

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**



CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“LEVANTAMIENTO, REDISEÑO Y AUDITORÍA
ENERGÉTICA INTERNA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA
EMPRESA CEREALES LA PRADERA, PARA OPTIMIZAR LA
CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**

**NÉSTOR LEONIDAS CHUQUITARCO YACCHIREMA
STALIN LEONARDO ORTIZ RUBIO**

**Tesis presentada como requisito previo a la obtención del
grado de:**

INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

Año 2012

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado: **“LEVANTAMIENTO, REDISEÑO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA INTERNA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA CEREALES LA PRADERA, PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**, ha sido desarrollado en su totalidad por los señores: Chuquitarco Yacchirema Néstor Leonidas con C.I. 050296919-9 y Ortiz Rubio Stalin Leonardo con C.I. 050285539-8, bajo nuestra dirección.

Ing. Pablo Mena
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Washington Freire
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

ING. PABLO MENA (DIRECTOR)
ING. WASHINGTON FREIRE (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“LEVANTAMIENTO, REDISEÑO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA INTERNA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA CEREALES LA PRADERA, PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA”** realizado por los señores: CHUQUITARCO YACCHIREMA NÉSTOR LEONIDAS y ORTIZ RUBIO STALIN LEONARDO ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan a los señores: CHUQUITARCO YACCHIREMA NÉSTOR LEONIDAS y ORTIZ RUBIO STALIN LEONARDO que lo entregue al ING. WILSON SÁNCHEZ, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Marzo del 2012.

Ing. Pablo Mena
DIRECTOR

Ing. Washington Freire
CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, CHUQUITARCO YACCHIREMA NÉSTOR LEONIDAS
ORTIZ RUBIO STALIN LEONARDO,

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**LEVANTAMIENTO, REDISEÑO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA INTERNA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA CEREALES LA PRADERA, PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA**” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Marzo del 2012.

CHUQUITARCO YACCHIREMA NÉSTOR L.
C.I. N° 050296919-9

ORTIZ RUBIO STALIN L.
C.I. N° 050285539-8

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, CHUQUITARCO YACCHIREMA NÉSTOR LEONIDAS
ORTIZ RUBIO STALIN LEONARDO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**LEVANTAMIENTO, REDISEÑO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA INTERNA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA CEREALES LA PRADERA, PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de NUESTRA exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Marzo del 2012.

CHUQUITARCO YACCHIREMA NÉSTOR L.
C.I. N° 050296919-9

ORTIZ RUBIO STALIN L.
C.I. N° 050285539-8

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, fuerza, carácter y salud para alcanzar las metas y sueños de mi vida, a la Santísima Virgen María por iluminarme y darme la sabiduría y fortaleza para culminar este proyecto.

A mis queridos padres Leonidas e Imelda, quienes siempre confiaron en mí, por su tolerancia su apoyo, sus consejos, su amor y guiaron mi camino en las buenas y en las malas, por haberme dado con su sacrificio y trabajo, la posibilidad de disponer del tiempo necesario para estudiar, han sido un ejemplo de honestidad, honradez, esfuerzo y perseverancia. A Uds. debo lo que soy.

A mis queridas hermanas Yolanda y Sonia, por sus palabras de fe y sabios consejos; para ellos mi respeto y admiración, a mis sobrinos Anthony y Alejandro, que me dieron ese carisma de alegría en los momentos más difíciles, con sus ejemplos de inocencia y alegría he logrado culminar mis objetivos.

Mi gratitud y respeto para los Ingenieros Pablo Mena y Washington Freire director y codirector del proyecto, por brindarnos sus conocimientos, criterios, consejos, paciencia y sobre todo por su valioso tiempo que han servido para que este estudio culmine con éxito.

A mis amigos, y profesores de la Escuela Politécnica del Ejército por los momentos inolvidables que hemos compartido durante los años de estudio y finalmente a la empresa Cereales la Pradera, que nos abrió sus puertas y nos permitieron poder desarrollar el presente trabajo.

Néstor Chuquitarco

AGRADECIMIENTO

A mi Dios por guiarme y darme fuerza, valor y sobre todo salud para poder lograr las metas y sueños de mi vida, a mi Bendito Niñito de Isinche por iluminarme y brindarme la fuerza y sabiduría para poder culminar este gran proyecto que será mi futuro.

A mis queridos padrecitos Leonardo y Marcia, quienes me supieron apoyar incondicionalmente y confiaron en mí en este gran paso de mi vida, a mi hermanita Anita por sus consejos y que siempre me ha apoyado en todo con amor, a mi sobrinito Camilito mi angelito que me dio un motivo más para seguir esforzándome, a mi Cuñado Camilo por toda su ayuda. Gracias a todos por su apoyo, tolerancia, amor y consejos que me brindaron y supieron guiarme en este mi camino de la vida en las buenas y en las malas por haberme dado con su esfuerzo y trabajo, la posibilidad de disponer del tiempo necesario para mis estudios, mi familia ha sido y será un ejemplo de trabajo, honestidad, esfuerzo y apoyo incondicional. A Uds. Mi Familia les debo lo que soy.

Mi gratitud y respeto a los Ingenieros Pablo Mena y Washington Freire director y codirector del proyecto, por habernos proporcionado con sus conocimientos, experiencias, consejos, paciencia y por ese valioso tiempo que se nos dedicó para la culminación del estudio con éxito.

A mis compañeros, amigos, y profesores de la Escuela Politécnica del Ejército por todos esos momentos inolvidables compartidos durante el tiempo de estudio y finalmente a la empresa Cereales la Pradera, que nos abrió sus puertas para el desarrollo del trabajo.

Stalin Ortiz

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios y a la Santísima Virgen María, que me bendicen cada día; con todo cariño y admiración dedico éste trabajo a toda mi familia, de manera especial a mis queridos padres Leonidas e Imelda, por nunca rendirse y ser tan trabajadores, por hacer hasta lo imposible para que nunca me falte nada, ejemplo de sacrificio y perseverancia a quienes amo y respeto profundamente; a mis sobrinos y a mis hermanas compañeras inseparables durante mi vida por su ayuda valiosa por depositar su confianza y sobre todo creer en mí, pues fueron y serán mi fuente de inspiración y deseos de triunfar en la vida.

A todas aquellas personas que confiaron en mí y estuvieron conmigo en alguna etapa de mi carrera formando mi carácter, experiencia y pensamiento, a Erika quien incondicionalmente estuvo a mi lado brindándome cariño y comprensión cuando más lo necesitaba, este logró también es para ella.

Néstor Chuquitarco

DEDICATORIA

El presente lo dedico a Dios y a mi Bendito Niñito de Isinche, que me iluminan y bendicen cada día; con gran amor dedico éste trabajo a toda mi familia, mis padrecitos Leonardo y Marcia, por ser mi ejemplo de lucha y perseverancia, por todo su trabajo incansable para poder darme lo necesario y estar pendientes de que nunca me falte nada, a mi hermanita, sobrinito y cuñado que son mi ayuda indispensable para alcanzar todas mis metas y sueños, a Dianita por su compañía, ayuda y comprensión. A todos por haberme guiado y deseado con cariño este que es un gran triunfo en mi vida.

A mi familia gracias por confiar en mí, y todos aquellos que en algún momento me supieron brindar su ayuda formando en mí un profesional con honor, pensamiento y sobre todo alguien sincero.

Stalin Ortiz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Pág.
CERTIFICACIÓN	I
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
ANEXOS	XXII
RESUMEN	XXIV
ABSTRACT	XXV
ANTECEDENTES	XXVI
OBJETIVO GENERAL	XXVII
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XXVII
JUSTIFICACIÓN	XXVII
ALCANCES Y METAS	XXVIII
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 DEFINICIÓN DE REDISEÑO	2

1.3 PARÁMETROS TÉCNICOS DEL REDISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	2
1.3.1 REQUERIMIENTOS DE CARGA	3
1.3.2 ESPECIFICACIONES.....	3
1.3.3 VIDA DE UNA INSTALACIÓN	3
1.3.4 MANTENIMIENTO.....	4
1.4 DIAGRAMAS UNIFILARES	4
1.5 ELEMENTOS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.....	5
1.5.1 CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	5
1.5.1.1 Capacidad de conducción de corriente	6
1.5.1.2 Caída de voltaje	6
1.5.1.3 Capacidad para soportar la corriente de cortocircuito.....	7
1.5.1.4 Calibre mínimo permitido	7
1.5.2 ILUMINACIÓN	7
1.5.3 TABLEROS ELÉCTRICOS.....	8
1.5.4 APARATOS DE MEDICIÓN	8
1.6 CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS Y ALIMENTADORES PARA MOTORES ELÉCTRICOS.....	9
1.7 CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO.....	10
1.7.1 CONCEPTO Y ORIGEN DEL CORTOCIRCUITO	10
1.7.2 FUENTES DE CORTOCIRCUITO.....	11
1.7.3 TIPOS DE CORTOCIRCUITO.....	11
1.8 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES	13
1.8.1 MÁRGENES DE COORDINACIÓN	13

1.8.2 COORDINACIÓN DE INTERVALOS DE TIEMPO	14
1.9 APARATOS DE MANIOBRA Y CORTE	14
1.9.1 TIPOS DE APARATOS DE CORTE	15
1.10 CALIDAD DE ENERGÍA	15
1.10.1 BALANCE DE FASES	16
1.10.1.1 Límites	16
1.10.1.2 Causas	16
1.10.1.3 Efectos	17
1.10.2 DISTORSIÓN PERIÓDICA DE LA ONDA FUNDAMENTAL	17
1.10.3 VARIACIONES DE TENSIÓN	18
1.10.4 VARIACIONES DE FRECUENCIA	18
1.11 NORMALIZACIÓN SEGÚN EL CONELEC	18
1.11.1 REGULACIÓN 004/01: CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN	18
1.11.1.1 Nivel de Voltaje	19
1.11.1.2 Parpadeo (Flicker)	19
1.11.1.2.1 Límites	20
1.11.1.3 Armónicos	20
1.11.1.3.1 Límites	20
1.11.2 FACTOR DE POTENCIA	21
1.11.2.1 Límite	21
1.11.2.2 Triángulo de potencias	22
1.11.2.3 Cargos por bajo factor de potencia	23
1.11.2.4 Causas del Bajo Factor de Potencia	23

1.11.2.5 Ventajas de corregir el factor de potencia.....	24
1.11.2.6 Compensación del factor de potencia.....	24
1.11.2.6.1 Compensación General	25
1.11.2.6.2 Compensación Parcial	25
1.11.2.6.3 Compensación Individual	26
1.11.3REGULACIÓN 003/08: CALIDAD DEL TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD Y DEL SERVICIO DE TRANSMISIÓN	27
1.12 FACTOR DE DEMANDA	28
1.13 AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA.....	28
1.13.1OBJETIVO DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA.....	28
1.13.2CONCEPTOS DE AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA	28
1.13.3TIPOS DE AUDITORIAS ENERGÉTICAS ELÉCTRICAS	29
1.13.3.1 Vista de Inspección.....	29
1.13.3.2 Mini – Auditoría	30
1.13.3.3 Maxi – Auditoria	30
1.14 METODOLOGÍA PARA EL REDISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	30
1.14.1RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	30
1.14.2LEVANTAMIENTO DE PLANOS Y DIAGRAMAS UNIFILARES ...	31
1.14.3DETERMINACIÓN DE LA CARGA INSTALADA.....	32
1.14.4ANÁLISIS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA	32
1.14.5ANÁLISIS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	32
1.15 METODOLOGÍA DE LA AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA..	33
1.15.1PASOS PARA DESARROLLAR LA METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA	33

1.15.1.1 Vista de Inspección	34
1.15.1.2 Mini – Auditoria Energética Eléctrica.....	35
1.15.1.3 Maxi – Auditoria Energética Eléctrica.....	35

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y LEVANTAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA” 37

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	37
2.2 ZONIFICACIÓN DE LA EMPRESA CEREALES LA PRADERA.....	37
2.2.1 SECCIONES Y ÁREAS DE TRABAJO.....	37
2.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EXISTENTE	39
2.4 LEVANTAMIENTO DE PLANOS Y DIAGRAMAS UNIFILARES DE MEDIA TENSIÓN.....	39
2.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”.....	39
2.4.2 PROTECCIONES INSTALADAS EN LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN Y EN EL TRANSFORMADOR	40
2.4.2.1 Punto de alimentación de la red primaria.....	40
2.5 LEVANTAMIENTO DE DIAGRAMAS UNIFILARES DE BAJA TENSIÓN.....	41
2.5.1 PROTECCIONES INSTALADAS.....	41
2.6 HOJAS TÉCNICAS DE CARGA INSTALADA Y CONSUMO DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS.....	42

2.6.1 POTENCIA O CAPACIDAD INSTALADA.....	42
2.6.1 CONSUMO ELÉCTRICO DE EQUIPOS Y MAQUINAS.....	50
2.7 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CARGA CON LOS RESULTADOS DEL ANALIZADOR POWERPAD AEMC 3945-B.....	55
2.8 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DE POTENCIAS CALCULADA.	55
2.9 CAPACIDAD DE RESERVA DEL TRANSFORMADOR	58
2.10 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DEMANDA.....	58
2.11 ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA.....	59
2.11.1TRANSFORMADOR.....	59

CAPÍTULO III

REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA CEREALES “LA PRADERA”

61

3.1 ANÁLISIS PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN	61
3.2 REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA CEREALES “LA PRADERA”	61
3.2.1 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE FLUJOS DE CARGA MEDIANTE SOFTWARE.....	62
3.2.1 SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO.....	64
3.3 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO CALCULADA	67
3.4 ANÁLISIS Y REDISEÑO DE CONDUCTORES	69
3.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES.....	70

3.4.1.1	Por corriente nominal	70
3.4.1.2	Por caída de tensión	77
3.4.1.3	Por corrientes de corto circuito.....	84
3.4.1.4	Por coordinación	90
3.5	SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CORTE Y PROTECCIÓN	92
3.5.1	SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO.....	92
3.5.1	SELECCIÓN DE FUSIBLES.....	98
3.6	COORDINACIÓN DE PROTECCIONES	103
3.6.1	COORDINACIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN TERMOMAGNÉTICO - FUSIBLE	103
3.6.2	COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ACTUAL Y REDISEÑO.....	106

CAPÍTULO IV

AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA INTERNA DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA” 108

4.1	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA AUDITORIAS ENERGÉTICAS ELÉCTRICAS	108
4.2	VISTA DE INSPECCIÓN	108
4.2.1	VISITA A LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”	108
4.3	MINI – AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA	109
4.3.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”	109
4.3.2	ANÁLISIS DE LA POTENCIA INSTALADA	112

4.3.3 LEVANTAMIENTO DE DIAGRAMAS UNIFILARES	113
4.3.4 MEDICIONES EFECTUADAS EN LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”	114
4.4 MAXI – AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA.....	115
4.4.1 ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE CARGA OBTENIDAS EN LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”	115
4.4.2 ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”	115
4.4.2.1 Estado Actual del Sistema Eléctrico de la Empresa “Cereales la Pradera”.....	115
4.4.2.2 Distribución de consumo de energía eléctrica en KW-h.....	121
4.4.3 OPTIMIZACIÓN.....	125
4.4.3.1 Propuestas de solución para caídas de voltaje y pérdidas de energía en conductores.	125
4.4.3.2 Pérdidas totales con los conductores actualmente instalados en comparación con los conductores sugeridos	131
4.4.3.3 Corrección del factor de potencia.....	133
CAPÍTULO V	135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
5.1 CONCLUSIONES.....	135
5.2 RECOMENDACIONES	137
BIBLIOGRAFÍA.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO I	
Figura 1.1: Conductor eléctrico de un hilo conductor	6
Figura 1.2: Aparatos de medición	9
Figura 1.3: Parámetros de la onda senoidal	16
Figura 1.4: Red trifásica desbalanceada.....	17
Figura 1.5: Triángulo de potencias.....	22
Figura 1.6: Compensación General	25
Figura 1.7: Compensación Parcial	26
Figura 1.8: Compensación Individual.....	27
CAPÍTULO II	
Figura 2.1: Curva de carga del Centro de Transformación	55
Figura 2.2: Curva de carga con el consumo calculado	57
Figura 2.3: Analizador de calidad de energía trifásico PowerPad Modelo 3945-B	59
CAPÍTULO III	
Figura 3.1: Esquema del sistema eléctrico de la empresa CEREALES “LA PRADERA”	63
Figura 3.2: Esquema Sistema eléctrico, fallas de cortocircuito	64
Figura 3.3: Diagrama MVA	67

Figura 3.4: Características de sobrecarga permisible para conductores de cobre (Tipo 75 °C) con aislamiento de termoplástico	85
Figura 3.5: Características de sobrecarga permisible para conductores de cobre (Tipo 75 °C) con aislamiento de termoplástico (Coordinación).....	90
Figura 3.6: Curvas características de selección de Interruptor Termomagnético	94
Figura 3.7: Curvas características de selección del Fusible	100
Figura 3.8: Curvas Características de Coordinación Interruptor Termomagnético - Fusible	104
Figura 3.9: Curvas Características de Comparación de Coordinación Interruptor Termomagnético – Fusible, Actual y Rediseño	106

CAPÍTULO IV

Figura 4.1: Historial de la energía consumida durante el mes de mayo del 2010 a abril del 2011	111
Figura 4.2: Historial de la demanda de potencia durante el mes de mayo del 2010 a abril del 2011.....	111
Figura 4.3: Distribución de la carga instalada por áreas de proceso, en porcentaje	113
Figura 4.4: Pérdidas en conductores actuales	132
Figura 4.5: Pérdidas en conductores sugeridos.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

CAPÍTULO I

Tabla 1.1: Valores límites de Armónicos.....	21
Tabla 1.2: Límites para contenido armónico de corrientes (IEEE 519)	27

CAPÍTULO II

Tabla 2.1: Secciones y Áreas de Trabajo	38
Tabla 2.2: Descripción del Alimentador de Media Tensión	39
Tabla 2.3: Características del Transformador Instalado	40
Tabla 2.4: Descripción de la Protección en el Punto de Alimentación	41
Tabla 2.5: Información de Carga Instalada, Sección Producción	43
Tabla 2.6: Información de Carga Instalada, Sección Molinos y Clasificación de Granos	45
Tabla 2.7: Información de Carga Instalada, Sección Secado y Enfundadoras.....	46
Tabla 2.8: Información de Iluminación	47
Tabla 2.9: Información de Equipos de Oficina y Cocina	49
Tabla 2.10: Información de Consumo Eléctrico de Máquinas, Sección Producción.....	51
Tabla 2.11: Información de Consumo Eléctrico de Máquinas, Sección Molinos y Clasificación de Granos	53
Tabla 2.12: Información de Consumo Eléctrico de Máquinas, Sección Secado y Enfundadoras.....	54

Tabla 2.13: Información de Consumo de Máquinas.....	56
Tabla 2.14: Capacidad de reserva del transformador	58
Tabla 2.15: Calidad de energía	60

CAPÍTULO III

Tabla 3.1: Resultados flujos de potencia NEPLAN en barras	63
Tabla 3.2: Resultados fallas de cortocircuito NEPLAN por tramos	65
Tabla 3.3: Selección de conductores AWG	71
Tabla 3.4: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente Nominal.....	73
Tabla 3.5: Caídas de voltaje permisibles	79
Tabla 3.6: Cálculos de Conductores - Criterio de Caída de Voltaje	80
Tabla 3.7: Selección de Conductores - Criterio de Corriente de Cortocircuito.....	86
Tabla 3.8: Selección de conductores basada en coordinación	91
Tabla 3.9: Selección de Interruptores Termomagnéticos.....	95
Tabla 3.10: Selección de Fusibles	101
Tabla 3.11: Coordinación de Protecciones Interruptor Termomagnético - Fusible	105

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1: Resumen de parámetros de las planillas de pago de energía eléctrica mayo del 2010 – abril del 2011	110
Tabla 4.2: Distribución de la carga instalada por secciones o áreas	112
Tabla 4.3: Transformador Instalado	116

Tabla 4.4: Descripción de la alimentación Subestación Salcedo	116
Tabla 4.5: Consumo de Motores en KW-H Diario y Mensual.....	122
Tabla 4.6: Consumo de Equipos en kW-h Diario y Mensual.....	123
Tabla 4.7: Consumo de Luminarias en kW-h Diario y Mensual	124
Tabla 4.8: Consumo de energía eléctrica en KW-h	125
Tabla 4.9 Cálculo de pérdidas en conductores - Sugerencias de Cambio...	127
Tabla 4.10: Corrección del factor de potencia	134

ANEXOS

ANEXO 1: Fotografías de las instalaciones y equipos de la empresa “Cereales la Pradera”

ANEXO 2: Plano, Instalaciones “Cereales la Pradera”

ANEXO 3: Plano Red de media tensión.

Red de Media Tensión – 13,8 KV

ANEXO 4: Plano Centro de Transformación.

Diagrama Unifilar Centro de transformación CT1.

ANEXO 5: Planos Red de Baja Tensión.

Diagrama Unifilar Red Baja Tensión – 220/127V

ANEXO 6: Resultados de las mediciones obtenidas en el centro de transformación.

ANEXO 7: Curvas características de sobrecarga permisible para conductores de Cobre (Tipo 75 °C) con aislamiento de

termoplástico, selección de conductor por corriente de corto circuito I_{cc} .

ANEXO 8: Curvas características de sobrecarga permisible para conductores de Cobre (Tipo 75 °C) con aislamiento de termoplástico, selección de conductores basada en coordinación.

ANEXO 9: Curvas características de selección de Breaker.

ANEXO 10: Curvas características de selección de Fusibles

ANEXO 11: Curvas características de coordinación Breaker - Fusible

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad realizar una recopilación organizada de toda la información necesaria y concerniente al desarrollo del sistema eléctrico de la EMPRESA "CEREALES LA PRADERA", en la actualidad, el suministro de energía eléctrica a la empresa se efectúa mediante un transformador de 100 KVA, alimentados por una red aérea de media tensión de 13.8 KV desde la Subestación 3 Salcedo, Alimentador Norte - Oriente. Las mediciones realizadas con un Analizador trifásico de energía, de acuerdo con los procedimientos estipulados en las regulaciones del CONELEC, será el medio de adquisición para la obtención de información acerca de voltaje, frecuencia y parámetros de calidad de energía eléctrica.

Mediante el levantamiento de planos y diagramas unifilares resultara posible identificar las características físicas del sistema, así como la seguridad existente y el estado del sistema de protecciones y de las cajas de revisión, entre otras. Con la base de datos obtenidos con el levantamiento de los mismos, se procede a la realización de los análisis y auditoria energética eléctrica interna para optimizar la energía eléctrica; de manera que con una comparación previa de los elementos instalados y los rediseñados se pueda confirmar si los resultados son coincidentes o si varían.

ABSTRACT

The present study have to perform an organized gathering all necessary information concerning the development and the electrical system of the COMPANY" CEREAL THE PRAIRIE", currently supplying power to the enterprise is using a transformer of 100 KVA, fed by a network of overhead medium voltage 13.8 KV Substation 3 from Salcedo, Feeder North-East. Measurements made with a three-phase energy analyzer, according to the procedures stipulated in the regulations CONELEC, will be the acquisition to obtain information about voltage, frequency and quality parameters of electricity.

By surveying a dine diagrams prove possible to identify the physical characteristics of the system and existing security and system state protection and review boxes, among others. With the basis of data obtained with the lifting there of, is come to the realization of the energy audit and an alysis to optimize internal electrical power, so that a comparison with pre-installed items and redesign neditto confirm whether the results are.

ANTECEDENTES

La EMPRESA CEREALES LA PRADERA ubicada en la parroquia de Belisario Quevedo – Latacunga, está alimentada por dos transformadores, en la actualidad uno se encuentra desconectado por lo que la empresa se encuentra funcionando solo con un transformador de 100 KVA.

El sistema eléctrico de la EMPRESA “CEREALES LA PRADERA” fue instalado en el año de 1985 con una demanda proyectada a 15 años como lo exigen las normas para sistemas de distribución vigentes de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.). El mencionado período de tiempo se ha cumplido sin tener en cuenta el continuo desarrollo de la empresa en los últimos años, tanto en lo laboral, así como en su infraestructura y equipamiento de la empresa, en el presente se está construyendo nuevas infraestructuras.

Lograr identificar correctamente las fallas producidas las cuales son un problema y un desafío a la vez debido a la inexistencia de planos eléctricos y un seguimiento de todas las instalaciones existentes.

Dadas estas anomalías en el sistema eléctrico de potencia de la empresa “CEREALES LA PRADERA” es evidente la necesidad de realizar un levantamiento, un rediseño y una auditoría eléctrica interna adecuado del sistema, siendo como prioridad final llegar a un óptimo funcionamiento del mismo, reduciendo al máximo las pérdidas por deficientes diseños eléctricos o por materiales inadecuados usados empíricamente y lograr una óptima utilización de la energía eléctrica.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un levantamiento, rediseño y auditoría energética interna del sistema eléctrico de la empresa “CEREALES LA PRADERA” para optimizar la calidad de energía eléctrica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crear una base de datos de las condiciones actuales del sistema eléctrico de la empresa “CEREALES LA PRADERA”
- Analizar el adecuado dimensionamiento de los conductores utilizados en las instalaciones eléctricas de la empresa.
- Rediseñar los elementos de protección y corte para todo el sistema eléctrico.
- Realizar una auditoría energética eléctrica interna, para a identificar áreas que en la empresa consume energía eléctrica y las oportunidades de ahorro energético existentes.
- Proveer una fuente de información para la localización y solución de problemas que se presenten posteriormente en dicho sistema.

JUSTIFICACIÓN

Tener un buen diseño eléctrico es de vital importancia debido a los constantes procesos que se ejecutan en la empresa, además es imprescindible proporcionar seguridad eléctrica tanto para el personal como para la maquinaria existente en la misma.

Es necesario e importante un levantamiento, rediseño y un estudio adecuado del sistema eléctrico debido a la gran demanda de sobrecarga que está teniendo en el presente, además por el mal diseño estructural y eléctrico podrían ocurrir fallos eléctricos y cortocircuitos inesperados lo que ocasionaría el paro obligatorio de las máquinas y en sí de la producción provocando tanto pérdidas económicas como peligros para los mismos trabajadores, además se puede reducir pérdidas económicas si se realiza una auditoría eléctrica interna del sistema.

ALCANCES Y METAS

- Contar con una base correcta de datos de la carga del sistema eléctrico de la empresa “CEREALES LA PRADERA”.
- Disponer el dimensionamiento adecuado de los conductores que a futuro podrían instalarse en la empresa.
- Establecer los elementos de protección y corte específicos para todo el sistema eléctrico.
- Disponer de los datos de la auditoría energética eléctrica interna, para identificar áreas que en la empresa consume energía eléctrica y las oportunidades de ahorro energético existentes.
- Proporcionar la información de levantamiento de diagramas y rediseño para la localización y solución de problemas que a futuro podrían presentarse.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES

La electricidad abarca un campo muy extenso, y se ha ido desarrollando de una forma acelerada, desde el primer descubrimiento de la comunidad y el desarrollo de la Industria, que deben ser satisfechas con el suministro de Energía Eléctrica.

En la actualidad la electricidad juega un papel muy importante en el funcionamiento y control de los equipos y en el desarrollo de técnicas modernas que permiten mejorar los procesos industriales, todo ello, en función del aprovechamiento óptimo de los recursos primarios, la eficiencia energética y la armonía con el medio ambiente.

Esta energía generada es aprovechada por la empresa “CEREALES LA PRADERA”, pero para que la energía eléctrica sea aprovechada de una buena manera y no se produzcan pérdidas de energía, que se convierten en pérdidas económicas, se debe contar con una instalación eléctrica industrial interior con criterio técnico y un diseño adecuado, para que las instalaciones no queden subdimensionadas es decir que los valores nominales de conductores, tableros, breakers y térmicos están por debajo del valor real de la instalación.

Con este trabajo se desea que las instalaciones de la empresa “CEREALES LA PRADERA” cumpla las características técnicas y sea lo más práctico posible para la maniobra de la energía, que podrá ser netamente práctico cuando se ejecute este trabajo de rediseño.

1.2 DEFINICIÓN DE REDISEÑO

Rediseño es la renovación de un antiguo diseño que resulta en la actualidad deficiente por no cumplir con reglas y normas vigentes.¹

En lo referente al presente proyecto, el rediseño se lo realizará en el sistema eléctrico de la empresa “CEREALES LA PRADERA”, alcanzando todas las zonas de consumo como por ejemplo:

- Dependencias administrativas.
- Bodegas.
- Cuartos de máquinas.
- Iluminación interna.

1.3 PARÁMETROS TÉCNICOS DEL REDISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Un sistema eléctrico es el conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir la energía eléctrica desde el punto del suministro hasta los equipos que la utilizan. Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitores, dispositivos de control local o remoto, cables, conexiones, contactos, canalizaciones y soportes.

Un sistema eléctrico debe distribuir la energía eléctrica a los equipos conectados de una manera eficiente y segura. Además debe ser flexible y de fácil acceso.

El rediseño de un sistema eléctrico de potencia, se determina en función de parámetros como:

¹ AGUILAR Arcos, Marco - “Rediseño del Sistema Eléctrico Interno y Diseño de la Cámara de Transformación a 13.8 KV de la ESPE Latacunga” - Tesis 621.3A283r. Página.- 6

1.3.1 REQUERIMIENTOS DE CARGA

El rediseño de una instalación eléctrica requiere del conocimiento de la potencia o carga que se está alimentando. Por carga se entiende la que será demandada a la instalación y no la suma de capacidades de los equipos que están instalados. Mientras mayor información se tenga al respecto del consumo y de las condiciones de operación de todos los elementos que están conectados a la instalación, mayores serán las posibilidades de un cálculo que cumpla con los requerimientos técnicos y que sea económico.

