S.A, "Notas Técnicas de Aplicación" *Corrección del factor de potencia* [En línea], 2018, (Barcelona) 1, pp1-10. [Consulta: 29 de enero del 2020.]. https://lifasa.com/pdf/CORRECCI%C3%93N_FACTOR_POTENCIA.pdf.

INTERNACIONAL CAPACITOR S.A, "Notas Técnicas de Aplicación" *Vida de los condensadores de Potencia* [En línea], 2018, (Barcelona) 1, pp1-1. [Consulta: 27 de enero del 2020.]. Disponible en: https://lifasa.com/pdf/VIDA_CONDENSADORES_POTENCIA.pdf

INTERNACIONAL CAPACITOR S.A, "Notas Técnicas de Aplicación" *Calentamiento de las baterías de condensadores* [En línea], 2018, (Barcelona) 1, pp1-7. [Consulta: 21 de junio del 2020.]. Disponible en: https://lifasa.com/pdf/CALENTAMIENTO_BATER%C3%8DAS_CONDENSADORES.pdf.

VASQUEZ, Rafael. *Filtrado de armónicos* [En línea]. [Consulta: 25 de enero del 2020.] Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=121>.

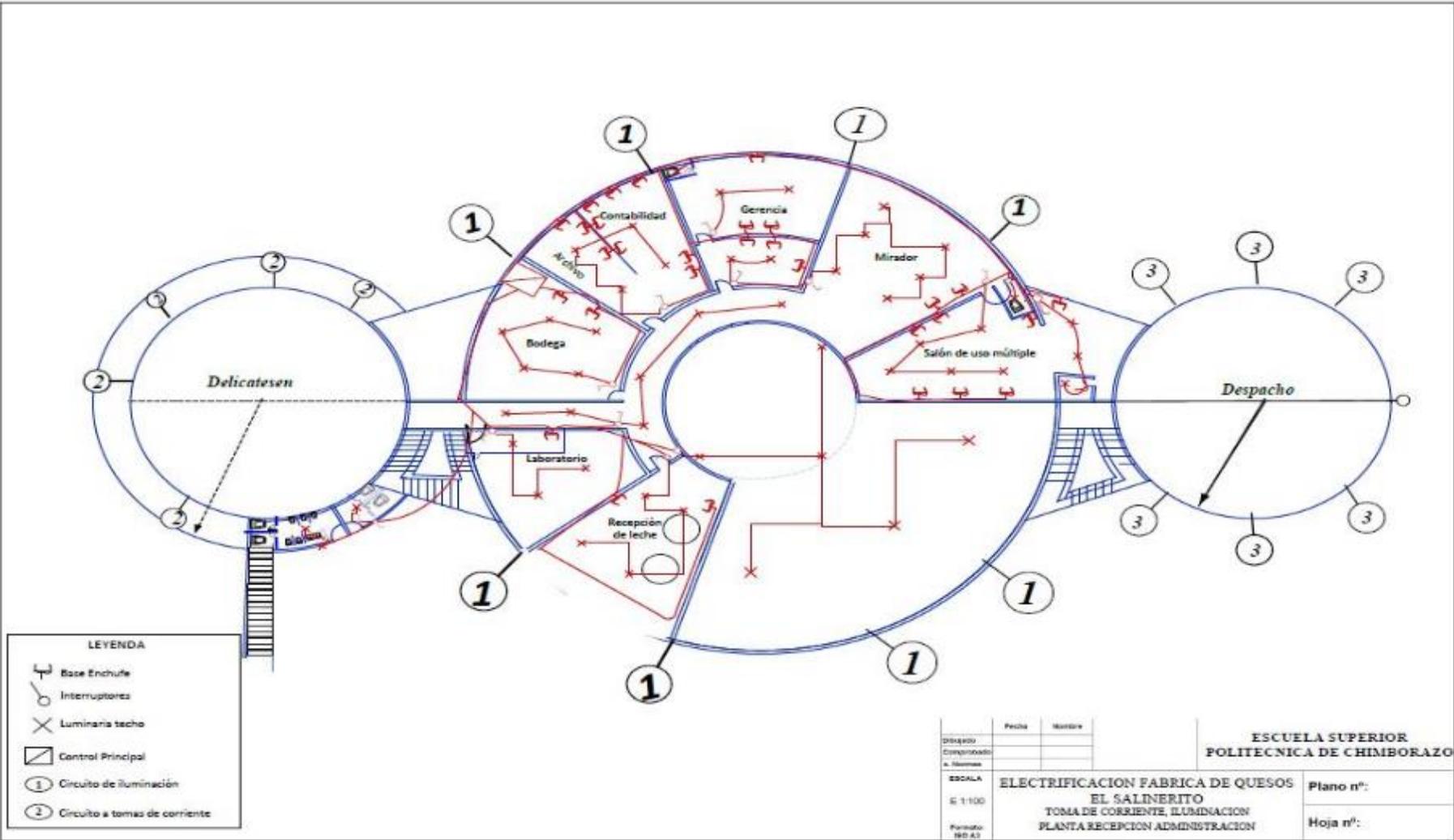
ANEXOS

ANEXO A: Tabla de AWG

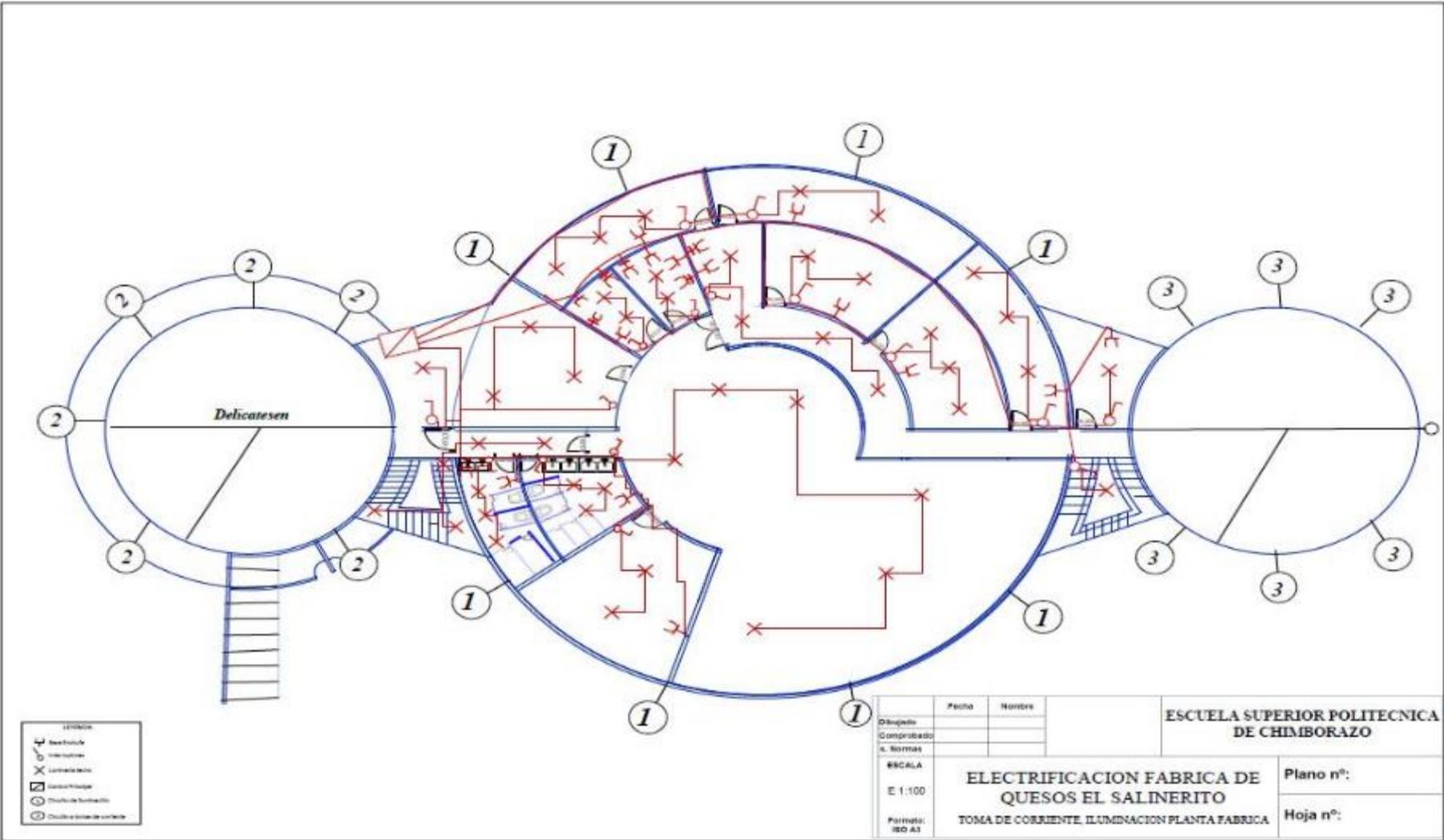
1 CM = 1 Circ. mil = 0,0005067 mm²

Nº AWG	Sección del cable mm ²	Diámetro del cable Ø mm	Resistencia cond. en Ω/km
1000 MCM	507	29,3	0,036
900	456	27,8	0,04
750	380	25,4	0,048
600	304	22,7	0,061
550	279	21,7	0,066