1.3.2 ESPECIFICACIONES

Es el conjunto de dimensiones y características técnicas que definen completamente a una instalación y a todos los elementos que la componen.

Las especificaciones deben cumplir con las normas respectivas y no deben dar lugar a confusiones o a interpretaciones múltiples.

Hay usuarios que quieren que su instalación sea rediseñada con factores de seguridad muy altos: que nunca falle. Sin embargo, debe procurarse convencerlos de que es suficiente con aplicar correctamente las normas y tomar las previsiones adecuadas.²

1.3.3 VIDA DE UNA INSTALACIÓN

Es fácil entender que la vida de una instalación es el tiempo que transcurre desde su construcción hasta que se vuelve inservible; conocer esta información resulta muy útil porque permite saber cuánto durará la inversión. Sin embargo, es complejo precisar la vida de una instalación ya

² BRATU Serbán, Neagu, - "Instalaciones Eléctricas, Conceptos Básicos y Diseño" - Segunda Edición - Alfaomega - 1992. Página.- 4.

que influyen muchos factores. Entre otros están: la ejecución, las condiciones de uso, el mantenimiento y el medio ambiente.

1.3.4 MANTENIMIENTO

Respecto al mantenimiento se puede decir que las instalaciones sencillas prácticamente no lo requieren mientras no haya modificaciones o maltrato. En aquellas instalaciones donde si se requieren consiste, básicamente, en limpieza, renovación de pintura, apriete de uniones, ajuste de contactos y revisión de los elementos de protección. En los transformadores es muy importante revisar periódicamente las características dieléctricas del aceite; es claro que un mantenimiento adecuado y el buen trato alargan la vida de una instalación.

1.4 DIAGRAMAS UNIFILARES

En el estudio de sistemas eléctricos de potencia, el uso de diagramas unifilares resulta de gran utilidad y representa un elemento básico para el diseño y fácil entendimiento para los estudios de sistemas eléctricos. Los diagramas unifilares se definen como: “Un diagrama que indica por medio de líneas sencillas y símbolos simplificados, la interconexión y partes componentes de un circuito o sistema eléctrico”.³

El propósito de un diagrama unifilar es que el diseñador desarrolle a través de una manera sencilla sus ideas y tenga una forma simple de comunicar a otros sus proyectos para comentarios y/o aprobaciones y suministrar en forma rápida y concisa información significativa acerca del sistema.

Entre las propiedades y ventajas que presentan los diagramas unifilares se destacan:

³ ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - “Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales”- Segunda Edición - Limusa Noriega Editores - 2003. Página.- 20.

- Conocimiento integral del sistema eléctrico.
- Ayuda en la toma de decisiones relativas al crecimiento del sistema, así como localización y separación de fallas principalmente.
- Facilita el estudio de ingeniería, tales como corto circuito, coordinación de protecciones y flujos de carga.

1.5 ELEMENTOS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

Todo sistema eléctrico tiene el propósito común de proporcionar energía eléctrica en forma segura, confiable y económica, a los diversos puntos de consumo que existen en las industrias. Estos puntos de consumo, no son más que el conjunto de equipos o cargas eléctricas que utilizan la energía para la generación de movimiento (motores) y/o generación de calor (resistencias), iluminación, etc.

En el entorno industrial, existe una gran variedad de equipos eléctricos que operan en función de un proceso determinado, siendo los más comunes los siguientes:

- Conductores eléctricos.
- Iluminación.
- Tableros eléctricos.
- Aparatos de medición.

1.5.1 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

“Son cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad. Un conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente, usualmente de cobre.

Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.”⁴

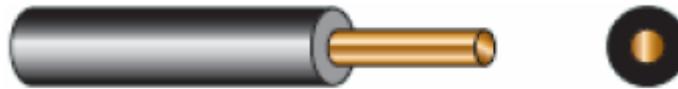


Figura 1.1: Conductor eléctrico de un hilo conductor

Los principales criterios que se deben considerar para la especificación del conductor son:

1.5.1.1 Capacidad de conducción de corriente

Los conductores eléctricos están forrados por material aislante, por lo general contienen material orgánico. Estos aislantes están clasificados de acuerdo con la temperatura de operación permisible, de tal forma que una misma sección de cobre puede tener diferente capacidad de conducción de corriente, dependiendo el tipo de aislamiento que se seleccione. Se deberá seleccionar el calibre cuya capacidad de corriente sea igual o mayor a la corriente nominal y de sobrecarga del circuito.

1.5.1.2 Caída de voltaje

Es la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma, cuando está circulando la corriente nominal.

$$\Delta V = V_A - V_T \quad \text{Ec. (1.1)}$$

⁴ <http://www.procobreecuador.org>

Si se expresa por ciento se le conoce como regulación de voltaje:

$$e = \frac{\Delta V}{V_{\text{nominal}}} \times 100(\%) \quad \text{Ec. (1.2)}$$

La caída de voltaje máxima permitida por las Normas para Sistemas de Distribución de la E.E.Q., para el circuito alimentador o principal corresponde el 3% y también para el circuito derivado. Sin que los dos sobrepasen juntos el 5%.

1.5.1.3 Capacidad para soportar la corriente de cortocircuito

Para determinar la tolerancia del alimentador a la corriente de cortocircuito, se considera que todo el calor producido por la circulación de ésta se destina a elevar la temperatura del conductor.

1.5.1.4 Calibre mínimo permitido

En circuitos de iluminación se especifica como calibre mínimo el conductor de cobre con una sección mínima de 3 mm² (12 AWG) y en circuitos de fuerza se utilizará conductor de cobre con una sección mínima de 5 mm² (10 AWG). Estas restricciones pueden ampliarse en proyectos particulares.

1.5.2 ILUMINACIÓN

Debe haber iluminación, con una intensidad mínima de 100 luxes, en todos los espacios de trabajo alrededor de los equipos eléctricos.⁵ El sistema de alumbrado a emplear está determinado en gran medida por la naturaleza del trabajo a realizar, la forma del espacio a iluminar y el tipo de estructura del techo.

⁵ Código eléctrico nacional CPE INEN 19:2000 sección 110-34. Página.- 25

1.5.3 TABLEROS ELÉCTRICOS

Se reúnen los dispositivos de maniobra, los aparatos de medida y de protección en paneles o cuadros de mando, que permiten el accionamiento o vigilancia de los elementos que constituyen la instalación.

Estos tableros se encuentran disponibles para cubrir las exigencias de una distribución normal de las instalaciones y de la protección, así como el control de motores (centros de control de motores) para la distribución de la potencia en baja tensión (centros de potencia), para la distribución en media tensión.

1.5.4 APARATOS DE MEDICIÓN

Para realizar las mediciones eléctricas se utilizan diversos aparatos de medida, que pueden dividirse en cuatro grandes grupos:

- Aparatos indicadores.- en los que una aguja señala, sobre una escala apropiada, la magnitud eléctrica a medir.
- Aparatos registradores.- en los que se anota gráficamente, el curso en el tiempo de la magnitud eléctrica correspondiente.
- Aparatos digitales.- en los que la magnitud eléctrica a medir se indica en una pantalla, en forma de un número decimal.
- Aparatos totalizadores.- que indican la energía total suministrada durante cierto tiempo; se les denomina también aparatos contadores o, simplemente, contadores.



Figura 1.2: Aparatos de medición

1.6 CÁLCULO DE CIRCUITOS DERIVADOS Y ALIMENTADORES PARA MOTORES ELÉCTRICOS

Las instalaciones eléctricas comerciales e industriales, básicamente consisten en elementos para: alimentar, controlar y proteger dos tipos de cargas: alumbrado y fuerza. En cualquier instalación eléctrica, los elementos que conducen la corriente eléctrica de las fuentes a las cargas o que interconectan los elementos de control son los conductores.

En la solución de cierto tipo de problemas en las instalaciones eléctricas es necesario calcular el número de circuitos derivados que se requieren para alimentar una carga dada. El número de circuitos derivados está determinado por la carga y se calcula como:

$$\text{No. de circuitos} = \frac{\text{Carga total en Watts}}{\text{Capacidad de cada circuito en watts}} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Cuando se alimenta a un motor en forma individual (circuito derivado), la capacidad de conducción de corriente de los conductores del circuito derivado debe ser al menos de 125% de la corriente a plena carga del motor.⁶

$$I_{TPC} = 1.25I_{MPC} \quad \text{Ec. (1.4)}$$

⁶ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - "El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales" - Pre-edición - Limusa Noriega Editores - 1988. Página.- 216.

Cuando se alimenta más de un motor, la capacidad de corriente del conductor es la suma de 1.25 veces la corriente a plena carga del motor mayor más la suma de las corrientes a plena carga del resto de motores.

$$I_{TPC} = 1.25I_{MPC} + \sum I_{MPC} \quad \text{Ec. (1.5)}$$

Para la protección del alimentador se emplea la siguiente ecuación.

$$P.\text{Alimentador} = 2.5 \times I_{PC} \text{Motormayor} + \sum I_{PC} \text{otrosmotores} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

1.7 CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Determinar de antemano en una instalación eléctrica, el valor que puede alcanzar la corriente de cortocircuito en un punto determinado, tiene tanto interés o más que la determinación de la corriente de carga nominal para la elección de los elementos que integran dicha instalación eléctrica.⁷

1.7.1 CONCEPTO Y ORIGEN DEL CORTOCIRCUITO

Se entiende por cortocircuito aquellos efectos provocados por un contacto entre un conductor y tierra o bien entre conductores. Cuando tal efecto se produce en instalaciones de alta tensión, dicho contacto tiene lugar a través de un arco eléctrico, con las consecuencias correspondientes del mismo. Los cortocircuitos pueden originarse por múltiples causas, como pueden ser:

- De origen eléctrico: los debidos a contactos directos de dos conductores activos o bien por defectos de aislamiento entre ellos.
- De origen mecánico: son debidos principalmente a la caída de un cuerpo extraño sobre una línea aérea, a una rotura de conductores o aisladores, a un golpe de pico en un cable subterráneo, etc.

⁷ NAVARRO Márquez, José A. – “Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, Sistema de Maniobra, Medida y Protección” – Editorial Paraninfo 1999 – Página.- 77.

- Por falsas maniobras: como la apertura de un seccionador en carga, conexión de una línea que se halla puesta a tierra, etc.
- De origen atmosférico: suelen ser debidos a un rayo que alcanza los conductores de una línea, o por otras inclemencias del tiempo (como la tempestad, la niebla, el hielo), las cuales pueden provocar aproximación de conductores, alteración de las superficies de los aisladores, etc.

1.7.2 FUENTES DE CORTOCIRCUITO⁸

Cuando se hace un estudio para determinar la magnitud de las corrientes de cortocircuito, es muy importante que se consideren todas las fuentes de cortocircuito y que las características de las impedancias sean conocidas. Las fuentes de cortocircuito son principalmente las siguientes:

- Los generadores
- Los motores síncronos
- Los motores de inducción
- La compañía suministradora de energía eléctrica

1.7.3 TIPOS DE CORTOCIRCUITO

Las fallas o cortocircuitos, pueden ocurrir en un sistema eléctrico de potencia trifásica en varias formas, el dispositivo de protección o equipo debe tener la capacidad de interrumpir cualquier tipo de falla. Existen principalmente cuatro tipos de fallas en sistemas eléctricos de potencia:

- Falla trifásica sólida
- Falla de fase a fase
- Falla de fase a tierra

⁸ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - "Elementos de Diseño de las Instalaciones Eléctricas Industriales" - Segunda Edición - Limusa Noriega Editores - 2002. Página.- 142.

- Falla trifásica a tierra

Los siguientes pasos identifican las consideraciones básicas para la realización de cálculos de cortocircuito de acuerdo al método del MVA, los pasos básicos son los siguientes:⁹

1. Preparar un diagrama unifilar del sistema, incluyendo todas las componentes significativas del sistema.
2. Determinar los puntos de falla y el tipo de corriente de cortocircuito.
3. Preparar un diagrama reemplazando cada elemento del diagrama unifilar por su equivalente en MVA.
4. Para el punto de falla designado y las condiciones de falla, reducir la red de manera que se obtenga un diagrama simplificado en el que consten la potencia equivalente en MVA antes y después de la falla.
5. Calcular la corriente de cortocircuito de la potencia en MVA resultante del equivalente en serie o paralelo de acuerdo a la ubicación de la falla. El cálculo del equivalente paralelo corresponde al equivalente serie y viceversa.

En el sentido más elemental, el valor de la corriente de cortocircuito simétrica, se obtiene por el uso apropiado de la impedancia en la ecuación básica:

$$I = \frac{E}{Z} \quad \text{Ec. (1.7)}$$

Donde: E: Tensión en el sistema
 Z o X: Impedancia equivalente del sistema que incluye la red y las fuentes de cortocircuito.

⁹ ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - "El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales" - Pre-edición - Limusa Noriega Editores - 1988.

1.8 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Par el estudio de coordinación de protecciones, es muy importante disponer de los curvas tiempo-corriente de todos los dispositivos de protección que intervengan, estas curvas se dibujan en dos ejes, para iniciar el estudio de coordinación, con escalas de tiempo corriente, donde se indican las curvas y ajustes de los dispositivos de protección y el diagrama unifilar del sistema o parte del sistema en estudio.¹⁰ Como resultado del estudio de coordinación de protecciones, se obtiene información útil para:

- La selección de transformadores de instrumento.
- La selección de fusibles, interruptores y relevadores.
- Los ajustes de los dispositivos de protección.

1.8.1 MÁRGENES DE COORDINACIÓN

El procedimiento de coordinación de protecciones implica necesariamente el uso de las curvas tiempo-corriente de los distintos elementos de protección que intervienen. Cuando se grafican curvas de coordinación se deben considerar ciertos intervalos de tiempo entre las curvas de estos dispositivos de protección, ya que es lo única forma de garantizar su operación secuencial correcta. Por otra parte, las características de operación de los fusibles, relevadores e interruptores, son distintas, y hacen necesario estos márgenes.

Cuando se coordinan relevadores de sobrecorriente con retardo de tiempo, el intervalo de tiempo se encuentra entre 0.3 y 0.4 segundos, mismos que se distribuyen como sigue:

¹⁰ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - "Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales"- Segunda Edición - Limusa Noriega Editores - 2003. Página.- 433.

- Tiempo de apertura de los contactos del Interruptor 5 ciclos (0.083 seg. o la frecuencia de 60 Hz).
- Sobre carrera (en relevadores electromecánicos) 0.10 seg.
- Factor de seguridad de 0.18 o 0.28 seg.

1.8.2 COORDINACIÓN DE INTERVALOS DE TIEMPO

En los dispositivos de protección contra sobre corriente que operan en serie, es necesario que su secuencia de operación sea correcta, por lo que debe haber una coordinación de intervalos de tiempo, los factores que determinan la coordinación de los Intervalos de tiempo son principalmente los siguientes:

- La magnitud de la corriente de falla en el sistema.
- La característica del detector del dispositivo de protección.
- La sensibilidad del dispositivo de protección correspondiente o las magnitudes de las corrientes de falla.
- El margen de tiempo que se presenta entre el detector del dispositivo de protección y el propio tiempo del Interruptor.

1.9 APARATOS DE MANIOBRA Y CORTE

Estos aparatos están destinados a garantizar un servicio continuo de la instalación en condiciones normales de explotación, permitir la maniobra tanto para el aislamiento de circuitos donde se desea realizar trabajos de mantenimiento como para conexión de circuitos alternativos, así como para protección de las instalaciones y personas.¹¹

¹¹ NAVARRO Márquez, José A. – “Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, Sistema de Maniobra, Medida y Protección” – Editorial Paraninfo 1999 – Página.- 37.

1.9.1 TIPOS DE APARATOS DE CORTE

Según las funciones a desarrollar en la maniobra de las instalaciones eléctricas.

Seccionadores.- Aísla tramos de circuitos de forma visible cuando así lo requieran. Los circuitos que deba interrumpir deben hallarse libres de corrientes, debe maniobrar en cero. No obstante deben ser capaces de soportar corrientes nominales, sobre intensidades y corrientes de corto circuito en un tiempo especificado.

Interruptores.- Son aparatos mecánicos de corte que permiten maniobrar de forma manual, en condiciones de carga nominal y sobre intensidad, siendo capaces de soportar corrientes de cortocircuito durante un tiempo especificado.

1.10 CALIDAD DE ENERGÍA

Se define como cualquier disturbio en los sistemas de energía eléctrica, que se manifiesta en desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, lo cual resulta en una falla o una mala operación de equipos.¹²

Las principales desviaciones a un suministro de alta calidad son:

- Distorsión periódica de la onda fundamental (armónicas, interarmónicas)
- Variaciones en la tensión
- Desbalance trifásico
- Sobretensiones transitorias

La desviación se puede dar en cada uno de los parámetros de la onda, es decir: frecuencia, amplitud, forma de onda y simetría entre fases.

¹² http://www.pqinsel.com/calidad_energia.htm

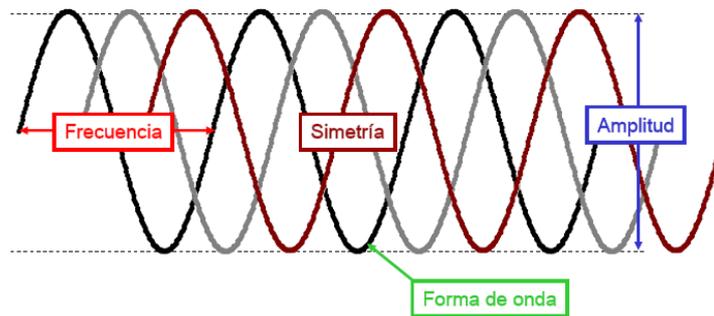


Figura 1.3: Parámetros de la onda senoidal

1.10.1 BALANCE DE FASES

Un sistema trifásico se califica como desbalanceado cuando los módulos de la componente fundamental de las tensiones del sistema no son iguales y/o cuando los ángulos de desfase entre las tensiones del mismo no son iguales.

El desbalance de tensión también puede estimarse como la máxima desviación de tensión respecto al promedio de las tres fases, dividido entre el promedio de las tres fases.

1.10.1.1 Límites

Según la UNE-EN 50160, en condiciones normales de operación, para cada período de una semana, el 95 % de los valores eficaces calculados en 10 minutos de la componente inversa de la tensión de alimentación deben situarse entre el 0 y el 2 % de la componente directa.

1.10.1.2 Causas

El principal motivo para la existencia de redes trifásicas desbalanceadas lo constituye la distribución de cargas monofásicas no equilibradas a lo largo de la red, que a su vez cambia a lo largo del tiempo dependiendo de la hora del día.

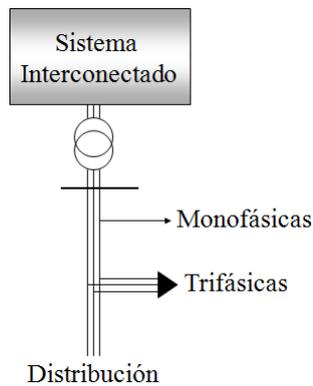


Figura 1.4: Red trifásica desbalanceada

1.10.1.3 Efectos

El desbalance en las redes de distribución provoca pérdidas adicionales por calentamiento así como disminución en la eficiencia de los motores de inducción trifásicos, reducción de capacidad de transformadores, cables y líneas. Según se establece en la norma IEEE 1159 un desbalance puede resultar en un 25% de aumento del calentamiento en algunos motores.

1.10.2 DISTORSIÓN PERIÓDICA DE LA ONDA FUNDAMENTAL

Las armónicas son tensiones o corrientes que tienen frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental del sistema de suministro. Estas al sumarse a la onda fundamental la distorsionan, de acuerdo con el orden de la armónica es el grado de distorsión de la onda fundamental. Para mantener los contenidos de armónicas de tensión dentro de los niveles recomendados, las principales soluciones son:

- El uso de equipos de rectificación con mayor número de pulsos
- Filtros pasivos sintonizados a frecuencias individuales
- Filtros activos y acondicionadores.
- Variaciones en la tensión

1.10.3 VARIACIONES DE TENSIÓN¹³

Se produce una variación de tensión cuando hay un aumento o una disminución en el valor eficaz de la tensión de alimentación. La amplitud y la duración son los parámetros característicos de una variación de tensión.

- Su duración es relativamente elevada, por ejemplo mayor de 1 minuto.
- Las variaciones sobre la tensión nominal suelen ser pequeñas, y mayoritariamente se encuentran dentro del $\pm 20\%$.

1.10.4 VARIACIONES DE FRECUENCIA

Según la UNE-EN 50160 se define la frecuencia de la tensión de alimentación como la tasa de repetición de la componente fundamental de la tensión de alimentación, medida durante un intervalo de tiempo determinado. Cualquier cambio sobre ésta (50 Hz ó 60Hz), sobrepasando ciertos límites constituye una variación de frecuencia, debe situarse en el intervalo siguiente:

- 60Hz $\pm 1\%$ durante el 95% de una semana

1.11 NORMALIZACIÓN SEGÚN EL CONELEC

1.11.1 REGULACIÓN 004/01: CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN

“Los aspectos de calidad del producto técnico que se controlarán son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia, siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las

¹³ <http://peandes.unex.es/%5Cformacion%5Cmegacal%5CCalidad.pdf>

compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos”.¹⁴

1.11.1.1 Nivel de Voltaje

$$DV_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100 \quad \text{Ec. (1.8)}$$

Donde:

- ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.
- V_k : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.
- V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos durante 7 días, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles.

1.11.1.2 Parpadeo (Flicker)

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}), en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a las normas IEC; mismo que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad \text{Ec. (1.9)}$$

Donde:

P_{st} : Índice de severidad de flicker de corta duración.

¹⁴ Consejo Nacional de Electricidad – CONELEC, Regulación No. CONELEC 004-01, “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$: Niveles de efecto “flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

1.11.1.2.1 Límites

El índice de severidad del Flicker P_{st} en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite $P_{st} = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población.

1.11.1.3 Armónicos

$$\mathbf{THD} = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) * 100$$

Ec. (1.10)

Donde:

V_i' : factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD: factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

V_i : valor eficaz (rms) del voltaje armónico “i” (para $i = 2... 40$) expresado en voltios.

V_n : voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

1.11.1.3.1 Límites

Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i') y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.

Tabla 1.1: Valores límites de Armónicos¹⁵

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA V _i ' o THD' (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	0.1 + 0.6*25/n	0.2 + 1.3*25/n
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
THD	3	8

1.11.2 FACTOR DE POTENCIA

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad.

1.11.2.1 Limite.

El valor mínimo es de 0,92.

¹⁵ CONELEC - "Regulación N° 004/01 " - Página.- 9

Factor de Potencia (Fp), es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente. Es el coseno del ángulo de desfase entre el fasor corriente y el fasor voltaje.

$$F_p = \frac{\text{Potencia Activa } P(\text{KW})}{\text{Potencia Aparente } S(\text{KVA})} \quad \text{Ec. (1.11)}$$

El factor de potencia “es el cociente de la potencia activa P (w) consumida por la instalación, en relación a la potencia aparente S (VA) suministrada por la red, para esta potencia activa, adquiere un valor entre 0 y 1.

1.11.2.2 Triángulo de potencias

El triángulo de potencias podemos determinar que el factor de potencia es igual a la siguiente expresión:

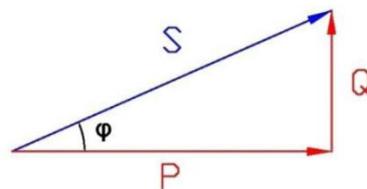


Figura 1.5: Triángulo de potencias

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad \text{Ec. (1.12)}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2+D^2}} \quad \text{Ec. (1.13)}$$

El valor ideal del factor de potencia es 1, el cual corresponde a una carga netamente activa o resistiva, pero un valor técnico-económico aceptable para las empresas distribuidoras de electricidad es $\geq 0,92$.

Por razones de orden práctico y tarifario, en las facturas de las empresas eléctricas distribuidoras, por ejemplo se calcula la tangente ϕ como el cociente entre la energía reactiva y la activa del período facturado, resultando por lo tanto un valor promedio.

El factor de potencia o $\cos \phi$ medio de una instalación para fines prácticos, se determina a partir de la fórmula siguiente:

$$FP = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kVAR^2}} = \cos \phi \quad \text{Ec. (1.14)}$$

O bien:

$$FP = \cos \left(\arctan \frac{kVARh}{kWh} \right) \quad \text{Ec. (1.15)}$$

Donde:

KWh: Cantidad registrada por el contador de energía activa.

KVARh: Cantidad registrada por el contador de energía reactiva

1.11.2.3 Cargos por bajo factor de potencia

En registros de un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92 el distribuidor aplicará los cargos establecidos en el Reglamento de Tarifas, en concepto de cargos por bajo factor de potencia.

$$Bfp = \left(\frac{0,92}{fpr} \right) - 1 \quad \text{Ec. (1.16)}$$

Donde:

Bfp= Factor de penalización por bajo factor de potencia.

fpr = Factor de potencia registrado

1.11.2.4 Causas del Bajo Factor de Potencia

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable, los requerimientos de

potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- La subutilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.

1.11.2.5 Ventajas de corregir el factor de potencia

La mejora del factor de potencia de una instalación, presenta múltiples ventajas de orden económico y eléctrico que permiten reducir el valor de la planilla. Corregir el factor de potencia nos ayuda a proteger las instalaciones eléctricas internas y recibir una calidad de servicio adecuada, por lo tanto es muy útil estar informados acerca de la importancia del factor de potencia de consumo y si se realiza incorporaciones de nuevas maquinarias o equipos eléctricos en las instalaciones tenemos que asegurarnos que sean de primera calidad y que estén correctamente compensados.

Mejorar el factor de potencia no es otra cosa que compensar los excesivos consumos de energía reactiva, para lo cual resulta práctico y económico instalar bancos de capacitores o condensadores.

1.11.2.6 Compensación del factor de potencia

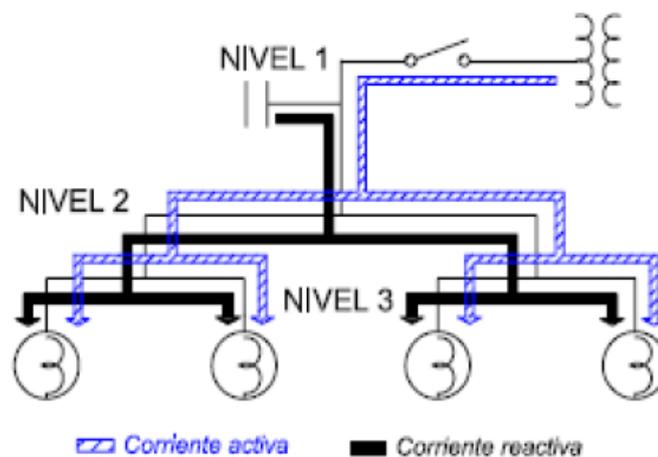
Mejorar el factor de potencia de una instalación consiste en instalar un condensador al lado del consumidor de energía reactiva.

Existen varios métodos para cumplir con lo que se podría llamar la compensación de reactivos.

1.11.2.6.1 Compensación General

Se trata de colocar los capacitores en la salida de bajo voltaje del transformador; con esto se logra suprimir las penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva, ajusta la potencia aparente (S kVA) a la necesidad real de la instalación y descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW). Un aspecto que se debe tener en cuenta con esta compensación, es que la corriente reactiva (I_r) está presente en toda la instalación, desde el nivel 1 hasta los receptores, por lo tanto las pérdidas por efecto joule en los cables no quedan disminuidas.

- En la salida de baja tensión:



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Manual teórico practico", Capitulo E

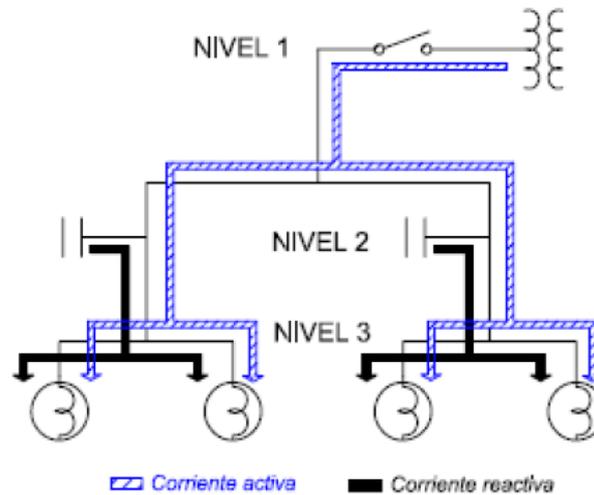
Figura 1.6: Compensación General

1.11.2.6.2 Compensación Parcial

La ubicación de la compensación capacitiva es a la entrada del cuarto de máquinas así se logra suprimir las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva, optimiza una parte de la instalación y descarga el centro de transformación (potencia en kW). Se logra disminuir las pérdidas por efecto Joule en los cables sin embargo la corriente

reactiva (I_r) está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores en el nivel 3.

- A la entrada del cuarto de máquinas:



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Manual teórico practico", Capitulo E

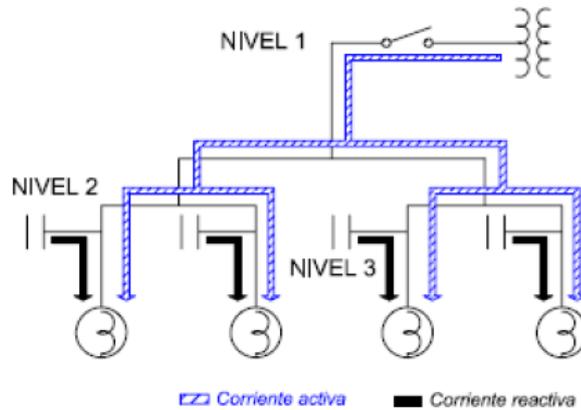
Figura 1.7: Compensación Parcial

Una compensación parcial es aconsejable cuando la distribución de cargas es muy desequilibrada y de una salida de distribución depende una carga considerable.