500	253	20,7	0,07
450	228	19,6	0,08
400	203	18,5	0,09
350	177	17,3	0,10
300	152	16,0	0,12
250	127	14,6	0,14
4/0	107,2	11,68	0,18
3/0	85,0	10,40	0,23
2/0	67,4	9,27	0,29
0	53,4	8,25	0,37
1	42,4	7,35	0,47
2	33,6	6,54	0,57
3	26,7	5,83	0,71
4	21,2	5,19	0,91
5	16,8	4,62	1,12
6	13,3	4,11	1,44
7	10,6	3,67	1,78
8	8,34	3,26	2,36
9	6,62	2,91	2,77
10	5,26	2,59	3,64
11	4,15	2,30	4,44
12	3,31	2,05	5,41
13	2,63	1,83	7,02
14	2,08	1,63	8,79
15	1,65	1,45	11,2
16	1,31	1,29	14,7

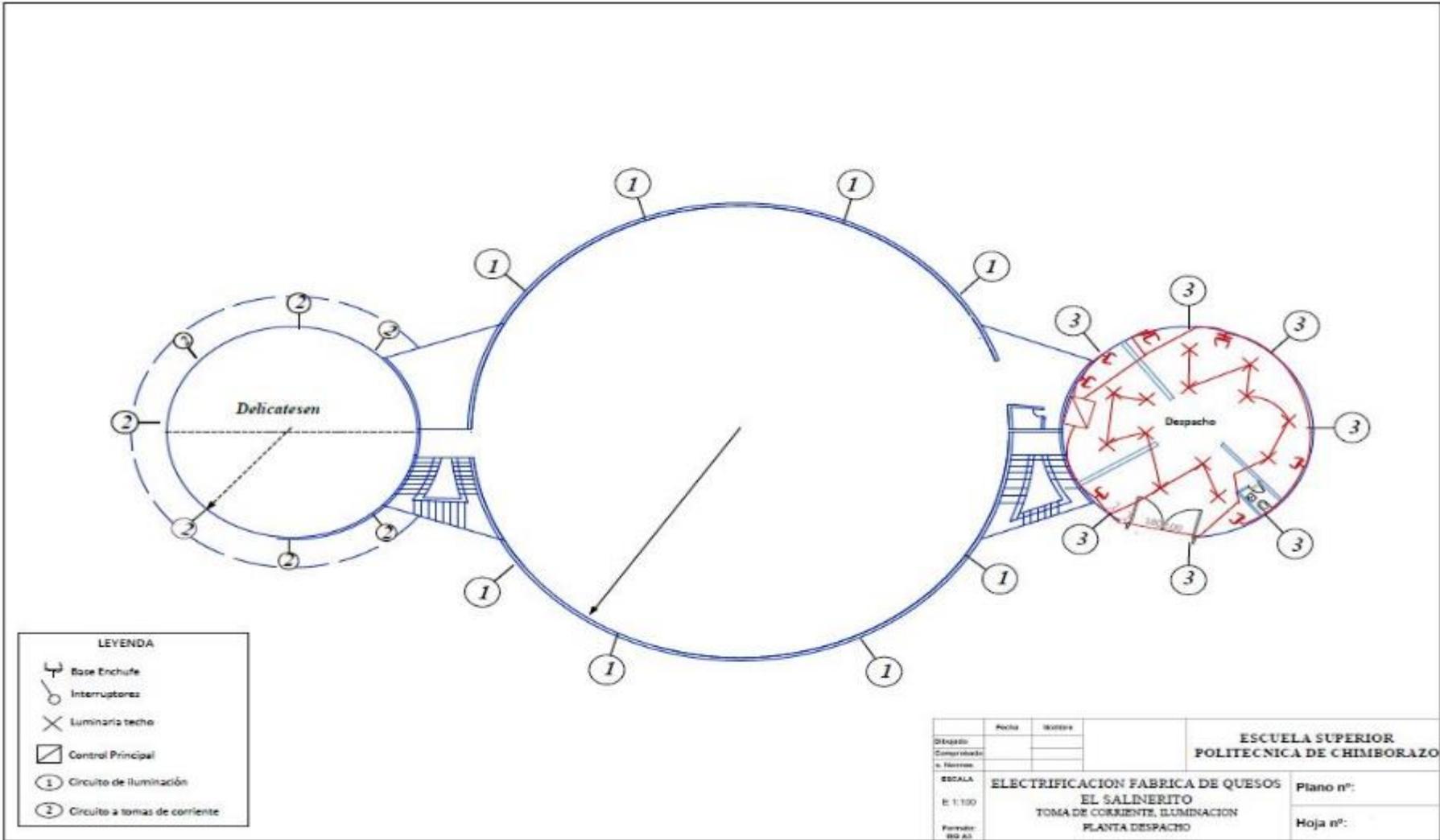
ANEXO C: Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta Administración