1.11.2.6.3 Compensación Individual

Se la realiza en los bornes de cada receptor inductivo y se logra suprimir las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva, optimiza toda la instalación eléctrica, la corriente I_r se abastece en el mismo lugar de consumo, y, descarga el centro de transformación. Además se logra suprimir totalmente las pérdidas por efecto Joule en los conductores debido a que la corriente reactiva no está presente en estos. Una compensación individual es aconsejable cuando existen cargas muy importantes en relación a la carga total. Es el tipo de compensación que aporta más ventajas.

- En los bornes de cada receptor de tipo inductivo:



Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Manual teórico practico", Capitulo E

Figura 1.8: Compensación Individual

1.11.3 REGULACIÓN 003/08: CALIDAD DEL TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD Y DEL SERVICIO DE TRANSMISIÓN

Los valores límites de contenido armónico, de ATHD y más procedimientos para aplicación de límites, se regirán a lo indicado en las guías IEEE 519 Harmonic Control. Una tabla con los límites señalados en esa guía se indica a continuación:

Tabla 1.2: Límites para contenido armónico de corrientes (IEEE 519)

LÍMITES PARA CONTENIDO ARMÓNICO DE VOLTAJES (IEEE 519)		
VOLTAJE DE BARRAS KV	CONTENIDO ARMÓNICO INDIVIDUAL MÁXIMO V_i (%)	ATHD MÁXIMO (%)
$V_n \leq 69$ KV	3.00	5.00
$69 \text{ KV} < V_n \leq 161$ KV	1.50	2.50
$V_n > 161$ KV	1.00	1.50

1.12 FACTOR DE DEMANDA

Se denomina así a la relación entre la demanda máxima que se representa en un sistema y la potencia instalada es decir:

$$F. d. = \frac{\text{DEMANDA MAXIMA EN KVA O KW}}{\text{POTENCIA INSTALADA EN KVA O KW}} \quad \text{Ec. (1.17)}$$

El factor de demanda siempre es variable, pero se puede tomar en los sistemas eléctricos de potencia en el orden de 0,5¹⁶

1.13 AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

Consiste en un estudio de disminución de costos energéticos. El término abarca un espectro muy amplio, en función de la profundidad con que se realice el estudio, pudiendo llegar desde un simple informe de propuestas de mejoras de equipos auxiliares del proceso principal, hasta un estudio detallado de mejoras, no sólo en los equipos auxiliares (cambios en la tecnología del proceso).¹⁷

1.13.1 OBJETIVO DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

Evaluar la racionalidad del uso de la energía eléctrica y como consecuencia de esta evaluación, llegar a detectar las posibilidades que existen de su utilización eficaz y eficiente.

1.13.2 CONCEPTOS DE AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

- a) El concepto más simple de auditoría energética es el conjunto de acciones encaminadas a identificar áreas que en una empresa

¹⁶Libro de Centrales Eléctricas, Colección CEAC, Pág.- 39

¹⁷REY Martínez Francisco Javier, Eloy Velasco Gómez – “Eficiencia Energética, Certificación y Auditorías Energéticas” - 2006 - Página. - 28.

consumen energía eléctrica y las oportunidades de ahorro energético existentes.

- b) Otra definición comúnmente utilizada es que la auditoría energética sirve para identificar toda la energía que fluye hacia una instalación industrial, residencial o gubernamental, etc., con fines de cuantificar su uso y sus pérdidas.¹⁸
- c) Se puede también conceptualizar la auditoría energética como un proceso analítico que basado en información histórica y puntual, mediante la toma de datos y mediciones sistematizadas, verifique el estado de eficiencia energética de los equipos y sistemas, de forma que permita, no sólo detectar los posibles puntos de ahorro energético, sino también poder evaluarlos cuantitativamente.¹⁹

1.13.3 TIPOS DE AUDITORIAS ENERGÉTICAS ELÉCTRICAS

Las auditorías energéticas eléctricas se clasifican en tres tipos o categorías; las cuales son dependientes una de la otra. En orden de aplicación se tiene:

1.13.3.1 Vista de Inspección

Consiste en un recorrido a lo largo de la planta industrial o instalación para recoger datos, familiarizarse con los sistemas instalados y con el problema de mantenimiento existente, detectando las oportunidades potenciales de ahorro de energía eléctrica.

¹⁸ "Metodología para la Realización de Auditorías Energéticas en Plantas Industriales" - Comisión Nacional de Política Energética.

¹⁹ " VII Curso de Planificación Energética" - OLADE

1.13.3.2 Mini – Auditoría

Requiere la realización de pruebas y mediciones que permitan cuantificar el uso y las pérdidas de energía, para evaluar, en términos económicos, la factibilidad de posibles cambios en el sistema energético instalado.

1.13.3.3 Maxi – Auditoría

Es mucho más extensa que la mini-auditoría y más costosa. Mediante este tipo de auditoría se hace una evaluación de toda la energía consumida en cada parte del sistema, por separado. Se analiza el patrón de consumo y se toma un año base para hacer predicciones.

1.14 METODOLOGÍA PARA EL REDISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.

1.14.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE²⁰

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información, los cuales pueden ser la entrevistas, la encuesta, el cuestionario, la observación, el diagrama de flujo y el diccionario de datos para análisis y/o rediseño de un sistema eléctrico.

Inicialmente se considera importante la revisión de planos eléctricos y arquitectónicos así como diagramas unifilares existentes para facilitar la ubicación, entendimiento y aplicación de las distintas técnicas, herramientas y metodologías para el análisis y adquisición de información actualizada del sistema eléctrico en estudio.

²⁰ <http://www.monografias.com/trabajos12/recoldat/recoldat.shtml>

1.14.2 LEVANTAMIENTO DE PLANOS Y DIAGRAMAS UNIFILARES

El comienzo para el estudio del rediseño de un sistema eléctrico, es el levantamiento en lo posible actualizado de planos y diagramas unifilares del sistema por estudiar con los datos de todos los elementos que en él aparecen, caso contrario analizar cómo se encuentra distribuido el sistema con el fin de realizar planos y diagramas que faciliten el desarrollo del estudio posteriormente.

Para elaborar el diagrama unifilar, se realiza el levantamiento de datos de las subestaciones, transformadores, tableros, centros de carga, cables y canalizaciones, tomando en cuenta los siguientes datos:

- Suministro de energía eléctrica: tensión, frecuencia, número de fases, y número de hilos.
- Circuitos eléctricos: capacidad (kW), capacidad del interruptor, longitud, cantidad y calibre de conductores, tipo de canalización.
- Transformadores: potencia en KVA, número de fases, tipo de conexión, tipo de enfriamiento, tensión, impedancia, y elevación de temperatura.
- Tableros: capacidad de barras, tensión, número de fases, número de hilos, frecuencia.
- Interruptores: capacidad, número de polos, marco y disparo.
- Cargas: capacidad en kW, KVA.
- Transformadores de corriente y potencial: relación de transformación y cantidad.
- Instrumentos de Medición: rango de medición, cantidad, indicar si es análogo o digital, así como parámetros que mide.
- Planta de emergencia: capacidad en kW o KVA, fases, frecuencia, tensión, RPM, y factor de potencia.

En todos los casos se indicará identificación del equipo y ubicación del mismo.

1.14.3 DETERMINACIÓN DE LA CARGA INSTALADA

Es prácticamente imposible conocer con exactitud la carga de una instalación compleja. Sin embargo, se puede hacer un cálculo detallado con la información completa de todos los equipos que están conectados y obtener un valor más preciso de la carga, o a su vez se puede anotar los datos de placa de todos los motores que se encuentren en el sistema.

La determinación de la carga es una labor que requiere de técnica, pero también de criterio para definir los preparativos que deben dejarse para el futuro, así como la influencia de los posibles ciclos de operación. Una reserva excesiva representará una inversión que tal vez nunca se utilice; por el contrario reservas escasas pueden provocar un problema a corto plazo.²¹

1.14.4 ANÁLISIS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA

Para el análisis de la Energía Eléctrica Consumida, es necesario tomar en cuenta que tipo y el número de cargas varían para cada proceso, así como el número de horas de funcionamiento de cada carga sea en el horario diurno y/o nocturno. Es así que el cálculo de la estimación de energía eléctrica consumida mensual en las diferentes empresas se realiza en función de los distintos horarios de trabajo de los equipos eléctricos.²²

1.14.5 ANÁLISIS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

En el rediseño de instalaciones eléctricas una de las tareas más importantes (y más repetitivas) es el cálculo de la sección de

²¹BRATU Serbán, Neagu, - "Instalaciones Eléctricas, Conceptos Básicos y Diseño" - Segunda Edición - Alfaomega - 1992. Página.-75.

²²CAJAS Flores, Verónica, -"Investigación de oportunidades de ahorro energético en el sector industrial textil en Ecuador"- Tesis ESPE-018402.

alimentadores, es decir la especificación de los conductores que suministran energía eléctrica a la carga, se siguen los literales anteriores. De la precisión de estos cálculos depende, en buena medida, la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación, así como el costo de los gastos de operación y mantenimiento.²³

1.15 METODOLOGÍA DE LA AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

“Al momento de reducir consumos y ahorrar energía eléctrica en una empresa, muchas de las veces ocurre que no se sabe cómo actuar, ni se suele disponer de los datos necesarios para la obtención de resultados y conclusiones que sean la base que conduzca a un ahorro de energía eléctrica.

Con el objeto de tener una visión más clara de lo que se debe hacer para que una empresa o institución funcione eficaz y eficientemente en la parte eléctrica, desarrollaremos una Metodología de Auditorías Energéticas Eléctricas”²⁴

1.15.1 PASOS PARA DESARROLLAR LA METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

Los pasos a seguir dentro de la Metodología de la Auditoría Energética Eléctrica son:

- *Vista de Inspección:*
 - a. Definir quien realiza la Auditoría Energética Eléctrica
 - b. Visita a la planta o identificación
- *Mini – Auditoría:*

²³BRATU Serbán, Neagu, - “Instalaciones Eléctricas, Conceptos Básicos y Diseño” - Segunda Edición - Alfaomega - 1992. Página.- 85.

²⁴ESCOBAR Martínez, Elvis Eduardo,-“Auditoria Energética Eléctrica de la Brigada de Fuerzas especiales No. 9 Patria”. Pagina.- 8.

- c. Análisis Estadístico del consumo de energía
- d. Planos y diagramas eléctricos
- e. Mediciones
- *Maxi – Auditoría:*
 - f. Análisis de datos
 - g. Estudio Técnico
 - h. Optimización

1.15.1.1 Vista de Inspección

Definir quien realiza la Auditoría Energética Eléctrica:

Es facultad del dueño de la empresa o junta de accionistas, con el asesoramiento de las personas encargadas del área eléctrica. Estas pueden ser realizadas por personas de la misma empresa, externas o una comisión mixta.

Visita a la planta:

Mediante esta visita el auditor energético designado, acompañado de miembros de la empresa, obtendrá la siguiente información:

- Ubicación de la Empresa o Institución
- Organización del área eléctrica
- Sistemas Eléctricos Existentes
- Información general de las instalaciones: Forma de pago por energía eléctrica consumida, problemas técnicos y físicos, etc.

Si se observa que se tiene posibilidades de optimizar y tener ahorros de energía en el sistema eléctrico de la empresa, se debe *formar el grupo de personas necesarias* y continuar con la mini - auditoría energética eléctrica.

1.15.1.2 Mini – Auditoria Energética Eléctrica

Análisis Estadístico del Consumo de Energía Eléctrica:

El análisis estadístico expresa en términos económicos el consumo energético. Para el trazado de estos perfiles se recogen las informaciones sobre el comportamiento energético eléctrico de la empresa durante los últimos seis o doce meses.

Planos y Diagramas Eléctricos:

Es necesario un plano eléctrico en el que consten las estructuras, protecciones, transformadores, redes de distribución, etc. Es decir con toda la información posible tanto en alta como en baja tensión. El plano en mención puede constituirse en el diagrama unifilar de las instalaciones.

Mediciones:

Las mediciones constituyen una actividad de extraordinaria importancia por ser en ellas que se basan las evaluaciones energético-económicas de los sistemas.

De no existir instrumentación confiable y suficiente instalada en la empresa, es necesario hacer mediciones con instrumentos externos.

Si aún no se puede establecer con claridad la optimización y ahorro de energía eléctrica, se prosigue al siguiente literal o maxi – auditoría energética eléctrica.

1.15.1.3 Maxi – Auditoria Energética Eléctrica

Análisis de Datos:

Una vez recopilada toda la información sobre el comportamiento energético eléctrico de la empresa, se procede a evaluar datos para cuantificar excedentes de consumo de energía eléctrica malgastada, considerando periodos de tiempo.

Estudio Técnico:

Dentro de lo que se refiere al estudio técnico, encontraremos:

- a. Estado Actual de la empresa: Transformadores, Luminarias, facturación, etc.
- b. Censo de Carga
- c. Demandas Unitarias, Capacidad del transformador, Cálculos de caídas de tensión utilizando los diagramas de flujos de carga, etc.

Optimización:

La optimización se la realiza en base al estudio técnico, considerando lo siguiente:

- Rediseño y/o Readecuación al Sistema Eléctrico
- Alternativas Técnicas
- Protecciones Eléctricas
- Opciones de Facturación
- Uso Racional de la Energía Eléctrica

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y LEVANTAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

CEREALES LA PRADERA CIA. LTDA., es una empresa agro-industrial ecuatoriana dedicada desde 1985 al procesamiento, transformación, empaque y distribución de cereales y granos en todas las regiones del país, ofreciendo productos de buena calidad y a precios competitivos.

Su planta ubicada en el kilómetro 6 de la panamericana sur de la ciudad de Latacunga, en la parroquia Belisario Quevedo, cuenta con la infraestructura, capacidad y experiencia requerida para satisfacer las necesidades presentadas por industrias de los sectores alimenticios, cereales. (*Ver Anexo 1*)

2.2 ZONIFICACIÓN DE LA EMPRESA CEREALES LA PRADERA

2.2.1 SECCIONES Y ÁREAS DE TRABAJO

Las secciones y áreas de trabajo se encuentran de acuerdo a las especificaciones y orden (*Ver Anexo 2, Plano N° 1*) descritas en la tabla

2.1

Tabla 2.1: Secciones y Áreas de Trabajo

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN			
Nº	DESCRIPCIÓN	Nº	DESCRIPCIÓN
1	Elevador (E1)	16	Tornillo de cocción (TC)
2	Zaranda (Z1)	17	Mezcladora (M2)
3	Elevador (E2)	18	Zaranda Pequeña (Z2)
4	Clasificadora	19	Cortadora Pequeña
5	Elevador (E3)	20	Cortador de Morocho (CM)
6	Esclusa	21	Ventilador de pared
7	Piladora (P1)	22	Absorción de impureza (SA2)
8	Elevador (E4)	23	Elevador (E7)
9	Pulidora (P2)	24	Bomba de Agua (1HP)
10	Elevador (E5)	25	Bomba de Agua (1HP)
11	Machacadora Grande CA	26	Quemador
12	Cortadora de la M.G (CA)	27	Bomba de Agua (0.5HP)
13	Vibrador M.G. (CA)	28	Bomba de Agua (0.5HP)
14	Elevador (E6)	29	Tablero Principal
15	Machacadora P. (LM)	30	Administración de Producción
SECCIÓN DE SECADO Y ENFUNDADORAS		SECCIÓN DE MOLINOS Y CLASIFICACIÓN DE GRANOS	
45	Ventilador de Secado	31	Compresor (20HP) -C1
46	Quemador	32	Compresor (6.5HP) -C2
47	Elevador auxiliar	33	Compresor (6.5HP) -C3
48	Vibrador (Secado)	34	Compresor (5.5HP) -C4
49	Banda transportadora	35	Mezcladora (M1)
50	Ventilador horno quemador	36	Elevador (E8)
51	Empaquetadora	37	Molino de Martillo
	Banda tras. Empaquetador	38	Vibrador (Molino)
	Elevador Tornillo	39	Esclusa (Molino)
	Motor auxiliar 1	40	Elevador (E9)
	Motor auxiliar 2	41	Tamizadora
52	Empaquetadora MACPEG	42	Aventadora
53	Empaquetadora MACPET A	43	Ventilador Grande Exter.
54	Empaquetadora MACPET 1	44	Bomba de Agua (0.5HP)
55	Empaquetadora MACPET 2		
56	Empaquetadora MACPET 3		ÁREA SERVICIOS GENERALES
ÁREA ADMINISTRATIVA		64	Guardianía
57	Gerencia	65	Garita
58	Recepción	66	Ropero y Baños
59	Departamento de Contabilidad	67	Comedor
60	Oficina de Producción 1	68	Cocina
61	Bodega de Empaque (2)	69	Laboratorio
62	Oficina de Ventas	70	Bodega
63	Oficina de Producción 2	*	Construcción

2.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EXISTENTE

La empresa “CEREALES LA PRADERA”, es alimentada por el servicio de suministro eléctrico por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A, desde la subestación Salcedo, Alimentador Norte – Oriente, por medio de una línea de media tensión de 13.8 KV; las diferentes dependencias de la empresa son alimentadas mediante un transformador de 100 KVA y sus características se puede apreciar en la tabla 2.2.

La información ha sido proporcionada por el Departamento de Grandes Clientes de la ELEPCO S.A. de los archivos existentes.

2.4 LEVANTAMIENTO DE PLANOS Y DIAGRAMAS UNIFILARES DE MEDIA TENSIÓN

La línea de distribución de media tensión que alimenta al transformador de la Empresa “CEREALES LA PRADERA”, es la descrita a continuación. Ver plano eléctrico de la red de distribución de media tensión, (Ver *Anexo 3, Plano N° 2*).

Tabla 2.2: Descripción del Alimentador de Media Tensión

S/E N°	ALIMENTADOR	CAPACIDAD (MVA)	VOLTAJE (KV)	CONEXIÓN
3 Salcedo	1 Norte - Oriente	10/12,5	69/13,8	Dy1

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

La información ha sido proporcionada por el Departamento de Grandes Clientes de la ELEPCO S.A. de los archivos existentes.

Tabla 2.3: Características del Transformador Instalado

Cód. Transformador	6110
Número de Serie	0442300
Conexión	DY5
Capacidad	100 KVA
Voltaje Primario	13,20 KV
Voltaje Secundario	127/220 V
Corriente Secundaria	262 A
Impedancia	3,00%
Fases	TRI Transf. Trifásico

2.4.2 PROTECCIONES INSTALADAS EN LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN Y EN EL TRANSFORMADOR

Las protecciones instaladas en la red de media tensión instaladas contra cortocircuitos y sobrecargas en la red de media tensión y en el transformador se las detalla en la tabla 2.4, se las describe de acuerdo a las principales características eléctricas encontradas en cada una de ellas.

2.4.2.1 Punto de alimentación de la red primaria

Se refiere al punto de conexión del sistema a la red existente.

Los dispositivos de protección y seccionamiento han sido instalados de acuerdo al requerimiento del valor máximo de la demanda de diseño. (Ver Diagrama Unifilar *Anexo 4, Plano N° 3*)

Tabla 2.4: Descripción de la Protección en el Punto de Alimentación

Tipo de instalación	Voltaje nominal	Tipo de protección y seccionamiento	Valor
Aérea	13,8 KV	3 Pararrayos tipo distribución 3Ø	10 KV
		3 Seccionadores Portafusible con Tirofusible	15 KV 5 A
		3 Cartucho Fusible (NH)	200 A

2.5 LEVANTAMIENTO DE DIAGRAMAS UNIFILARES DE BAJA TENSIÓN

Para realizar un estudio detallado de la energía se considera la metodología presentada en el capítulo 1 pagina 31, es necesario zonificar el consumo eléctrico de planta por tableros y subtableros, el levantamiento se inició desde el tablero de distribución principal de baja tensión correspondiente al transformador de 100 KVA, hasta el final de las derivaciones de las cajas de interruptores o tableros secundarios más próximos a los puntos de carga

2.5.1 PROTECCIONES INSTALADAS

Las protecciones del sistema de baja tensión corresponden a voltajes comprendidos entre 220/127V, por ejemplo interruptores termo magnéticos, y fusibles requeridos para la protección contra sobrecargas, cortocircuitos y fallas originadas en el circuito secundario, las protecciones empleadas en cada uno de los circuitos se las pueden apreciar detalladamente en los diagramas unifilares del (*Ver Anexo 5, Plano N° 4 - 7*).

2.6 HOJAS TÉCNICAS DE CARGA INSTALADA Y CONSUMO DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS.

Se realizó un inventario de motores, lámparas, equipos auxiliares y de oficina en toda la planta y mediante los datos de placa y valores nominales de corriente y voltaje de los equipos se obtuvo la potencia instalada, y con equipos de medición el consumo eléctrico.

2.6.1 POTENCIA O CAPACIDAD INSTALADA

Esta cantidad representa la suma de todas las cargas instaladas en un sistema por lo que también se denomina “carga instalada”

La carga total instalada en el sistema es de 258,048 KVA, tomando en cuenta el factor de potencia permitido por la Empresa Eléctrica de 0,92 descrita en el capítulo 1 página 21, se tiene una potencia instalada de: **213.664 KW**, y se muestra en las tablas 2.5 – 2.9, distribuidas por secciones.

Tabla 2.5: Información de Carga Instalada, Sección Producción

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS								Grado de Protecc.
				V	A	KW	Hz	rpm	# Fas	Cos Ø	η	
SECCIÓN DE PRODUCCIÓN	1	Elevador (E1)	Siemens	220	1.9	0.746	60	1080	3	0.82	76%	IP55
	2	Zaranda (Z1)	ARNO	220	9.4	2.20	60	1150	3	0.9	79%	IP54
	3	Elevador (E2)	Siemens	220	1.9	0.746	60	1080	3	0.82	76%	IP55
	4	Clasificadora	RENANCE	220	4.7	1.12	60	1140	3	0.89	70%	IP55
	5	Elevador (E3)	Siemens	220	6.9	2.24	60	3460	3	0.84	76%	IP55
	6	Esclusa	Siemens	220	2.5	0.75	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	7	Piladora (P1)	Weg	220	64	18.65	60	1770	3	0.87	89%	IP55
	8	Elevador (E4)	Siemens	220	1.9	0.746	60	3460	3	0.87	76%	IP55
	9	Pulidora (P2)	BROWN BOVERI	220	57	14.92	60	1725	3	0.85	85%	IP55
	10	Elevador (E5)	Siemens	220	2.1	0.746	60	1720	3	0.87	77%	IP55
	11	Machacadora Grande CA	TRANSTECNO	220	53	12.5	60	1750	3	0.73	85%	IP55
	12	Cortadora de la M.G (CA)	TRANSTECNO	220	53	12.5	60	1750	3	0.73	85%	IP55
	13	Vibrador M.G. (CA)	ANSALDO	220	3	0.58	60	1330	3	0.76	69.2%	IP45
	14	Elevador (E6)	Siemens	220	6.9	2.24	60	1720	3	0.84	77%	IP55

Tabla 2.5: Información de Carga Instalada, Sección Producción (Continuación)

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS								Grado de Protecc.
				V	A	KW	Hz	rpm	# Fas	Cos Ø	η	
SECCIÓN DE PRODUCCIÓN	15	Machacadora Pequeña (LM)	Leroy-Somer	220	27.3	7.46	60	1170	3	0.84	81%	IP55
	16	Tornillo de cocción (TC)	SEW	220	3.8	0.75	60	1380	3	0.73	69.2%	IP55
	17	Mezcladora (M2)	Siemens	220	18	3.73	60	1740	3	0.78	80.5%	IP55
	18	Zaranda Pequeña (Z2)	Siemens	220	2.5	0.75	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	19	Cortadora Pequeña	Siemens	220	3	1.27	60	1660	3	0.78	77%	IP55
	20	Cortador de Morocho (CM)	Weg	220	2.5	0.75	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	21	Ventilador de pared	Siemens	120	2.5	0.75	60	1720	2	0.82	77%	IP55
	22	Absorción de impureza (SA2)	ABB	220	12	3.68	60	3450	3	0.78	80.5%	IP55
	23	Elevador (E7)	Siemens	220	6.9	2.24	60	1720	3	0.84	77%	IP55
	24	Bomba de Agua (1HP)	General	115	6.5	0.746	60	3450	2	0.82	80%	IP44
	25	Bomba de Agua (1HP)	BARNES	115	6.5	0.746	60	3450	2	0.82	80%	IP44
	26	Quemador	Emerson	115	3.5	0.19	60	3450	2	0.79	79%	IP44
	27	Bomba de Agua (0.5HP)	DAB	115	5.85	0.37	60	3450	2	0.80	80%	IP44
	28	Bomba de Agua (0.5HP)	DAB	115	5.85	0.37	60	3450	2	0.80	80%	IP44
POTENCIA TOTAL						94.486 KW						

Tabla 2.6: Información de Carga Instalada, Sección Molinos y Clasificación de Granos

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS								Grado de Protecc.
				V	A	KW	Hz	rpm	# Fas	Cos Ø	η	
SECCIÓN DE MOLINOS Y CLASIFICACIÓN DE GRANOS	31	Compresor (20HP) -C1	CECCATO	220	53	14.92	60	3450	3	0.85	85%	IP44
	32	Compresor (6.5HP) -C2	A.O.SMITH	220	15	4.85	60	3450	3	0.82	80%	IP44
	33	Compresor (6.5HP) -C3	A.O.SMITH	220	15	4.85	60	3450	3	0.82	80%	IP44
	34	Compresor (5.5HP) -C4	EMG	220	15.6	4.10	60	2900	3	0.82	75%	IP44
	35	Mezcladora (M1)	Weg	220	28	7.46	60	1750	3	0.84	81%	IP55
	36	Elevador (E8)	Weg	220	2.5	0.746	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	37	Molino de Martillo	Weg	220	57	18.65	60	1170	3	0.82	88%	IP55
	38	Vibrador (Molino)	Weg	220	2.5	0.75	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	39	Esclusa (Molino)	Weg	220	2.5	0.75	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	40	Elevador (E9)	Weg	220	2.5	2.24	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	41	Tamizadora	Weg	220	18	3.73	60	1740	3	0.78	80.5%	IP55
	42	Aventadora	Weg	220	2.6	1.3	60	1680	3	0.84	79%	IP55
	43	Ventilador Grande Exter.	Siemens	220	57	18.65	60	1170	3	0.82	88%	IP44
	44	Bomba de Agua (0.5HP)	PEDROLLO	120	5.5	0.37	60	3450	2	0.80	80%	IP44
	POTENCIA TOTAL						83.37 KW					

Tabla 2.7: Información de Carga Instalada, Sección Secado y Enfundadoras

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS								Grado de Protecci.
				V	A	KW	Hz	rpm	# Fas	Cos Ø	η	
SECCIÓN DE SECADO Y ENFUNDADORAS	45	Ventilador de Secado	Siemens	220	28	7.46	60	3500	3	0.90	81%	IP54
	46	Quemador	Emerson	120	3.5	0.19	60	3450	2	0.79	79%	IP44
	47	Elevador auxiliar	Siemens	220	3.5	0.75	60	1720	3	0.87	69.2%	IP55
	48	Vibrador (Secado)	Weg	220	3.02	0.75	60	1720	3	0.82	70%	IP55
	49	Banda transportadora	Weg	220	3.5	0.75	60	1660	3	0.87	70%	IP55
	50	Ventilador horno quemador	Weg	220	9	2.24	60	3460	3	0.83	79%	IP55
	51	Empaquetadora	Weg	220	9.6	2.24	60	17.08	2	0.83	79%	IP55
		Banda tras. Empaquetador	Weg	220	1.14	0.75	60	1710	2	0.65	70%	IP55
		Elevador Tornillo	Weg	220	3.4	1.49	60	1720	2	0.80	77%	IP55
		Motor auxiliar 1	Weg	220	7	1.49	60	1700	2	0.80	77%	IP55
		Motor auxiliar 2	Weg	220	9.6	2.24	60	17.08	2	0.83	79%	IP55
	52	Empaquetadora MACPEG	PraziBlitz	120	3.2	0.37	60	1640	1	0.83	66%	IP55
	53	Empaquetadora MACPET A	PraziBlitz	120	3.2	0.37	60	1640	1	0.78	66%	IP55
	54	Empaquetadora MACPET 1	PraziBlitz	120	3.2	0.37	60	1640	1	0.76	66%	IP55
	55	Empaquetadora MACPET 2	PraziBlitz	120	3.2	0.37	60	1640	1	0.80	66%	IP55
56	Empaquetadora MACPET 3	PraziBlitz	120	3.2	0.37	60	1640	1	0.77	66%	IP55	
POTENCIA TOTAL						22.2 KW						

Tabla 2.8: Información de Iluminación

ÁREA	TIPO	MARCA	CANT	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (KW)	ALTURA PROMEDIO	HORARIO DE FUNC. Horas/Día		DÍAS DE FUNC. AL MES
							8:00/17:00	17:00/8:00	
SECCIÓN DE PRODUCCIÓN	Fluorescente	OSRAM	6	40	0.24	4	8	...	24
SECCIÓN DE MOLINOS, Y CLASIFICACIÓN DE GRANOS	Fluorescente	OSRAM	8	40	0.32	5.20	8	...	24
		SYLVANIA	1	25	0.025	2.80	1		
		SYLVANIA	6	40	0.24	2.15	8		
SECCIÓN DE ENFUNDADORAS	Fluorescente	SYLVANIA	12	40	0.48	4.50	8	...	24
		ECOLUX	1	12	0.012	2.10	1		
SECCIÓN MECÁNICA	Fluorescente	SYLVANIA	5	40	0.20	2.30	8	...	30
BODEGA PRODUCTO TERMINADO	Fluorescente	SYLVANIA	16	40	0.64	4.50	4	...	20
BODEGA DE SECADOR	Fluorescente	SYLVANIA	12	40	0.48	4	4	...	20
BODEGA DE EMPAQUE (2)	Fluorescente	OSRAM	9	32	0.288	3.50	8	...	22
TOSTADORA	Fluorescente	SYLVANIA	2	40	0.18	2.60	8	...	24
OFICINA PRODUCCIÓN	Fluorescente	SYLVANIA	3	25	0.075	2.30	3	...	30
GERENCIA	Fluorescente	SYLVANIA	6	40	0.24	2.40	8	...	24
		OSRAM	2	23	0.046				
RECEPCIÓN	Fluorescente	SYLVANIA	4	40	0.16	2.40	8	...	24

Tabla 2.8: Información de Iluminación (Continuación)

ÁREA	TIPO	MARCA	CANT	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (KW)	ALTURA PROMEDIO	HORARIO DE FUNC. Horas/Día		DÍAS DE FUNC. AL MES
							8:00/17:00	17:00/8:00	
DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD	Fluorescente	SYLVANIA	4	40	0.16	2.20	8	...	24
			1	20	0.020				
OFICINA PRODUCCIÓN 1	Fluorescente	OSRAM	10	32	0.32	2.30	8	...	24
OFICINA PRODUCCIÓN 2	Fluorescente	SYLVANIA	2	40	0.08	2.20	8	...	24
OFICINA VENTAS	Fluorescente	SYLVANIA	1	40	0.04	2.30	8	..	24
GARITA	Fluorescente	SYLVANIA	2	40	0.08	2.10	...	8	30
		OSRAM	1	32	0.032				
BAÑOS Y VESTIDORES	Fluorescente	OSRAM	4	40	0.16	2.20	2	...	24
COMEDOR Y COCINA	Fluorescente	SYLVANIA	6	40	0.24	2.20	5		24
LABORATORIOS	Fluorescente	SYLVANIA	4	40	0.16	2.20	2		10
PATIO LATERAL	Mercurio de alta presión	METALIGHT	1	1500	1.5	5		8	30
PATIO DELANTERO	Mercurio de alta presión	METALIGHT	1	1500	1.5	5		8	30
POTENCIA TOTAL					7.918 KW				

Tabla 2.9: Información de Equipos de Oficina y Cocina

INFORMACIÓN DE EQUIPOS DE OFICINA Y COCINA							
EQUIPO	CANT.	POTENCIA (W)	POTENCIA (KW)	REGULACIÓN (1=SI ; 0=NO)	HORARIO DE FUNC. Horas/Día		DÍAS DE FUNC. AL MES
					8:00/17:00	17:00/8:00	
PC (Monitor y CPU)	9	500	4.5	1	12	12	30
Impresora	7	20	0.14	1	1	...	20
Fax	1	50	0.05	0	1	...	24
Radio	2	10	0.020	0	8	...	24
Televisión	1	168	0.168	0	2	...	20
Teléfono	8	50	0.40	0	8	...	30
Amplificador	1	40	0.040	0	6	...	30
UPS	1	0	8	...	30
Impresora multifunción	1	30	0.030	0	1	...	24
Portero eléctrico	1	60	0.060	1	7	...	30
Refrigerador	1	135	0.135	0	8	...	30
Licuada	1	150	0.150	0	1	...	30
Cercado Eléctrico	1	1.43×10^{-4}	1.43×10^{-7}	0	...	8	30
POTENCIA TOTAL				5.69 KW			

2.6.1 CONSUMO ELÉCTRICO DE EQUIPOS Y MAQUINAS

Esta cantidad representa la suma de todas las cargas instaladas a plena carga y medidas con los respectivos aparatos de medición se logró encontrar el consumo real de cada máquina en funcionamiento y a este sistema se denomina “consumo de carga”

La suma total de consumo de todas las cargas disponibles en la empresa es: **82,364 KW** y se muestra en las tablas 2.10 – 2.12 distribuidas por secciones.

Tabla 2.10: Información de Consumo Eléctrico de Máquinas, Sección Producción

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
				V	A	KW	A _{medida}	KW _{calculada}	# Fase	Cos Ø
SECCIÓN DE PRODUCCIÓN	1	Elevador (E1)	Siemens	220	1.9	0.746	1.6	0.5	3	0.82
	2	Zaranda (Z1)	ARNO	220	9.4	2.20	0.7	0.24	3	0.9
	3	Elevador (E2)	Siemens	220	1.9	0.746	1	0.32	3	0.82
	4	Clasificadora	RENANCE	220	4.7	1.12	1.4	0.47	3	0.89
	5	Elevador (E3)	Siemens	220	6.9	2.24	2.6	0.83	3	0.84
	6	Esclusa	Siemens	220	2.5	0.75	2	0.66	3	0.87
	7	Piladora (P1)	Weg	220	64	18.65	15.7	5.2	3	0.87
	8	Elevador (E4)	Siemens	220	1.9	0.746	1.3	0.43	3	0.87
	9	Pulidora (P2)	BROWN BOVERI	220	57	14.92	21	6.8	3	0.85
	10	Elevador (E5)	Siemens	220	2.1	0.746	1.2	0.4	3	0.87
	11	Machacadora Grande (CA)	TRANSTECNO	220	53	12.5	7.1	1.97	3	0.73
	12	Cortadora de la M.G (CA)	TRANSTECNO	220	53	12.5	7.9	2.19	3	0.73
	13	Vibrador M.G. (CA)	ANSALDO	220	3	0.58	2.2	0.63	3	0.76
	14	Elevador (E6)	Siemens	220	6.9	2.24	2.7	0.86	3	0.84

Tabla 2.10: Información de Consumo Eléctrico de Máquinas, Sección Producción (Continuación)

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
				V	A	KW	A _{medida}	KW _{calculada}	# Fase	Cos Ø
SECCIÓN DE PRODUCCIÓN	15	Machacadora Pequeña (LM)	LEROY-SOMER	220	27.3	7.46	14	4.5	3	0.84
	16	Tornillo de cocción (TC)	SEW	220	3.8	0.75	2.4	0.67	3	0.73
	17	Mezcladora (M2)	Siemens	220	18	3.73	12	3.5	3	0.78
	18	Zaranda Pequeña (Z2)	Siemens	220	2.5	0.75	2.3	0.76	3	0.87
	19	Cortadora Pequeña	Siemens	220	3	1.27	1.9	0.57	3	0.78
	20	Cortador de Morocho (CM)	Weg	220	2.5	0.75	2.1	0.69	3	0.87
	21	Ventilador de pared	Siemens	120	2.5	0.75	1.5	0.15	2	0.82
	22	Absorción de impurezas (SA2)	ABB	220	12	3.68	11.9	3.54	3	0.78
	23	Elevador (E7)	Siemens	220	6.9	2.24	4.3	1.38	3	0.84
	24	Bomba de Agua (1HP)	General	115	6.5	0.746	6.2	0.58	2	0.82
	25	Bomba de Agua (1HP)	BARNES	115	6.5	0.746	5.9	0.54	2	0.79
	26	Quemador	Emerson	115	3.5	0.19	2.8	0.26	2	0.80
	27	Bomba de Agua (0.5HP)	DAB	115	5.85	0.37	5.6	0.52	2	0.80
	28	Bomba de Agua (0.5HP)	DAB	115	5.85	0.37	5.8	0.55	2	0.82
POTENCIA TOTAL								30.47 KW		

Tabla 2.11: Información de Consumo Eléctrico de Máquinas, Sección Molinos y Clasificación de Granos

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
				V	A	KW	A _{medida}	KW _{calculada}	# Fases	Cos Ø
SECCIÓN DE MOLINOS Y CLASIFICACIÓN DE GRANOS	31	Compresor (20HP) -C1	CECCATO	220	53	14.92	19.1	6.18	3	0.85
	32	Compresor (6.5HP) -C2	A.O.SMITH	220	15	4.85	11.8	3.68	3	0.82
	33	Compresor (6.5HP) -C3	A.O.SMITH	220	15	4.85	5.7	1.68	3	0.82
	34	Compresor (5.5HP) -C4	EMG	220	15.6	4.10	5.6	1.75	3	0.82
	35	Mezcladora (M1)	Weg	220	28	7.46	17	5.4	3	0.84
	36	Elevador (E8)	Weg	220	2.5	0.746	1.7	0.56	3	0.87
	37	Molino de Martillo	Weg	220	57	18.65	28.7	9.51	3	0.82
	38	Vibrador (Molino)	Weg	220	2.5	0.75	1	0.33	3	0.87
	39	Esclusa (Molino)	Weg	220	2.5	0.75	1.7	0.57	3	0.87
	40	Elevador (E9)	Weg	220	2.5	2.24	1.5	0.5	3	0.87
	41	Tamizadora	Weg	220	18	3.73	6.1	1.8	3	0.78
	42	Aventadora	Weg	220	2.6	1.3	1.4	0.45	3	0.84
	43	Ventilador Grande Exter.	Siemens	220	57	18.65	18.2	5.68	3	0.82
	44	Bomba de Agua (0.5HP)	PEDROLLO	120	5.5	0.37	5.7	0.54	2	0.80
	POTENCIA TOTAL								32.66 KW	

Tabla 2.12: Información de Consumo Eléctrico de Máquinas, Sección Secado y Enfundadoras

ÁREA	ORD.	EQUIPO	Marca del Motor	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
				V	A	KW	A _{medida}	KW _{calculada}	#Fases	Cos Ø
SECCIÓN DE SECADO Y ENFUNDADORAS	45	Ventilador de Secado	Siemens	220	28	7.46	30.2	10.36	3	0.90
	46	Quemador	Emerson	120	3.5	0.19	2.5	0.24	2	0.79
	47	Elevador auxiliar	Siemens	220	3.5	0.75	0.5	0.16	3	0.87
	48	Vibrador (Secado)	Weg	220	3.02	0.75	2.1	0.65	3	0.82
	49	Banda transportadora	Weg	220	3.5	0.75	2.2	0.73	3	0.87
	50	Ventilador horno quemador	Weg	220	9	2.24	0.3	0.1	3	0.83
	51	Empaquetadora	Weg	220	9.6	2.24	4.8	1.5	3	0.83
		Banda tras. Empaquetador	Weg	220	1.14	0.75	1	0.25	3	0.65
		Elevador Tornillo	Weg	220	3.4	1.49	3.5	1.06	3	0.80
		Motor auxiliar 1	Weg	220	7	1.49	3.9	1.19	3	0.80
		Motor auxiliar 2	Weg	220	9.6	2.24	5.1	1.61	3	0.83
	52	Empaquetadora MACPEG	PraziBlitz	120	3.2	0.37	5.2	1.65	2	0.83
	53	Empaquetadora MACPET A	PraziBlitz	120	3.2	0.37	1.1	0.102	2	0.78
	54	Empaquetadora MACPET 1	PraziBlitz	120	3.2	0.37	1.3	0.118	2	0.76
	55	Empaquetadora MACPET 2	PraziBlitz	120	3.2	0.37	1.4	0.134	2	0.80
	56	Empaquetadora MACPET 3	PraziBlitz	120	3.2	0.37	1.2	0.11	2	0.77
POTENCIA TOTAL								19.234 KW		

2.7 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CARGA CON LOS RESULTADOS DEL ANALIZADOR PowerPad AEMC 3945-B

El análisis de consumo de energía se efectuó durante el lapso de 8 días, en intervalos de medición de 10 minutos (Ver Anexo 6), tiempo en el cual se hace perceptible la curva de carga que regularmente se presenta durante los períodos de trabajo, el equipo empleado fue el analizador de calidad de energía eléctrica trifásica PowerPad AEMC modelo 3945-B. El registro fue obtenido en el lado de baja tensión del transformador.

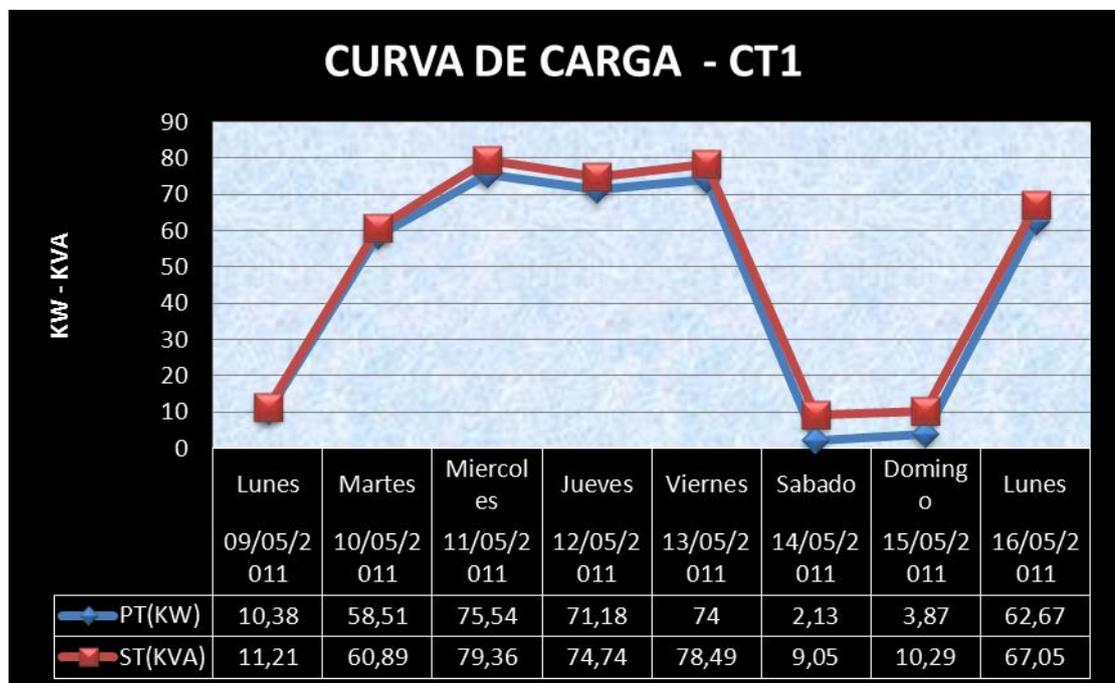


Figura 2.1: Curva de carga del Centro de Transformación

2.8 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DE POTENCIAS CALCULADA.

Se procede a tomar mediciones de corriente y voltaje con los respectivos aparatos de medición (amperímetro y voltímetro) para calcular la potencia de consumo de las máquinas que trabajan en el día miércoles con referencia al literal anterior, para con ello realizar una comparación y determinar si los datos tomados con el analizador se asemejan a los

calculados, con su horario de inicio y finalización de funcionamiento para tener la curva de carga del pico máximo de consumo, en la tabla 2.13 se detalla el número de motores encendidos con su respectiva potencia de consumo calculada, se compara el pico máximo dando como resultado que es menor a la tomada por el analizador, por la producción que varía por meses de demanda de algunos productos y la hora de toma de datos.

Tabla 2.13: Información de Consumo de Máquinas

CONSUMO DE MAQUINAS DEL DÍA MIÉRCOLES			
Nº	Potencia Consumida KW	Horario de Encendido	
1	Elevador (E1)	0.5	8am-5pm
2	Zaranda (Z1)	0.24	8am-5pm
3	Elevador (E2)	0.32	8am-5pm
4	Clasificadora	0.47	8am-5pm
5	Elevador (E3)	0.83	8am-5pm
6	Esclusa	0.66	8am-5pm
7	Piladora (P1)	5.2	8am-5pm
8	Elevador (E4)	0.43	8am-5pm
9	Pulidora (P2)	4.8	8am-5pm
10	Elevador (E5)	0.4	8am-5pm
11	Vibrador M.G. (CA)	0.63	8am-5pm
12	Elevador (E6)	0.86	8am-5pm
13	Zaranda Pequeña (Z2)	0.76	8am-5pm
14	Absorción de impurezas (SA2)	3.54	8am-5pm
15	Elevador (E7)	1.38	8am-5pm
16	Compresor (20HP) -C1	7.2	8am-5pm
17	Compresor (6.5HP) -C2	2.9	8am-5pm
18	Compresor (6.5HP) -C3	2.84	8am-5pm
19	Compresor (5.5HP) -C4	2.25	8am-5pm
20	Bomba de Agua (0.5HP)	0.54	8am-5pm
21	Empaquetadora MACPEG	1.65	8am-5pm Variable
22	Empaquetadora MACPET A	0.102	8am-5pm Variable
23	Empaquetadora MACPET 1	0.118	8am-5pm Variable
24	Empaquetadora MACPET 2	0.134	8am-5pm Variable

Tabla 2.13: Información de Consumo de Máquinas (Continuación)

Nº	Potencia Consumida KW		Horario de Encendido
25	Empaquetadora MACPET 3	0.11	8am-5pm Variable
26	Ventilador Grande Exter.	6.68	8am-5pm
27	Piladora (P1)	7.9	8am-5pm
28	Pulidora (P2)	6.8	8am-5pm
29	Cortadora de Morocho (CM)	0.7	8am-5pm
30	Aventadora	0.44	8am-5pm Variable
31	Ventilador de secado	10.4	8am-5pm
32	Quemador de secado	0.24	8am-5pm
33	Elevador Auxiliar	0.16	8am-5pm
34	Ventilador horno Quemador	0.13	8am-5pm
POTENCIA TOTAL	Medida Individualmente motor a motor =72.314 KW		

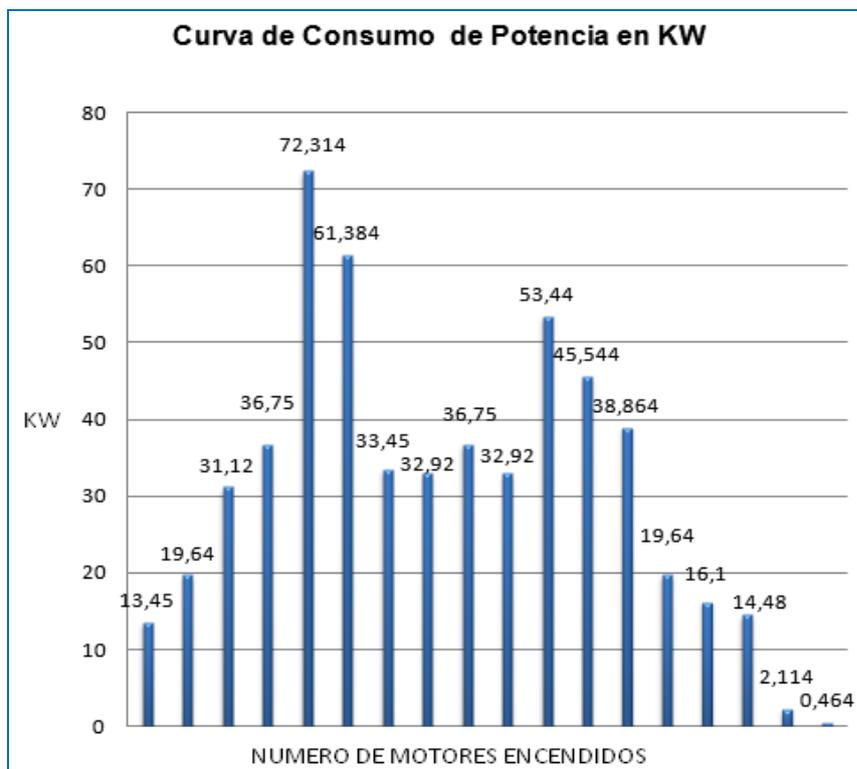


Figura 2.2: Curva de carga con el consumo calculado

2.9 CAPACIDAD DE RESERVA DEL TRANSFORMADOR

Se obtuvo una sumatoria de la carga instalada en función de la Potencia Aparente y corresponde al resultado de la suma de todos los tableros de distribución secundarios (*Ver Anexo 5, Plano N° 4 - 7*),

A continuación se efectúa una analogía comparativa entre los KVA utilizados registrados con el analizador de energía y los disponibles con el fin de dar a conocer la capacidad de reserva del transformador.

Tabla 2.14: Capacidad de reserva del transformador

Centro de Transformación	KVA carga Instalada	KVA máx. Utilizados	% Cargabilidad	% Disponible
CT1 – 100KVA	258,048	79,36	79,36 %	19,04

2.10 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DEMANDA

Se tiene como dato en la empresa la demanda máxima o el pico máximo de consumo es de 75,54 KW, ya que la empresa no trabaja en todas las secciones a su máxima capacidad, entonces el factor de demanda se obtiene a través de la ecuación (1.17).

$$F. d. = \frac{75,54 \text{ KW}}{213,664 \text{ KW}}$$

$$F. d. = 0,35$$

Este bajo factor de demanda se debe porque la operación de la carga es intermitente, un gran número de máquinas no son muy utilizadas, solo se la requiere y también a que el proceso de producción no requiere mucha energía porque es bajo.

Pero cuando la Empresa tenga mayor demanda de su producto requerirá de mayor energía y el factor de demanda incrementara.

2.11 ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA

Para la adquisición de datos de calidad de energía se ha hecho referencia a la Regulación 004/001 del CONELEC, en donde se estipula el procedimiento a seguir para la obtención de las mediciones; en efecto, el equipo empleado fue el Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Trifásica PowerPad modelo 3945-B.



Figura 2.3: Analizador de calidad de energía trifásico PowerPad Modelo 3945-B

2.11.1 TRANSFORMADOR

Los resultados obtenidos por el analizador en las mediciones realizadas en el transformador se muestran en el *Anexo 6*, y su análisis se expone a continuación.

Tabla 2.15: Calidad de energía

Parámetros		Valores Medidos			Valores Nominales	Valores Permitidos	Observación
		Mínimo	Máximo	Promedio			
Frecuencia	(Hz)	0.00	60.07	59.77	60	$\pm 1\%$ ²⁵	CUMPLE
Voltaje Vrms	L1	0.00	133.2	127.5	121	$\pm 8\%V_n$ ²⁶	CUMPLE
	L2	0.00	134.1	128.1	121	$\pm 8\%V_n$	CUMPLE
	L3	0.00	135.3	128.9	121	$\pm 8\%V_n$	CUMPLE
Distorsión Armónica VTHD %	L1	0.00	2.8	1.879		$\leq 8\%$ ²⁷	CUMPLE
	L2	0.00	2.4	1.498		$\leq 8\%$	CUMPLE
	L3	0.00	2.6	1.56		$\leq 8\%$	CUMPLE
Distorsión Armónica ATHD %	L1	0.00	27.3	13.07		$\leq 5\%$ ²⁸	Fuera de rango
	L2	0.00	19.3	11.22		$\leq 5\%$	Fuera de rango
	L3	0.00	27.2	13.56		$\leq 5\%$	Fuera de rango
Desbalance de Fases	Vunb%	0.00	2.4	0.59		$< 2\%$ ²⁹	CUMPLE
	Aunb%	0.00	54.7	9.521		$< 40\%$ ³⁰	CUMPLE
Fliker Vflik	L1	0.00	1.36	0.473		< 1 ³¹	CUMPLE
	L2	0.00	1.30	0.489		< 1	CUMPLE
	L3	0.00	1.39	0.491		< 1	CUMPLE
Factor de Potencia PF	L1	0.00	0.99	0,867		> 0.92 ³²	NO CUMPLE
	L2	0.00	0.996	0,746		> 0.92	NO CUMPLE
	L3	0.00	0.991	0,863		> 0.92	NO CUMPLE

Se presenta un alto porcentaje de distorsión armónica de corriente dado que actualmente en las instalaciones, se encuentran un gran número de cargas no lineales como: computadoras personales, UPS's, cámaras de video, lámparas fluorescentes, etc.

El factor de potencia está fuera de rango por que la capacidad de los condensadores es muy alta.

²⁵ Norma UNE EN 50160

²⁶ Regulación No. CONELEC – 004/01

²⁷ Regulación No. CONELEC – 004/01

²⁸ Regulación No. CONELEC-003/08 (IEEE Standard 519)

²⁹ Norma IEC 61000-2-2, Norma IEEE 1159

³⁰ IEEE Standard 1159

³¹ Regulación No. CONELEC – 004/01

³² Empresa Eléctrica Cotopaxi

CAPÍTULO III

REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA CEREALES “LA PRADERA”

3.1 ANÁLISIS PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN

El estudio de la red de baja tensión se realiza a partir de la información adquirida en la empresa CEREALES “LA PRADERA”, de manera que se alcance un rediseño y una optimización de los circuitos de alimentación que garantice el normal funcionamiento de cada una de las dependencias.

El análisis del sistema de baja tensión está enfocado en dos aspectos fundamentales para el rediseño, como son:

- a. Selección de conductores
- b. Selección de protecciones

De los resultados que se obtengan en el estudio de estos dos parámetros se definirá si se confirma o se cambian el calibre o el tipo de conductores, la distribución de circuitos, las fuentes de iluminación o las protecciones instaladas actualmente.

3.2 REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA CEREALES “LA PRADERA”

En este punto se comprueba todos los elementos que constituyen un sistema eléctrico de potencia para comprobar si se encuentran bien diseñados de acuerdo a lo requerido actualmente por la carga.

Los resultados obtenidos se aplican para planeación y diseño de la expansión del sistema de potencia y para la determinación de las condiciones de operación y funcionamiento del mismo.

3.2.1 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE FLUJOS DE CARGA MEDIANTE SOFTWARE

Se empleó el software NEPLAN por la facilidad de adquisición de datos y por los resultados que despliega en cuanto se refiere a flujos de carga y corrientes de cortocircuito.

Los resultados principales que se obtienen del flujo de potencia son: magnitud y ángulo de fase del voltaje de cada barra del sistema (V , θ), potencia activa y reactiva que fluye por cada elemento del sistema (P , Q). Los resultados secundarios son las caídas de voltaje ($\% \Delta V$), y cargabilidad de los elementos ($\% P_{max}$).

A continuación se muestra el esquema del sistema eléctrico de la empresa, en él se detalla la red de alimentación y el centro de transformación con sus respectivas cargas máximas.

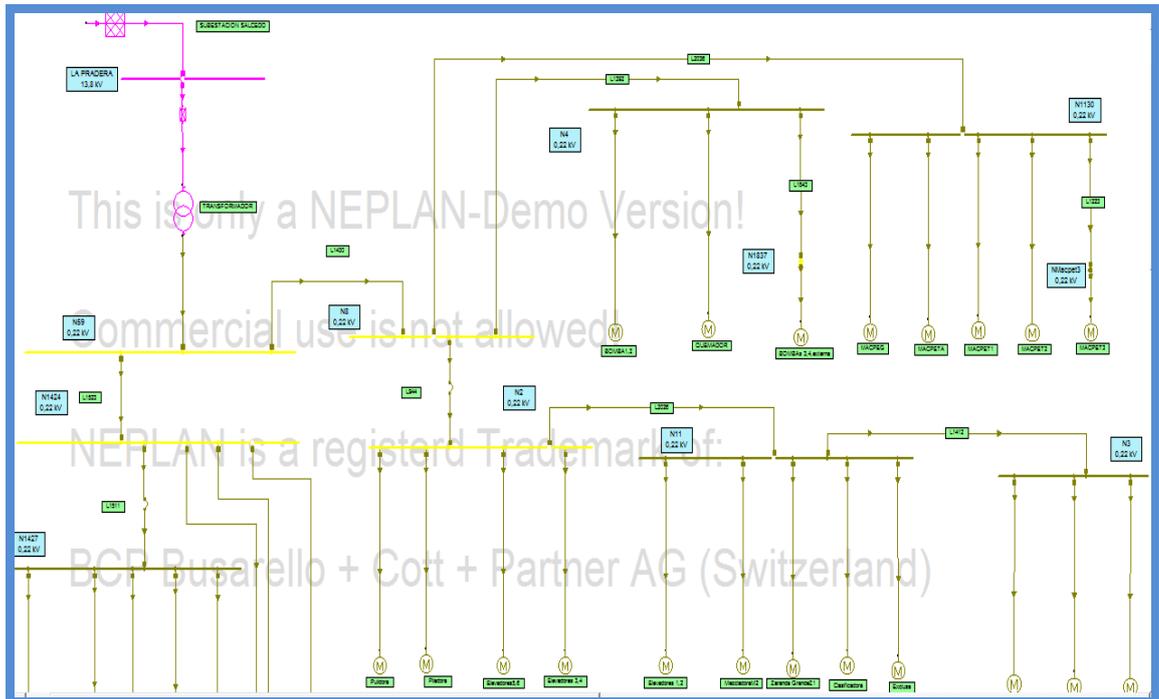


Figura 3.1: Esquema del sistema eléctrico de la empresa CEREALES “LA PRADERA”

Los resultados obtenidos en las barras son los siguientes:

Tabla 3.1: Resultados flujos de potencia NEPLAN en barras

No. de Barra	Voltaje (V)	ΔV (%V)	Ángulo V (°)	P _{carga} (KW)	Q _{carga} (KVAR)	P _{generación} (KW)	Q _{generación} (KVAR)
CT1.1	219,17	0,996	0	226	154	0	0
STB1.1	217,16	0,9871	-15,8	65	41	0	0
TB1.3	217,34	1,9758	-15,7	4	3	0	0
TB1.4	219,88	1,9989	-15,8	3	2	0	0
CD1	219,12	0,9960	-15,4	19	13	0	0
CD1.1	217,66	0,9894	-14,7	7	5	0	0
CT1.2	216,80	0,9854	-15,6	151	108	0	0
STB2.1	219,33	0,9970	-15,6	41	35	0	0
CD2	219,56	0,9980	-15,4	5	3	0	0
STB2.2	219,88	0,9995	-15,6	13	7	0	0
STB2.3	217,58	0,9890	-15,5	89	60	0	0
STB2.3.1	218,40	0,9927	-15,5	33,3	22,2	0	0
CT1.3	216,69	0,9849	-15,6	13	7	0	0

Los datos obtenidos están acorde a los valores calculados y medidos.