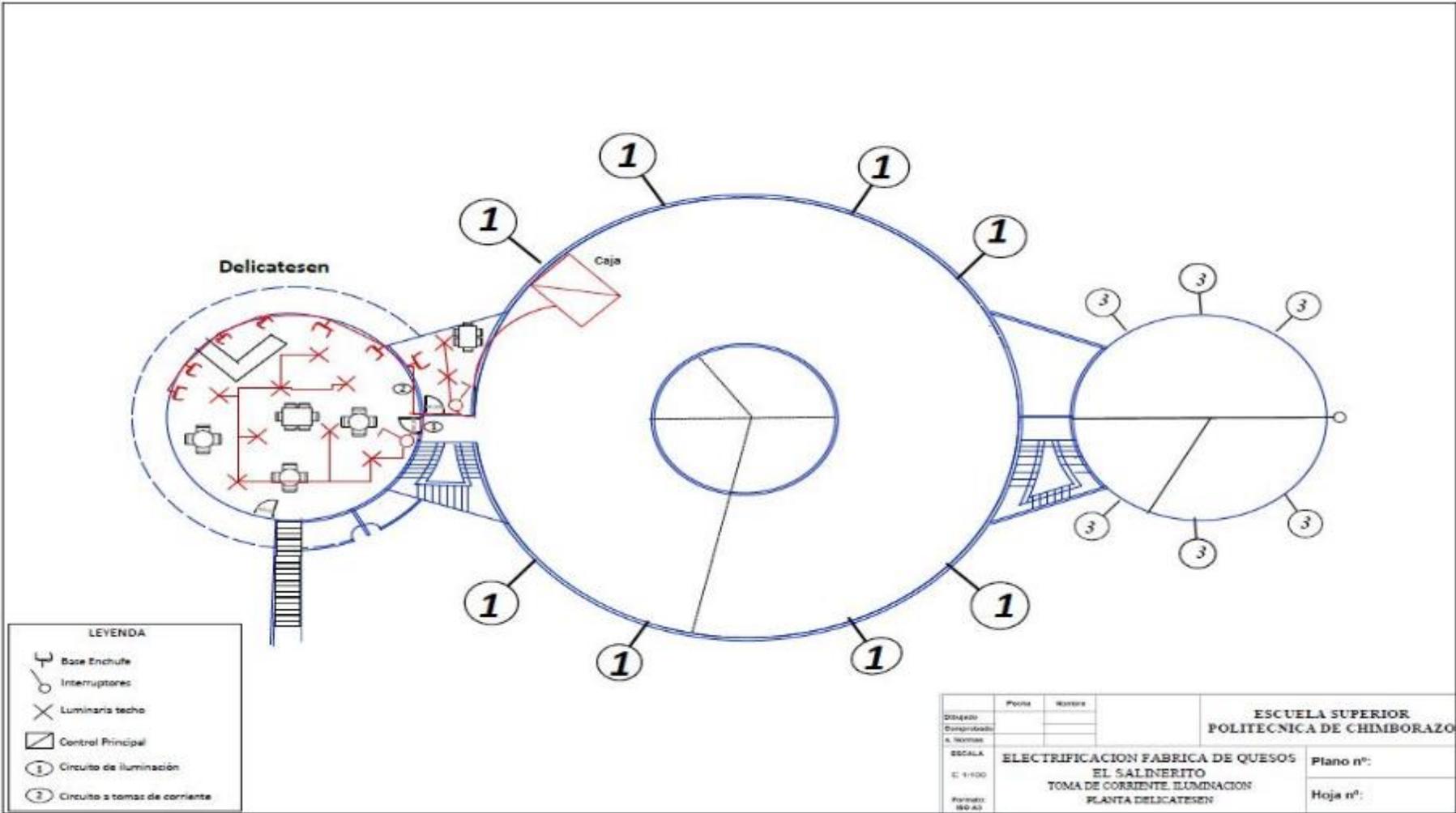
ANEXO D: Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta Fabrica