3.2.1 SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

En NEPLAN se obtienen las corrientes de corto circuito en todos los tramos y barras.

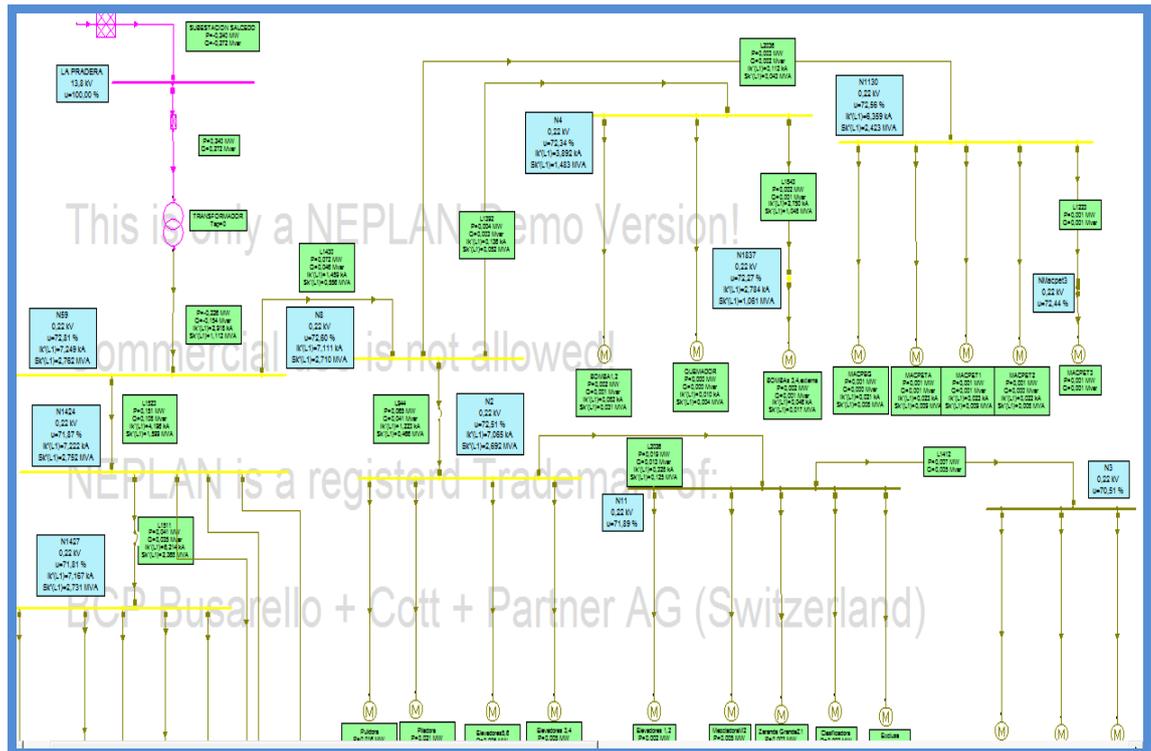


Figura 3.2: Esquema Sistema eléctrico, fallas de cortocircuito

Las corrientes de cortocircuito fueron simuladas de la siguiente manera:

1. Cada corriente de cortocircuito fue simulada una a la vez.
2. Las corrientes de cortocircuito corresponden a la simulación de fallas trifásicas balanceadas, las cuales son las corrientes de falla de mayor magnitud que se pueden presentar en dichos puntos del sistema.
3. Estas fallas se simulan en los nodos del sistema en donde se realiza el monitoreo.

Tabla 3.2: Resultados fallas de cortocircuito NEPLAN por tramos

Localización de la falla	Voltaje (KV)	Icc (A)	Tipo de Falla
CT1.1	0,22	7249	Falla Trifásica
STB1.1	0,22	4061	Falla Trifásica
Pulidora P2	0,22	2742	Falla Trifásica
Piladora P1	0,22	2772	Falla Trifásica
Elevador 6	0,22	1451	Falla Trifásica
Elevador 5	0,22	1246	Falla Trifásica
Elevador 4	0,22	1347	Falla Trifásica
Elevador 3	0,22	1686	Falla Trifásica
TB1.3	0,22	1871	Falla Trifásica
TB1.4	0,22	3348	Falla Trifásica
MACPET A	0,22	1201	Falla Trifásica
MACPET1	0,22	1471	Falla Trifásica
MACPET2	0,22	931	Falla Trifásica
MACPET3	0,22	525	Falla Trifásica
CD1	0,22	2417	Falla Trifásica
Elevador 2	0,22	2383	Falla Trifásica
Elevador 1	0,22	2187	Falla Trifásica
Mezcladora M2	0,22	1975	Falla Trifásica
Zaranda Z1	0,22	1473	Falla Trifásica
Clasificadora	0,22	1901	Falla Trifásica
Esclusa	0,22	1113	Falla Trifásica
CD1.1	0,22	1404	Falla Trifásica
Zaranda Z2	0,22	1281	Falla Trifásica
Cortadora Pequeña	0,22	1058	Falla Trifásica
Absorción Impurezas	0,22	1689	Falla Trifásica
CT1.2	0,22	3168	Falla Trifásica
STB2.1	0,22	3158	Falla Trifásica
Cortadora MG	0,22	3020	Falla Trifásica
Machacadora CA	0,22	1509	Falla Trifásica
Vibrador MG CA	0,22	1078	Falla Trifásica
Tornillo de Cocción	0,22	1642	Falla Trifásica

**Tabla 3.2: Resultados fallas de cortocircuito NEPLAN por tramos
(Continuación)**

Localización de la falla	Voltaje (KV)	Icc (A)	Tipo de Falla
Machacadora LM	0,22	2421	Falla Trifásica
Ventilador Horno Q.	0,22	1551	Falla Trifásica
CD2	0,22	1034	Falla Trifásica
Cortadora de Morocho	0,22	741	Falla Trifásica
Elevador E7	0,22	1018	Falla Trifásica
STB2.2	0,22	2975	Falla Trifásica
Elevador Auxiliar	0,22	1366	Falla Trifásica
Quemador	0,22	757	Falla Trifásica
Vibrador Secado	0,22	1005	Falla Trifásica
Banda Transport.	0,22	1885	Falla Trifásica
Ventilador de Secado	0,22	1207	Falla Trifásica
STB2.3	0,22	2651	Falla Trifásica
Ventilador G.E	0,22	2617	Falla Trifásica
Elevador E8	0,22	1578	Falla Trifásica
Tamizadora	0,22	1044	Falla Trifásica
Compresor C4	0,22	1809	Falla Trifásica
Compresor C3	0,22	1610	Falla Trifásica
Compresor C2	0,22	1610	Falla Trifásica
Compresor C1	0,22	1806	Falla Trifásica
STB2.3.1	0,22	3631	Falla Trifásica
Molino de Martillo	0,22	3212	Falla Trifásica
Aventadora	0,22	2240	Falla Trifásica
STB2.3.1.1	0,22	2876	Falla Trifásica
Vibrador Molino	0,22	1336	Falla Trifásica
Esclusa Molino	0,22	1332	Falla Trifásica
Elevador E9	0,22	908	Falla Trifásica
Mezcladora M1	0,22	1445	Falla Trifásica
CT1.3	0,22	3458	Falla Trifásica
Indumax	0,22	2263	Falla Trifásica

3.3 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO CALCULADA

Se determina la corriente de cortocircuito total del sistema para la comparación con el dato obtenido en NEPLAN, se utiliza el método de los MVA dado en el capítulo 1 página 11. Para utilizar este método, cada elemento en el circuito se convierte a un valor en MVA y la red se reduce tratando cada valor como una admitancia.

a) Nivel de cortocircuito de la Subestación Salcedo

$$MVACC = 380^{33}$$

$$ICC = 15885 \text{ A}$$

13.8 KV

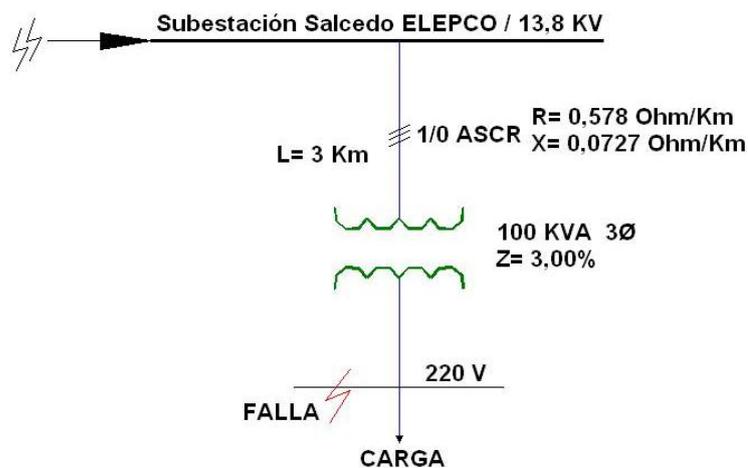


Figura 3.3: Diagrama MVA

b) Cable de Potencia

Calibre: 1/0 ACSR

$$R = 0,578 \text{ Ohm/km}$$

$$X = 0,0727 \text{ Ohm/km}$$

³³ Dato proporcionado por ELEPCO.

$$L = 3Km$$

$$R = 0,578 \frac{Ohm}{km} \times 3Km = 1,734 Ohm$$

$$X = 0,0727 \frac{Ohm}{km} \times 3Km = 0,218 Ohm$$

$$MVA_{CC} = \frac{KV^2}{Z(\Omega)}$$

$$MVA_{CC} = \frac{KV^2}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

$$MVA_{CC} = \frac{13,8^2}{\sqrt{1,734^2 + 0,218^2}}$$

$$MVA_{CC} = 108,9 MVA$$

c) Transformador de 100 KVA

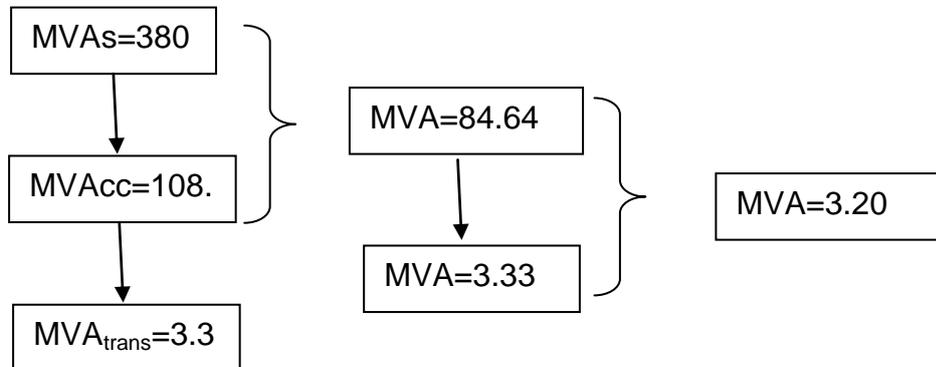
$$Z = 3,00\%$$

$$MVA_{Transf.} = \frac{MVA}{Z_{pu}}$$

$$MVA_{Transf.} = \frac{0,0100 MVA}{0,03}$$

$$MVA_{Transf.} = 3,33MVA$$

d) Cálculo



Combinando los elementos en serie:

$$\frac{MVA_s \times MVA_c}{MVA_s + MVA_c} = \frac{380 \text{ MVA} \times 108,9 \text{ MVA}}{380 \text{ MVA} + 108,9 \text{ MVA}} = 84,64 \text{ MVA}$$

$$\frac{84,64 \text{ MVA} \times 3,33 \text{ MVA}}{84,64 \text{ MVA} + 3,33 \text{ MVA}} = 3,20 \text{ MVA}$$

$$I_{cc} = \frac{KVA_{cc}}{\sqrt{3} \times 220} = \frac{3,200 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 220} = \mathbf{8.390 \text{ KA}}$$

El valor calculado se asemeja al valor obtenido con NEPLAN que es de 7949 KA.

3.4 ANÁLISIS Y REDISEÑO DE CONDUCTORES

La selección de conductores, para cada circuito de los Tableros Principales de la red de baja tensión se la efectuará en base a tres criterios: por corriente nominal, por caída de voltaje (ΔV), por corrientes de cortocircuito, los cuales con el conocimiento previo de cada circuito permitirá confirmar o a su vez determinar si se debe cambiar el tipo o calibre de conductor.

3.4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES

3.4.1.1 Por corriente nominal

PASO N° 1: Información del circuito

<i>Identificación del tramo:</i>	Pulidora (P2)
<i>Potencia de la carga instalada:</i>	20 HP
<i>Conductor alimentador instalado:</i>	3x8 AWG THW
<i>Longitud del conductor:</i>	2,7 m
<i>Voltaje del circuito:</i>	220 V
<i>Factor de potencia:</i>	0,85
<i>Tipo de instalación:</i>	Aérea

PASO N° 2: Cálculos

$$P = 20\text{HP} * \frac{746\text{W}}{1\text{HP} \times 1000}$$

$$P = 14,92 \text{ KW}$$

$$S = \frac{P}{\text{fp}}$$

$$S = \frac{14,92 \text{ KW}}{0,85}$$

$$S = 17,56 \text{ KVA}$$

Cálculo de la Corriente Nominal

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L}$$

$$I_n = \frac{17,56 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 220}$$

$$I_n = 46,06 \text{ A}$$

Cálculo de la Corriente de Sobrecarga

$$I_{sc} = I_n + 25\% I_n$$

$$I_{sc} = 46,06 + (25\%)46,06$$

$$I_{sc} = 57,58 \text{ A}$$

PASO N° 3: Selección del Conductor

El conductor del circuito se selecciona en tablas de conductores en función de la corriente calculada, para el presente estudio se utiliza las tablas de ELECTRO CABLES C.A.³⁴

Tabla 3.3: Selección de conductores AWG

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total kg / km	Capacidad de Corriente (Amp)**
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos				
FORMACIÓN SÓLIDO						
14	2,08	1	0,76	3,15	25,91	20
12	3,31	1	0,76	3,57	38,15	25
10	5,261	1	0,76	4,11	57,17	35
8	8,367	1	1,14	5,54	94,89	50
FORMACIÓN UNILAY						
14	2,08	19	0,76	3,35	27,13	20
12	3,31	19	0,76	3,79	39,77	25
10	5,261	19	0,76	4,39	59,51	35
8	8,367	19	1,14	5,90	98,88	50
6	13,3	19	1,52	7,60	159,74	65
4	21,15	19	1,52	8,79	239,13	85
2	33,62	19	1,52	10,29	362,80	115
1	42,4	19	2,03	12,21	473,25	130
1/0	53,49	19	2,03	13,21	583,27	150
2/0	67,44	19	2,03	14,33	720,49	175
3/0	85,02	19	2,03	15,59	892,21	200
4/0	107,2	19	2,03	17,014	1107,41	230

³⁴ Catálogo de Productos ELECTRO CABLES C.A. pdf

De acuerdo a la Intensidad nominal (I_n) calculada y la temperatura de servicio, se selecciona el conductor.

$$I_n = 46,06 \text{ A}$$

$$I_{sc} = 57,58 \text{ A}$$

$$T_{ambiente} = 75^\circ\text{C}$$

Con las tablas empleadas para 3 conductores en conduit, tipo THW corresponde un calibre 8 AWG.

Los cálculos de los conductores de los circuitos derivados se presentan de una forma simplificada en la Tabla 3.4, en donde se aplican las ecuaciones planteadas con las constantes que las características de cada circuito las requieran.

Tabla 3.4: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente Nominal

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Potencia (HP)	Potencia (KW)	CosØ	Potencia Instalada (KVA)	Longitud (m)	Corriente nominal In (A)	Corriente Sobrecarga (Isc)	Selección Conductor (AWG)
CT1.1	1/0	82,25	54,43	0,92	66,33	7,3	175,03	218,78	3/0
STB1.1	6	57	42,522	0,92	46,22	9	121,29	151,62	1
Pulidora P2	8	20	14,92	0,85	17,55	2,7	46,06	57,58	8
Piladora P1	8	25	18,65	0,87	21,44	12	56,26	70,32	8
Elevador 6	8	3	2,238	0,84	2,66	14	6,99	8,74	8
Elevador 5	8	3	2,238	0,87	2,57	16	6,75	8,44	8
Elevador 4	8	3	2,238	0,87	2,57	15	6,75	8,44	8
Elevador 3	8	3	2,238	0,84	2,66	22	6,99	8,74	8
TB1.3	14	3,75	2,7975	0,92	3,04	20	7,98	9,97	12
Bomba 1	14	1	0,746	0,82	0,91	5	8,27	10,34	14
Bomba 2	14	1	0,746	0,82	0,91	6	8,27	10,34	14
Quemador	14	0,25	0,1865	0,79	0,24	7	2,15	2,68	14
Bomba 3	14	0,5	0,373	0,8	0,47	9	4,24	5,30	14
Bomba 4	14	0,5	0,373	0,8	0,47	11	4,24	5,30	14
Bomba posterior	14	0,5	0,373	0,8	0,47	3	4,24	5,30	14
TB1.4	1	2	1,492	0,92	1,62	35	4,26	5,32	12
MACPET A	14	0,5	0,373	0,78	0,48	4	1,25	1,57	14
MACPET1	14	0,5	0,373	0,76	0,49	6	1,29	1,61	14
MACPET2	14	0,5	0,373	0,8	0,47	8	1,22	1,53	14
MACPET3	14	0,5	0,373	0,77	0,48	10	1,27	1,59	14

Tabla 3.4: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente Nominal (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Potencia (HP)	Potencia (KW)	CosØ	Potencia Instalada (KVA)	Longitud (m)	Corriente nominal In (A)	Corriente Sobrecarga (Isc)	Selección Conductor (AWG)
CD1	8	12,5	9,325	0,92	10,14	8	26,60	33,25	10
Elevador 2	8	1	0,746	0,82	0,91	8	2,39	2,98	14
Elevador 1	8	1	0,746	0,82	0,91	14	2,39	2,98	14
Mezcladora M2	12	5	3,73	0,78	4,78	19	12,55	15,69	10
Zaranda Z1	8	3	2,238	0,9	2,49	8	6,53	8,16	8
Clasificadora	12	1,5	1,119	0,89	1,26	7	3,30	4,12	12
Esclusa	12	1	0,746	0,87	0,86	5	2,25	2,81	12
CD1.1	12	7	5,222	0,92	5,68	15	14,90	18,62	10
Zaranda Z2	12	1	0,746	0,87	0,86	12	2,25	2,81	12
Cortadora Pequeña	12	1	0,746	0,78	0,96	14	2,51	3,14	12
Absorción Impurezas	12	5	3,73	0,78	4,78	9	12,55	15,69	12
CT1.2	2	141,75	98,75	0,92	120,41	10,3	301,64	377,05	1/0
STB2.1	6	10	7,46	0,92	8,11	12	21,28	26,60	12
Cortadora MG	8	17	12,682	0,73	17,37	10,5	45,59	56,99	10
Machacadora CA	8	17	12,682	0,73	17,37	6,5	45,59	56,99	10
Vibrador MG CA	8	0,78	0,58188	0,76	0,77	9	2,01	2,51	14
Tornillo de Cocción	8	1	0,746	0,73	1,02	6,2	2,68	3,35	14
Machacadora LM	8	10	7,46	0,84	8,88	6,5	23,31	29,13	12
Ventilador Horno Q.	10	3	2,238	0,83	2,70	13	7,08	8,85	14

Tabla 3.4: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente Nominal (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Potencia (HP)	Potencia (KW)	CosØ	Potencia Instalada (KVA)	Longitud (m)	Corriente nominal In (A)	Corriente Sobrecarga (Isc)	Selección Conductor (AWG)
CD2	6	5	3,73	0,92	4,05	16	10,64	13,30	14
Cortadora de Morcho	12	1	0,746	0,87	0,86	3	2,25	2,81	14
Ventilador de Pared	12	1	0,746	0,82	0,91	5	2,39	2,98	14
Elevador E7	12	3	2,238	0,84	2,66	14	6,99	8,74	14
STB2.2	2	13,25	9,8845	0,92	10,74	4	28,20	35,24	12
Elevador Auxiliar	12	1	0,746	0,87	0,86	6	2,25	2,81	14
Quemador	12	0,25	0,1865	0,79	0,24	3	0,62	0,77	14
Vibrador Secado	12	1	0,746	0,82	0,91	3,6	2,39	2,98	14
Banda Transport.	12	1	0,746	0,87	0,86	8	2,25	2,81	14
Ventilador de Secado	12	10	7,46	0,9	8,29	3	21,75	27,19	12
STB2.3	1	69,5	51,847	0,92	56,36	20	147,89	184,87	1
Ventilador G.E	10	25	18,65	0,82	22,74	24	59,69	74,61	6
Elevador E8	12	1	0,746	0,87	0,86	14	2,25	2,81	14
Tamizadora	12	5	3,73	0,78	4,78	19	12,55	15,69	12
Compresor C4	8	5,5	4,103	0,82	5,00	2	13,13	16,41	12
Compresor C3	8	6,5	4,849	0,82	5,91	2	15,52	19,40	12
Compresor C2	8	6,5	4,849	0,82	5,91	2	15,52	19,40	12
Compresor C1	8	20	14,92	0,85	17,55	3	46,06	57,58	10
STB2.3.1	3/0	41	30,586	0,92	33,25	45	87,25	109,06	3/0

Tabla 3.4: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente Nominal (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Cos ϕ	Potencia Instalada (KVA)	Longitud (m)	Corriente nominal In (A)	Corriente Sobrecarga (Isc)	Selección Conductor (AWG)
Molino de Martillo	2	25	18,65	0,82	22,74	12	59,69	74,61	6
Aventadora	2	3	2,238	0,84	2,66	10	6,99	8,74	12
STB2.3.1.1	2	13	9,698	0,92	10,54	44	27,66	34,58	4
Vibrador Molino	14	1	0,746	0,87	0,86	10	2,25	2,81	14
Esclusa Molino	14	1	0,746	0,87	0,86	17	2,25	2,81	14
Elevador E9	14	1	0,746	0,87	0,86	22	2,25	2,81	14
Mezcladora M1	14	10	7,46	0,84	8,88	10	23,31	29,13	12
CT1.3	6	11,5	8,579	0,92	9,325	52	24,47	30,59	6
Indumax	14	3	2,238	0,83	2,70	4	7,08	8,85	14
Banda Trasnporta.	14	1	0,746	0,65	1,15	5	3,01	3,76	14
Elevador Tornillo	14	2	1,492	0,8	1,87	4	4,89	6,12	14
Motor Auxiliar 1	14	2	1,492	0,8	1,87	4	4,89	6,12	14
Motor Auxiliar 2	14	3	2,238	0,83	2,70	6	7,08	8,85	14
MACPEG	14	0,5	0,373	0,83	0,45	5	1,18	1,47	14
CT1.4	8	3,4	2,5364	0,92	2,76	38	7,24	9,04	10

3.4.1.2 Por caída de tensión³⁵

PASO N° 1: Información del circuito

<i>Identificación del tramo:</i>	Pulidora (P2)
<i>Potencia de la carga instalada:</i>	20 HP
<i>Conductor alimentador instalado:</i>	3x8 AWG THW
<i>Longitud del conductor:</i>	2,7 m
<i>Voltaje del circuito:</i>	220 V
<i>Factor de potencia:</i>	0,85
<i>Tipo de instalación:</i>	Aérea

PASO N° 2: Cálculos

$$P = 20\text{HP} * \frac{746\text{W}}{1\text{HP} \times 1000}$$

$$P = 14,92 \text{ KW}$$

$$S = \frac{P}{\text{fp}}$$

$$S = \frac{14,92 \text{ KW}}{0,85}$$

$$S = 17,56 \text{ KVA}$$

Cálculo de la Corriente Nominal

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L}$$

³⁵BRATU Serbán, Neagu, - "Instalaciones Eléctricas, Conceptos Básicos y Diseño" - Segunda Edición - Alfaomega - 1992. Pagina.- 95

$$I_n = \frac{17,56 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 220}$$

$$I_n = 46,06 \text{ A}$$

$$e = \frac{2 * c}{V} \times \frac{L * I}{S}$$

e = Caída de voltaje permitida en por ciento.

c = 2 para circuitos monofásicos o bifásicos y $c = \sqrt{3}$ para trifásicos.

L = Longitud del conductor en metros

I = Corriente de carga

v = voltaje aplicado

S = Área o sección transversal del conductor en mm²

$$e = \frac{2 * \sqrt{3}}{220} \times \frac{2,7 * 46,06}{8,37}$$

$$e = 0,23\%$$

PASO N° 3: Validación

La caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el Reglamento en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable.

Tabla 3.5: Caídas de voltaje permisibles

Tipo de Instalación	ΔV máxima permitida³⁶
Línea general de alimentación	1%
Derivación individual	1.5 %
Circuitos interiores	3 %
Circuitos de alumbrado	3 %
Circuitos de fuerza	5 %

PASO N° 4: Selección del Conductor

Los 3 conductores 8 AWG está subdimensionado con la caída de voltaje que se requiere para el circuito de estas características, a continuación se muestra la solución:

Nuevo conductor sugerido: 3x6 AWG

Sección transversal: 13,3 mm²

$$e = \frac{2 * \sqrt{3}}{220} \times \frac{2,7 * 46,06}{13,3}$$

$$e = 0,15\%$$

Los cálculos se presentan de una forma simplificada en la Tabla 3.6 donde se aplican las ecuaciones planteadas con las constantes que las características de cada circuito las requieran.