ANEXO E: Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta despacho



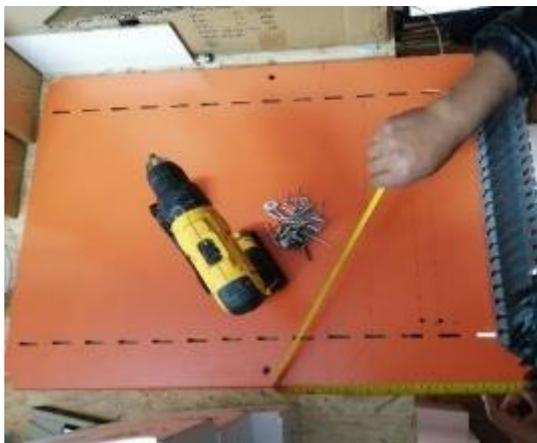
ANEXO F: Esquema eléctrico de toma corrientes, iluminación, Planta Delicatesen



ANEXO G: Tabla de especificaciones de conductores

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	ESPESOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO CABLE	ALTERNAT. DE EMBALAJE.
20	0,519	1 x 0,813	0,38	0,10	1,77	7,07	15	10	TRN	A,B
18	0,823	1 x 1,02	0,38	0,10	1,98	10,94	15	10	TRN	A,B
16	1,31	1 x 1,29	0,38	0,10	2,25	16,48	20	15	TRN	A,B
14	2,08	1 x 1,63	0,38	0,10	2,59	23,17	35	25	THHN	A,B
12	3,31	1 x 2,05	0,38	0,10	3,01	34,16	40	30	THHN	A,C
10	5,26	1 x 2,59	0,51	0,10	3,81	55,04	55	40	THHN	A,D
8	8,34	1 x 3,26	0,76	0,13	5,04	91,22	80	55	THHN	A,B
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	17,95	20	15	TRN	A,B
14	2,08	19 x 0,38	0,38	0,10	2,86	23,80	35	25	THHN	A,B
12	3,31	19 x 0,47	0,38	0,10	3,31	35,70	40	30	THHN	A,C
10	5,26	19 x 0,60	0,51	0,10	4,22	56,20	55	40	THHN	A,D
8	8,37	7 x 1,23	0,76	0,13	5,47	93,70	80	55	THHN	A,B,E
6	13,30	7 x 1,55	0,76	0,13	6,43	141,30	105	75	THHN	A,E
4	21,15	7 x 1,96	1,02	0,15	8,22	227,60	140	95	THHN	A,E
2	33,62	7 x 2,47	1,02	0,15	9,75	348,10	190	130	THHN	A,E
1	42,36	7 x 2,78	1,27	0,18	11,24	446,20	220	150	THHN	A,D,E
1/0	53,49	19 x 1,89	1,27	0,18	12,35	553,30	260	170	THHN	D,E,Z
2/0	67,43	19 x 2,12	1,27	0,18	13,50	688,70	300	195	THHN	D,E,Z
3/0	85,01	19 x 2,39	1,27	0,18	14,85	856,80	350	225	THHN	D,E,Z
4/0	107,20	19 x 2,68	1,27	0,18	16,30	1069,50	405	260	THHN	D,E,Z
250	127,00	37 x 2,09	1,52	0,20	18,07	1263,00	455	290	THHN	Z
300	152,00	37 x 2,29	1,52	0,20	19,47	1502,00	505	320	THHN	Z
350	177,00	37 x 2,47	1,52	0,20	20,73	1743,00	570	350	THHN	Z
400	203,00	37 x 2,64	1,52	0,20	21,92	1981,00	615	380	THHN	Z
500	253,00	37 x 2,95	1,52	0,20	24,09	2457,00	700	430	THHN	Z
600	304,00	37 x 3,23	1,78	0,23	26,63	2960,00	780	475	THHN	Z
650	329,00	37 x 3,37	1,78	0,23	27,61	3221,00	820	500	THHN	Z
700	355,00	37 x 3,49	1,78	0,23	28,45	3453,00	855	520	THHN	Z

ANEXO H: Montaje y cableado del banco automático de capacitores



ANEXO I: Instalación Puesta a tierra