³⁶Según REBT ITC 14, ITC-BT 15, ITC-BT 19

Tabla 3.6: Cálculos de Conductores - Criterio de Caída de Voltaje

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	CosØ	Sección (mm ²)	Potencia Instalada (KVA)	Long. (m)	Corriente nominal In (A)	Caída Voltaje %	Conductor sugerido (AWG)	Sección (mm ²)	Caída Voltaje %
CT1.1	1/0	0,92	53,49	66,69	7,3	175,03	0,38	2/0	67,44	0,30
STB1.1	6	0,92	13,3	46,22	9	121,29	1,29	1/0	53,49	0,32
Pulidora P2	8	0,85	8,37	17,55	2,7	46,06	0,23	6	13,3	0,15
Piladora P1	8	0,87	8,37	21,44	12	56,26	1,27	6	13,3	0,80
Elevador 6	8	0,84	8,37	2,66	14	6,99	0,18	6	13,3	0,12
Elevador 5	8	0,87	8,37	2,57	16	6,75	0,20	6	13,3	0,13
Elevador 4	8	0,87	8,37	2,57	15	6,75	0,19	6	13,3	0,12
Elevador 3	8	0,84	8,37	2,66	22	6,99	0,29	6	13,3	0,18
TB1.3	14	0,92	2,08	3,04	20	7,98	1,21	10	5,261	0,48
Bomba 1	14	0,82	2,08	0,91	5	8,27	0,36	12	3,31	0,23
Bomba 2	14	0,82	2,08	0,91	6	8,27	0,43	12	3,31	0,27
Quemador	14	0,79	2,08	0,24	7	2,15	0,13	12	3,31	0,08
Bomba 3	14	0,8	2,08	0,47	9	4,24	0,33	12	3,31	0,21
Bomba 4	14	0,8	2,08	0,47	11	4,24	0,41	12	3,31	0,26
Bomba posterior	14	0,8	2,08	0,47	3	4,24	0,11	12	3,31	0,07
TB1.4	1	0,92	42,4	1,62	35	4,26	0,06	10	5,261	0,45
MACPET A	14	0,78	2,08	0,48	4	1,25	0,04	12	3,31	0,02
MACPET1	14	0,76	2,08	0,49	6	1,29	0,06	12	3,31	0,04
MACPET2	14	0,8	2,08	0,47	8	1,22	0,07	12	3,31	0,05
MACPET3	14	0,77	2,08	0,48	10	1,27	0,10	12	3,31	0,06

Tabla 3.6: Cálculos de Conductores - Criterio de Caída de Voltaje (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	CosØ	Sección (mm ²)	Potencia Instalada (KVA)	Long. (m)	Corriente nominal In (A)	Caída Voltaje %	Conductor sugerido (AWG)	Sección (mm ²)	Caída Voltaje %
CD1	8	0,92	8,367	10,14	8	26,60	0,40	8	8,367	0,40
Elevador 2	8	0,82	8,37	0,91	8	2,39	0,04	12	3,31	0,09
Elevador 1	8	0,82	8,37	0,91	14	2,39	0,06	12	3,31	0,16
Mezcladora M2	12	0,78	3,31	4,78	19	12,55	1,13	8	8,367	0,45
Zaranda Z1	8	0,9	8,367	2,49	8	6,53	0,10	6	13,3	0,06
Clasificadora	12	0,89	3,31	1,26	7	3,30	0,11	10	5,261	0,07
Esclusa	12	0,87	3,31	0,86	5	2,25	0,05	10	5,261	0,03
CD1.1	12	0,92	3,31	5,68	15	14,90	1,06	8	8,367	0,42
Zaranda Z2	12	0,87	3,31	0,86	12	2,25	0,13	10	5,261	0,08
Cortadora Pequeña	12	0,78	3,31	0,96	14	2,51	0,17	10	5,261	0,11
Absorción Impurezas	12	0,78	3,31	4,78	9	12,55	0,54	10	5,261	0,34
CT1.2	2	0,92	33,62	114,94	10,3	301,64	1,46	2/0	67,44	0,73
STB2.1	6	0,92	13,3	8,11	12	21,28	0,30	10	5,261	0,76
Cortadora MG	8	0,73	8,367	17,37	10,5	45,59	0,90	8	8,367	0,90
Machacadora CA	8	0,73	8,367	17,37	6,5	45,59	0,56	8	8,367	0,56
Vibrador MG CA	8	0,76	8,367	0,77	9	2,01	0,03	12	3,31	0,09
Tornillo de Cocción	8	0,73	8,367	1,02	6,2	2,68	0,03	12	3,31	0,08
Machacadora LM	8	0,84	8,367	8,88	6,5	23,31	0,29	10	5,261	0,45
Ventilador Horno Q.	10	0,83	5,261	2,70	13	7,08	0,28	12	3,31	0,44

Tabla 3.6: Cálculos de Conductores - Criterio de Caída de Voltaje (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	CosØ	Sección (mm ²)	Potencia Instalad (KVA)	Long. (m)	Corriente nominal In (A)	Caída Voltaje %	Conductor sugerido (AWG)	Sección (mm ²)	Caída Voltaje %
CD2	6	0,92	13,3	4,05	16	10,64	0,20	12	3,31	0,81
Cortadora de Morocho	12	0,87	3,31	0,86	3	2,25	0,03	12	3,31	0,03
Ventilador de Pared	12	0,82	3,31	0,91	5	2,39	0,06	12	3,31	0,06
Elevador E7	12	0,84	3,31	2,66	14	6,99	0,47	12	3,31	0,47
STB2.2	2	0,92	33,62	10,74	4	28,20	0,05	10	5,261	0,34
Elevador Auxiliar	12	0,87	3,31	0,86	6	2,25	0,06	12	3,31	0,06
Quemador	12	0,79	3,31	0,24	3	0,62	0,01	12	3,31	0,01
Vibrador Secado	12	0,82	3,31	0,91	3,6	2,39	0,04	12	3,31	0,04
Banda Trasport.	12	0,87	3,31	0,86	8	2,25	0,09	12	3,31	0,09
Ventilador de Secado	12	0,9	3,31	8,29	3	21,75	0,31	10	5,261	0,20
STB2.3	1	0,92	42,4	56,36	20	147,89	1,10	1/0	53,49	0,87
Ventilador G.E	10	0,82	5,261	22,74	24	59,69	4,29	4	21,15	1,07
Elevador E8	12	0,87	3,31	0,86	14	2,25	0,15	12	3,31	0,15
Tamizadora	12	0,78	3,31	4,78	19	12,55	1,13	10	5,261	0,71
Compresor C4	8	0,82	8,367	5,00	2	13,13	0,05	10	5,261	0,08
Compresor C3	8	0,82	8,367	5,91	2	15,52	0,06	10	5,261	0,09
Compresor C2	8	0,82	8,367	5,91	2	15,52	0,06	10	5,261	0,09
Compresor C1	8	0,85	8,367	17,55	3	46,06	0,26	8	8,367	0,26

Tabla 3.6: Cálculos de Conductores - Criterio de Caída de Voltaje (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	CosØ	Sección (mm ²)	Potencia Instalad (KVA)	Long. (m)	Corriente nominal In (A)	Caída Voltaje %In	Conductor sugerido (AWG)	Sección (mm ²)	Caída Voltaje %
STB2.3.1	3/0	0,92	85,02	33,25	45	87,25	0,73	3/0	85,01	0,73
Molino de Martillo	2	0,82	33,62	22,74	12	59,69	0,34	4	21,15	0,53
Aventadora	2	0,84	33,62	2,66	10	6,99	0,03	10	5,261	0,21
STB2.3.1.1	2	0,92	33,62	10,54	44	27,66	0,57	4	21,15	0,91
Vibrador Molino	14	0,87	2,08	0,86	10	2,25	0,17	12	3,31	0,11
Esclusa Molino	14	0,87	2,08	0,86	17	2,25	0,29	12	3,31	0,18
Elevador E9	14	0,87	2,08	0,86	22	2,25	0,37	12	3,31	0,24
Mezcladora M1	14	0,84	2,08	8,88	10	23,31	1,76	10	5,261	0,70
CT1.3	6	0,92	13,3	9,33	52	24,47	1,51	4	21,15	0,95
Indumax	14	0,83	2,08	2,70	4	7,08	0,21	12	3,31	0,13
Banda Transportadora	14	0,65	2,08	1,15	5	3,01	0,11	12	3,31	0,07
Elevador Tornillo	14	0,8	2,08	1,87	4	4,89	0,15	12	3,31	0,09
Motor Auxiliar 1	14	0,8	2,08	1,87	4	4,89	0,15	12	3,31	0,09
Motor Auxiliar 2	14	0,83	2,08	2,70	6	7,08	0,32	12	3,31	0,20
MACPEG	14	0,83	2,08	0,45	5	1,18	0,04	12	3,31	0,03
CT1.4	8	0,92	8,367	2,76	38	7,24	0,52	8	8,367	0,52

3.4.1.3 Por corrientes de corto circuito

Con la corriente de corto circuito en cada tramo o circuito, en función de los ciclos del conductor instalado, se selecciona el conductor adecuado que soportara la corriente de corto circuito.

A continuación se muestra la selección de un tramo en la siguiente figura de “características de sobrecarga permisible para conductores de cobre (Tipo 75 °C) con aislamiento de termoplástico”.³⁷

PASO N° 1: Información del circuito

<i>Identificación del tramo:</i>	Piladora
<i>Conductor alimentador instalado:</i>	3 x 8 AWG THW
<i>Corriente de corto circuito I_{cc}:</i>	2772 A

PASO N° 2: Selección del Conductor

Se traza una línea partiendo de la I_{cc} , diagonal a la curva del conductor y se selecciona un conductor que soporte un mayor número de ciclos.

³⁷ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - “Elementos de Diseño de las Instalaciones Eléctricas Industriales” - Segunda Edición - Limusa Noriega Editores - 2002. Página.- 283.

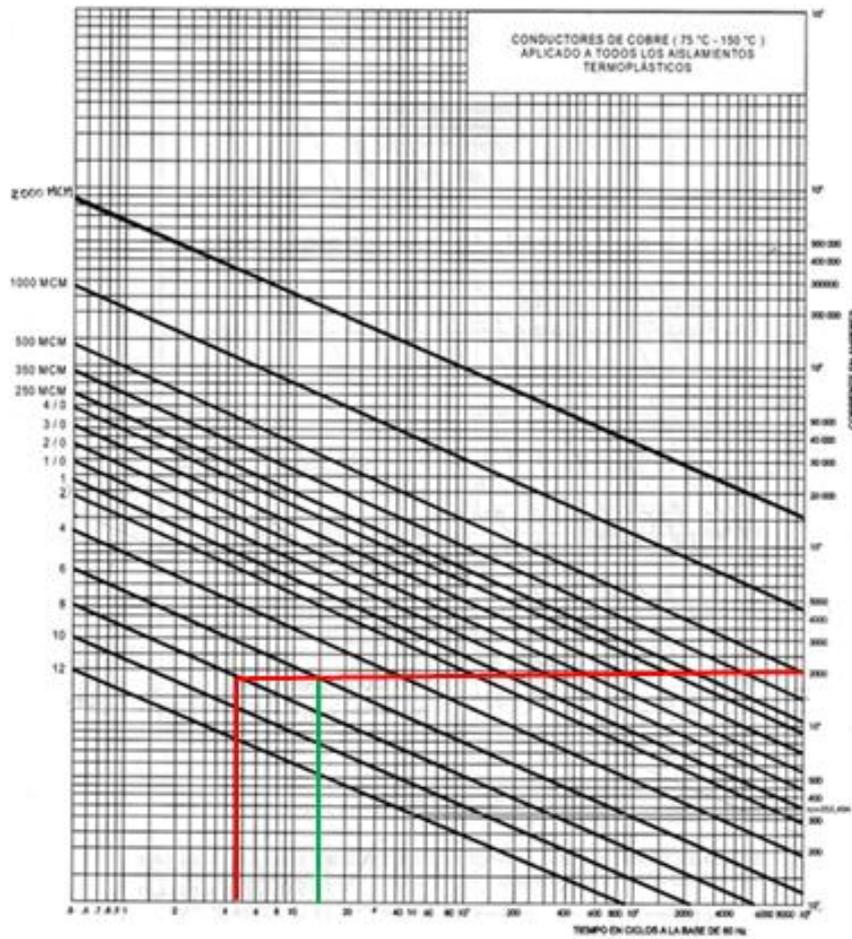


Figura 3.4: Características de sobrecarga permisible para conductores de cobre (Tipo 75 °C) con aislamiento de termoplástico

- Selección de nuevo conductor con los ciclos permitidos.
- Conductor instalado.

Conductor sugerido 6 AWG, ciclo 15, se selecciona este conductor por razones que soporta un mayor número de ciclos que el instalado.

En la Tabla 3.7 se especifica la selección de los conductores adecuados en cada tramo o circuito instalado siguiendo el ejemplo planteado. (Ver Anexo 7)

Tabla 3.7: Selección de Conductores - Criterio de Corriente de Cortocircuito

Tramo o Circuito	Corriente de cortocircuito Icc (A)	Conductor Instalado (AWG)	Ciclos del conductor instalado	Conductor sugerido (AWG)	Ciclos del conductor Sugerido
CT1.1	7096	1/0	30	3/0	100
STB1.1	4061	6	2.4	1	30
Pulidora P2	2742	6	10	4	38
Piladora P1	2772	8	5	6	15
Elevador 6	1451	8	25	6	80
Elevador 5	1246	8	30	6	80
Elevador 4	1347	8	34	6	80
Elevador 3	1686	8	25	6	80
TB1.3	1871	14	1,6	10	12
Bomba 1	1544	14	1	12	3
Bomba 2	1377	14	1,3	12	3,8
Quemador	1218	14	1,5	12	3,8
Bomba 3	873	14	3,8	12	9
Bomba 4	681	14	7	12	15
Bomba posterior	844	14	5	12	12
TB1.4	3348	1	50	1/0	110
MACPETA	1201	14	1,5	12	3,2
MACPET1	1471	14	1,3	12	3
MACPET2	931	14	2	12	5,6
MACPET3	525	14	6	12	15

Tabla 3.7: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente de Cortocircuito (Continuación)

Tramo o Circuito	Corriente de cortocircuito I _{cc} (A)	Conductor Instalado (AWG)	Ciclos del conductor instalado	Conductor sugerido (AWG)	Ciclos del conductor Sugerido
CD1	2417	8	4	6	12
Elevador 2	2383	8	4	6	14
Elevador 1	2187	8	4	6	12
Mezcladora M2	1975	12	2,3	10	7
Zaranda Z1	1473	8	18	6	50
Clasificadora	1901	12	2,5	10	7
Esclusa	1113	12	2,9	10	9,2
CD1.1	1404	12	2,5	10	9,2
Zaranda Z2	1281	12	3,5	10	9,5
Cortadora Pequeña	1058	12	3	10	9,7
Absorción Impurezas	1689	12	2,5	10	9,1
CT1.2	3168	2	40	1	70
STB2.1	3158	6	4	4	15
Cortadora MG	3020	8	1,5	6	4,5
Machacadora CA	1509	8	18	6	59
Vibrador MG CA	1078	8	20	6	62
Tornillo de Cocción	1642	8	20	6	60
Machacadora LM	2421	8	3,6	6	14
Ventilador Horno Q.	1551	10	8,2	8	20
CD2	1034	6	54	6	54

Tabla 3.7: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente de Cortocircuito (Continuación)

Tramo o Circuito	Corriente de cortocircuito I _{cc} (A)	Conductor Instalado (AWG)	Ciclos del conductor instalado	Conductor sugerido (AWG)	Ciclos del conductor Sugerido
Cortadora de Morocho	741	12	14	10	35
Ventilador de Pared	389	12	29	10	75
Elevador E7	1018	12	3,9	10	12
STB2.2	2975	2	100	2	100
Elevador Auxiliar	1366	12	3	10	9,5
Quemador	757	12	12	10	30
Vibrador Secado	1005	12	2,5	10	12
Banda Transport.	1885	12	2,5	10	6,5
Ventilador de Secad.	1207	12	2	10	10
STB2.3	2651	1	150	1	150
Ventilador G.E	2617	10	1,5	8	4,5
Elevador E8	1578	12	3	10	9,5
Tamizadora	1044	12	2,1	10	6
Compresor C4	1809	8	14	6	38
Compresor C3	1610	8	18	6	44
Compresor C2	1610	8	18	6	44
Compresor C1	1806	8	17	6	55

Tabla 3.7: Cálculos de Conductores - Criterio de Corriente de Cortocircuito (Continuación)

Tramo o Circuito	Corriente de cortocircuito I_{cc} (A)	Conductor Instalado (AWG)	Ciclos del conductor instalado	Conductor sugerido (AWG)	Ciclos del conductor Sugerido
STB2.3.1	3631	3/0	350	3/0	350
Molino de Martillo	3212	2	40	1	75
Aventadora	2240	2	110	1	170
STB2.3.1.1	2876	2	70	1	135
Vibrador Molino	1336	14	1,3	10	7
Esclusa Molino	1332	14	1,2	10	7
Elevador E9	908	14	2,4	10	16
Mezcladora M1	1445	14	1,4	10	7
CT1.3	3458	6	5	4	17

3.4.1.4 Por coordinación

El conductor instalado y sugerido en el ejemplo anterior no cumple porque no soporta el tiempo de sobrecarga y se fundiría antes que actué la protección, por lo tanto se procedió a la selección del conductor que soporte el tiempo de sobrecarga para que actué primero la protección y no cause daño al conductor y motor instalado, se utiliza las mismas curvas características de sobrecarga permisible para conductores.

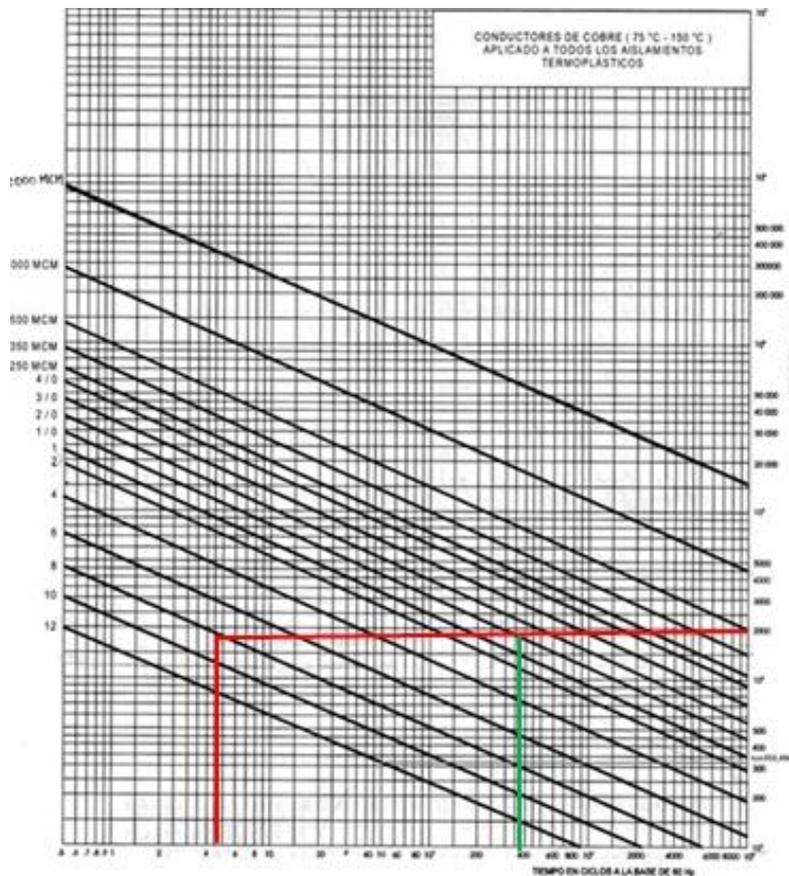


Figura 3.5: Características de sobrecarga permisible para conductores de cobre (Tipo 75 °C) con aislamiento de termoplástico (Coordinación)

- Selección de nuevo conductor con los ciclos permitidos.
- Conductor instalado.

En la Tabla 3.8 se especifica la selección de los conductores adecuados para los tramos de coordinación. (Ver Anexo 8)

Tabla 3.8: Selección de conductores basada en coordinación

Tramo o Circuito	In (A)	Isc (A)	Iarr (A)	Tiempo Corte Breakers Isc (seg)	Conductor Adecuado (AWG)	Ciclos del conductor adecuado	Tiempo de soporte conductor (seg)	Observación
Pulidora P2	46,06	57,58	138,19	6	1/0	400	6,4	Cumple
Piladora P1	56,26	70,32	168,77	6	1/0	400	6,4	Cumple
Elevador 6	6,99	8,74	20,98	5	4	320	5,12	Cumple
Elevador E5	6,75	8,44	20,25	4	4	320	5,12	Cumple
Elevador E4	6,75	8,44	20,25	4	4	320	5,12	Cumple
Elevador E3	6,99	8,74	20,98	5	4	320	5,12	Cumple
Mezcladora M2	12,55	15,69	37,65	5	2	430	6,88	Cumple
Zaranda Z1	6,53	8,16	19,58	5	2	500	8	Cumple
Absorción Impurezas	12,55	15,69	37,65	5	2	420	6,72	Cumple
Cortadora MG	45,59	56,99	136,77	6	3	400	6,4	Cumple
Machacadora CA	45,59	56,99	136,77	5	2	430	6,88	Cumple
Machacadora LM	23,31	29,13	69,92	5	1/0	370	5,92	Cumple
Elevador E7	6,99	8,74	20,98	4	4	260	4,16	Cumple
Molino de Martillo	59,69	74,61	179,06	5	3/0	380	6,08	Cumple

3.5 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CORTE Y PROTECCIÓN

Se seleccionan los elementos de protección en función de la corriente que circula por cada uno de los circuitos y dependen en cada caso de la temperatura máxima que el aislante pueda soportar sin alteraciones en sus propiedades eléctricas, mecánicas o químicas.

3.5.1 SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO

PASO N° 1: Información del circuito

<i>Identificación del motor:</i>	Pulidora (P2)
<i>Potencia de la carga instalada:</i>	20 HP
<i>Conductor alimentador instalado:</i>	3 x 8 AWG THW
<i>Longitud del conductor:</i>	2,7 m
<i>Voltaje del circuito:</i>	220 V
<i>Factor de potencia:</i>	0,85
<i>Corriente de cortocircuito:</i>	2742 A
<i>Tipo de instalación:</i>	Aérea

PASO N° 2: Cálculos

$$P = 20\text{HP} * \frac{746\text{W}}{1\text{HP} \times 1000}$$

$$P = 14,92 \text{ KW}$$

$$S = \frac{P}{\text{fp}}$$

$$S = \frac{14,92 \text{ KW}}{0,85}$$

$$S = 17,56 \text{ KVA}$$

Cálculo de la Corriente Nominal

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * VL}$$

$$I_n = \frac{17,56 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 220}$$

$$I_n = 46,06 \text{ A}$$

Cálculo de la Corriente de Sobrecarga

$$I_{sc} = I_n + 25\% I_n$$

$$I_{sc} = 46,06 + (25\%)46,06$$

$$I_{sc} = 57,58 \text{ A}$$

Cálculo de la Corriente de Arranque

$$I_{arrq} = 3 * I_n$$

$$I_{arrq} = 3 * (46,06)$$

$$I_{arrq} = 138,19 \text{ A}$$

PASO N° 3: Validación

Se caracteriza por una curva tiempo – corriente de tiempo inverso. Se utiliza las curvas características del catálogo ABB ya que en las instalaciones de la empresa CEREALES LA PRADERA los interruptores termomagnéticos instalados son del tipo mencionado. (Ver Anexo 9)

PASO N° 4: Selección del interruptor termo magnético

Se trazan en las curvas características las corrientes nominales, sobrecarga y de arranque, para luego proceder a la elección se tiene la condición donde la curva del interruptor termo magnético seleccionado no debe sobrepasar la recta del valor de corriente nominal del motor como se

muestra en la figura 3.6. El dispositivo actúa en zona de control y en la zona de cortocircuito como protección de respaldo.

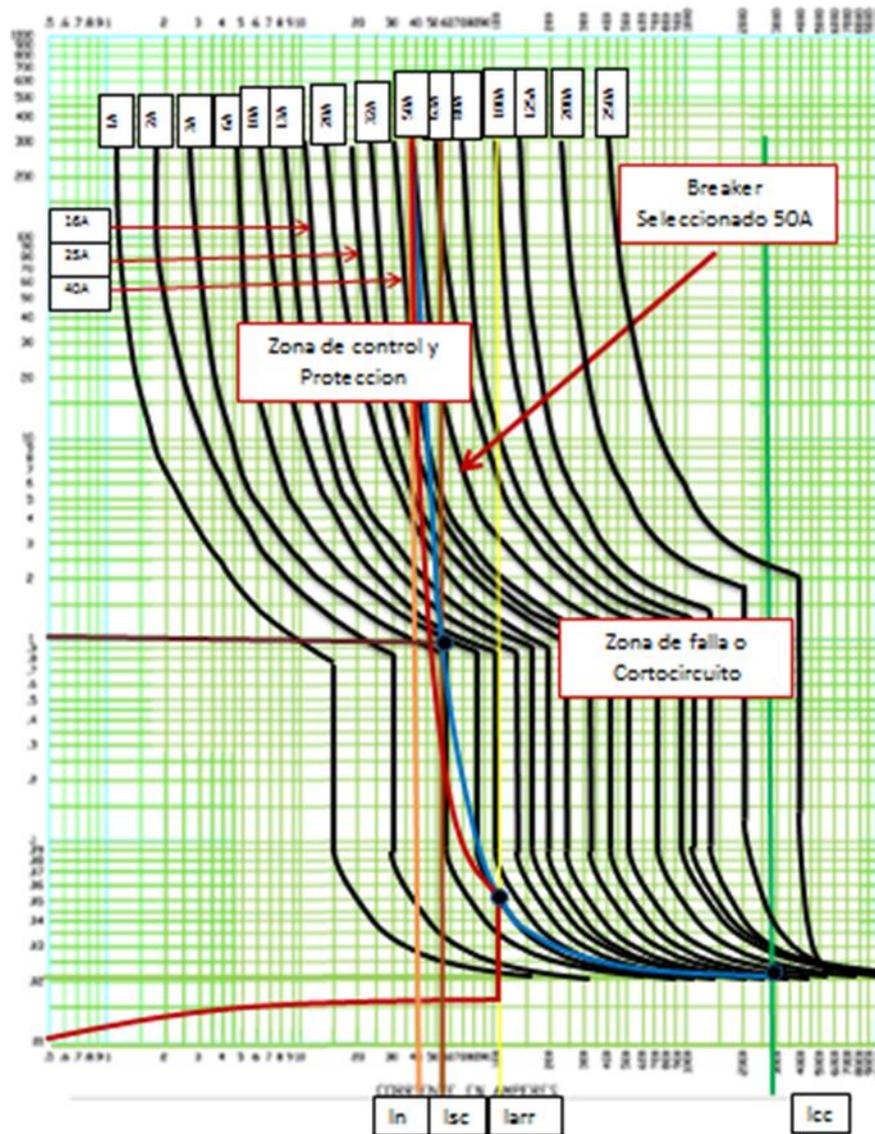


Figura 3.6: Curvas características de selección de Interruptor Termomagnético

Interruptor Termomagnético seleccionado de 50 A, a continuación se especifican las protecciones instaladas con el procedimiento indicado, en los diferentes tramos o circuitos y los seleccionados, en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Selección de Interruptores Termomagnéticos

Tramo o Circuito	In (A)	Isc (A)	Iarr (A)	Protección Instalada		Protección Sugerida	Conclusión
				Tipo	Intensidad (A)	Intensidad (A)	
CT1.1	175,03	218,78	525,08	Breaker Term.	200A - 3P	160A	Sobredimensionado
STB1.1	121,29	151,62	363,88	Breaker Term.	100A - 3P	100A	Cumple
Pulidora P2	46,06	57,58	138,19	Breaker Term.	100A - 3P	50A	Sobredimensionado
Piladora P1	56,26	70,32	168,77	Breaker Term.	100A - 3P	63A	Sobredimensionado
Elevador E6	6,99	8,74	20,98	Breaker Term.	100A - 3P	10A	Sobredimensionado
Elevador E5	6,75	8,44	20,25	Breaker Term.	100A - 3P	10A	Sobredimensionado
Elevador E4	6,75	8,44	20,25	Breaker Term.	100A - 3P	10A	Sobredimensionado
Elevador E3	6,99	8,74	20,98	Breaker Term.	100A - 3P	10A	Sobredimensionado
Bomba 1	8,27	10,34	24,81	Breaker Term.	14 A	14A	Cumple
Bomba 2	8,27	10,34	24,81	Breaker Term.	14 A	14A	Cumple
Quemador	2,15	2,68	6,44	Breaker Term.	14 A	3A	Sobredimensionado
Bomba 3	4,24	5,30	12,72	Breaker Term.	14 A	6A	Sobredimensionado
Bomba 4	4,24	5,30	12,72	Breaker Term.	14 A	6A	Sobredimensionado
Bomba posterior	4,24	5,30	12,72	Breaker Term.	80A - 3P	6A	Sobredimensionado
TB1.4	4,26	5,32	12,77	Breaker Term.	10A - 2P	6A	Sobredimensionado
MACPET A	1,25	1,57	3,76	Breaker Term.	40A - 2P	1A	Sobredimensionado
MACPET 1	1,29	1,61	3,86	Breaker Term.	40A - 2P	1A	Sobredimensionado
MACPET 2	1,22	1,53	3,67	Breaker Term.	40A - 2P	1A	Sobredimensionado
MACPET 3	1,27	1,59	3,81	Breaker Term.	40A - 2P	1A	Sobredimensionado
CT1A	333,65	416,19	1000,04	Breaker Term.	250A - 3P	250A	Cumple

Tabla 3.9: Selección de Interruptores Termomagnéticos (Continuación)

Tramo o Circuito	In (A)	Isc (A)	Iarr (A)	Protección Instalada		Protección Sugerida	Conclusión
				Tipo	Intensidad (A)	Intensidad (A)	
STB2.1	21,28	26,60	63,84	Breaker Term.	100A - 3P	32A	Sobredimensionado
Ventilador Horno Q.	7,08	8,85	21,23	Breaker Term.	20A - 3P	10A	Sobredimensionado
STB2.2	28,20	35,25	84,60	Breaker Term.	160A - 3P	40A	Sobredimensionado
Elevador Auxiliar	2,25	2,81	6,75	Breaker Term.	40A - 3P	3A	Sobredimensionado
Quemador	0,62	0,77	1,86	Breaker Term.	16A - 3P	1A	Sobredimensionado
Vibrador Secado	2,39	2,98	7,16	Breaker Term.	20A - 3P	3A	Sobredimensionado
Banda Trasnport.	2,25	2,81	6,75	Breaker Term.	16A - 3P	3A	Sobredimensionado
Ventilador de Secado	21,75	27,19	65,26	Breaker Term.	20A - 3P	25A	No Cumple
Ventilador G.E	59,69	74,61	179,06	Breaker Term.	50A - 3P	63A	No Cumple
Elevador E8	2,25	2,81	6,75	Breaker Term.	10A - 3P	3A	Sobredimensionado
Tamizadora	12,55	15,69	37,65	Breaker Term.	125A - 3P	16A	Sobredimensionado
Compresor C4	13,13	16,41	39,39	Breaker Term.	50A - 3P	16A	Sobredimensionado
Compresor C3	15,52	19,40	46,56	Breaker Term.	50A - 3P	20A	Sobredimensionado
Compresor C2	15,52	19,40	46,56	Breaker Term.	50A - 3P	20A	Sobredimensionado
Compresor C1	46,06	57,58	138,19	Breaker Term.	50A - 3P	50A	Cumple
STB2.3.1	87,25	109,06	261,74	Breaker Term.	200A - 3P	80A	Sobredimensionado
Aventadora	6,99	8,74	20,97	Breaker Term.	75A - 3P	10A	Sobredimensionado

Tabla 3.9: Selección de Interruptores Termomagnéticos (Continuación)

Tramo o Circuito	In (A)	Isc (A)	Iarr (A)	Protección Instalada		Protección Sugerida	Conclusión
				Tipo	Intensidad (A)	Intensidad (A)	
Vibrador Molino	2,25	2,81	6,75	Breaker Term.	30A - 3P	3A	Sobredimensionado
Esclusa Molino	2,25	2,81	6,75	Breaker Term.	30A - 3P	3A	Sobredimensionado
Elevador E9	2,25	2,81	6,75	Breaker Term.	30A - 3P	3A	Sobredimensionado
Mezcladora M1	23,31	29,1 3	69,92	Breaker Term.	30A - 3P	32A	Cumple
CT1B	31,75	39,6 9	95,25	Breaker Term.	80A - 3P	40A	Sobredimensionado
Indumax	7,08	8,85	21,23	Breaker Term.	40A - 3P	10A	Sobredimensionado
Banda Transportadora	3,01	3,76	9,04	Breaker Term.	40A - 3P	3A	Sobredimensionado
Elevador Tornillo	4,89	6,12	14,68	Breaker Term.	40A - 3P	6A	Sobredimensionado
Motor Auxiliar 1	4,89	6,12	14,68	Breaker Term.	40A - 3P	6A	Sobredimensionado
Motor Auxiliar 2	7,08	8,85	21,23	Breaker Term.	40A - 3P	10A	Sobredimensionado
MACPEG	1,18	1,47	3,54	Breaker Term.	40A - 3P	1A	Sobredimensionado

3.5.1 SELECCIÓN DE FUSIBLES

PASO N° 1: Información del circuito

<i>Identificación del motor:</i>	Pulidora (P2)
<i>Potencia de la carga instalada:</i>	20 HP
<i>Conductor alimentador instalado:</i>	3 x 8 AWG THW
<i>Longitud del conductor:</i>	2,7 m
<i>Voltaje del circuito:</i>	220 V
<i>Factor de potencia:</i>	0,85
<i>Corriente de cortocircuito:</i>	2742 A
<i>Tipo de instalación:</i>	Aérea

PASO N° 2: Cálculos

$$P = 20\text{HP} * \frac{746\text{W}}{1\text{HP} \times 1000}$$

$$P = 14,92 \text{ KW}$$

$$S = \frac{P}{\text{fp}}$$

$$S = \frac{14,92 \text{ KW}}{0,85}$$

$$S = 17,56 \text{ KVA}$$

Cálculo de la Corriente Nominal

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L}$$

$$I_n = \frac{17,56 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 220}$$

$$I_n = 46,06 \text{ A}$$

Cálculo de la Corriente de Sobrecarga

$$I_{sc} = I_n + 25\% I_n$$

$$I_{sc} = 46,06 + (25\%)46,06$$

$$I_{sc} = 57,58 \text{ A}$$

Cálculo de la Corriente de Arranque

$$I_{arrq} = 3 * I_n$$

$$I_{arrq} = 3 * (46,06)$$

$$I_{arrq} = 138,19 \text{ A}$$

PASO N° 3: Validación

Se caracteriza por una curva tiempo – corriente de tiempo inverso. Se utiliza las curvas características del catálogo CEF - ABB ya que en las instalaciones de la empresa CEREALES LA PRADERA los fusibles instalados son del tipo mencionado. (Ver Anexo 10)

PASO N° 4: Selección del Fusible

Se trazaron en las curvas características las corrientes nominales, de sobrecarga y de arranque, para luego proceder a la elección se tiene la condición donde la curva del fusible seleccionado no debe sobrepasar la recta del valor de corriente de arranque del motor ya que el fusible solo actúa en la zona de fallo o de cortocircuito tal como se muestra en la figura siguiente.

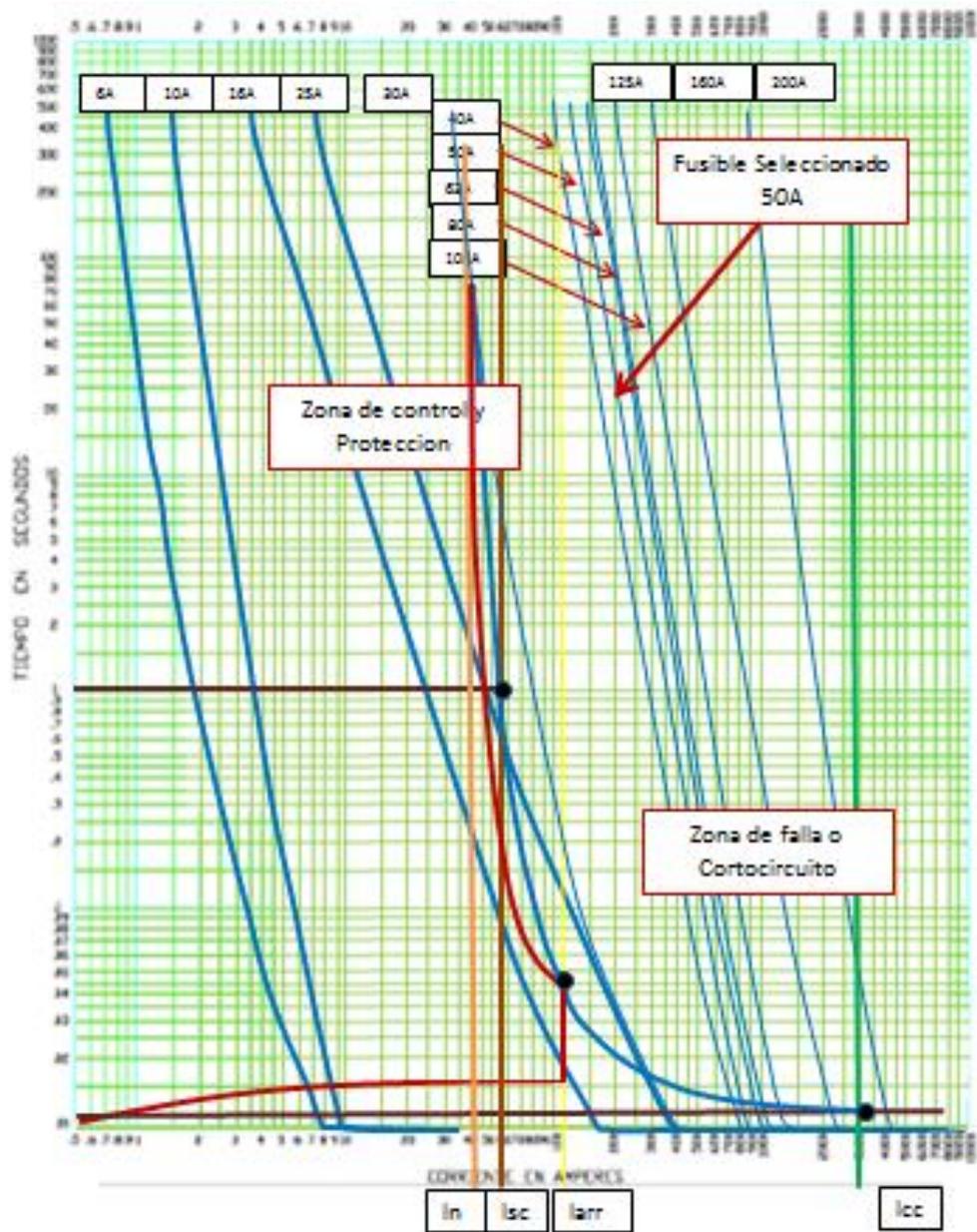


Figura 3.7: Curvas características de selección del Fusible

Fusible seleccionado de 50 A, a continuación se especifican las protecciones instaladas con el procedimiento indicado para los diferentes tramos o circuitos y los seleccionados, en la tabla 3.10.

Tabla 3.10: Selección de Fusibles

Tramo o Circuito	In (A)	Isc (A)	Iarr (A)	Tiempo Corte Fusible (seg)	Fusible Instalado	Fusible Seleccionado	Observación
Pulidora P2	46,06	57,58	138,19	0,01	25A	50A	No Cumple
Piladora P1	56,26	70,32	168,77	0,01	25A	80A	No Cumple
Elevador 6	6,99	8,74	20,98	0,01	25A	30A	No Cumple
Elevador 5	6,75	8,44	20,25	0,01	25A	30A	No Cumple
Elevador 4	6,75	8,44	20,25	0,01	25A	30A	No Cumple
Elevador 3	6,99	8,74	20,98	0,01	25A	30A	No Cumple
Elevador 2	2,39	2,98	7,16	0,01	25A	25A	Cumple
Elevador 1	2,39	2,98	7,16	0,01	25A	25A	Cumple
Mezcladora M2	12,55	15,69	37,65	0,01	25A	40A	No Cumple
Zaranda Z1	6,53	8,16	19,58	0,01	25A	30A	No Cumple
Clasificadora	3,30	4,12	9,90	0,01	25A	30A	No Cumple
Esclusa	2,25	2,81	6,75	0,01	25A	25A	Cumple
Zaranda Z2	2,25	2,81	6,75	0,01	25A	25A	Cumple
Cortadora Pequeña	2,51	3,14	7,53	0,01	25A	25A	Cumple
Absorción Impurezas	12,55	15,69	37,65	0,01	25A	40A	No Cumple

Tabla 3.10: Selección de Fusibles (Continuación)

Tramo o Circuito	In (A)	Isc (a)	Iarr (A)	Tiempo Corte Fusible (seg)	Fusible Instalado	Fusible Seleccionado	Observación
Cortadora M.G.	45,59	56,99	136,77	0,01	25A	50A	No Cumple
Machacadora (CA)	45,59	56,99	136,77	0,01	25A	50A	No Cumple
Vibrador MG (CA)	2,01	2,51	6,03	0,01	25A	25A	Cumple
Tornillo de Cocción	2,68	3,35	8,05	0,01	25A	25A	Cumple
Machacadora LM	23,31	29,13	69,92	0,01	25A	40A	No Cumple
Cortadora de Morocho	2,25	2,81	6,75	0,01	25A	25A	Cumple
Ventilador de Pared	2,39	2,98	7,16	0,01	25A	25A	Cumple
Elevador (E7)	6,99	8,74	20,98	0,01	25A	30A	No Cumple
Molino de Martillo	59,69	74,61	179,06	0,01	125A	100A	Sobredimensionado
STB2.3.1.1	27,66	34,58	82,99	0,01	25A	40A	No Cumple

3.6 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

La coordinación de protecciones corresponde al hecho de establecer selectividad amperimétrica y cronométrica entre las protecciones que “ven” una misma falla. Dicho de otro modo, conseguir que una falla sea despejada por la protección de sobrecorriente que esté más próxima a ella en el sentido del flujo de la corriente.

Existe una gran cantidad de situaciones en las que es difícil establecer una coordinación de protecciones en todo el campo de las corrientes de falla calculadas o esperables en la red, debido a que las curvas características Tiempo-Corriente de las distintas protecciones involucradas no son estandarizadas porque obedecen a criterios distintos de diseño.

3.6.1 COORDINACIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN TERMOMAGNÉTICO - FUSIBLE

Con este procedimiento se comprueba que las protecciones seleccionadas en los literales anteriores donde los tramos o áreas dispongan de interruptor termo magnético y fusible, coordinen de tal forma que en la zona de cortocircuito actué primero el fusible y si por algún inconveniente fallara este dispositivo entrara a actuar inmediatamente el interruptor termo magnético como protección de respaldo. En la zona de control solo debe actuar el elemento de protección interruptor termo magnético.

Para este ejemplo se escogieron las protecciones seleccionadas en la PULIDORA.

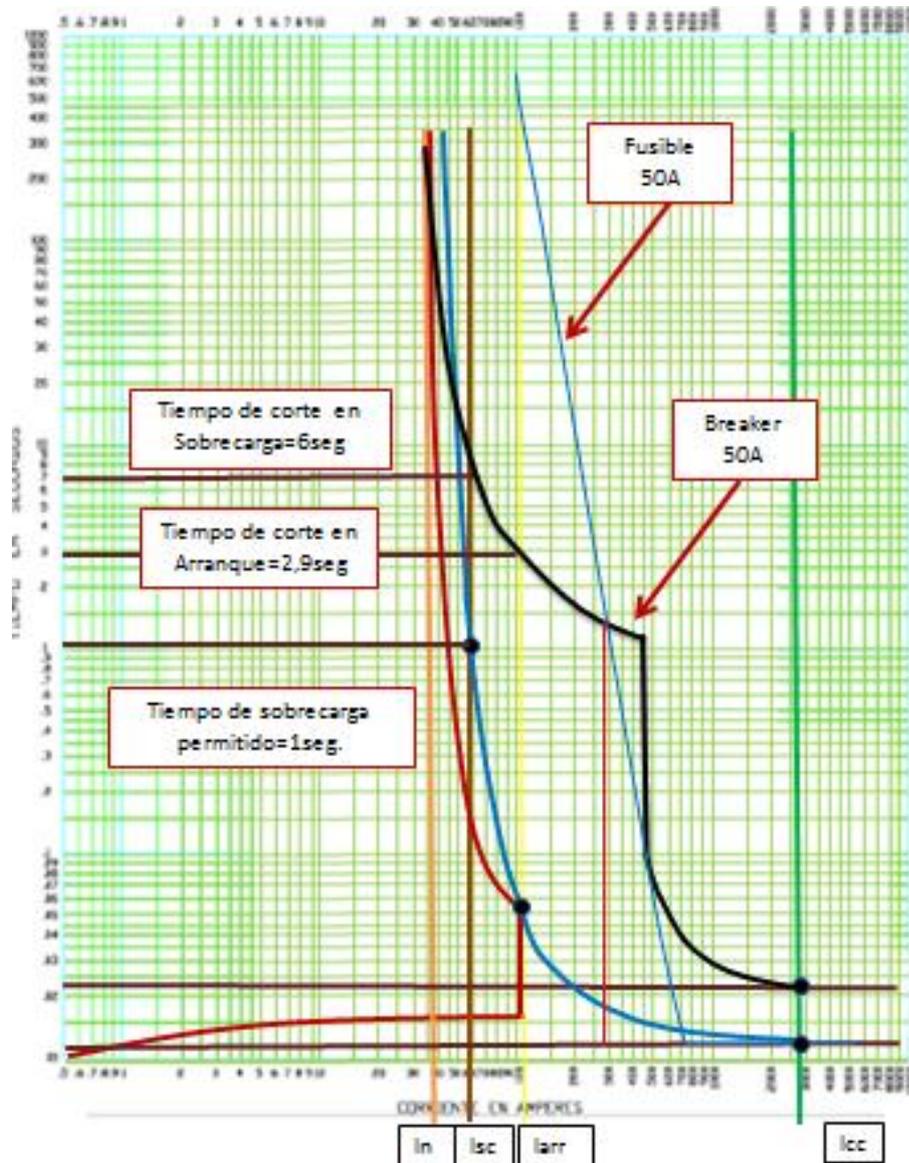


Figura 3.8: Curvas Características de Coordinación Interruptor Termomagnético - Fusible

Las protecciones seleccionadas de la Pulidora coordinan con las condiciones preestablecidas, (Ver Anexo 11-1; 11-14), a continuación se muestran en la tabla 3.11 las coordinaciones de los diferentes tramos o circuitos donde están instaladas las protecciones Interruptor Termomagnético – Fusible, con su respectiva observación.

Tabla 3.11: Coordinación de Protecciones Interruptor Termomagnético - Fusible

Tramo o Circuito	In (A)	Isc (A)	Iarr (A)	Tiempo Corte Breakers Isc (seg)	Breakers Instalado	Breakers Seleccionado	Observación
Pulidora P2	46,06	57,58	138,19	6	100A	50A	Sobredimensionado
Piladora P1	56,26	70,32	168,77	6	100A	63A	Sobredimensionado
Elevador 6	6,99	8,74	20,98	5	100A	10A	Sobredimensionado
Elevador 5	6,75	8,44	20,25	4	100A	10A	Sobredimensionado
Elevador 4	6,75	8,44	20,25	4	100A	10A	Sobredimensionado
Elevador 3	6,99	8,74	20,98	5	100A	10A	Sobredimensionado
Mezcladora M2	12,55	15,69	37,65	5	100A	16A	Sobredimensionado
Zaranda Z1	6,53	8,16	19,58	5	100A	10A	Sobredimensionado
Absorción Impurezas	12,55	15,69	37,65	5	100A	16A	Sobredimensionado
Cortadora MG	45,59	56,99	136,77	6	100A	50A	Sobredimensionado
Machacadora CA	45,59	56,99	136,77	5	100A	50A	Sobredimensionado
Machacadora LM	23,31	29,13	69,92	5	100A	25A	Sobredimensionado
Elevador E7	6,99	8,74	20,98	4	100A	10A	Sobredimensionado
Molino de Martillo	59,69	74,61	179,06	5	125A	63A	Sobredimensionado

3.6.2 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ACTUAL Y REDISEÑO

Con las curvas características se observa las protecciones instaladas actualmente en la empresa y las de rediseño.

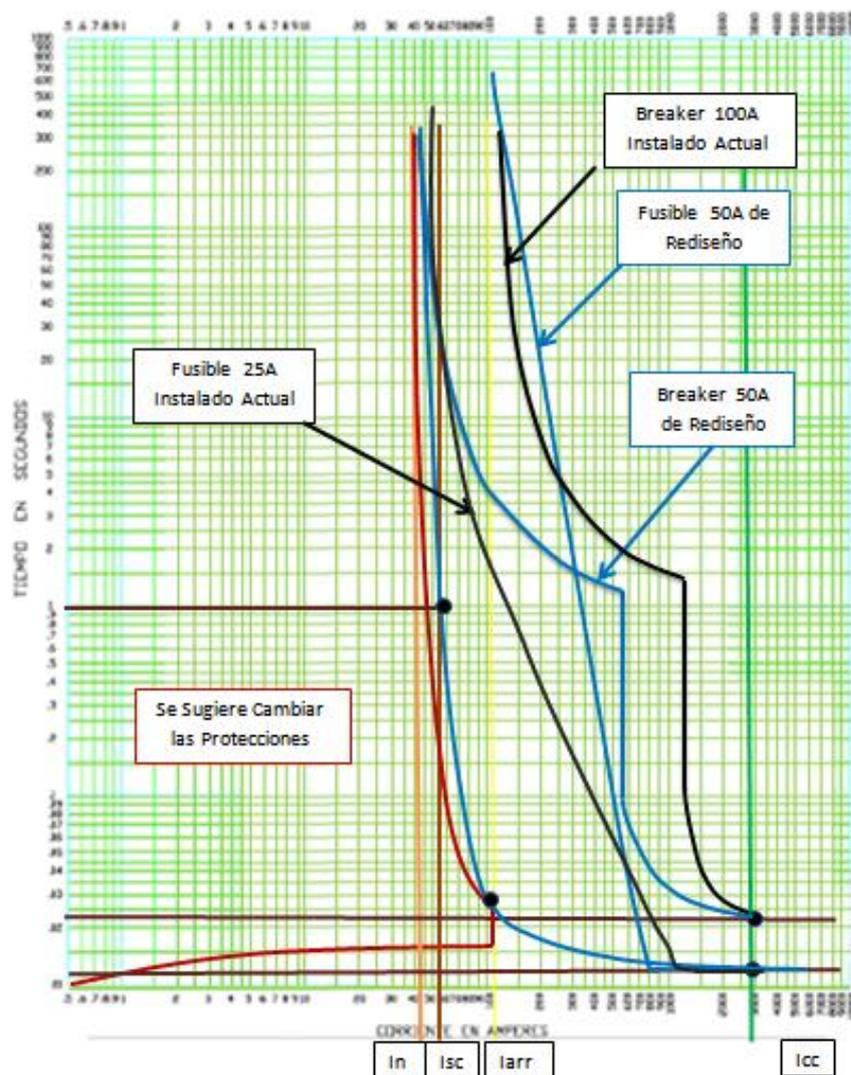


Figura 3.9: Curvas Características de Comparación de Coordinación Interruptor Termomagnético – Fusible, Actual y Rediseño

Se sugiere en este caso un cambio de protecciones de fusible y de breaker, ya que los elementos instalados no cumplen con las condiciones de protecciones necesarias para dicho motor, como se muestra en la figura 3.9, la protección fusible está mal escogida porque en un caso de mayores tiempos de sobrecarga o arranque va actuar el fusible y el breaker no va actuar porque solo está actuando en la zona de cortocircuito lo cual no es adecuado porque el breaker debe actuar tanto en la zona de control como protección principal y en la zona de falla como protección secundaria después del fusible, (Ver Anexo 11-1; 11-14) para los casos establecidos.

CAPÍTULO IV

AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA INTERNA DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

4.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA AUDITORIAS ENERGÉTICAS ELÉCTRICAS

Se realizara la auditoria energética eléctrica interna, tomando en cuenta todos los datos proporcionados por la empresa “CEREALES LA PRADERA”

4.2 VISTA DE INSPECCIÓN

El proyecto se realiza con personal mixto conformado por:

- Director y Codirector del Proyecto.
- Egresados de la Facultad de Electromecánica.
- Personal encargado de las instalaciones de la empresa.

4.2.1 VISITA A LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

Ubicación de las instalaciones:

CEREALES LA PRADERA CIA. LTDA., está ubicada en el kilómetro 6 de la panamericana sur de la ciudad de Latacunga, en la parroquia Belisario Quevedo

Sistemas Eléctricos Existentes:

La descripción se encuentra detallada en el Capítulo 2 con sus respectivas especificaciones.

Información General de la Empresa “Cereales la Pradera”

- Forma de Pago de la Energía Eléctrica: Desconocimiento de la forma de facturación.
- Problemas técnicos: El sistema eléctrico es manejado sin los conocimientos necesarios por las personas encargadas del mismo, no saben que es lo que tienen en su sistema eléctrico por no poseer planos de este.
- Problemas Físicos: Lo más notorio fue como están tendidas las instalaciones eléctricas, se encuentran cables por donde sea y no se encuentran adecuadamente protegidos.

De la información recopilada en la visita, se llegó a la conclusión de que se debe proseguir con el siguiente paso de la metodología para Auditorías energéticas eléctricas, es decir con la Mini – Auditoria.

4.3 MINI – AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

4.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

Se obtuvieron la información correspondientes al consumo de energía en KW-h y en dólares, (Ver *Tabla 4.1* y *Figura 4.1-4.2*) los datos fueron obtenidos de las planillas de cobro de ELEPCO S.A. desde el mes de mayo del 2010 al mes de abril del 2011, con la finalidad de apreciar la evolución de los parámetros eléctricos y sus costos:

Tabla 4.1: Resumen de parámetros de las planillas de pago de energía eléctrica mayo del 2010 – abril del 2011

Año		MAYO 2010 - ABRIL 2011											TOTAL	
Mes		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
Número de días de facturación		31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	365
Energía (KWh)	07h00-22h00	8847	9409	9935	8911	8812	10337	7726	7573	9097	7609	9397	7804	105457
	22h00-07h00	1026	1069	1277	554	754	1143	1134	756	761	733	1449	153	10809
Potencia (kW)	Normal	87	87	89	89	88	87	88	90	94	83	91	83	...
	Pico	55	35	29	60	58	41	54	17	33	10	14	11	...
Factores	Potencia (fp)	0,85	0,868	0,884	0,814	0,81	0,87	0,8	0,781	0,819	0,811	0,839	0,764	...
	Corrección (fc)	0,644	0,6	0,6	0,669	0,6	0,6	0,613	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	...
Energía total (KWh)		9873	9439	11212	9465	9566	11480	8860	8329	9858	8342	10846	7957	115227
COSTOS														
Costos energía (US\$)		589,94	626,33	668,61	570,72	580,37	686,57	526,86	498,99	592,21	500,07	644,22	468,93	6953,82
Penalización bajo (fp)		70,07	52,08	37,46	110,8	111,9	53,42	101,3	133,53	104,69	98,77	87,78	143,69	1105,49
Costos potencia (US\$)		259,45	241,61	249,85	278,71	285,48	241,61	249,65	249,85	255,34	233,38	263,58	233,38	3041,89
Valores de terceros (US\$)		174,4	174,4	174,4	174,4	174,4	174,4	174,4	94,4	274,42	95,84	175,84	173,88	2035,18
Comercialización y otros		2,75	1,69	2,35	2,04	2,35	8,53	2,35	4,38	2,42	1,41	1,41	1,41	33,09
Costo total (US\$)		1096,61	1096,11	1132,67	1136,67	1154,5	1164,53	1054,6	981,15	1229,08	929,47	1172,8	1021,29	13169,47

La figura siguiente muestra el historial de la energía consumida durante el mes de mayo del 2010 a abril del 2011:

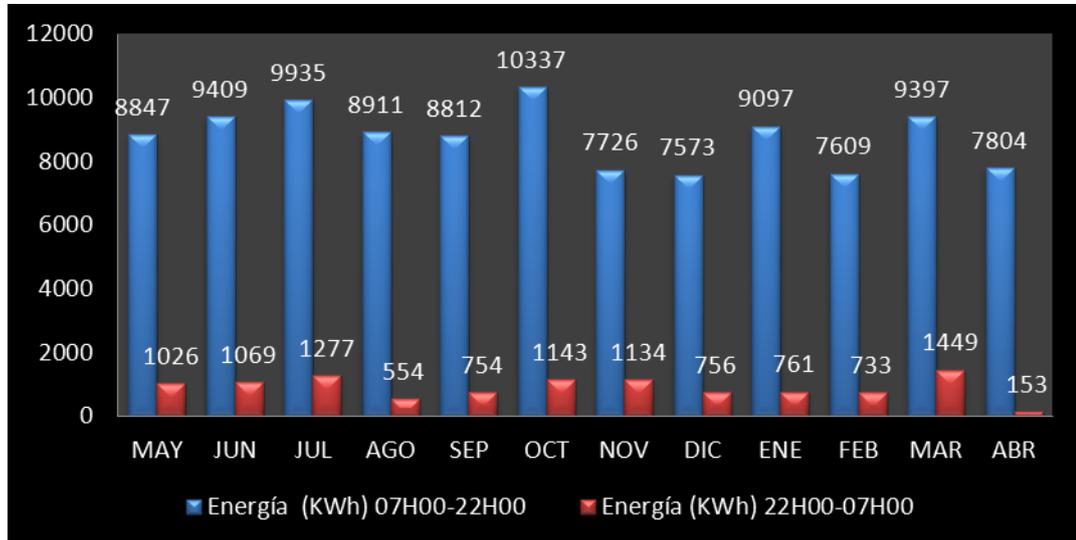


Figura 4.1: Historial de la energía consumida durante el mes de mayo del 2010 a abril del 2011

Se puede apreciar que no existe un nivel de consumo de energía constante, presenta picos en los meses de Mayo, Agosto y Septiembre, así como presenta valles en los meses de Diciembre y Febrero.

La siguiente figura muestra el historial de la demanda de potencia durante el mes de mayo del 2010 a abril del 2011:

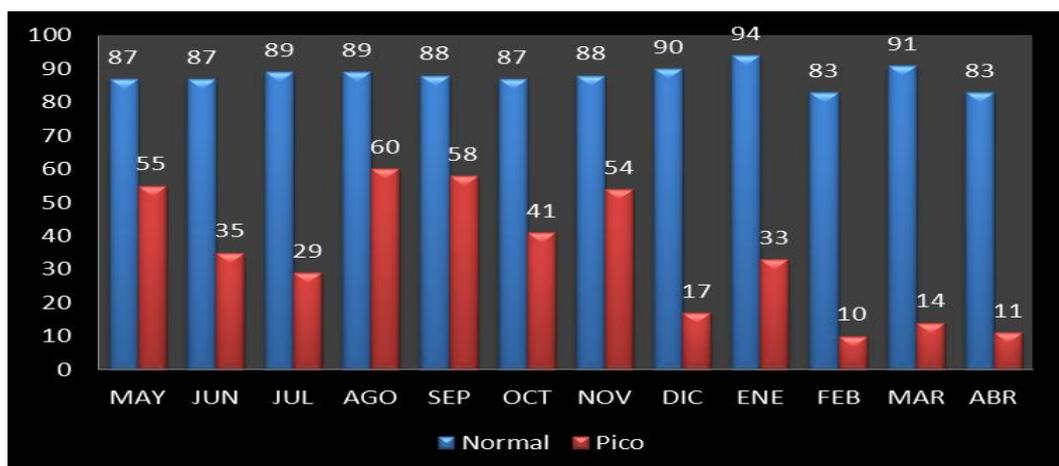


Figura 4.2: Historial de la demanda de potencia durante el mes de mayo del 2010 a abril del 2011

Al observar la representación gráfica se puede concluir que los valores pico de potencia son irregulares y muestran una tendencia hacia los 60 kW.

4.3.2 ANÁLISIS DE LA POTENCIA INSTALADA

Las instalaciones de la Empresa “CEREALES LA PRADERA” posee una potencia instalada de aproximadamente 213,664 KW, misma que distribuida en cada una de sus secciones o áreas de proceso se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Distribución de la carga instalada por secciones o áreas

Secciones o áreas	P. instalada (KW)
Producción	94,486
Molinos y clasificación de granos	83,37
Secado y Enfundadoras	22,2
Iluminación	7,918
Equipos de Oficina y Cocina	5,69
Potencia Total Instalada (KW)	213,664

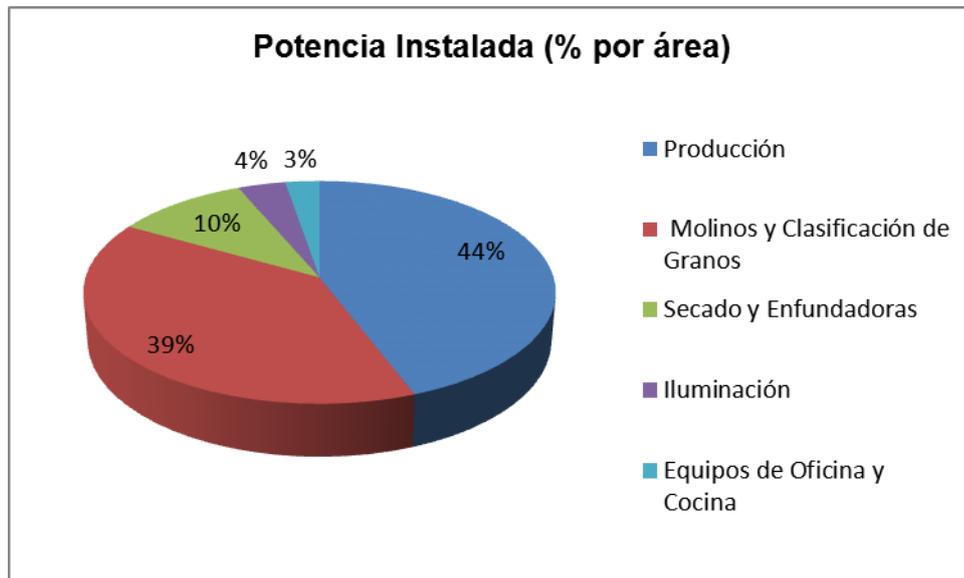


Figura 4.3: Distribución de la carga instalada por áreas de proceso, en porcentaje

4.3.3 LEVANTAMIENTO DE DIAGRAMAS UNIFILARES

Levantamiento del Plano físico de la empresa Cereales la Pradera. (Ver Anexo 2, Plano N° 1)

Levantamiento de diagramas unifilares (Ver Anexo 4 y 5, Plano N° 3 y 4 - 7.) constan:

- Transformador.
- Protección.
- Calibre de conductores.
- Carga.

4.3.4 MEDICIONES EFECTUADAS EN LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

Es importante contar con la curva de carga del sistema que se va analizar. Para lo cual se procedió el análisis de consumo de energía durante el lapso de 8 días, en intervalos de medición de 10 minutos, tiempo en el cual se hace perceptible la curva de carga (*Ver Figura 2.1*) que regularmente se presenta durante los períodos de trabajo, el equipo empleado fue el analizador de calidad de energía eléctrica trifásica PowerPad AEMC modelo 3945-B, que fue instalado por el Codirector del Proyecto Ing. Washington Freire. El registro fue obtenido en el lado de baja tensión del transformador.

Se debe tomar en cuenta que las mediciones se realizaron tomando en cuenta el fin de semana y días laborables normales. De lo cual se desprenden las gráficas (*Ver Anexo 6*).

En conclusión de la mini – auditoría energética eléctrica, anotaremos:

- Se requiere determinar cuál es la carga instalada, para conocer una relación con las curvas de carga de las mediciones efectuadas.
- La única información que se posee en cuanto a facturación son las planillas de cobro de energía eléctrica.

En consecuencia de lo manifestado anteriormente se tienen razones válidas para continuar con la Maxi – Auditoría Energética Eléctrica.

4.4 MAXI – AUDITORIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA

4.4.1 ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE CARGA OBTENIDAS EN LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

Se obtuvo la curva de carga con el objetivo de conocer cuando ocurre la demanda máxima y cuál es el comportamiento de la empresa “Cereales la Pradera” en cuanto al consumo se refiere.

Es conocido que mientras mayor sea el número de datos se obtendrá una curva de carga más aproximada a la realidad, por lo tanto para obtener la curva de carga se registró las lecturas del analizador cada diez minutos durante ocho días desde el lunes 9 de mayo del 2011 a partir de 17:12 hasta el día lunes 16 de mayo del 2011 finalizando a las 12:02. (Ver Anexo 6).

En la curva de carga (Ver Figura 2.1) del transformador de 100 KVA se puede observar que la demanda máxima actual es de 75,54 KW, con una potencia aparente de 79,36 KVA y una cargabilidad máxima de 79,36 %, se encuentra en el día miércoles que es donde hay más productividad de trabajo, mientras que la curva desciende los días sábados y domingos porque no trabajan en la empresa.

4.4.2 ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN DE LA EMPRESA “CEREALES LA PRADERA”

4.4.2.1 Estado Actual del Sistema Eléctrico de la Empresa “Cereales la Pradera”

a. Transformador

En las instalaciones de la empresa se encuentra ubicado un Centro de Transformación lo cual se describe a continuación:

Tabla 4.3: Transformador Instalado

Transformador	Capacidad (KVA)	Voltaje (KV/V)	Impedancia (%)	Instalación
CT - 1	100	13,2/220	3	Transformador Aéreo

Dicho Transformador toman su alimentación en MT de la subestación "SALCEDO", (Ver Diagrama Unifilar *Anexo 4, Plano N° 3*) como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 4.4: Descripción de la alimentación Subestación Salcedo

S/E N°	ALIMENTADOR	CAPACIDAD (MVA)	VOLTAJE (KV)	CONEXIÓN
3 Salcedo	1 Norte - Oriente	10/12,5	69/13,8	Dy1

b. Luminarias

Las luminarias que se encuentran instaladas en la empresa Cereales la Pradera se detallan en la Tabla 2.8, las mismas que en su totalidad no se encuentran en su máxima funcionalidad ya que su horario de trabajo son de 8:00 a 16:00 y sus áreas de trabajo no requieren iluminación.

c. Medidor de energía eléctrica

Dentro de la empresa Cereales la Pradera se tiene un medidor de energía eléctrica en baja tensión, que factura en su totalidad a las instalaciones de la misma, su instalación se puede visualizar en el diagrama unifilar (*Ver Anexo 4, Plano N° 3*)

d. Facturación

La empresa “Cereales la Pradera” por su potencia instalada está dentro de los clientes grandes en las consideraciones y las políticas de ELEPCO S.A., para lo cual el cálculo de sus planillas se realiza en la categoría de *CONSUMIDOR CON DEMANDA MEDIDA (CDM)*.

El medidores usado por los CDM son electromecánicos y miden la Demanda Actual y la Demanda Anterior, dichos factores que son importantes para el cálculo de la planilla, especialmente para determinar la tarifa por potencia que es la diferencia con las otras categorías existentes.

La Facturación del Medidor de Energía Eléctrica de la empresa “Cereales la Pradera”, con datos reales obtenidos para el mes de Marzo/2011.

CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA DEMANDA FACTURABLE (DF)

D = Demd. Actual - Demd. Anterior

Demanda. Actual = 91 kw

Demanda. Anterior = 83 kw

D= 91kw – 83kw

D = 8 kw

El FMult. (Corresponde a los valores de la relación de transformación de los transformadores de Corriente (TC) y de los de Voltaje (TP) que alimenta al usuario, para este caso el valor es.

Para este caso el FMult., es = **11.625**

Una vez obtenido el FMult. Se aplica la fórmula:

DF = D * FMult

Donde:

DF: Demanda facturada actual

D: Demanda actual

FMult. : Factor de Multiplicación

$$DF = (8 \cdot 11.625)$$

$$DF = 93 \text{ Kw.}$$

CÁLCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN

$$F_c = DP/DM$$

$$F_c = 14/91$$

$$F_c = 0,15$$

Donde:

$$F_c > 0,9 = 1,2$$

$$F_c < 0,6 = 0,6$$

$$F_{ci} = 0.5833 \cdot (DP/DM) + (0.4167) \cdot (DP/DM)^2$$

Por lo tanto:

Fc=0,6 Calculo realizo en base a condiciones proporcionadas por ELEPCO S.A. COTOPAXI.

CÁLCULO DE LA DEMANDA DEL CLIENTE FACTURABLE

$$DF = (F_c \cdot 4.576) \cdot (DF)$$

$$(F_c \cdot 4.576) \cdot (DF) = \text{Demanda del cliente}$$

$$(0.6 \cdot 4.576) \cdot (93) = 255.34 \text{ Dólares}$$

CONSUMO DE ENERGÍA

Cálculo de la tarifa por energía (TE):

$$TE = \text{Kwh} \cdot PE$$

En Horario: 07H00 - 22H00

Donde:

TE: Tarifa por energía

PE: Precio de la energía.

$$\mathbf{TE = (9.097 * 0.061)}$$

$$\mathbf{TE = 554.92 \text{ Dólares}}$$

En Horario: 22H00 - 07H00

Donde:

TE: Tarifa por energía

PE: Precio de la energía.

$$\mathbf{TE = (9.097 * 0.049)}$$

$$\mathbf{TE = 37.29 \text{ Dólares}}$$

Cálculo de la Comercialización (C)

Este valor es constante dependiendo del reajuste que se haya tomado en el Pliego tarifario proporcionado por ELEPCO S.A. COTOPAXI

$$\mathbf{Comercialización = 1.414}$$

CÁLCULO PARA EL BAJO FACTOR DE POTENCIA

$$\mathbf{Bfpot = (0.92 / Fpmed.) - 1 * (\sum(Te + Demanda + Comercialización))}$$

$$\mathbf{Bfpot = (0.92 / 0,819) - 1 * (554.92 + 255.34 + 37.29 + 1.414)}$$

$$\mathbf{Bfpot = 104.69 \text{ Dólares}}$$

ELEPCO S.A. a través de la oficina de Grandes Clientes, hace llegar la notificación de pago, detallando cada rubro de consumo del mes como se muestra a continuación:

SEÑOR (ES)
 FBCA. LA PRADERA
 PRESENTE.-

ESTIMADO CLIENTE

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO INFORMAR A UD. QUE A LA FECHA SE ENCUENTRA PARA RECAUDACIÓN LA PLANILLA DE CONSUMO DEL MES CORRESPONDIENTE AL MES DE MARZO/2011 POR LOS SIGUIENTES RUBROS:

L.Atc.T.An	L.Act.T.Ac	F/Mult.	KWH.Pit	C.Med+PIT	FF.PP	Tarf.
951007	941342	1,00	193	7804	0.819	IDMP

L.A.Bas.An	L.A.Bas.Ac	Cons.Act.Bas	Dem.Fact.	Dem.Mes	Dem.Pico
148.442	149.023	8899	93	91	14

TABLA DE CONSUMO

Comercialización.....	1,41
Consumo de Energía	
-En Horario: 07H00-22H00.....	554, 92
-En Horario: 22H00-07H00.....	37, 29
Demanda del Cliente.....	255, 34
Bajo factor de Potencia.....	104, 69
Valor Total.....	953,65 Dólares

Después de analizar y comparar la factura emitida por ELEPCO S.A. y la calculada, se corroboró que no existen errores:

Factura ELEPCO S.A.....953.65 Dólares

Factura Realizada.....953.65 Dólares

Error.....0, 000 Dólares

4.4.2.2 Distribución de consumo de energía eléctrica en KW-h

La distribución de consumo de la carga eléctrica instalada según la aplicación del uso de la electricidad se muestra a continuación:

Tabla 4.5: Consumo de Motores en KW-H Diario y Mensual

Capacidad del Equipo (HP)	Factor de Carga	Potencia del Equipo (KW)	Cantidad de Equipos	Tiempo de Uso al Día				Horas diarias (Hrs / día)	Dias de uso mensual (Días / mes)	Consumo Diario (KWH / día)	Consumo Mensual (KWH / mes)	Carga Conectada (KW)
				Hora 1 (0:00 - 24:00)		Hora 2 (0:00 - 24:00)						
				Encendido	Apagado	Encendido	Apagado					
20	0,94	14,042	1	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	24	84,25	2022,10	14,04
25	0,94	17,553	2	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00		210,64	0,00	35,11
3	0,94	2,106	5	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00		63,19	0,00	10,53
1	0,94	0,702	11	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	24	46,34	1112,15	7,72
1/4	0,94	0,176	2	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	18	2,11	37,91	0,35
1/2	0,94	0,351	8	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	12	16,85	202,21	2,81
2	0,94	1,404	3	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	22	25,28	556,08	4,21
5	0,94	3,511	3	9,00	11,00	14,00	16,00	4,00		42,13	0,00	10,53
1 1/2	0,94	1,053	1	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00		6,32	0,00	1,05
17	0,94	11,936	2	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00		143,23	0,00	23,87
7/9	0,94	0,548	1	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00		3,29	0,00	0,55
10	0,94	7,021	3	8,00	11,00	14,00	16,00	5,00	18	105,32	1895,72	21,06
5 1/2	0,94	3,862	1	9,00	10,00	0,00	0,00	1,00	12	3,86	46,34	3,86
6 1/2	0,94	4,564	2	9,00	10,00	0,00	0,00	1,00	12	9,13	109,53	9,13
20	0,94	14,042	1	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00		84,25	0,00	14,04
3	0,94	2,106	5	9,00	12,00	14,00	16,00	5,00	24	52,66	1263,81	10,53
1	0,94	0,702	4	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	24	16,85	404,42	2,81
25	0,94	17,553	1	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	22	105,32	2316,99	17,55
1/2	0,94	0,351	5	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	24	10,53	252,76	1,76
1	0,94	0,702	2	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00		8,43	0,00	1,40

TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA 1044,18 10220,02
Carga Conectada Total 193,63

Tabla 4.6: Consumo de Equipos en kW-h Diario y Mensual

Tipo de Equipo	Potencia del Equipo (KW)	Cantidad de Equipos	Tiempo de Uso al Día				Horas diarias (Hrs / día)	Días de uso mensual (Días / mes)	Consumo Diario (KWH / día)	Consumo Mensual (KWH / mes)	Carga Conectada (KW)
			Hora 1 (0:00 - 24:00)		Hora 2 (0:00 - 24:00)						
			Encendido	Apagado	Encendido	Apagado					
PC	0,500	9	9,00	12,00	14,00	16,00	5,00	24	22,50	540,00	4,50
Impresoras	0,020	8	8,00	9,00	14,00	15,00	2,00	24	0,32	7,68	0,16
Licuada	0,150	1	11,00	12,00	0,00	0,00	1,00	20	0,15	3,00	0,15
Fax	0,050	1	9,00	12,00	14,00	16,00	5,00	24	0,25	6,00	0,05
TV	0,168	1	9,00	11,00	0,00	0,00	2,00	5	0,34	1,68	0,17
Teléfonos	0,050	8	8,00	10,00	0,00	0,00	2,00	24	0,80	19,20	0,40
Amplificador	0,040	1	11,00	12,00	0,00	0,00	1,00	24	0,04	0,96	0,04
Multifunción	0,030	1	11,00	12,00	15,00	16,00	2,00	12	0,06	0,72	0,03
Portero Eléctrico	0,060	1	9,00	11,00	0,00	0,00	2,00	24	0,12	2,88	0,06
Refrigeradora	0,135	1	8,00	13,00	14,00	16,00	7,00		0,95	0,00	0,14
TOTAL ENERGIA CONSUMIDA									25,52	582,12	
									Carqa Conectada Total		5,69

Tabla 4.7: Consumo de Luminarias en kW-h Diario y Mensual

Tipo de Luminaria	Potencia del Equipo (KW)	Cantidad de Equipos	Tiempo de Uso al Día				Horas diarias (Hrs / día)	Días de uso mensual (Días / mes)	Consumo Diario (KWH / día)	Consumo Mensual (KWH / mes)	Carga Conectada (KW)
			Hora 1 (0:00 - 24:00)		Hora 2 (0:00 - 24:00)						
			Encendido	Apagado	Encendido	Apagado					
Fluorescente Tubular T8 23W	0,023	2	8,00	12,00	14,00	16,00	6,00	6	0,28	1,66	0,05
Fluorescente Tubular T8 12W	0,012	1	15,00	16,00	18,00	19,00	2,00	30	0,02	0,72	0,01
Fluorescente Tubular T12 25W	0,025	4	0,00	0,00	14,00	16,00	2,00	22	0,20	4,40	0,10
Fluorescente Tubular T12 40W	0,040	100	8,00	9,00	15,00	16,00	2,00	22	8,00	176,00	4,00
Fluorescente Tubular T12 32W	0,032	20	9,00	10,00	15,00	16,00	2,00	22	1,28	28,16	0,64
Fluorescente Tubular T12 20W	0,020	1	9,00	11,00	14,00	16,00	4,00	24	0,08	1,92	0,02
Halógenas 1500W	1,500	2	8,00	12,00			4,00	30	12,00	360,00	3,00
TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA									21,86	572,86	
										Carga Conectada Total	7,82

Tabla 4.8: Consumo de energía eléctrica en KW-h

Consumo Calculado KW-h			Consumo Registrado KW-h
Total carga Conectada	213,14 KW	Pago	ELEPCO.SA
Diario	1091,56 KW-h	66,58 Dólares	
Mensual	11375 KW-h	693,87 Dólares	11480 KW-h
Pago Mensual Total		693,87 Dólares	700,28 Dólares

4.4.3 OPTIMIZACIÓN

4.4.3.1 Propuestas de solución para caídas de voltaje y pérdidas de energía en conductores.

Las caídas de voltaje en conductores son pérdidas técnicas del sistema dadas por la propia impedancia de las líneas. Sin embargo, existen conductores mal dimensionados donde el porcentaje de pérdidas excede los valores permisibles (1,5% Vn). Por lo que se procedió a calcular las pérdidas actuales que se generan con los conductores actualmente instalados y las pérdidas que se darían con los conductores que se sugieren para el cambio.

Con los datos de rediseño de conductores del capítulo 3 con caídas de tensión se realiza la Tabla 4.9, con el procedimiento dado a continuación:

$$e = \frac{2 * \sqrt{3}}{220} \times \frac{2,7 * 46,06}{8,37}$$

$$e = 0,23\%$$

Selección del Nuevo Conductor

Los 3 conductores 8 AWG está subdimensionado con la caída de voltaje que se requiere para el circuito de estas características, a continuación se muestra la solución:

Nuevo conductor sugerido: 3x6 AWG

Sección transversal: 13,3 mm²

$$e = \frac{2 * \sqrt{3}}{220} \times \frac{2,7 * 46,06}{13,3}$$

$$e = 0,15\%$$

Perdidas Actuales

$$P = I^2 \times R \times t$$

$$P = 21^2 \times 2,151 \times 60$$

$$P = 55,2KWh$$

Perdidas con cambio de conductor

$$P = I^2 \times R \times t$$

$$P = 21^2 \times 1,354 \times 60$$

$$P = 34,8KWh$$

$$Ahorro = 55,2 - 34,8 = 20,4KWh$$

Para grandes clientes la tarifa es de 0,061

Tabla 4.9 Cálculo de pérdidas en conductores-Sugerencias de Cambio

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas Actuales (kw-h)	Selección Conductor (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas con Cambio(kw-h)	Ahorro (kw-h)
Pulidora P2	8	0,23	55,2	6	0,15	34,8	20,4
Piladora P1	8	1,27	30,6	6	0,80	19,2	11,4
Elevador 6	8	0,18	1,44	6	0,12	1,44	0
Elevador 5	8	0,20	0,432	6	0,13	0,288	0,144
Elevador 4	8	0,19	0,576	6	0,12	0,288	0,288
Elevador 3	8	0,29	1,44	6	0,18	1,296	0,144
Bomba 1	14	0,36	9,6	14	0,36	9,6	0
Bomba 2	14	0,43	8,7	14	0,43	8,7	0
Quemador	14	0,13	8,64	14	0,13	8,64	0
Bomba 3	14	0,33	2,4	14	0,33	2,4	0
Bomba 4	14	0,41	16,8	14	0,41	16,8	0
Bomba posterior	14	0,11	8,1	14	0,11	8,1	0
MACPET A	14	0,04	1,44	14	0,04	1,44	0
MACPET1	14	0,06	1,44	14	0,06	1,44	0
MACPET2	14	0,07	1,44	14	0,07	1,44	0
MACPET3	14	0,10	1,44	14	0,10	1,44	0

Tabla 4.9: Cálculo de pérdidas en conductores-Sugerencias de Cambio (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas Actuales (kw-h)	Selección Conductor (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas con Cambio(kw-h)	Ahorro (kw-h)
Elevador 1	8	0,06	0,72	12	0,16	1,44	-0,72
Mezcladora M2	12	1,13	83,6	8	0,45	33	50,6
Zaranda Z1	8	0,10	0,1	6	0,06	0,14	-0,04
Clasificadora	12	0,11	1,4	10	0,07	1,08	0,32
Esclusa	12	0,05	2,8	10	0,03	1,44	1,36
Zaranda Z2	12	0,13	1,4	10	0,08	1,44	-0,04
Cortadora Pequeña	12	0,17	44,4	10	0,11	0,6	43,8
Absorción Impurezas	12	0,54	14,3	10	0,34	37,4	-48,96
Cortadora MG	8	0,90	14,4	8	0,90	14,4	0
Machacadora CA	8	0,56	1,4	8	0,56	14,4	0
Vibrador MG CA	8	0,03	1,4	12	0,09	2,88	-1,48
Tornillo de Cocción	8	0,01	1,1	12	0,08	3,04	-1,94
Machacadora LM	8	0,29	0	10	0,45	93,6	-93,6
Ventilador Horno Q.	10	0,28	0	12	0,44	0,00	0

Tabla 4.9: Cálculo de pérdidas en conductores-Sugerencias de Cambio (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas Actuales (kw-h)	Selección Conductor (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas con Cambio(kw-h)	Ahorro (kw-h)
Cortadora de Morocho	12	0,03	3,312	12	0,03	3,312	0
Ventilador de Pared	12	0,06	1,44	12	0,06	1,44	0
Elevador E7	12	0,47	12,96	12	0,47	12,96	0
ElevadorAuxiliar	12	0,06	0,144	12	0,06	0,144	0
Quemador	12	0,01	4,32	12	0,01	4,32	0
Vibrador Secado	12	0,04	2,88	12	0,04	2,88	0
Banda Trasnport.	12	0,09	2,88	12	0,09	2,88	0
Ventilador de Secado	12	0,31	91,2	10	0,20	91,2	0
Ventilador G.E	10	4,29	44	4	1,07	10,8	33,2
Elevador E8	12	0,15	1,44	12	0,15	1,44	0
Tamizadora	12	1,13	27,36	10	0,71	17,28	10,08

Tabla 4.9: Cálculo de pérdidas en conductores-Sugerencias de Cambio (Continuación)

Tramo o Circuito	Conductor Instalado (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas Actuales (kw-h)	Selección Conductor (AWG)	Caída Voltaje (%)	Perdidas con Cambio(kw-h)	Ahorro (kw-h)
Molino de Martillo	2	0,34	37,4	4	0,53	46,2	-8,8
Aventadora	2	0,03	11	10	0,21	23,1	-12,1
Vibrador Molino	14	0,17	1,5	14	0,11	1,5	0
Esclusa Molino	14	0,29	2,8	14	0,18	2,8	0
Elevador E9	14	0,37	1,4	14	0,24	1,4	0
Mezcladora M1	14	1,76	96,8	10	0,70	10	86,8
Indumax	14	0,21	27,3	14	0,13	27,3	0
BandaTrans.	14	0,11	11,5	14	0,07	11,5	0
Elevador Tornillo	14	0,15	14,4	14	0,09	14,4	0
Motor Auxiliar 1	14	0,15	12	14	0,09	12	0
Motor Auxiliar 2	14	0,32	25,2	14	0,20	25,2	0
MACPEG	14	0,04	24,2	14	0,03	24,2	0

4.4.3.2 Pérdidas totales con los conductores actualmente instalados en comparación con los conductores sugeridos

Registrado = **11480 KW-h**

Perdidas actuales Total

774,144 KW-h x 0,061=47,2 Dólares

Perdidas con sugerencia Total

670,428 KW-h x 0,061= 40 Dólares

Perdidas actuales en un mes

258,04 KW-h x 0,061= 15,7 Dólares

Perdidas con sugerencia en un mes

223,47 KW-h x 0,061=13,6 Dólares

Ahorro mes= Perdidas A. – Perdidas S.

Ahorro mes= 258,04 KW-h - 223,47 KW-h

Ahorro mes= **34,57 KW-h x 0,061 = 2,1 Dólares**



Figura 4.4: Pérdidas en conductores actuales

(Se bajaría estas pérdidas mensuales con las sugerencias de cambio)

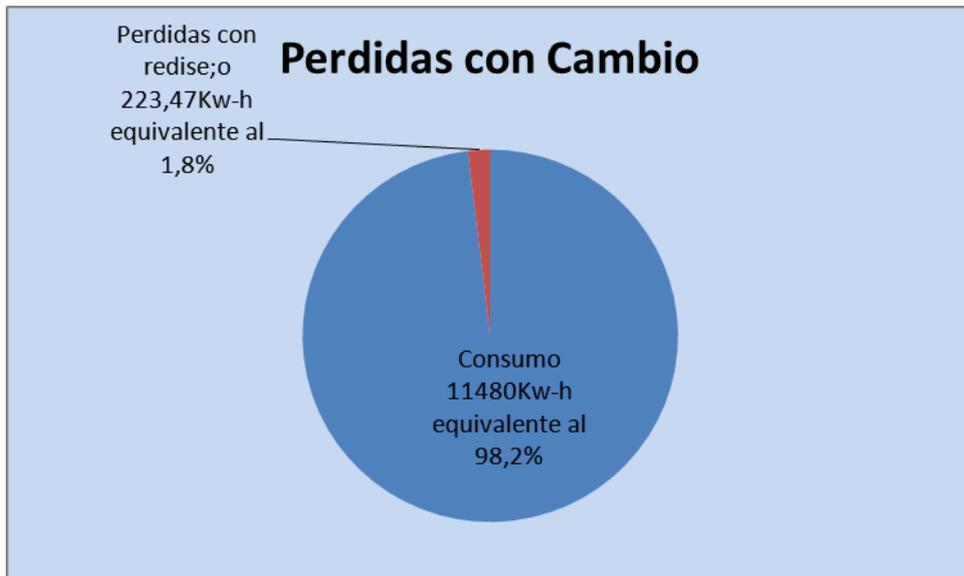


Figura 4.5: Pérdidas en conductores sugeridos

4.4.3.3 Corrección del factor de potencia

Se realiza una comparación del factor de potencia registrado con el factor de potencia mínimo establecido por ELEPCO.SA

Datos de Condensadores instalados

Condensador 1=10 KVAR

Condensador 2= 8,3KVAR

Condensador que deberían estar instalados

Máximo Instalado = 4,2 KVAR

Debe entregar = 1,6 KVAR

Tabla 4.10: Corrección del factor de potencia

1	Fp	Potencia	Función	Función 2	Potencia R.	Potencia Aparente
Comparación		P (KW)	Angulo		REACTIVA KVAR	APARENTE KVA
C1	0,86	10	0,535526654	0,510294033	5,933651545	11,62790698
C2	0,92	10	0,402715842	0,391918359	4,259982161	10,86956522
					1,673669384	Compensación a entregar
					-6,066348455	Condensador
					0,854980136	Fp

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se desarrolló una base de datos de las condiciones actuales de carga del sistema eléctrico de la empresa “CEREALES LA PRADERA”, tomando en cuenta las protecciones instaladas, calibre, trayectoria y longitud de conductores, potencia instalada, entre otros.
- Con el cálculo de las corrientes nominales, de sobrecarga y las caídas de voltaje de cada circuito, se redimensionó los conductores utilizados.
- Mediante los resultados obtenidos en las mediciones realizadas con el Analizador Trifásico de Energía Eléctrica, fue posible el estudio de la calidad de energía consumida en las instalaciones de la empresa “CEREALES LA PRADERA”, obteniendo resultados satisfactorios con respecto a lo exigido por parte de la empresa distribuidora.
- El funcionamiento del sistema eléctrico de la empresa “CEREALES LA PRADERA” se simuló en el software NEPLAN versión 5.2.4, en donde se confirmó los cálculos de corrientes de cortocircuito, la estabilidad del voltaje y la cargabilidad del sistema.
- La cargabilidad del sistema es del 79,36% que se considera aceptable, con lo que queda un porcentaje disponible que se puede incrementar por motivos de THD (Distorsión Armónica) correspondientes al 1,6%.

- La capacidad del banco de capacitores debe ser de máximo 4,2 KVAR y deben entregar 1,6 KVAR para obtener un factor de potencia de 0,92 siendo lo ideal y evitando las penalizaciones y pérdidas económicas a la empresa.
- Las pérdidas de conductores corresponden al 2% y con el estudio de rediseño las pérdidas se reducen a 1,8 % lo cual no resultaría económicamente un cambio de los mismos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Con el estudio realizado en las protecciones instaladas sería recomendable el cambio de las mismas para garantizar la estabilidad y protección adecuada de los motores y del sistema.
- Los condensadores instalados son muy grandes y es el motivo por el cual se está generando un bajo factor de potencia y es aconsejable cambiarlos a uno de menor capacidad.
- El crecimiento de carga debe ser planificado e implementado con un estudio previo de la disponibilidad de potencia dada a conocer en el estudio realizado donde se indica todos los datos necesarios para una buena optimización de energía eléctrica.
- Un cambio de conductores no resulta convenientes por ser aceptables las pérdidas que existen, pero por motivos de seguridad el cambio es necesario para evitar danos en el conductor en caso de corto circuito y a los consecuentes por lo que se encuentran ubicados unidos paralelamente, el cual provocaría un daño y paro total.
- Mediante el estudio realizado se determinó que se deben modificar el banco de capacitores para obtener un factor de potencia adecuado acorde a las exigencias de ELEPCO S.A. para así lograr que no exista mucha penalización a la empresa por un bajo factor de potencia.
- Es aconsejable que se realice el cambio del medidor electromecánico por uno electrónico ya que este mide solo los datos de consumo que debe pagar la empresa contrario al instalado que mide datos históricos que no debe pagar la empresa.

- Los motores de los elevadores 3, 4, 5,6 actualmente el Interruptor Termo magnético es de 100A y se debe cambiar por uno de 10A, la Aventadora tiene un interruptor de 75A y se debe cambiar por uno de 10A, las protecciones están sobredimensionadas debidos a motivos de cambio de carga y se debería cambiar por los de rediseño para obtener una protección adecuada de los mismos.
- Mantener organizada y actualizada la información referente a planos y diagramas eléctricos instalados y en construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR Arcos, Marco - “Rediseño del Sistema Eléctrico Interno y Diseño de la Cámara de Transformación a 13.8 KV de la ESPE Latacunga” - Tesis 621.3A283r.
- BRATU Serbán, Neagu, - “Instalaciones Eléctricas, Conceptos Básicos y Diseño” – Segunda Edición - Alfaomega - 1992.
- CAJAS Flores, Verónica, -“Investigación de oportunidades de ahorro energético en el sector industrial textil en Ecuador”- Tesis ESPE-018402.
- Colección CEAC, Centrales Eléctricas.
- ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - “El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales” - Pre-edición - Limusa Noriega Editores - 1988.
- ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - “Elementos de Diseño de las Instalaciones Eléctricas Industriales” – Segunda Edición - Limusa Noriega Editores - 2002.
- ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - “Fundamentos de las Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión” – Segunda Edición - Limusa Noriega Editores - 2002.
- ENRÍQUEZ Harper, Gilberto - “Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales”- Segunda Edición - Limusa Noriega Editores - 2003.
- GARCÍA Trasancos, José - “Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión” – Tercera Edición - Thomson-Paraninfo - 2003.
- I. KOSOW, -“Máquinas Eléctricas y Transformadores”-

- NAVARRO Márquez, José A. – “Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, Sistema de Maniobra, Medida y Protección” – Editorial Paraninfo - 1999.
- REY Martínez Francisco Javier, Eloy Velasco Gómez – “Eficiencia Energética, Certificación y Auditorías Energéticas” - 2006

PÁGINAS WEB

- <http://www.electrocable.com>
- <http://www.procobreecuador.org>
- http://www.pqinsel.com/calidad_energia.htm
- <http://peandes.unex.es/%5Cformacion%5Cmegacal%5CCalidad>.
- <http://www.conelec.com>